



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA

JACQUELINE DALBELO PUIA

**INDUÇÃO DE RESISTÊNCIA PARA O MANEJO DE
DOENÇAS CAUSADAS POR *Xanthomonas citri* pv. *fuscans*,
Colletotrichum lindemuthianum E *Pseudocercospora griseola*
EM FEIJÃO**

Londrina
2024

JACQUELINE DALBELO PUIA

**INDUÇÃO DE RESISTÊNCIA PARA O MANEJO DE
DOENÇAS CAUSADAS POR *Xanthomonas citri* pv. *fuscans*,
Colletotrichum lindemuthianum E *Pseudocercospora griseola*
EM FEIJÃO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Agronomia da Universidade Estadual de Londrina para a obtenção do título de Doutor (a) em Agronomia.

Orientador: Dr. Marcelo Giovanetti Canteri

Coorientadora: Dr^a. Sandra Cristina Vigo

Londrina
2024

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UEL

J19a Puia, Jacqueline Dalbello.
INDUÇÃO DE RESISTÊNCIA PARA O MANEJO DE DOENÇAS CAUSADAS POR *Xanthomonas citri* pv. *fuscans*, *Colletotrichum lindemuthianum* E *Pseudocercospora griseola* EM FEIJÃO / Jacqueline Dalbello Puia. - Londrina, 2024.
117 f. : il.

Orientador: Marcelo Giovanetti Canteri.
Coorientador: Sandra Cristina Vigo.
Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, 2024.
Inclui bibliografia.

1. Indução de resistencia - Tese. 2. compostos fenólicos - Tese. 3. *Bacillus amyloliquefaciens* - Tese. 4. *Trichoderma harzianum* - Tese. I. Canteri, Marcelo Giovanetti. II. Vigo, Sandra Cristina. III. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. IV. Título.

CDU 63

JACQUELINE DALBELO PUIA

**INDUÇÃO DE RESISTÊNCIA PARA O MANEJO DE
DOENÇAS CAUSADAS POR *Xanthomonas citri* pv. *fuscans*,
Colletotrichum lindemuthianum E *Pseudocercospora griseola*
EM FEIJÃO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Agronomia da Universidade Estadual de Londrina para a obtenção do título de Doutora em Agronomia.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Orientador Marcelo Giovanetti Canteri
Universidade Estadual de Londrina - UEL

Dr. Dauri José Tessmann
Universidade Estadual de Maringá - UEM

Dra. Neucimara Rodrigues Ribeiro
GDM Seeds

Dra. Michele Regina Lopes da Silva
IDR-Paraná

Dr. Rui Pereira Leite Jr.
IDR-Paraná

Londrina, 25 setembro de 2024.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço à Deus pela graça da vida.

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

A minha família por todo o apoio, especialmente aos meus pais Joel e Jeanete pela paciência e incentivo nessa minha jornada.

Ao meu esposo Adriano pela paciência, companheirismos, amor e carinho.

Aos professores da Universidade Estadual de Londrina - UEL, Londrina - PR, pela dedicação em ensinar; pelos esclarecimentos e conhecimentos ofertados ao longo do curso.

Agradeço em especial ao Prof^o. Dr. Marcelo Giovanetti Canteri e Prof^a. Dr^a. Sandra Cristina Vigo pela orientação, oportunidade, paciência, incentivo, disponibilidade e profissionalismo de ambos.

Agradeço a parceria do Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná – IAPAR-EMATER, IDR-Paraná, em especial ao Dr. Humberto Androcioli, Me. Leandro Borsato e Dr. Yeshwant Mehta pelo apoio na realização dos experimentos.

Aos colegas do laboratório de patologia de semente do IDR, Leandro Borsato, Ana Moreira, Stefane, Mateus, Lucas pelo companheirismo.

Meus mais sinceros agradecimentos a todos. Obrigada!

PUIA, Jacqueline Dalbelo. **Indução de resistência para o manejo de doenças causadas por *Xanthomonas citri* pv. *fuscans*, *Colletotrichum lindemuthianum* e *Pseudocercospora griseola* em feijão.** 2024. 117f. Tese (Tese em Agronomia) - Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2024.

RESUMO

Xanthomonas citri pv. *fuscans* (*Xcf*), *Colletotrichum lindemuthianum* e *Pseudocercospora griseola* são agentes causais de doenças responsáveis por perdas economicamente significativas na cultura do feijão. O uso de microrganismos benéficos que ativam as defesas das plantas, assim como substâncias indutoras de resistência vem sendo estudada nos últimos anos como alternativa de manejo de doenças. O objetivo foi determinar a capacidade de agentes biológicos e compostos químicos na indução de resistência à *Xcf*, e quantificar os componentes de produção em casa de vegetação, bem como, verificar a eficiência dos agentes à campo no manejo de *Xcf*, *C. lindemuthianum* e *P. griseola*. Dois experimentos foram instalados, um em casa de vegetação e outro à campo. O delineamento experimental do ensaio em casa de vegetação foi blocos casualizados em esquema fatorial, 2 cultivares x 6 agentes x 4 modos de aplicação + 2 controles, com quatro repetições. Os agentes foram: *Bacillus amyloliquefaciens*, enxofre, ácido cítrico, salicilato de metila, silicato de potássio e *Trichoderma harzianum*. Os modos de aplicações foram via tratamento de grãos (TS); tratamento de grãos + V3 (TS+V3); V3 e tratamento de grãos + V3 + R5 (TS+V3+R5). Avaliou-se a severidade da doença, e feita análises bioquímicas de proteínas solúveis totais (PS), peroxidase (POD), fenilalanina amônia-liase (FAL), compostos fenólicos totais (CFT) e produtividade. O delineamento experimental do ensaio à campo foi blocos casualizados em esquema fatorial, 2 cultivares x 4 agentes x 2 modos de aplicação + 3 controles, com quatro repetições. Os agentes foram: *Bacillus amyloliquefaciens*, enxofre, ácido cítrico e *Trichoderma harzianum*. Os modos de aplicações foram via TS e TS+V3. Avaliou-se a severidade de *Xcf* e *C. lindemuthianum*, índice de refletância e produção. Os dados obtidos em cada experimento foram submetidos à análise de variância, homogeneidade das variâncias e cálculo da área sob a curva (AACPD). As médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$) usando o software R Studio. Houve redução da severidade de *Xcf* nas plantas tratadas com *T. harzianum*, *B. amyloliquefaciens*, ácido cítrico e enxofre via TS e TS+V3, em relação aos padrões. A indução de resistência foi ativada 1DAI (dias após a inoculação com *Xcf*), nas plantas tratadas com os produtos, promovendo aumento de POD, FAL e CFT de 96%, 49% e 13% na cultivar IPR Campos Gerais, e de 96%, 98% e 50% na IPR Tangará, respectivamente, em relação a testemunha. A maior redução dos componentes de produção proporcionada pela doença ocorreu em peso de 1000 grãos corrigido 13% (PMG) e na produtividade final dos cultivares, sobretudo em IPR Campos Gerais, com menores valores de PMG e produtividade (kg ha^{-1}). Este estudo permitiu a identificação de agentes de biocontrole que podem ser utilizados no manejo do cretamento bacteriano comum, fornecendo proteção e reduzindo a severidade da doença.

Palavras-chave: *Phaseolus vulgaris*; atividade enzimática; severidade; *Bacillus amyloliquefaciens*; *Trichoderma harzianum*.

PUIA, Jacqueline Dalbelo. **Induction of resistance for the management of diseases caused by *Xanthomonas citri* pv. *fuscans*, *Colletotrichum lindemuthianum* and *Pseudocercospora griseola* in beans.** 2024. 117f. Tese (Tese em Agronomia) - Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2024.

ABSTRACT

Xanthomonas citri pv. *fuscans* (Xcf), *Colletotrichum lindemuthianum*, and *Pseudocercospora griseola* are causal agents of diseases responsible for economically significant losses in common bean cultivation. The use of beneficial microorganisms that activate plant defenses, as well as resistance-inducing substances, has been studied in recent years as an alternative for disease management. The objective was to determine the capacity of biological agents and chemical compounds to induce resistance to Xcf and quantify production components in greenhouse conditions, as well as to verify the efficiency of these agents in the field for the management of Xcf, *C. lindemuthianum*, and *P. griseola*. Two experiments were conducted: one in a greenhouse and another in the field. The experimental design of the greenhouse trial was a randomized block design in a factorial scheme, 2 cultivars x 6 agents x 4 application methods + 2 controls, with four replications. The agents were: *Bacillus amyloliquefaciens*, sulfur, citric acid, methyl salicylate, potassium silicate, and *Trichoderma harzianum*. The application methods were seed treatment (ST); seed treatment + V3 stage (ST+V3); V3 stage only; and seed treatment + V3 + R5 stages (ST+V3+R5). Disease severity, biochemical analyses of total soluble proteins (PT), peroxidase (POD), phenylalanine ammonia-lyase (FAL), total phenolic compounds (CFT), and productivity were evaluated. The experimental design for the field trial was a randomized block design with a factorial scheme: 2 cultivars x 4 agents x 2 application methods + 3 controls, with four replications. The agents were: *B. amyloliquefaciens*, sulfur, citric acid and *T. harzianum*. The application methods were seed treatment (TS) and seed treatment + V3 (ST+V3). The severity of Xcf and *C. lindemuthianum*, reflectance index, and production were assessed. Data from each experiment were analyzed using analysis of variance, variance homogeneity, and area under the curve (AACPD). Treatment means were compared using Tukey's test ($p \leq 0.05$) with R Studio software. There was a reduction in Xcf severity in plants treated with *T. harzianum*, *B. amyloliquefaciens*, citric acid, and sulfur via TS and TS+V3 compared to the controls. Resistance induction was activated 1 day after inoculation with Xcf (1 DAI) in plants treated with these products, leading to increases in POD, FAL, and CFT of 96%, 49%, and 13% in the IPR Campos Gerais cultivar, and 96%, 98%, and 50% in the IPR Tangará cultivar, respectively, compared to the control. The most significant reduction in production components caused by the disease was observed in the 1000-grain weight (PMG), which was corrected by 13%, and in the final productivity of the cultivars, particularly in IPR Campos Gerais, which showed lower values for PMG and productivity (kg ha^{-1}). This study identified biocontrol agents that can be used in managing common bacterial blight, providing protection, and reducing disease severity.

Keywords: *Phaseolus vulgaris*; enzymatic activity; severity; *Bacillus amyloliquefaciens*; *Trichoderma harzianum*.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1** – Espectro eletromagnético representando regiões infravermelho (IR), regiões do visível (VIS) e infravermelho próximo (NIR).....33
- Figura 2** – Teor de proteínas solúveis totais (PT), expresso em $\text{mg}^{-1} \text{g}^{-1}$ tecido, em tecidos foliares das cultivares de feijão IPR Campo Gerais e IPR Tangará, tratadas com diferentes produtos biológicos e indutores químicos.....45
- Figura 3** – Teor de peroxidase (POD), expresso $\text{UAbs mg}^{-1} \text{mg}^{-1}$ proteína, em tecidos foliares das cultivares IPR Campo Gerais e IPR Tangará, tratadas com diferentes produtos biológicos e indutores químicos.....47
- Figura 4** – Teor de fenilalanina amônia-liase (FAL), expresso $\text{UAbs mg}^{-1} \text{mg}^{-1}$ proteína, em tecidos foliares das cultivares IPR Campos Gerais e IPR Tangará, tratadas com diferentes produtos biológicos e indutores químicos.....49
- Figura 5** – Teor de compostos fenólicos (CFT), expresso em mg GAE/ 100 g , em tecidos foliares das cultivares IPR Campos Gerais e IPR Tangará, tratadas com diferentes produtos biológicos e indutores químicos.....51

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1** – Severidade de crestamento bacteriano comum, ocasionado por *Xanthomonas citri* pv. *fuscans*, após aplicação de agentes biológicos e indutores químicos de resistência sob diferentes modos em cultivares de feijão.....42
- Tabela 2** – Número de vagens (NV), número de grãos por planta (NSP) e número de grãos chochos (NSC) tratadas com diferentes produtos de biocontrole, das cultivares de feijão IPR Campos Gerais e IPR Tangará, em casa de vegetação.....54
- Tabela 3** – Peso de 1000 grãos corrigido 13% (PMG) e produtividade (kg ha⁻¹) de plantas tratadas com diferentes produtos de biocontrole, das cultivares de feijão IPR Campos Gerais e IPR Tangará, em casa de vegetação.....55
- Tabela 4** – Severidade (média ± desvio padrão) de crestamento bacteriano comum, ocasionado por *Xanthomonas citri* pv. *fuscans*, em duas safras de feijão, após aplicação de agentes biológicos e indutores químicos de resistência em cultivares de feijão.....68
- Tabela 5** – Componentes de produtividade das cultivares de feijão IPR Campos Gerais e IPR Tangará tratadas com diferentes produtos de biocontrole, na safra das águas.....71
- Tabela 6** – Análise das correlações de Pearson entre severidade da doença (S), índice de vegetação por diferença normalizada (N) e produção (P) na cultivar IPR Campos Gerais e IPR Tangará, na safra de seca e águas de 2023, Londrina-PR.....72
- Tabela 7** – - Incidência (média ± desvio padrão) de crestamento bacteriano comum, antracnose e mancha-angular em duas cultivares de feijão sob diferentes modos de aplicação de agentes biológicos e indutores químicos nas safras da seca e águas.....75

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
UEL	Universidade Estadual de Londrina
<i>Xcf</i>	<i>Xanthomonas citri</i> pv. <i>fuscans</i>
Xpp	<i>Xanthomonas phaseoli</i> pv. <i>phaseoli</i>
WGS	sequenciamento do genoma completo
VIS	regiões do visível
IR	regiões infravermelhas
NIR	infravermelho próximo
CBC	crestamento bacteriano comum
NPK	nitrogênio, fosforo e potássio
TS	tratamento de semente
TS+V3	tratamento de semente + pulverização foliar no estágio fenológico V3
V3	pulverização foliar no estágio fenológico V3
TS+V3+R5	tratamento de semente + pulverização foliar no estágio fenológico V3 e R5
NSA	nutriente-sacarose-ágar
A.Trat.	antes do tratamento foliar
1DAT	um dia após o tratamento foliar em V3
1DAI	dia após a inoculação da bactéria <i>Xcf</i>
2DAI	dias após a inoculação de <i>Xcf</i>
PT	proteína solúvel total
POD	peroxidase
FAL	fenilalanina amônia-liase
CFT	compostos fenólicos totais
GAE	ácido gálico
nm	nanômetro
° C	graus Celsius
mL	mililitro
rpm	rotação por minuto
g	gramas
NV	número de vagens
NSC	número de grãos chochos

NSP	número de grãos por planta
PMG	peso de 1000 grãos corrigido a 13%
Kg ha ⁻¹	quilos por hectare

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1	A CULTURA DO FEIJÃO	17
2.2	CRESTAMENTO BACTERIANO COMUM	18
2.3	ANTRACNOSE	22
2.4	CONTROLE DO CRESTAMENTO BACTERIANO COMUM E ANTRACNOSE	24
2.5	CONTROLE ALTERNATIVO E INDUÇÃO DE RESISTÊNCIA	26
2.6	PROTEÍNAS RELACIONADAS À PATOGÊNESE	30
2.6.1	Proteínas solúveis totais (PT)	30
2.6.2	Peroxidasas (POD)	31
2.6.3	Fenilalanina amônia-liase (FAL).....	31
2.6.4	Compostos fenólicos totais (CFT).....	32
2.1	PATOMETRIA E SENSORIAMENTO REMOTO	33
3	ARTIGO A: INDUÇÃO DE RESISTÊNCIA À <i>XANTHOMONAS CITRI</i> PV. <i>FUSCANS</i> EM CULTIVARES DE FEIJÃO POR MEIO DE AGENTES BIOLÓGICOS E INDUTORES QUÍMICOS	36
3.1	INTRODUÇÃO.....	37
3.2	MATERIAL E MÉTODOS	39
3.2.1	Inoculação com <i>Xcf</i>	40
3.3	AVALIAÇÕES	40
3.3.1	Severidade de CBC	40
3.3.2	Quantificação de Compostos Químicos na Folha	41
3.3.3	Componentes da Produção.....	41
3.4	RESULTADOS	42
3.4.1	Quantificação de Compostos Químicos na Folha	44
3.4.2	Componentes de produção.....	53
3.5	DISCUSSÃO.....	57
4	ARTIGO B: MANEJO DE CRESTAMENTO BACTERIANO COMUM, ANTRACNOSE E MANCHA-ANGULAR À CAMPO COM USO DE AGENTES BIOLÓGICOS E INDUTORES QUÍMICOS	62
4.1	INTRODUÇÃO.....	63
4.2	MATERIAL E MÉTODOS	65
4.3	AVALIAÇÕES	66

4.3.1	Severidade, Incidência e Índice de Refletância	66
4.3.2	Componentes de produção	66
4.3.3	Análises estatísticas	67
4.4	Resultados	67
4.4.1	Severidade	67
4.4.2	Componentes de produção	70
5	DISCUSSÃO	77
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	83
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	84

1 INTRODUÇÃO

O feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) é uma das leguminosas mais consumidas mundialmente, pois os grãos são ricos em nutrientes e proteínas, tendo grande importância socioeconômica (OLIVEIRA et al., 2018). Porém, a ocorrência de doenças é uma das principais causas de redução da produtividade.

Dentre as principais doenças que ocorrem na cultura, o cretamento bacteriano comum, causado pela bactéria *Xanthomonas citri* pv. *fuscans* (Xcf), antracnose ocasionada pelo fungo *Colletotrichum lindemuthianum* e mancha-angular (*Pseudocercospora griseola*) merecem atenção especial (CHEN et al., 2021; MLEMBA, 2021, RASHID et al., 2023).

As doenças vêm ganhando destaque devido à ampla distribuição, baixa eficiência do controle químico e dificuldade de obtenção de cultivares comerciais resistentes (SAETTLER, 2005; SHARMA et al., 2008).

Outro aspecto, é o enorme impacto econômico na redução de produção, com perdas acima de 70% para o cretamento bacteriano comum e mancha-angular, e em até 100% para antracnose (BIANCHINI et al., 2005; CAMPA et al., 2014).

Os sintomas do cretamento bacteriano comum são observados em toda a parte aérea da planta, sendo mais intensos e evidentes nas folhas e vagens. Nas folhas, as lesões são caracterizadas por pequenas manchas encharcadas, que progridem para manchas necróticas de tonalidade marrom, geralmente circundadas por halos cloróticos (CHEN et al., 2021).

Para antracnose, os sintomas do patógeno são observados em folhas, caules, vagens e grãos, como lesões necróticas marrom-escuras ao longo das nervuras que diminuem a atividade fotossintética das folhas. A fotossíntese reduzida resulta em senescência foliar, crescimento atrofiado da planta e eventual morte (KADEGE et al., 2022).

A mancha angular, causada pelo fungo *Pseudocercospora griseola*, é uma doença significativa no feijão, especialmente em regiões tropicais e subtropicais, podendo causar perdas de 10% a 80%. Os sintomas incluem lesões angulares nas folhas que podem levar à desfolha precoce. O patógeno se prolifera em condições de alta umidade e temperaturas entre 20°C e 28°C.

O controle do cretamento bacteriano comum, antracnose e mancha-angular é realizado pela adoção de várias medidas simultâneas, como utilização de grãos saudáveis, incorporação de restos culturais infectados, rotação de culturas com plantas não hospedeiras, eliminação de plantas voluntárias e controle de insetos disseminadores, entre outros (PAULA JÚNIOR; ZAMBOLIM, 2006; KHAN et al., 2021; SANTOS; PINTO, 2023).

A resistência induzida contra doenças, seja através de agentes biológicos ou indutores químicos que ativem mecanismos de resistência, pode ser uma ferramenta, particularmente em casos em que as atuais medidas de controle são pouco efetivas (LLORENS et al., 2017).

As plantas possuem diversos mecanismos de defesa contra patógenos. A resistência sistêmica adquirida (SAR) e resistência sistêmica induzida (ISR) designam os mecanismos pelos quais as plantas ativam mecanismos de defesa não apenas no local de indução, mas também em outros locais, após exposição a um agente indutor (SBALCHEIRO, 2006).

O acibenzolar-S-metil (ASM) foi o primeiro indutor SAR liberado para uso comercial. Desde então, vários outros produtos se tornaram disponíveis ou estão atualmente sendo pesquisados (OOSTENDORP et al., 2001). No entanto, mais estudos são necessários em relação aos mecanismos de defesa que são ativados em cada caso, e as respostas que são acionadas para esses indutores químicos de resistência ao cretamento bacteriano comum e antracnose.

No contexto da agricultura moderna, a busca por estratégias sustentáveis e eficazes para o manejo de doenças em cultivos tem impulsionado a pesquisa em diversas áreas. Entre as abordagens promissoras, o uso de agentes indutores químicos de resistência tem ganhado destaque como uma alternativa inovadora. Neste estudo, exploramos o potencial de quatro agentes específicos *Trichoderma harzianum*, *Bacillus amyloliquefaciens*, ácido cítrico e enxofre - como exemplos de indutores químicos de resistência em plantas.

O fungo *Trichoderma harzianum*, conhecido por sua capacidade de colonizar as raízes das plantas, tem sido extensivamente estudado devido às suas propriedades antagônicas contra patógenos de solo (HARMAN et al., 2004). Este fungo é um biocontrolador que, além de seu efeito direto sobre patógenos do solo, ativando

diversos mecanismos de defesa, como a produção de fitoalexinas, aumento da atividade de enzimas de defesa e modulação do sistema hormonal das plantas (HARMAN et al., 2004; SHORESH et al., 2010).

Bacillus amyloliquefaciens, uma bactéria de solo, também demonstrou eficácia na promoção da resistência sistêmica em plantas hospedeiras FAN et al., 2011), ativando vias de sinalização que desencadeiam respostas de defesa, incluindo a produção de fitoalexinas, proteínas de resistência e o aumento da atividade enzimática antioxidante (RYU et al., 2003; FAN et al., 2011).

O ácido cítrico, um ácido orgânico encontrado naturalmente em muitos frutos cítricos, tem sido reconhecido por seus efeitos benéficos na ativação de mecanismos de defesa em plantas (DUTT et al., 2019). Ele ativa respostas de defesa, incluindo o fortalecimento da parede celular, a ativação de genes de defesa e o aumento da produção de antioxidantes (DUTT et al., 2019; SINGH; SHARMA, 2015).

Além disso, o enxofre, um elemento essencial para o crescimento das plantas, desempenha um papel crucial na síntese de compostos de enxofre, que estão envolvidos na resposta de defesa das plantas contra patógenos (ZHANG et al., 2011), como glucosinolatos, que desempenham um papel na resistência contra patógenos e modulam a resposta antioxidante das plantas (BLOEM et al., 2005).

Ao considerar esses agentes como potenciais indutores químicos de resistência, buscamos compreender melhor os mecanismos moleculares subjacentes à ativação do sistema de defesa das plantas. Este estudo visou contribuir para o desenvolvimento de estratégias sustentáveis no manejo de doenças em cultivos, oferecendo insights valiosos sobre o potencial desses produtos como ferramentas promissoras na promoção da resistência em plantas cultivadas.

Com base no exposto, o objetivo do estudo foi determinar a eficácia de agentes biológicos e indutores químicos na indução de resistência doença causada por *Xanthomonas citri* pv. *fuscans* e seu efeito sobre os componentes de produção de dois cultivares de feijão. Além, de verificar a capacidade de agentes biológicos e indutores químicos no controle de antracnose, cretamento bacteriano e macha-angular à campo, bem como quantificar a produtividade.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 A CULTURA DO FEIJÃO

O feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.), é uma dicotiledônea originária das Américas, planta herbácea, e pertencente à família Leguminosae (SANTOS et al., 2015). Apresenta hábito de crescimento determinado ou indeterminado, e seu ciclo anual varia entre 60 e 120 dias, desde a emergência até a maturação completa da planta (SANTOS; GAVILANES, 2006; SANTOS et al., 2015; OLIVEIRA et al., 2018).

O ciclo do feijão é dividido em duas fases, a vegetativa (V): V0 (germinação), V1 (emergência), V2 (folhas primárias), V3 (primeira folha trifoliolada) V4 (terceira folha trifoliolada) e a reprodutiva (R): R5 (pré-floração), R6 (floração), R7 (formação das vagens), R8 (enchimento de vagens) e R9 (maturação) (MARIOT, 1989).

O fruto do feijão é uma vagem formada por duas valvas unidas por duas suturas, que abrigam as grãos que podem apresentar uma diversidade de cores dos mais variados tons, com presença ou ausência de halo (SILVA, 2005).

De acordo com a Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento do Governo do Estado do Paraná - SEAB, (2016), o cultivo da leguminosa é realizado em três safras: 1ª safra - “safra das águas”, cujo plantio nas Regiões Sul e Sudeste do Brasil vai de agosto a dezembro; e a colheita nos meses de novembro a abril. A 2ª safra - “safra das secas”, o plantio na Região Sul e Sudeste vai de janeiro a abril, e a colheita nos meses de março a agosto. Já a 3ª safra - “safra de outono/inverno”, na qual o plantio na Região Sul e Sudeste vai de março a junho e a colheita nos meses de junho a outubro.

A faixa ideal de temperatura para a cultura varia de 18 a 30° C, flutuação esta que permite o cultivo em regiões com temperaturas amenas até temperaturas elevadas. No entanto, a cultura é extremamente sensível à intempéries climáticas extremas, não suportando em demasia o frio e geadas e alta ou baixa umidade do solo (ANDRADE, 2015).

Dentre os elementos climáticos que influenciam a produtividade do feijão destacam-se a radiação solar, temperatura, e a precipitação pluvial. As cultivares

brasileiras de feijão geralmente são insensíveis quanto ao fotoperíodo (ANDRADE et al., 2015).

A cultura do feijão tem importância social e econômica para o Brasil, sendo os grãos um dos componentes básicos da alimentação humana (PESSANHA et al., 1972; TAVARES et al., 2013). Além disso, tem ampla distribuição, podendo ser cultivado sob as mais diversas condições climáticas, de solo e de manejo (GRAHAM; RANALI, 1997).

O Brasil é um dos maiores estados produtores mundiais de feijão, e a produção na safra 2022/23 foi de 3,08 milhões de toneladas (CONAB, 2023). O feijão tem ampla adaptação edafoclimática, o que permite seu cultivo durante todo o ano, em diversos estados, possibilitando constante oferta (SALVADOR, 2014).

Os principais produtores do grão são; Paraná, Minas Gerais, Bahia, São Paulo e Goiás (CONAB, 2023). Porém, na maioria das regiões produtoras, a instabilidade produtiva vem aumentando, e apresentando acentuada vulnerabilidade às ações de agentes de natureza abiótica e biótica.

2.2 CRESTAMENTO BACTERIANO COMUM

Uma das principais causas da baixa produtividade da cultura do feijão no Brasil são as doenças. O crestamento bacteriano comum é uma das principais doenças do feijão em diversos países, devido à agressividade do patógeno e dificuldades para seu controle (SAETTLER, 2005).

Xanthomonas phaseoli pv. *phaseoli* (*Xpp*) (Smith) Dye e *Xanthomonas citri* pv. *fuscans* (*Xcf*) são os causadores do crestamento bacteriano comum (CBC) (PAIVA et al., 2020; CHEN et al., 2021). Essas duas bactérias são diferenciadas fenotipicamente pela produção *in vitro* de melanina por *Xcf* (PAULA JUNIOR; ZAMBOLIM 2006; PAIVA, et al. 2020).

As bactérias do gênero *Xanthomonas* sp. possuem bastonetes gram-negativos, móveis por meio de um único flagelo polar, e são cultivadas em meio nutriente-água contendo glicose ou sacarose, formando colônias amareladas de bordos lisos, convexas, brilhantes e circulares (BIANCHIN et al., 2005).

Essas bactérias apresentam metabolismo oxidante de glicose, hidrolisa amido, esculina, gelatina, caseína e Tween-80. Além de não reduzir nitrato à nitrito, não utilizar asparagina como única fonte de carbono e nitrogênio, são oxidase e urease negativa e catalase positiva, com temperatura ideal de crescimento de 27 °C (BIANCHINI et al., 2005; WENDLAND et al., 2016; WENDLAND et al., 2018).

O gênero *Xanthomonas* sp. sofreu mudanças na nomenclatura nos últimos 25 anos com base em técnicas moleculares fenotípicas e convencionais, mais recentemente, em sequenciamento do genoma completo (CONSTANTIN et al., 2016; TIMILSINA et al., 2019; CHEN et al., 2021).

Nas revisões da taxonomia, as estirpes fuscans e não fuscans foram agrupadas sob o nome de *Xanthomonas campestris* pv. *phaseoli* (DYE et al., 1980), posteriormente transferiu este patovar para a espécie *Xanthomonas axonopodis* como *X. axonopodis* pv. *phaseoli* (VAUTERIN et al., 1995).

A divergência molecular entre estirpes fuscans e não fuscans vem sendo relatada há muito tempo (BIRCH et al., 1997; CHAN; GOODWIN, 1999; LAZO et al., 1987), mas somente em 2005 uma distinção entre as duas cepas pela classificação taxonômica foi proposta.

As análises de reação em cadeia da polimerase de elementos repetitivos (rep-PCR) levaram à divisão de *X. axonopodis* em seis grupos, com estirpes fuscans pertencentes ao grupo 9.6, enquanto estirpes não fuscans pertenciam ao grupo 9.4 (RADEMAKER et al., 2005).

Schaad et al. (2005) usando uma combinação de reassociação DNA/DNA, sequências espaçadoras intergênicas e características fenotípicas, propôs realocar as estirpes fuscans em uma nova combinação de espécies-subespécies (*Xanthomonas fuscans* subsp. *fuscans*), enquanto as estirpes não fuscans conservaram o nome (*X. axonopodis* pv. *phaseoli*).

Pela reclassificação chegou à descrição de três linhagens genéticas, GL1, GL2 e GL3 (ALAVI et al., 2008; MHEDBI-HAJRI et al., 2013; MKANDAWIRE et al., 2004). Constantin et al. (2016) com base em uma análise polifásica, propuseram uma nova revisão filogenética da espécie que levou à realocação dos patovares existentes (*X. citri*, *X. phaseoli*, *X. euvesicatoria* e *X. axonopodis*). Onde as quatro linhagens bacterianas responsáveis pela CBC estão atualmente distribuídas em duas espécies dentro

do gênero *Xanthomonas*, sendo a linhagem GL1 correspondente a *X. phaseoli* pv. *phaseoli* (Xpp), enquanto as outras três linhagens (GL2, GL3 e *fuscans*) formam *X. citri* pv. *fuscans* (Xcf) (CHEN et al., 2021). Sendo dois grupos filogeneticamente distantes de estirpes que causam o crestamento bacteriano comum do feijão.

O crestamento bacteriano comum é uma das cinco principais doenças do feijão, ocasionando perdas de até 45 % na cultura nos estados de São Paulo, Rio de Janeiro, Minas Gerais, Paraná, Santa Catarina, Espírito Santo, Rio Grande do Sul e na região Centro Oeste, principalmente na safra das águas, período quente e úmido (BIANCHINI et al., 2005; WENDLAND et al., 2016; WENDLAND et al., 2018).

Phaseolus vulgaris é o principal hospedeiro de Xpp e Xcf, bem como sobrevive em plantas alternativas ou como epífitas (PAULA JUNIOR; ZAMBOLIM, 2006). Algumas plantas daninhas hospedeiras da bactéria são *Acalypha aloperoides*, *Ambrosia artemisifolia*, *Amaranthus* spp., *A. retroflexus*, *Chenopodium album*, *Cyperus rotundus*, *Physalis* sp., *Portulaca oleraceae*, *Sida rhombifolia*, *Ruellia tuberosa*, *Strophostyles helvola*, *Vicia sativa*, e *V. villosa* (PAULA JUNIOR; ZAMBOLIM, 2006).

Outros hospedeiros da bactéria são o *Phaseolus lathyroides*, *P. lunatus*, *P. acutifolius*, *P. aconitifolium*, *P. coccineus*, *Dolichos lablab*, *Lupinus polyphylus*, *Vigna mungo*, *V. radiata* e *V. umbellata* (BIANCHINI et al., 2005; WENDLAND et al., 2016; WENDLAND et al., 2018).

O aumento da incidência da doença nos últimos anos nas principais regiões produtoras de feijão do Brasil, está relacionada ao uso frequente de grãos infectadas (DÍAZ et al., 2001). É possível observar em plantas infectadas que as grãos obtidas são chochas e mal-formadas (SAETTLER, 2005).

A bactéria sobrevive de diferentes formas, em grãos de feijão, por períodos de 5 a 15 anos (MARQUES et al., 2005), podendo estar localizada internamente ou externamente, sem perder sua patogenicidade (BIANCHINI et al., 2005; PAULA JUNIOR; ZAMBOLIM, 2006; WENDLAND et al., 2018).

A semente além de ser o meio mais eficiente de disseminação e sobrevivência da bactéria, constitui fonte de inóculo primário e em condições de gerar novos focos de infecção (VALARINI; MENTEN, 1992; WENDLAND et al., 2016).

Segundo Wallen e Sutton (1965), o agente causal do CBC pode desenvolver-se rapidamente sob condições climáticas de alta umidade e temperatura ao

redor de 28 °C, necessitando de 0,5% de grãos contaminadas e/ou infectadas para iniciar uma nova epidemia.

A detecção da bactéria em grãos e inspeção de campos de produção pode ser dificultada, devido aos sintomas do crestamento bacteriano comum nas folhas serem expressos apenas acima de 5×10^6 UFC por 20 cm² de área foliar (SHEPPARD, 1983; WELLER; SAETTLER, 1980). Como alternativa, os métodos que utilizam técnicas de biologia molecular são incorporados à rotina de detecção de patógenos e ao controle de doenças transmissíveis por grãos (LOBO JUNIOR, 2009).

Em restos culturais sobrevive, na superfície do solo por até 180 dias, e em restos culturais incorporados ao solo, esse período não ultrapassa os 90 dias (BIANCHINI et al., 2005; WENDLAND et al., 2016; WENDLAND et al., 2018).

A disseminação secundária da bactéria ocorre através da água de chuva ou de irrigação por aspersão. Aproximadamente 10% da população epífita da bactéria presente na superfície aérea da planta é disseminadas por gotas de água (PAULA JUNIOR; ZAMBOLIM, 2006; WENDLAND et al., 2016; WENDLAND et al., 2018).

Os sintomas do crestamento bacteriano comum são bastante abrangentes, desenvolvendo-se em praticamente toda parte aérea da planta, afetando folhas, caules, vagens e grãos, além de ser indistinguíveis os sintomas de *Xcf* e *Xpp* (BIANCHINI et al., 2005; CHEN et al., 2021).

Os sintomas foliares, tem início com pequenas áreas encharcadas, tornando-se necróticas de tecido seco e quebradiço, circundado por um halo amarelo na borda e lesões circulares a irregulares nos folíolos (BIANCHINI et al., 2005; EMBRAPA, 2009; WENDLAND et al., 2018). As lesões, podem estar distribuídas no limbo foliar de maneira esparsa ou na parte marginal progredindo para o centro dos folíolos (BIANCHINI et al., 2005; WENDLAND et al., 2016; WENDLAND et al., 2018).

No caule, as lesões apresentam aspecto aquoso e deprimido, estas progridem para manchas avermelhados longitudinais, com rachaduras e exposição de exsudato bacteriano (WENDLAND et al., 2016; WENDLAND et al., 2018).

As vagens apresentam sintomas de manchas aquosas que progridem, apresentando incrustações amareladas, ou seja, exsudato bacteriano (EMBRAPA, 2009; WENDLAND et al., 2016; WENDLAND et al., 2018). As grãos infectadas podem apresentar um enrugamento, descoloração na região do hilo, manchas amarelas no

tegumento, germinação fraca e produzir plantas com má formação (EMBRAPA, 2009; DARRASSE et al., 2018)

A doença pode ser altamente destrutiva sob condições de longos períodos de clima quente e úmido, causando reduções no rendimento e na qualidade da semente (DARRASSE et al., 2018; WENDLAND et al., 2016; WENDLAND et al., 2018). Plantas desenvolvem os sintomas da doença após nove dias sob condições de temperatura de 28 °C, enquanto em plantas submetidas entre 20 a 16 °C, os primeiros sintomas da doença são observados aos 23 e 27 dias após a inoculação (WENDLAND et al., 2016; WENDLAND et al., 2018).

2.3 ANTRACNOSE

A antracnose em feijão, causada pelo fungo *Colletotrichum lindemuthianum* (teleomorfo *Glomerella cingulata* f. sp. *phaseoli*), é uma doença de importância significativa em regiões subtropicais e temperadas onde prevalecem condições frias e úmidas durante a época de cultivo (SHARMA et al., 2008; PADDER et al., 2017; MLEMBA, 2021).

A doença tem potencialmente um enorme impacto econômico no cultivo de feijão, sob temperaturas de 17° C, com umidade relativa de 92% pode reduzir a produção em até 100% (SHARMA et al., 2008; CAMPA et al., 2014; MLEMBA, 2021).

O processo de infecção começa quando o conídio de *C. lindemuthianum* pousa na folha, caule ou vagem do feijão, adere à cutícula da planta e germina (PELLIER et al., 2003; ALKEMADE et al., 2021).

Os conídios são disseminados por respingos de chuva e rapidamente se fixam nas partes aéreas de uma planta para infectá-la (ALKEMADE et al. 2021). Sob condições úmidas, o conídio germina e desenvolve apressório, essencial para a penetração das células epidérmicas (SHARMA; KULSHRESTHA, 2015).

Durante a interação inicial com *P. vulgaris*, o fungo vive como um biotrófico e obtém nutrientes de tecidos vegetais vivos por meio de estruturas de infecção especializadas, como apressório, vesículas e hifas primárias (CHETHANA et al., 2021).

Após 72 h de infecção, muda para a fase necrotrófica e produz hifas secundárias que penetram no tecido do hospedeiro para adquirir nutrientes essenciais, agrupando-se em uma categoria hemibiotrófica (MAHIYA-FAROOQ et al., 2019).

O patógeno afeta folhas, caules, vagens e grãos, causando lesões necróticas marrom-escuras ao longo das nervuras que diminuem a atividade fotossintética das folhas (MASUNGA et al., 2020). A fotossíntese reduzida resulta em senescência foliar, crescimento atrofiado do feijão e eventual morte (MASUNGA et al., 2020).

Os sintomas mais evidentes aparecem nas vagens de feijão como lesões marrom-ferrugem escuras que eventualmente se tornam afundadas, marrom-escuras com bordas marrons a avermelhadas (KADEGE et al., 2022). Em infecções graves, as vagens jovens murcham e secam prematuramente (MOHAMMED, 2013).

O uso de cultivares de resistentes como estratégia tem sido desafiador pelo aparecimento recorrente de novas raças virulentas de *C. lindemuthianum* (DEL RIO et al., 2003; PASTOR-CORRALES, 2004). Além disso, a extensa diversidade de virulência de *C. lindemuthianum* tem sido a principal limitação para o desenvolvimento de cultivares de feijão com resistência efetiva e durável a antracnose na Europa, América Central e América do Sul (GONZÁLEZ- CHAVIRA et al., 2004).

O feijão comum desenvolveu amplos mecanismos de resistência contra as inúmeras raças de *C. lindemuthianum*. Além dos genes relacionados à defesa (BORGES et al., 2012; MAHIYA-FAROOQ et al., 2019), existem cerca de 25 genes de resistência relatados contra a antracnose no feijão (BANOO et al., 2020). Esses genes tendem a residir em grupos que geralmente são designados como loci de resistência, em vez de genes (KELLY; VALLEJO, 2004; KELLY; BORNOWSKI, 2018). Esses loci gênicos estão presentes em sete cromossomos do feijão e alguns deles possuem alelos múltiplos (PADDER et al., 2017).

2.4 ANTRACNOSE

A mancha angular, causada pelo fungo *Pseudocercospora griseola*, é uma das principais doenças que afetam a cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris*), especialmente em regiões tropicais e subtropicais (SILVA et al., 2022). Esta doença pode causar perdas significativas na produção, que variam de 10% a 80%, dependendo da severidade e das condições climáticas (SANTOS; PINTO, 2023).

Os sintomas incluem lesões angulares, limitadas pelas nervuras foliares, de coloração inicial verde-escura que evoluem para tons marrom-acinzentados, podendo

apresentar necrose no centro da lesão. Essas manchas podem coalescer, levando à desfolha precoce e comprometendo a produtividade da planta (SILVA et al., 2022).

A disseminação da mancha angular é favorecida por condições de alta umidade e temperaturas moderadas a altas (entre 20°C e 28°C) (SILVA et al., 2022). O manejo eficaz da doença envolve uma combinação de práticas culturais, genéticas e químicas. O uso de cultivares resistentes é uma das estratégias mais eficientes, no entanto, a variabilidade genética de *P. griseola* tem dificultado o desenvolvimento de cultivares com resistência duradoura (SANTOS; PINTO, 2023).

Além disso, o controle químico com fungicidas é uma prática comum, porém, a resistência do patógeno a alguns grupos químicos tem sido relatada (SANTOS; PINTO, 2023). Produtos à base de estrobilurinas, triazóis e misturas com carboxamidas têm demonstrado eficácia no controle, mas seu uso contínuo pode levar à seleção de isolados resistentes. Assim, a integração de fungicidas com práticas de rotação de culturas, uso de sementes certificadas e manejo adequado de irrigação e densidade de plantio são recomendados (SANTOS; PINTO, 2023).

A indução de resistência através do uso de agentes biológicos, como *Bacillus subtilis* e *Trichoderma* spp., e indutores de resistência, como o ácido salicílico, também tem sido explorada como uma alternativa promissora no manejo sustentável da mancha angular (SILVA et al., 2022).

O monitoramento da doença e a implementação de estratégias de manejo integrado são essenciais para minimizar o impacto dessa doença na produção de feijão (SANTOS; PINTO, 2023).

2.5 CONTROLE DO CRESTAMENTO BACTERIANO COMUM, ANTRACNOSE E MANCHA-ANGULAR

As medidas de controle do crestamento bacteriano comum e antracnose na cultura do feijão estão baseadas no cultural, plantio de variedades resistentes, aplicação foliar de extratos vegetais, tratamento de grãos e o biológico. As práticas de manejo culturais realizadas são: o uso de grãos certificadas, a rotação de culturas com plantas não hospedeiras e a aração do solo (PAULA JÚNIOR; ZAMBOLIM, 2006).

A rotação de culturas com uso de gramíneas e ausência do plantio de feijão por um período de um ano, desfavorece a sobrevivência de *Xcf* e, aliado com incorporação dos restos culturais permite diminuir as fontes de inóculo para as safras posteriores (SARTORATO; RAVA, 1994).

O controle químico, através de aplicação de soluções à base de cobre, é restrito e de baixa eficiência, por se tratar de um patógeno vascular, a eficácia dos tratamentos foliares com cobre é limitada (SCHWARTZ et al., 2005). Em contrapartida, no Paraná, Bianchini et al (2005), evidenciaram a ineficácia de três produtos químicos à base de cobre, no controle da doença nas folhas e vagens e na redução da transmissão da bactéria por grãos.

O uso de variedades resistentes à doença tem sido dificultado, devido a bactéria apresentar diferenças na sua patogenicidade e virulência em localizações geográficas distintas (PAULA JÚNIOR; ZAMBOLIM, 2006; WENDLAND et al., 2016; WENDLAND et al., 2018).

Soluções alternativas para o controle da CBC foram relatadas, incluindo a aplicação de fertilizante foliar à base de manganês, com redução da doença em 47 % (VIECELLI et al., 2013). Controle biológico usando bactérias antagonistas como *Bacillus* spp., *Pseudomonas* sp., *Rahnella aquatilis*, ou *Rhodococcus fascians* (SALLAM, 2011; GIORGIO et al., 2016).

Para a antracnose a utilização de rizobactérias promotoras do crescimento vegetal (PGPR), tais como espécies de *Pseudomonas* e *Bacillus* (SHARF et al., 2021) e espécies de fungos como *Trichoderma* spp. (JAVOID et al., 2021; KHAN et al., 2021), *Penicillium* spp. e *Aspergillus* spp. (KHAN; JAVOID, 2022) são utilizadas no manejo.

A aplicação biológica de extratos de plantas como *Alchornea cordifolia*, *Azadirachta indica*, *Carica papaya*, *Cymbopogon citratus*, *Cymbopogon flexuosus*, *Lantana camara*, *Ocimum sanctum*, *Piper guineense*, *Piper nigrum*, *Tabernaemontana pachysiphon*, *Vernonia polyanthus* e *Xylopia aethiopica* em folhas e caules de feijão pode controlar a antracnose (ENYIUKWU et al., 2021). Bem como, indução de defesas do hospedeiro pelo aumento da produção de compostos fenólicos e atividade da peroxidase (SALLAM, 2011). Uso de óleos essenciais com propriedades antimicrobianas de calêndula (*Tagetes minuta*), ervilha azul (*Clitoria ternatea*), ginkgo

(*Ginkgo biloba*), gaultéria (*Gaultheria procumbens*), orégano (*Origanum vulgare*) e capim-limão (*Cymbopogon flexuosus*) erva cicreira (*L. alba* e *L. sidoides*) (VIGO et al., 2009; GAKUUBI et al., 2016; KELEMU et al., 2004; SATI, JOSHI, 2011; TODOROVIC et al., 2016).

Devido as dificuldades de controle das doenças, a utilização de métodos alternativos como o uso de agentes de biocontrole que induzam a resistência nas plantas, vem sendo pesquisados nos últimos anos, objetivando a minimizar a severidade das doenças e aumento da produção da cultura.

2.6 CONTROLE ALTERNATIVO E INDUÇÃO DE RESISTÊNCIA

Com o uso exaustivo de agrotóxicos ao longo dos anos, levou à seleção de populações de patógenos resistentes aos princípios ativos disponíveis comercialmente (WAARD et al., 1993; DEISING et al., 2008; LUCAS et al., 2015). Impulsionado por tal cenário, o estudo de medidas complementares e alternativas de manejo tem aumentado e conquistado espaço nos programas de manejo integrado (FONTANA et al., 2021).

A agricultura alternativa tem como base o controle alternativo de doenças em plantas, incluindo o controle biológico (O'BRIEN et al., 2017; KÖHL et al., 2019) e resistência induzida (WALTERS et al., 2005; LLORENS et al., 2017) em plantas.

O controle biológico é definido como a redução de microrganismos patogênicos realizada por um ou mais organismos (BONALDO et al., 2004). Segundo Medeiros et al (2018), os mecanismos de ação dos agentes de biocontrole de doenças de plantas são divididos em antibiose, competição, parasitismo, promoção de crescimento e indução de resistência.

Em Fitopatologia, assume-se que a resistência de plantas é a regra na natureza e que a suscetibilidade é a exceção (AGRIOS, 2005). As plantas se defendem do ataque de patógenos através da combinação de dois mecanismos, o primeiro é as características estruturais, atuando como barreiras físicas e inibindo a penetração e colonização pelo patógeno; a segunda as reações bioquímicas em células e tecidos do hospedeiro, com produção de substâncias que atuam como barreiras físicas ao patógeno (AGRIOS, 2005).

Dentre os agentes de biocontrole disponíveis, estão as bactérias do gênero *Bacillus* sp. e os fungos do gênero *Trichoderma*, que são frequentemente utilizados como indutores químicos bióticos para o controle de patógenos presentes no solo e na parte aérea das plantas (ROMEIRO; GARCIA, 2009; BARROS et al., 2010).

O gênero *Bacillus* sp. representa um grande grupo de bactérias Gram-positivas pertencentes ao filo Firmicutes, caracterizadas pela forma de bastonete (bacilos), capacidade de formar endósporos, teste positivo para a enzima catalase e possuem um metabolismo aeróbico ou anaeróbico facultativo (LOGAN et al., 2009).

Uma das características mais relevantes das espécies de *Bacillus* sp. são o metabolismo secundário diversificado e a capacidade de produzir uma ampla variedade de substâncias antagonistas com estruturas químicas distintas (FIRA et al., 2018). Além da produção de metabólitos secundários, as cepas de *B. amyloliquefaciens* apresentam bacteriocinas, peptídeos antimicrobianos, lipopeptídeos, policetídeos e sideróforos (CHEN et al., 2009; RÜCKERT et al., 2011; CHOWDHURY et al., 2015).

Espécies de *Bacillus* como *B. subtilis*, *B. amyloliquefaciens*, *B. cereus*, *B. licheniformis*, *B. megaterium*, *B. mycoides*, *B. sphaericus*, *B. mojavensis*, *B. pasteurii* e *B. pumilus* são produtores de moléculas de antibióticos e sua atividade inibitória contra patógenos de plantas por meio de antibiose é o mecanismo mais conhecido (BACON et al., 2015; CAWOY et al., 2011).

Isolados de *Bacillus* sp., testados apresentaram redução da severidade de diversas doenças, murcha bacteriana e cancro do tomate (*Clavibacter michiganensis* subsp. *michiganensis*); mancha foliar bacteriana (*Pectobacterium carotovorum* subsp. *carotovorum*); galha da coroa (*Agrobacterium tumefaciens*) (MORA et al., 2015); murcha de curtobacterium (*Curtobacterium flaccumfaciens* pv. *flaccumfaciens*) (LEÃO et al., 2018) e ferrugem do arroz (*Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae*) (BERIC et al., 2012).

O gênero *Trichoderma*, classificado dentro do filo Ascomycota é composto por fungos encontrados em solos de clima temperado e tropical (RESENDE et al., 2004). Pode sobreviver tanto de forma saprofítica quanto parasitando outros fungos (HARMAN et al., 2004).

Foram descritas 512 espécies pertencentes a esse gênero (INDEX FUNGORUM, 2023), caracterizadas por apresentarem crescimento rápido e capacidade de sobrevivência em diferentes condições ambientais (AL-SADI et al., 2015).

Os fungos do gênero *Trichoderma* sp. são amplamente encontrados em solos agrícolas em diferentes latitudes e podem ser facilmente cultivados *in vitro*, apresentando uma esporulação de cor esverdeada (BROTMAN et al., 2010; ZHANG et al., 2015).

As diferentes espécies de *Trichoderma* sp. podem colonizar a superfície das raízes das plantas, provocar mutações no metabolismo e favorecer o desenvolvimento radicular, o que resulta em uma melhor absorção de nutrientes e na indução da expressão de genes relacionados às respostas de defesa da planta contra patógenos (HERMOSA et al., 2000).

Segundo Keswani et al (2014), *Trichoderma* tem sido amplamente utilizado como agente de controle biológico em todo o mundo devido à sua atividade antimicrobiana contra uma ampla gama de fitopatógenos.

Estudos demonstram que isolados de *Trichoderma* sp. são capazes de induzir genes de defesa contra *Rhizoctonia solani*, podridão radicular de *Rhizoctonia*, importante doença do feijão (MAYO et al., 2015). Assim como Pedro et al (2012), relataram que *Trichoderma* sp. confere proteção sistêmica ao feijão contra a antracnose.

De acordo com Mayo et al (2015) e Pedro et al (2012), a capacidade do fungo pode ser atribuída aos diversos tipos de metabólitos secundários produzidos e várias estratégias têm sido testadas de modo a desenvolver formulações que facilitem a utilização do microrganismo.

Indutores químicos de resistência à base de acibenzolar (ester S-metil do ácido benzo-(1,2,3) -tiadiazole-7-carbotiônico, ASM) têm sido estudados como indutor químico contra bactérias fungos e vírus (RESENDE et al., 2002).

O ASM é de baixa toxicidade e sistêmico, rapidamente absorvido e translocado através das plantas, elicia a expressão de genes da SAR e de moléculas relacionadas à patogênese (proteínas-RP) ativadas pelo ácido salicílico (AS), além de mostrar-se efetivo na indução de resistência em dicotiledôneas e monocotiledôneas (OOSTENDORP et al., 2001).

Devido ao seu modo de ação, o desenvolvimento de patógenos resistentes não é esperado, podendo propiciar novas oportunidades para o manejo efetivo e sustentável de doenças em algumas culturas (GULLINO et al., 2000).

As defesas pelas características estruturais são conhecidas como mecanismos de defesa pré-formados; e as reações bioquímicas, como os mecanismos de defesa induzidos ou pós-formados (AGRIOS, 2005).

A resistência do hospedeiro a uma doença envolve a ativação dos mecanismos latentes e através de tratamentos externos, essa proteção dependente do intervalo de tempo entre o tratamento inicial e a subsequente inoculação do patógeno (AGRIOS, 2005). É um fenômeno sistêmico ou local, efetivo contra uma ampla gama de patógenos, incluindo bactérias, fungos ou vírus (SILVA, 2007; PASCHOLATI; DALIO, 2018).

A proteção induzida sinaliza mudanças específicas no metabolismo da planta, que envolvem a síntese e/ou acúmulo de substâncias, que são importantes no fenômeno da resistência induzida (BONALDO et al., 2005).

As plantas possuem mecanismos de defesa que envolvem a estrutura das plantas, como barreiras físicas para inibir a entrada e disseminação de patógenos; e reações bioquímicas, que resultam na produção de substâncias que são tóxicas para o patógeno (AGRIOS, 2005).

Os mecanismos estruturais envolvem a formação de tiloses, géis, gomas, reforço da parede celular e deposição de calose (GARCÉS-FIALLOS et al., 2017).

Os mecanismos bioquímicos incluem a ativação de genes de defesa da planta, acarretando no aumento da atividade enzimática e produção de compostos antimicrobianos, como por exemplo, compostos fenólicos, enxofre inorgânico e fitoalexinas entre outros (XUE et al., 2015; De QUADROS et al., 2019).

Quando plantas são previamente expostas a um elicitor, suas células e tecidos reagem mais rapidamente às tentativas de colonização do patógeno (ROMEIRO; GARCIA, 2009). Assim como as moléculas elicitoras, os padrões moleculares associados a microrganismos (MAMPs), a patógenos (PAMPs) ou a danos (DAMP) são reconhecidos por PRRs (receptores de reconhecimento de padrões) na membrana plasmática (MP) das células do hospedeiro (CONRATH, 2002).

De acordo com Shah et al (2014), diferentes rotas metabólicas podem ser ativadas dependendo do estímulo inicial da interação entre um elicitor e um receptor. Ocorrendo a ativação da rota via ácido salicílico (AS) em resposta à infecção por

patógenos biotróficos ou hemibiotróficos, enquanto que para patógenos necrotróficos são ativadas rotas dependentes de etileno (ET) ou ácido jasmônico (AJ) (THAKUR; SOHAL, 2013).

Vários agentes podem induzir a produção de sinais no vegetal, disparando reações que culminarão em proteção duradoura contra uma ampla gama de fitopatógenos (SOBRINHO et al., 2005).

Os agentes indutores químicos ou ativadores de resistência podem ser agentes químicos, extratos de plantas, metabólitos microbianos, microrganismos saprofíticos e patógenos de plantas entre outros (CAVALCANTI et al., 2005; SBALCHEIRO, 2006).

Os indutores químicos aumentam o nível de resistência da planta, sem alteração do genoma, por meio da ativação de genes que codificam diversas respostas de defesa, relacionadas à patogênese (PR protein), aumentando a atividade de enzimas antioxidantes e de defesa como a fenilalanina amônia-liase (FAL), lipoxigenases, peroxidases, quitinases e β -1,3-glucanases e compostos fenólicos (WIESEL et al., 2014).

A FAL é a primeira enzima da rota dos fenilpropanóides e suas altas atividades, induzidas por elicitores ou pelo ataque do patógeno, aumentam a síntese de compostos fenólicos, fitoalexinas e lignina nos tecidos do hospedeiro, como mais uma tentativa de conter o avanço do patógeno (WIESEL et al., 2014).

2.7 PROTEÍNAS RELACIONADAS À PATOGÊNESE

2.7.1 Proteínas solúveis totais (PT)

As proteínas-PR são enzimas que fazem parte das respostas de defesa natural da planta e acompanham a resposta induzida (EMBRAPA, 2008).

A resistência sistêmica adquirida está primariamente associada à expressão de genes que codificam proteínas relacionadas à patogênese, as PRP's (EMBRAPA, 2008).

As proteínas-PR foram classificadas inicialmente com base em características de proteínas vegetais, mas também observadas em plantas com ausência de patógenos, assim tornaram-se mais abrangentes, incluindo proteínas induzidas por

microrganismos ou pelo ataque de insetos e em tecidos com situação de estresse (VAN LOON et al., 2006).

2.7.2 Peroxidases (POD)

As peroxidases (POD) são classificadas como proteínas relacionadas a patogênese, pertencentes a família PR-9, atuando nas vias de sinalização relacionadas a diversos processos fisiológicos e na defesa de plantas (VAN LOON et al., 1999; PINTO et al., 2011).

A POD, desempenha papel importante na apresentação e polimerização do álcool hidroxicinâmico na presença de peróxido de hidrogênio, resultando na formação da lignina, que se acumula nas paredes celulares (STADNIK; BUCHENAUER, 2000). A lignina, juntamente a celulose e outros polissacarídeos, funciona como uma barreira à penetração de fungos (STADNIK; BUCHENAUER, 2000; PASCHOLATI, 2011).

As peroxidases são enzimas oxidativas, amplamente estudadas devido ao seu papel importante na defesa das plantas, especialmente na resposta a doenças causadas por patógenos (ARAUJO et al., 2009; KUHN, 2007).

Quando uma planta é atacada por um fitopatógeno, como um fungo, bactéria ou vírus, ocorrem várias respostas de defesa, uma das quais envolvem o aumento da atividade das peroxidases (KUHN, 2007). Essas enzimas estão envolvidas em reações de apresentação e execução, um papel fundamental na eliminação de composto produzido durante a interação planta-patógeno.

Plantas resistentes apresentam atividade de peroxidase mais elevada, em comparação com plantas suscetíveis, indicando o rápido reconhecimento da presença do microrganismo e da ativação de defesas eficazes contra o invasor (ARAUJO et al., 2013).

2.7.3 Fenilalanina amônia-liase (FAL)

A fenilalanina amônia-liase (FAL), é uma enzima chave para todas as vias de síntese de compostos fenólicos e está envolvida na resistência a pragas e patógenos (RAHMAN; PUNJA, 2005). A produção desta enzima ocorre durante o

crescimento vegetal ou induzida em células vizinhas a infecção por estímulos como ferimentos, luz e reguladores de crescimento (RAHMAN; PUNJA, 2005).

A FAL é uma enzima do metabolismo secundário mais estudada nas plantas, responsável pela desaminação da L-fenilalanina, transformando-a em amônia e ácido trans-cinâmico, que pode ser incorporado em diferentes compostos fenólicos, presentes na formação de ésteres, flavonóides, ligninas e coumarinas (SCHWAN-ESTRADA et al., 2008).

A atividade de FAL pode ser reguladora da biossíntese de fitoalexinas derivadas dos fenilpropanóides e induzida pela suplementação exógena de eliciadores como o ácido salicílico e o metil jasmonato (PASCHOLATI, 2011; YAO et al., 2005).

Ao contrário das polifenoloxidasas e peroxidases, a fenilalanina amônia-liase é uma enzima que atua sobre substrato específico e sua concentração é codificada por múltiplos genes, o que resulta em diferentes combinações de monômeros da enzima (DIXON; PAIVA, 1995; PASCHOLATI, 2011). Essa combinação específica dos monômeros depende do indutor presente no ambiente (DIXON; PAIVA, 1995).

2.7.4 Compostos fenólicos totais (CFT)

Os compostos fenólicos totais (CFT) abrange um extenso grupo de substâncias de anel aromático, contendo pelo menos uma hidroxila (STANGARLIN et al., 2011). Compostos fenólicos são conhecidos como substâncias fungitóxicas, antibacterianas e antiviróticas (LO et al., 2008).

O efeito inibitório de compostos fenólicos, envolvidos nos mecanismos bioquímicos e estruturais de resistência em plantas sobre os patógenos e produção de enzimas microbianas varia entre os grupos de fenóis (NICHOLSON, 1995).

Diversas substâncias fenólicas estão associadas à resistência a doenças como, ácido clorogênico, ácido protocatecóico, arbutina, catecol e floridizina (VIDHYASEKARAN, 1988). Incluindo os fenóis simples e outros glicosilados, ácidos fenol-carboxílicos, derivados dos ácidos benzóico e cinâmico, cumarinas e isocumarinas, ligninas, flavonóides, flavononas, antocianinas, catequinas e quinonas (SCHWAN-ESTRADA et al., 2008).

2.1 PATOMETRIA E SENSORIAMENTO REMOTO

Quantificar doenças na fitopatologia é um passo importante, podendo-se avaliar a magnitude de distintas doenças, eficiência de produtos, resistência varietal, proporcionar melhorias na antecipação de epidemias, possibilitar prevenção em vez de conter os danos (VALE et al., 2004).

A fitopatometria tem como objetivo analisar o desenvolvimento de curvas de progresso de doenças ou epidemias, definir o momento ideal de realizar aplicação de fungicidas, comparar a eficiência dos mesmos, estimar as perdas em decorrência da intensidade da doença, entre outras (AZEVEDO, 1997).

A quantificação de doenças de plantas é essencial para a correta interpretação de estudos de controle e epidemiologia (ALVES et al., 2012). A quantificação da severidade envolve um elevado número de amostras e lesões da doença, para facilitar algumas propostas são utilizadas, como o uso de escalas diagramáticas, chaves descritivas e análise de imagens computadorizadas (AMORIM; BERGAMIN FILHO, 2018).

As escalas diagramáticas consistem em ilustrações representativas de diferentes porcentagens ou níveis de severidade da doença em uma série de plantas ou de parte das mesmas com sintomas (AMORIM; BERGAMIN FILHO, 2018).

Nos últimos anos, aplicações de sensoriamento remoto estão sendo estudadas para detecção precoce das doenças em plantas, disponibilizando uma alternativa automática e objetiva para a avaliação de doenças visuais em plantas (MAHLEIN et al., 2012; PSIROFONIA et al., 2017).

Dados de sensoriamento remoto não destrutivos permitem a medição de parâmetros biofísicos e bioquímicos de plantas para monitoramento do crescimento e desenvolvimento das plantas (LU et al., 2015; SANKARAN et al., 2012).

Esses métodos são baseados nas propriedades ópticas das plantas e podem ser usados para identificar deficiências de nutrientes, doenças das plantas, estresse hídrico e excesso de água, danos por insetos, ervas daninhas, etc. (HABOUDANE et al., 2004).

Estudos a respeito de técnicas de processamento de imagens e sensoriamento remoto vem sendo desenvolvidos para o auxílio no monitoramento de diversas doenças, como a ferrugem asiática da soja (SILVA et al., 2009a), mofo branco

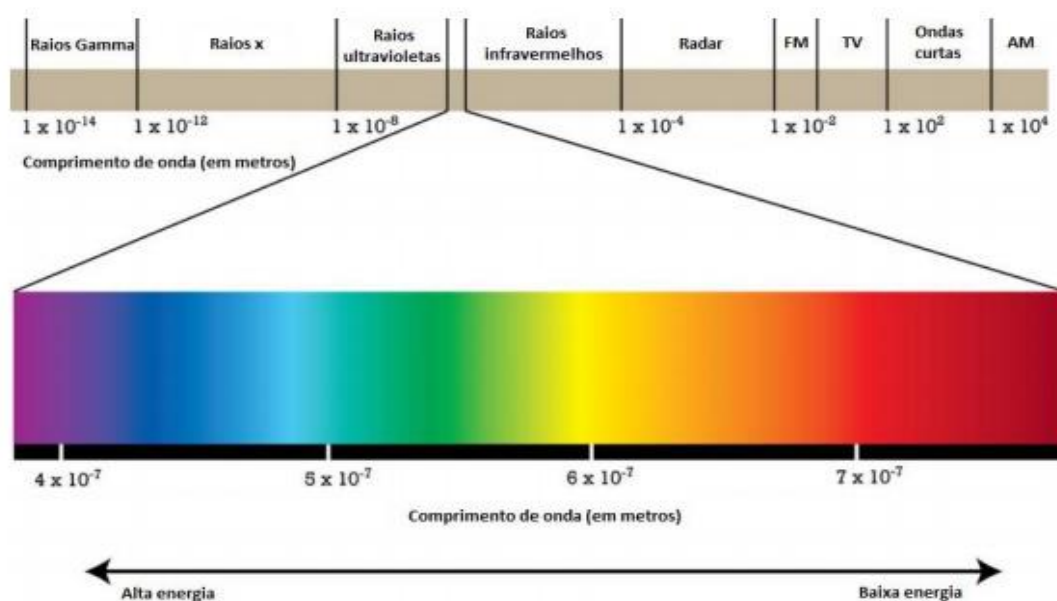
em feijão (BOECHAT et al., 2014), *Rhizoctonia solani* (WEBB; CALDERÓN, 2015), *Cercospora* sp. (DHAU et al., 2017), entre outras.

No monitoramento de cultivos são utilizados os índices de vegetação, que consistem em combinações de dados espectrais provenientes de bandas (MOREIRA, 2000). Um dos índices de vegetação amplamente utilizado é o Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) desenvolvido por Rouse et al (1974).

O NDVI é fundamentado no contraste entre a absorção máxima no vermelho por pigmentos de clorofila e na reflexão máxima no infravermelho apresentada pela estrutura celular da folha (HABOUDANE et al., 2004).

A partir das regiões do espectro luminoso pode-se calcular e obter a variação de índices de vegetação. Estas são determinadas em regiões infravermelho (IR), regiões do visível (VIS) e infravermelho próximo (NIR) (DUTRA, 2014) (Figura 1).

Figura 1 - Espectro eletromagnético representando regiões infravermelho (IR), regiões do visível (VIS) e infravermelho próximo (NIR).



Por meio da utilização de informações de comprimentos de onda é possível especificar padrões de plantas, como a área foliar, teor de água e de pigmentos (GITELSON et al., 2002).

Utilizar combinações de comprimentos de ondas por meio de sensores pode ser uma ferramenta para detectar índices espectrais de doenças, visto que a assinatura espectral de cada doença é influenciada de uma maneira característica (MAHLEIN et al., 2013).

A refletância da planta se dá em função da sua morfologia e constituição interna, considerando a celulose, solutos, pigmentos dentro do cloroplasto, espaços intercelulares (MOREIRA, 2011), com conteúdo de água, condições de sombreamento, senescência (GAUSMAN, 1985; PONZONI, 2001), características dielétricas ou térmicas das plantas (BARET, 2007).

Folhas sadias de maneira geral demonstram baixa refletância na região espectral visível (400-700nm) e na região de infravermelho curto (1.200-2.400 nm), enquanto que apresenta alta refletância na região do infravermelho próximo (700-1.200 nm). Com a presença de doenças as propriedades ópticas das folhas são afetadas, o que possibilita detectar e quantificar doenças com base em medidas de espectro com distintas combinações de comprimentos de onda (WEST et al., 2003).

Os radiômetros de múltiplo espectro demonstram uma boa correlação com o índice de área foliar na faixa de onda próxima ao infravermelho (JULIATTI et al., 2004). O índice de área foliar é afetado por agentes bióticos ou abióticos, dentre eles, as doenças (NUTTER, 1989; NUTTER et al., 1996).

A estimação de doença com o uso da radiação refletida com sensores dispostos entorno de 1 a 1,5 m de distâncias acima do dossel, tem demonstrando eficácia na quantificação de doenças de feijão (CANTERI et al., 1998), soja (SILVA et al., 2009b) e amendoim (NUTTER, 1989).

3 ARTIGO A: INDUÇÃO DE RESISTÊNCIA À *Xanthomonas citri* pv. *fuscans* EM CULTIVARES DE FEIJÃO DE AGENTES BIOLÓGICOS E INDUTORES QUÍMICOS QUÍMICOS

RESUMO

Crestamento bacteriano comum (CBC), causado por *Xanthomonas citri* pv. *fuscans* (Xcf) é a principal doença bacteriana do feijão, demandando estratégias eficientes para seu controle. Este estudo avaliou a capacidade de agentes biológicos e indutores químicos em produzir resistência contra Xcf e seu efeito nos componentes de produção em dois cultivares de feijão (IPR Campos Gerais e IPR Tangará). Os agentes biológicos testados foram *Bacillus amyloliquefaciens* e *Trichoderma harzianum*; e indutores químicos: ácido cítrico, enxofre, salicilato de metila P.A. e silicato de potássio; aplicados nos modos de TS; TS+V3; V3 e TS+V3+R5. Plantas tratadas com acibenzolar-S-metil (ASM) foram utilizadas como controle. As plantas foram inoculadas com Xcf pelo método de microferimentos nos folíolos no estágio fenológico V4. Foram avaliados a severidade da doença, compostos químicos: proteínas solúveis totais (PT), peroxidase (POD), fenilalanina amônia-liase (FAL), compostos fenólicos totais (CFT) e componentes da produção. Todos os produtos utilizados reduziram a severidade de CBC. Entretanto, *T. harzianum*, enxofre (TS+V3 e V3), *B. amyloliquefaciens* e ácido cítrico (V3) foram superiores ao ASM na redução da severidade, em IPR Campos Gerais. Em IPR Tangará, *T. harzianum* (TS, V3 e TS+V3+R5), *B. amyloliquefaciens*, ácido cítrico (TS+V3+R5) reduziram a severidade da doença em relação ao ASM. A atividade de compostos químicos nas plantas aumentou após a inoculação com Xcf, em 1DAI e 2DAI, nos tecidos dos cultivares. A aplicação de *B. amyloliquefaciens*, ácido cítrico e enxofre aumentaram a atividade de PT; *B. amyloliquefaciens*, ácido cítrico, *T. harzianum* e enxofre de POD; *B. amyloliquefaciens*, ácido cítrico e *T. harzianum* de FAL; e enxofre de CFT nos tecidos das plantas de IPR Campos Gerais. Para IPR Tangará, a aplicação de ácido cítrico, *T. harzianum*, enxofre e ASM aumentou a atividade de PT; *B. amyloliquefaciens* e enxofre de POD; *B. amyloliquefaciens* de FAL; ácido cítrico e *T. harzianum* de CFT nos tecidos das plantas. Os componentes de produção foram afetados, com ênfase em peso de 1000 grãos corrigido 13% (PMG) e produtividade final, principalmente em IPR Campos Gerais, evidenciando a complexa interação entre a doença e os componentes de rendimento. O *B. amyloliquefaciens*, *T. harzianum*, ácido cítrico e enxofre, quando aplicados em diferentes modos, oferecem proteção eficaz e reduzem a severidade do CBC. Essas descobertas evidenciaram diferentes estratégias para o manejo do crestamento bacteriano comum em cultivos de feijão.

Palavras-chave: *Phaseolus vulgaris* L., *Bacillus amyloliquefaciens*, *Trichoderma harzianum*, peroxidase, compostos fenólicos.

ABSTRACT

Common bacterial blight (CBC), caused by *Xanthomonas citri* pv. *fuscans* (Xcf), is the primary bacterial disease affecting beans and requires efficient control strategies. This study assessed the ability of biological agents and inducers to produce resistance against Xcf and their impact on production components in two bean cultivars (IPR Campos Gerais and IPR Tangará). The tested biological agents were *Bacillus amyloliquefaciens* and *Trichoderma harzianum*, and the inducers included citric acid, sulfur, methyl salicylate, and potassium silicate. These were applied using the following methods: seed treatment (ST); seed treatment + V3 (ST+V3); V3; and seed treatment + V3 + R5 (ST+V3+R5). Plants treated with acibenzolar-S-methyl (ASM) were used as a control. Plants were inoculated with Xcf using the micro-injury method on leaflets at the V4 growth stage. Disease severity, chemical compounds such as total soluble proteins (PT), peroxidase (POD), phenylalanine ammonia-lyase (FAL), total phenolic compounds (CFT), and production components were evaluated. All products tested reduced Xcf severity. However, *T. harzianum*, sulfur (ST+V3 and V3), *B. amyloliquefaciens*, and citric acid (V3) were more effective than ASM in reducing severity in IPR Campos Gerais. In IPR Tangará, **T. harzianum* (ST, V3 and ST+V3+R5), *B. amyloliquefaciens*, and citric acid (TS+V3+R5) also reduced disease severity compared to ASM. The activity of chemical compounds in the plants increased after inoculation with Xcf, at 1 and 2 days after inoculation (DAI), in the tissues of both cultivars. Application of *B. amyloliquefaciens*, citric acid, and sulfur enhanced PT activity; *B. amyloliquefaciens*, citric acid, *T. harzianum*, and sulfur increased POD activity; *B. amyloliquefaciens*, citric acid, and *T. harzianum* elevated FAL activity; and sulfur boosted CFT in the tissues of IPR Campos Gerais plants. For IPR Tangará, citric acid, *T. harzianum*, sulfur, and ASM increased PT activity; *B. amyloliquefaciens* and sulfur enhanced POD activity; *B. amyloliquefaciens* increased FAL activity; and citric acid and *T. harzianum* raised CFT activity in the plant tissues. Production components were affected, particularly the 1000-grain weight (PMG), which was corrected by 13%, and final productivity, especially in IPR Campos Gerais, highlighting the complex interaction between the disease and yield components. *B. amyloliquefaciens*, *T. harzianum*, citric acid, and sulfur, when applied in different methods, provide effective protection and reduce the severity of CBC. These findings highlight various strategies for managing common bacterial blight in bean crops.

Keywords: *Phaseolus vulgaris* L., *Bacillus amyloliquefaciens*, *Trichoderma harzianum*, peroxidase, phenolic compounds.

3.1 INTRODUÇÃO

Xanthomonas citri pv. *fuscans* (Xcf) e *Xanthomonas phaseoli* pv. *phaseoli* (Xpp) são agentes causadores do cretamento bacteriano comum (CBC) no feijão, resultando em perdas significativas de produtividade (CHEN et al., 2021). A espécie Xcf é espécie mais severa, podendo causar perdas de até 45%, principalmente em condições chuvosas (SCHAAD et al. 2006; ALAVI et al. 2008; TORRES et al., 2009; SILVA et al., 2020).

Os sintomas iniciais do CBC incluem lesões verde escuras nas folhas, evoluindo para lesões marrons com bordas cloróticas, conferindo aspecto necrótico ao tecido foliar (MAHUKU et al., 2006; CHEN et al., 2021). O manejo tradicional do CBC envolve práticas como uso de grãos livres da bactéria, cultivo de variedades tolerantes, rotação de culturas e tratamentos químicos, geralmente à base de compostos de cobre (DARRASSE et al., 2007).

Porém, essas estratégias nem sempre são eficazes, sendo o desafio encontrar um método de manejo que aumente a eficácia do controle do CBC.

Agentes como extratos vegetais, leveduras, *Bacillus* spp. e *Trichoderma* spp. têm sido usados com sucesso para controlar diversas doenças de plantas, funcionando também como potenciais indutores químicos de resistência, ativando os sistemas de defesa das plantas (BETTIOL et al., 2001; MURPHY et al., 2000; ROMEIRO; GARCIA, 2009; VIJAYABHARATHI et al., 2018; NAGENDRAN et al., 2014). *Trichoderma harzianum* ativa mecanismos de defesa, como a produção de fitoalexinas e modulação hormonal, enquanto *Bacillus amyloliquefaciens* induz resistência sistêmica, aumentando a produção de fitoalexinas e enzimas antioxidantes (HARMAN et al., 2004; FAN et al., 2011; RYU et al., 2003).

Substâncias como ácido cítrico (presente em frutos cítricos) fortalecem a parede celular, ativam genes de defesa e aumentam a produção de antioxidantes (DUTT et al., 2019; SINGH; SHARMA, 2015), enquanto o enxofre desempenha papel crucial na síntese de compostos, como os glucosinolatos, contribuindo para resistência e resposta antioxidante das plantas (ZHANG et al., 2011; BLOEM et al., 2005).

A ativação de mecanismos de defesa, como indução de enzimas antioxidantes, pode ser amplificada por agentes externos, como o indutor acibenzolar-S-metil (ASM), sem alterar o genoma da planta (NANDAKUMAR et al., 2001; CAMPOS et al., 2003; BUZI et al., 2004; CAVALCANTI et al., 2005; KOURELIS et al., 2018; DE KESEL et al., 2021).

Este estudo visa contribuir com estratégias sustentáveis no manejo do CBC, fornecendo perspectivas sobre o potencial desses produtos como ferramentas promissoras na promoção da resistência nas plantas. Com base no exposto, o objetivo do estudo foi determinar a capacidade de agentes biológicos e indutores químicos em

produzir resistência a *Xanthomonas citri* pv. *fuscans* e seu efeito sobre os componentes de produção de duas cultivares de feijão.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

Grãos das cultivares de feijão IPR Campo Gerais e IPR Tangará foram semeadas em casa de vegetação e as plantas mantidas a uma temperatura de 26 ± 2 °C.

O experimento seguiu um delineamento de blocos casualizados em esquema fatorial $2 \times 6 \times 4 + 2$, com quatro repetições. O primeiro fator consistiu em duas cultivares de feijão: IPR Campo Gerais e IPR Tangará. O segundo abrangeu os agentes biológicos: *Bacillus amyloliquefaciens* cepa BUMAF6614 (Veraneio[®], 150 g 100 kg⁻¹) e *Trichoderma harzianum* cepa ESALQ1306 (Trichodermil[®], 1,0 L); e os indutores químicos enxofre (Kumulus[®], 300 g 100 L⁻¹), ácido cítrico (BioAce[®], 200 mL 100 L⁻¹), salicilato de metila P.A. e silicato de potássio (Sifol[®], 0,7 L 100 L⁻¹).

O terceiro fator consistiu em quatro modos de aplicação dos agentes biológicos e indutores químicos de resistência: tratamento de semente (TS); tratamento de semente + pulverização foliar no estágio fenológico V3 (TS+V3); apenas pulverização foliar em V3 (V3) e tratamento de semente + pulverização foliar no estágio fenológico V3 e R5 (TS+V3+R5). Além disso, plantas tratadas com o indutor de resistência Acibenzolar-S-metil (ASM) foram incluídas como testemunhas para comparação, aplicado na dose de 25 g ha⁻¹.

Para realizar o tratamento de grãos, as grãos foram imersas em uma solução contendo cada agente biológico ou indutor, conforme as instruções do fabricante. Posteriormente, as grãos foram colocadas na superfície de uma bancada por 20 minutos para secagem.

O plantio das grãos, foi realizado em vasos de 4 litros contendo uma mistura de terra e areia grossa (2:1), acrescido de adubo químico (NPK) nas proporções de 30 kg ha⁻¹ de nitrogênio, 105 kg ha⁻¹ de fósforo e 60 kg ha⁻¹ de potássio. Cada vaso recebeu quatro grãos, e após a germinação, foram mantidas duas plantas mais vigorosas.

Para realizar as pulverizações foliares as plantas em estágio trifoliolado (V3) foram pulverizadas com a suspensão de cada agente biológico ou indutor, com auxílio de borrifador manual.

3.2.1 Inoculação com *Xcf*

O isolado de *Xanthomonas citri* pv. *fuscans* (1216 *Xcf*) foi utilizado para inoculação nos folíolos trifoliados das plantas. O isolado foi cultivado em placas de Petri contendo meio de cultura NSA (Nutriente-sacarose-ágar), para obtenção da suspensão bacteriana que foi ajustada na densidade óptica de 0,2 a 600 nm, equivalente a aproximadamente 10^8 UFC mL.

As plantas em estágio trifoliolado (V4) foram inoculadas nos folíolos centrais, pelo método de microferimentos com agulhas múltiplas (SILVA et al., 2009). O método consiste na pressão dos folíolos sob um conjunto de agulhas e uma esponja umedecida com a suspensão bacteriana.

Após a inoculação, as plantas foram mantidas em casa de vegetação com temperatura controlada (26 ± 2 °C), até a conclusão das avaliações.

Durante o desenvolvimento da cultura, as plantas foram fertilizadas semanalmente com 100 ml de solução nutritiva (FORTUNATO et al., 2015) e fertilizante foliar à base de sais solúveis Yogen (nº 5). As regas foram realizadas conforme a necessidade hídrica das plantas.

3.3 AVALIAÇÕES

3.3.1 Severidade de CBC

As avaliações da severidade do CBC foram realizadas com auxílio de escala de notas, de acordo com Maringoni et al. (1993), aos 12, 15 e 18 dias após a inoculação.

Os dados foram submetidos à análise de variância, e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). A normalidade dos erros e a homogeneidade das variâncias foram testadas por Shapiro-Wilk e Bartlett, respectivamente.

As testemunhas foram comparadas pelo teste de Dunnett a 5% de significância. Todas as análises foram realizadas com o auxílio do software R usando o pacote AgroR (SHIMIZU et al., 2022).

3.3.2 Quantificação de Compostos Químicos na Folha

Para identificar compostos induzidos nas plantas, foram coletados tecidos foliares para determinar a atividade de proteínas solúveis totais (PT), peroxidase (POD), fenilalanina amônia-liase (FAL) e compostos fenólicos totais (CFT). Coletas foram realizadas em plantas submetidas aos modos de tratamento de semente (TS) e tratamento de semente + pulverização V3 (TS+V3) com *Bacillus amyloliquefaciens*, *Trichoderma harzianum*, enxofre, ácido cítrico e ASM.

As coletas foram realizadas antes do tratamento foliar (A. Trat.), um dia após o tratamento foliar em V3 (1 DAT), um dia após a inoculação da bactéria *Xcf* (1 DAI), e dois dias após a inoculação de *Xcf* (2 DAI).

O processamento das amostras coletadas envolveu pesagem, maceração em nitrogênio líquido, e obtenção do extrato enzimático (PEIXOTO et al., 1999).

A determinação do teor de PT foi realizada pelo método de Bradford (1976) com comprimento de onda de 630 nm. A atividade de POD foi determinada pela metodologia proposta por Lusso e Pascholati (1999) a 470 nm (UAbs min⁻¹ mg⁻¹ proteína). A atividade da FAL foi determinada pela quantificação colorimétrica do ácido transcinâmico liberado do substrato fenilalanina, a 290 nm (UAbs min⁻¹ mg⁻¹ proteína).

O CFT foi determinado a partir de folhas secas em estufa a 45 °C, trituras e processadas para obtenção do extrato etanólico. A leitura de absorbância da solução foi mensurada a 760 nm expressos em mg de equivalente de ácido gálico (GAE) por 100 g de peso seco (SINGLETON et al., 1999).

A análise dos dados seguiu testes de homocedasticidade e normalidade, com comparação de médias pelo teste de Tukey (p<0,05) utilizando o software SISVAR (FERREIRA, 2014). Transformações foram aplicadas usando a raiz quadrada ($x + 0,5$).

3.3.3 Componentes da Produção

Após a maturidade fisiológica, foi realizada a colheita e avaliados os componentes de produção, sendo o número de vagens (NV), número de grãos por planta (NSP), número de grãos chochos (NSC), peso de 1000 grãos corrigido a 13 % (PMG) e produtividade em kg ha⁻¹.

Os dados foram submetidos aos testes de homocedasticidade e normalidade para verificação dos pressupostos da análise paramétrica e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$), utilizando o software SISVAR. Foi realizada correlação de Pearson entre AACPD (área abaixo da curva do progresso da doença) e os componentes de produção, para verificar possível efeito da doença sobre o número de vagens, número de grãos chochos, número de grãos por planta, peso de 1000 grãos corrigido a 13% e produtividade em kg ha^{-1} .

3.4 RESULTADOS

Uma redução da severidade da doença nos cultivares IPR Campos gerais e IPR Tangará para os diferentes agentes biológicos e os indutores químicos utilizados, foram verificadas (Tabela 1).

Nos modos de aplicação tratamento de semente + pulverização foliar em V3 (TS+V3) e pulverização foliar (V3), o cultivar IPR Campos gerais apresentou redução da severidade da doença, quando tratadas com os produtos à base de *Trichoderma harzianum* (TS+V3 e V3); enxofre (TS+V3 e V3); *Bacillus amyloliquefaciens* e ácido cítrico (V3) (Tabela 1).

Para o cultivar IPR Tangará, *T. harzianum* reduziu a severidade da doença quando utilizado via TS (11,2%); V3 (11,6%) e TS+V3+R5 (12,7%), bem como *B. amyloliquefaciens* (12,4 %) e ácido cítrico (13,1%) que também demonstraram redução significativa da doença no modo de aplicação TS+V3+R5 (Tabela 1).

No modo de aplicação TS+V3, não houve diferença entre os diferentes agentes biológicos e indutores químicos utilizados, em comparação com ASM (13,0%) e controle inoculado (15,5%) (Tabela 1).

Tabela 1 – Severidade de crestamento bacteriano comum, ocasionado por *Xanthomonas citri* pv. *fuscans*, após aplicação de agentes biológicos e indutores químicos de resistência sob diferentes modos em cultivares de feijão.

Cultivares de feijão	Agentes	Modos de aplicação			
		TS	TS+V3	V3	TS+V3+R5
IPR Campos Gerais	<i>B. amyloliquefaciens</i>	12,5 A ¹ c ²	14,8 AB b	12,4 B c	17,2 A a
	Ácido cítrico	14,6 A ab	16,1 A a	13,9 B b	15,9 A a
	Salicilato de metila	13,7 A b	13,5 BC b	15,3 A ab	16,6 A a

	<i>T. harzianum</i>	12,8 A b	11,3 C b	12,8 B b	14,9 A a
	Silicato de Potássio	14,3 A ab	14,8 AB ab	13,4 AB b	16,2 A a
	Enxofre	12,4 A b	12,0 C b	12,9 B b	15,7 A a
	ASM	14,0			
	Test. Inoculada	18,1			
IPR Tangará	<i>B. amyloliquefaciens</i>	12,2 BC ¹ a ²	12,5 A a	12,0 AB a	12,4 B a
	Ácido cítrico	12,7 ABC a	12,8 A a	13,4 AB a	13,1 B a
	Salicilato de metila	13,8 AB b	14,5 A ab	12,5 AB b	16,1 A a
	<i>T. harzianum</i>	11,2 C a	12,2 A a	11,6 B a	12,7 B a
	Silicato de Potássio	14,6 A a	14,2 A a	14,2 A a	14,2 AB a
	Enxofre	12,0 BC b	12,9 A ab	12,9 AB ab	14,2 AB a
	ASM	13,0			
	Test. Inoculada	15,5			
	C.V.:%: 8,42				

¹ Médias seguidas de letras distintas maiúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade. ² Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05). (TS) tratamento de semente; (TS+V3) tratamento de semente + pulverização foliar em V3; (V3) pulverização foliar em V3; (TS+V3+R5) tratamento de semente com pulverização foliar em V3 e R5; (ASM) acibenzolar-S-metil; (C.V.) coeficiente de variação.

Ao analisar os agentes biológicos e indutores químicos nos diferentes modos de aplicação, foram observadas variações entre as cultivares de feijão (Tabela 1).

Na cultivar IPR Campos Gerais, o uso de *B. amyloliquefaciens* via TS e V3 resultou em redução significativa da severidade da doença (12,5 e 12,4%, respectivamente), em comparação com os modos TS+V3 (14,8%) e TS+V3+R5 (17,2%) (Tabela 1).

Para ácido cítrico, a aplicação em V3 exibiu a maior redução na severidade da doença (13,9%), superando os modos TS+V3 (16,1%) e TS+V3+R5 (15,9%) (Tabela 1).

O salicilato de metila demonstrou redução da severidade nos modos de aplicações TS+V3 (13,5%) e TS (13,7%) em comparação com TS+V3+R5 (16,6%) (Tabela 1).

Para *T. harzianum* e enxofre, quando utilizados em TS+V3 (11,3 e 12,0%); TS (12,8 e 12,4%) e V3 (12,8 e 12,9%), demonstraram redução da severidade de CBC em comparação a TS+V3+R5 (14,9 e 15,7%) (Tabela 1).

O silicato de potássio reduziu a severidade de CBC, quando utilizado em V3 (13,4%) em comparação ao tratamento TS+V3+R5 (16,2%) (Tabela 1).

Na cultivar IPR Tangará, o salicilato de metila em V3 (12,5%) e TS (13,8%) reduziu a severidade da doença em relação ao TS+V3+R5 (16,1%) (Tabela 1).

O enxofre, utilizado no modo de aplicação de TS (12%) promoveu uma redução da severidade da doença, diferenciando-se do modo TS+V3+R5 (14,2%) (Tabela 1).

De modo geral, tanto na cultivar IPR Campos Gerais quanto na IPR Tangará, os agentes de biocontrole *T. harzianum*, *B. amyloliquefaciens*, ácido cítrico e enxofre reduziram a severidade da doença em comparação aos demais agentes biológicos, indutores químicos e a ASM.

Os diferentes modos de aplicações, como tratamento de semente (TS) e pulverização em V3 e a combinação de tratamentos (TS+V3+R5), foram eficazes na redução da severidade da doença para ambas as cultivares.

3.4.1 Quantificação de Compostos Químicos na Folha

Os diferentes produtos demonstraram induzir a atividade de compostos associados à resposta de defesa nas cultivares de feijão inoculados com *Xanthomonas citri* pv. *fuscans*, indicando a presença do efeito indutor como mecanismo de ação desses agentes na proteção das plantas (Figura 2 e 5).

Nos tecidos foliares coletados da cultivar IPR Campos Gerais e IPR Tangará, observou-se um aumento no teor de proteínas solúveis totais (PT) aos 1DAI e 2DAI após a inoculação com *Xcf* (Figura 2).

Para a cultivar IPR Campos Gerais, os tecidos coletados aos 1DAI e tratados via TS com ácido cítrico ($3,15 \text{ mg}^{-1} \text{ g}^{-1}$ tecido) e enxofre ($3,30 \text{ mg}^{-1} \text{ g}^{-1}$ tecido), assim como enxofre via TS+V3 ($2,68 \text{ mg}^{-1} \text{ g}^{-1}$ tecido) e ASM ($2,75 \text{ mg}^{-1} \text{ g}^{-1}$ tecido), induziram os maiores teores de PT (Figura 2).

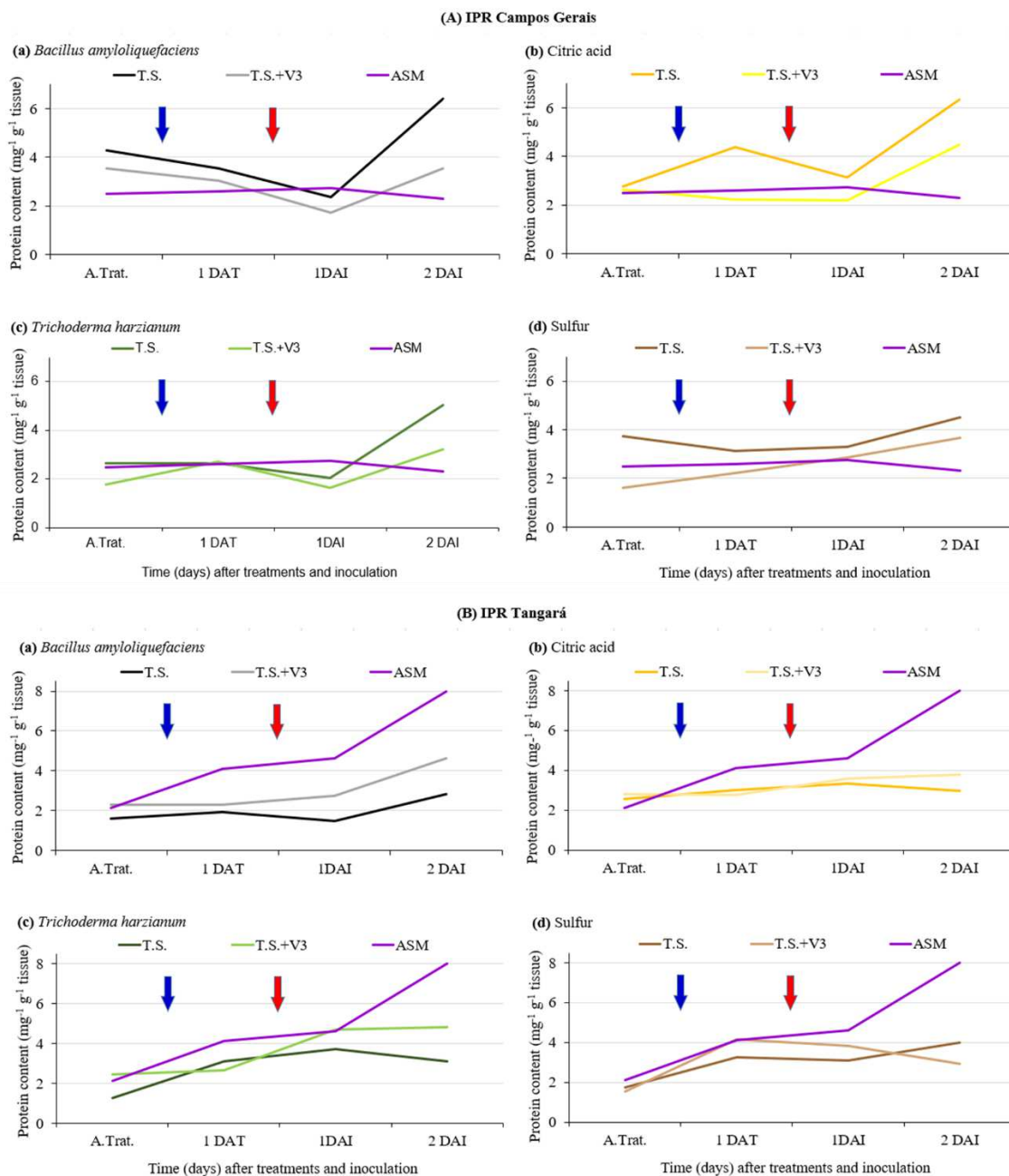
Para 2DAI, os maiores teores de PT foram verificados para as plantas tratadas via TS com *B. amyloliquefaciens* ($6,42 \text{ mg}^{-1} \text{ g}^{-1}$ tecido) e ácido cítrico ($6,33 \text{ mg}^{-1} \text{ g}^{-1}$ tecido) (Figura 2).

Para a cultivar IPR Tangará, não foram observadas diferenças significativas nos teores de PT entre os tratamentos antes do tratamento foliar (A.Trat), um dia antes da pulverização foliar (1DAT) e um dia após a inoculação com *Xcf* (1DAI) (Figura 2).

Variações nos teores de PT foram observadas aos 2DAI, sendo que o maior teor foi observado nas plantas tratadas com ASM ($2,86 \text{ mg}^{-1} \text{ g}^{-1}$ tecido) e plantas tratadas via TS+V3 com *B. amyloliquefaciens* ($4,63 \text{ mg}^{-1} \text{ g}^{-1}$ tecido), ácido cítrico ($3,79 \text{ mg}^{-1} \text{ g}^{-1}$ tecido), *T. harzianum* ($4,80 \text{ mg}^{-1} \text{ g}^{-1}$ tecido) e enxofre ($3,98 \text{ mg}^{-1} \text{ g}^{-1}$ tecido) (Figura 2).

O contrário ocorreu para as plantas tratadas via TS com *B. amyloliquefaciens* ($2,85 \text{ mg}^{-1} \text{ g}^{-1}$ tecido), ácido cítrico ($2,69 \text{ mg}^{-1} \text{ g}^{-1}$ tecido) e *T. harzianum* ($3,10 \text{ mg}^{-1} \text{ g}^{-1}$ tecido), bem como o enxofre ($2,92 \text{ mg}^{-1} \text{ g}^{-1}$ tecido) via TS+V3 (Figura 2).

Figura 2 - Teor de proteínas solúveis totais (PT), expresso em $\text{mg}^{-1} \text{ g}^{-1}$ tecido, em tecidos foliares das cultivares de feijão IPR Campo Gerais e IPR Tangará, tratadas com diferentes produtos biológicos e indutores químicos.



TS: tratamento de semente; TS+V3: tratamento de semente + pulverização foliar em estágio fenológico V3. ASM: acibenzolar-S-metílico (Bion®); A.Trat.: antes do tratamento foliar; 1DAT: 1 dia antes do tratamento foliar; 1DAI: 1 dia após a inoculação e 2DAI: 2 dias após a inoculação com *Xanthomonas citri* pv. *fuscans*. Seta azul: momento da aplicação foliar; Seta vermelha: momento da inoculação. Fonte: Puia (2024)

A atividade de peroxidase (POD) aumentou nos tecidos das plantas tratadas com os agentes biológicos e indutores químicos em ambos cultivares, no entanto, o efeito só foi desencadeando após a inoculação com a bactéria (Figura 3).

Na cultivar IPR Campos Gerais, um dia após a inoculação com *Xcf* (1DAI), os maiores teores de POD foram verificados nas plantas tratadas com *T. harzianum* (2,20 UAbs $\text{mg}^{-1} \text{mg}^{-1}$ proteína) e enxofre (1,60 UAbs $\text{mg}^{-1} \text{mg}^{-1}$ proteína) por TS+V3, bem como para ASM (Figura 3).

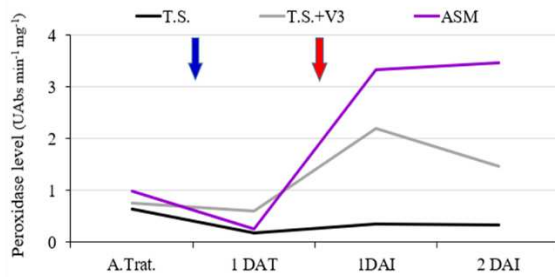
Os menores teores de POD em 1DAI foram observados para *B. amyloliquefaciens*, ácido cítrico, *T. harzianum* e enxofre, do qual permaneceram constantes até 2DAI (Figura 3).

Na cultivar IPR Tangará, um dia após a inoculação (1DAI), a atividade de POD foi maior nas plantas tratadas via TS com *B. amyloliquefaciens* (1,94 UAbs $\text{mg}^{-1} \text{mg}^{-1}$ proteína), ácido cítrico (3,30 UAbs $\text{mg}^{-1} \text{mg}^{-1}$ proteína) e ASM (2,17 UAbs $\text{mg}^{-1} \text{mg}^{-1}$ proteína), em relação aos demais produtos (Figura 3). Aos 2DAI, não foi possível verificar diferença entre os tratamentos quanto à atividade de POD (Figura 3).

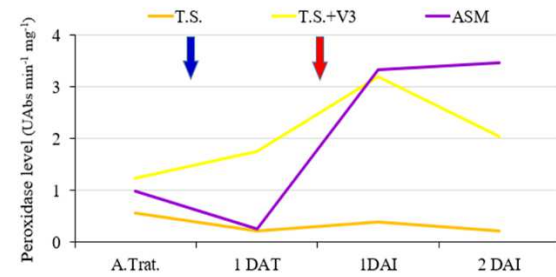
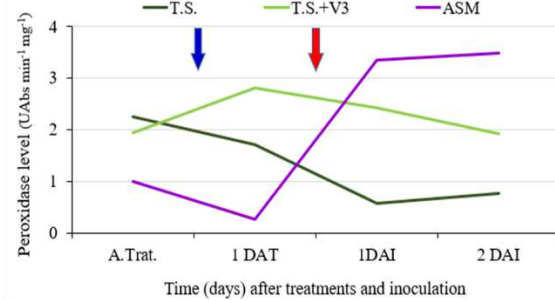
A atividade de peroxidase aumentou nos tecidos das plantas tratadas com *B. amyloliquefaciens*, ácido cítrico e *T. harzianum*, em ambos cultivares, após a inoculação com a bactéria, indicando a ocorrência de sinalização (*priming*). Nesse contexto, a peroxidase só é produzida pelas plantas durante a resposta de defesa ao ataque de *Xcf*, desempenhando um papel crucial de proteção vegetal.

Figura 3 - Teor de peroxidase (POD), expresso UAbs $\text{mg}^{-1} \text{mg}^{-1}$ proteína, em tecidos foliares das cultivares IPR Campo Gerais e IPR Tangará, tratadas com diferentes produtos biológicos e indutores químicos.

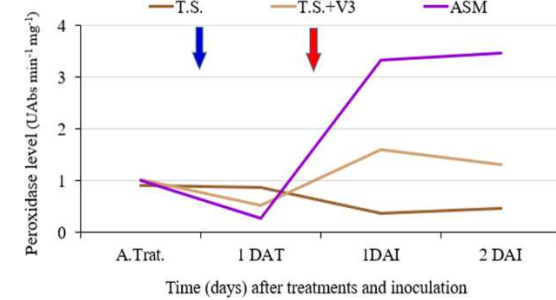
(A) IPR Campos Gerais

(a) *Bacillus amyloliquefaciens*

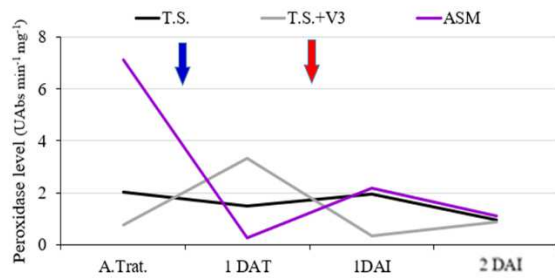
(b) Citric acid

(c) *Trichoderma harzianum*

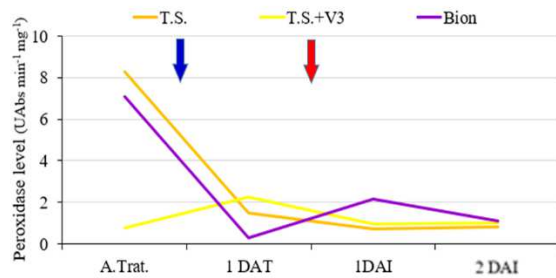
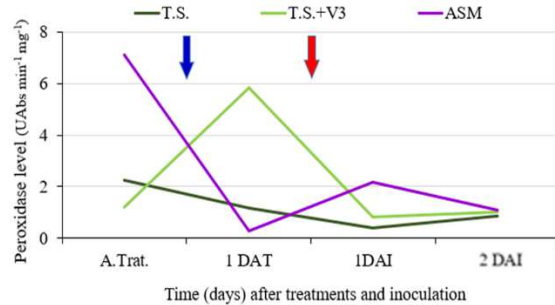
(d) Sulfur



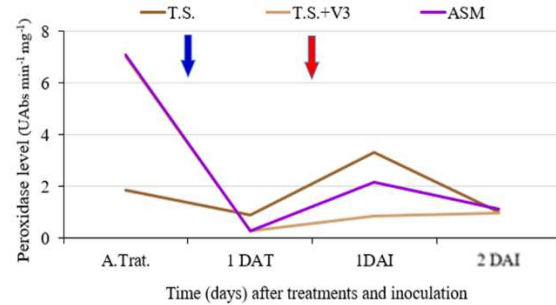
(B) IPR Tangará

(a) *Bacillus amyloliquefaciens*

(b) Citric acid

(c) *Trichoderma harzianum*

(d) Sulfur



TS: tratamento de semente; TS+V3: tratamento de semente + pulverização foliar em estágio fenológico V3. ASM: acibenzolar-S-metílico (Bion®); A.Trat.: antes do tratamento foliar; 1DAT: 1 dia antes do tratamento foliar; 1DAI: 1 dia após a inoculação e 2DAI: 2 dias após a inoculação com *Xanthomonas citri* pv. *fuscans*; Seta azul: momento da aplicação foliar; Seta vermelha: momento da inoculação. Fonte: Puia (2024)

A atividade da fenilalanina amônia-liase (FAL) aumentou em ambas as cultivares após a inoculação com a bactéria (1DAI e 2DAI), indicando um aumento na resistência (Figura 4).

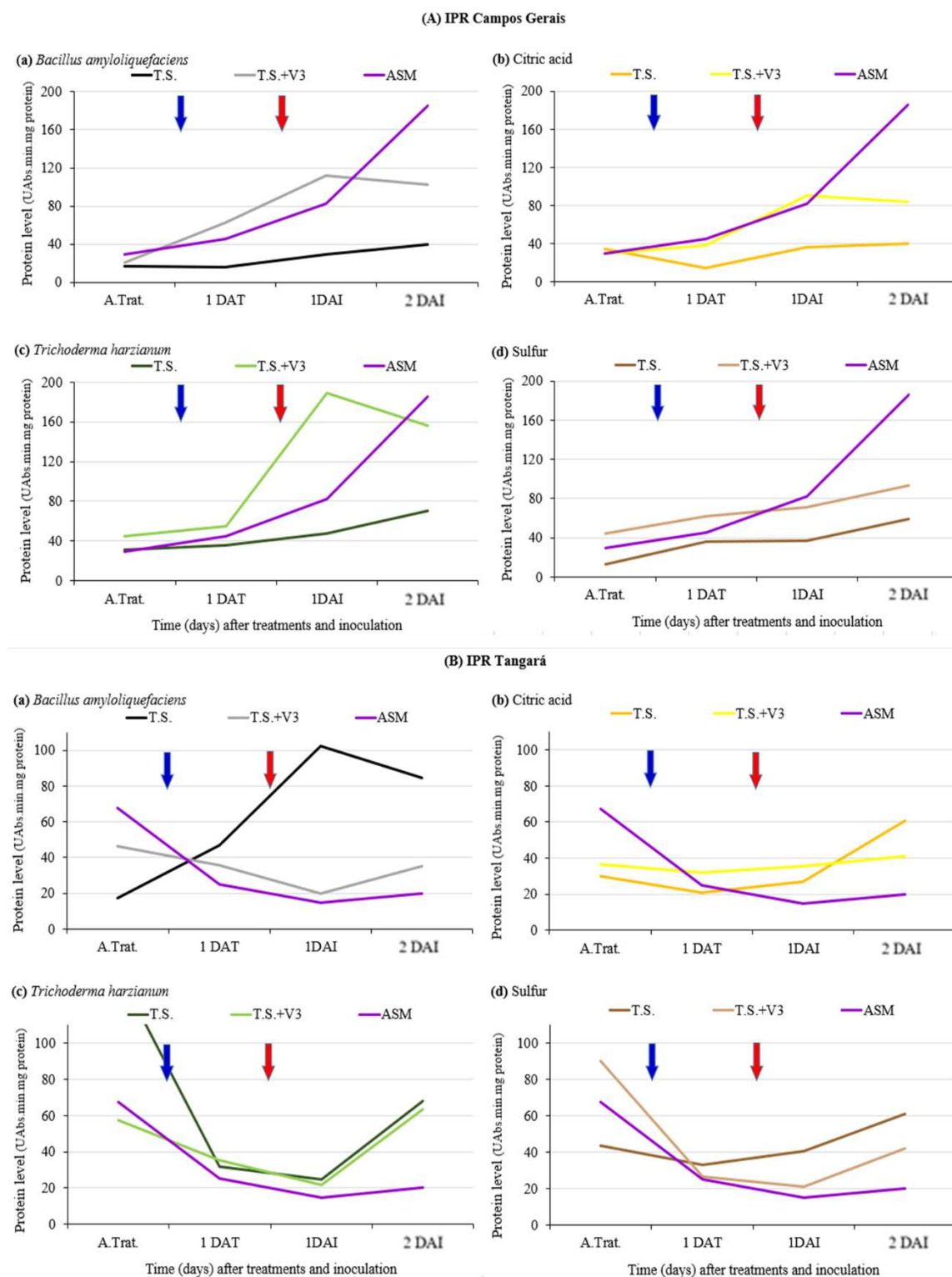
Na cultivar IPR Campos Gerais, observou-se que plantas tratadas via TS+V3 com *T. harzianum* exibiram menor suscetibilidade, apresentando um aumento contínuo na atividade de FAL até 2DAI (Figura 4).

Aumentos significativos nos níveis de FAL também foram observados em plantas tratadas via TS com *B. amyloliquefaciens* (112,15 UAbs mg⁻¹ mg⁻¹ proteína), ácido cítrico (90,67 UAbs mg⁻¹ mg⁻¹ proteína) e ASM (82,01 UAbs mg⁻¹ mg⁻¹ proteína) (Figura 4).

Para a cultivar IPR Tangará, o aumento da atividade de FAL em 1DAI em plantas tratadas via TS com *B. amyloliquefaciens* (102,42 UAbs mg⁻¹ mg⁻¹ proteína), em relação com os outros produtos testados (Figura 4).

Não foram observadas diferenças significativas nos níveis de FAL entre os tratamentos em 1DAT e 2DAI (Figura 4).

Figura 4 - Teor de fenilalanina amônia-liase (FAL), expresso UAbs mg⁻¹ mg⁻¹ proteína, em tecidos foliares das cultivares IPR Campos Gerais e IPR Tangará, tratadas com diferentes produtos biológicos e indutores químicos.



TS: tratamento de semente; TS+V3: tratamento de semente + pulverização foliar em estágio fenológico V3. ASM: acibenzolar-S-metílico (Bion®); A.Trat.: antes do tratamento foliar; 1DAT: 1 dia antes do tratamento

foliar; 1DAI: 1 dia após a inoculação e 2DAI: 2 dias após a inoculação com *Xanthomonas citri* pv. *fuscans*; Seta azul: momento da aplicação foliar; Seta vermelha: momento da inoculação. Fonte: Puia (2024)

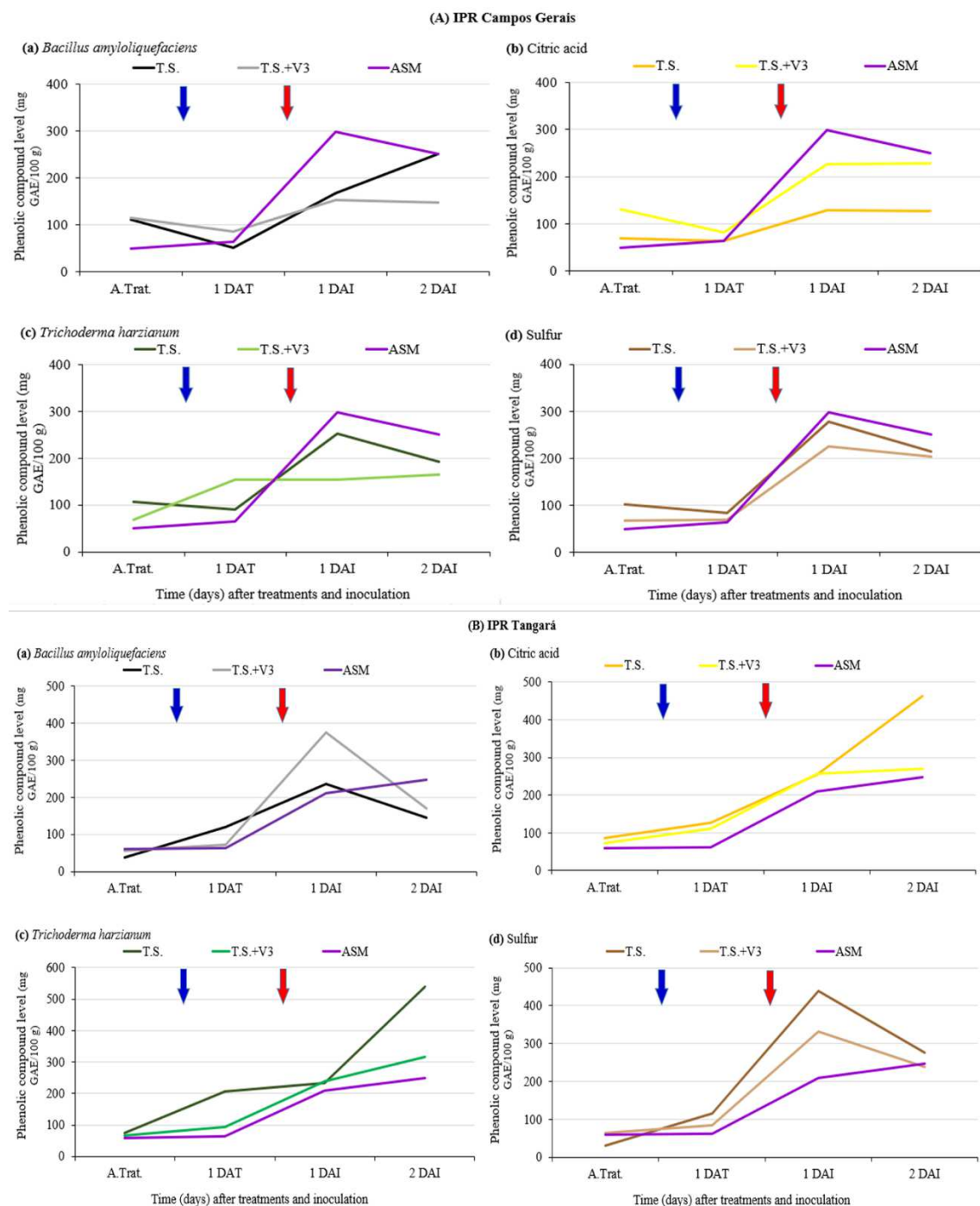
O aumento no teor de compostos fenólicos totais (CFT) em plantas tratadas com produtos biológicos e indutores químicos foi evidente após a inoculação com a bactéria *Xcf* (1DAI e 2DAI) em ambas cultivares, indicando uma resposta rápida à infecção pelo acúmulo de CFT nos tecidos (Figura 5).

Após a inoculação (1DAI), plantas tratadas via TS com enxofre (277,30 mg GAE/ 100 g) e ASM (298,62 mg GAE/ 100 g), induziram um aumento nos níveis de CFT (Figura 5). Também foram observados no TS em plantas tratadas com *T. harzianum* (252,45 mg GAE/ 100 g); em TS+V3 nas tratadas com ácido cítrico (225,56 mg GAE/ 100 g) e enxofre (226,08 mg GAE/ 100 g) (Figura 5).

Aos 2DAI, plantas tratadas via TS com *B. amyloliquefaciens* (251,17 mg GAE/ 100 g), enxofre (214,77 mg GAE/ 100 g) e *T. harzianum* (193,10 mg GAE/ 100 g) tiveram incremento da quantidade de CFT; assim como TS+V3 com ácido cítrico (228,18 mg GAE/ 100 g), enxofre (203,08 mg GAE/ 100 g) e ASM (250,60 mg GAE/ 100 g) exibiram aumento nos níveis de CFT (Figura 5).

Os níveis de CFT na cultivar IPR Tangará variam significativamente após 2DAI. As plantas tratadas via TS com *T. harzianum* (539,47 mg GAE/ 100 g) e ácido cítrico (461,27 mg GAE/ 100 g) exibiram aumento nos níveis de CFT, diferenciando-se dos demais modos de aplicações e produtos utilizados nessa cultivar (Figura 5). Os menores teores de CFT foram observados nas plantas tratadas via TS e TS+V3 com *B. amyloliquefaciens* (144,98 e 169,79 mg GAE/ 100 g) (Figura 5).

Figura 5 - Teor de compostos fenólicos (CFT), expresso em mg GAE/ 100 g, em tecidos foliares das cultivares IPR Campos Gerais e IPR Tangará, tratadas com diferentes produtos biológicos e indutores químicos.



TS: tratamento de semente; TS+V3: tratamento de semente + pulverização foliar em estágio fenológico V3. ASM: acibenzolar-S-metílico (Bion®); A.Trat.: antes do tratamento foliar; 1DAT: 1 dia antes do tratamento foliar; 1DAI: 1 dia após a inoculação e 2DAI: 2 dias após a inoculação com *Xanthomonas citri* pv. *fusca*; Seta azul: momento da aplicação foliar; Seta vermelha: momento da inoculação. Fonte: Puia (2024)

Quanto aos compostos fenólicos totais, após a inoculação com a bactéria (2DAI), observou-se aumento significativo da concentração de CFT nos tecidos das plantas. Na cultivar IPR Campos Gerais, os maiores teores foram registrados nas plantas tratadas com ASM, *B. amyloliquefaciens* e *T. harzianum*. Já na cultivar IPR Tangará, os maiores teores foram observados nos tratamentos com ácido cítrico e *T. harzianum*.

3.4.2 Componentes de produção

As variáveis número de vagens (NV), número de grãos chochos (NSC), número de grãos por planta (NSP), peso de 1000 grãos (PMG) e produtividade em kg ha⁻¹, apresentaram diferenças entre as cultivares, modo de aplicação, produtos biológicos e indutores químicos utilizados (Tabelas 2 e 3).

Verificou-se que as plantas da cultivar IPR Campos Gerais, tratadas via TS+V3 com *B. amyloliquefaciens*, demonstraram maior NV, NSP, PMG, produtividade e menor NSC (Tabelas 2 e 3).

As plantas tratadas com *B. amyloliquefaciens* (TS), ácido cítrico (TS, TS+V3 e V3), salicilato de metila (TS e TS+V3), *T. harzianum* (TS+V3 e V3), silicato de potássio (V3 e TS + V3 + R5), enxofre (TS, TS+V3 e TS + V3 + R5) e testemunha inoculada, exibiram os menores NSP, PMG e produtividade; bem como os maiores NV e NSC (Tabelas 2 e 3).

Para IPR Tangará, observou-se que as plantas tratadas com *B. amyloliquefaciens*, silicato de potássio, ASM (TS); ácido cítrico, salicilato de metila (TS+V3+R5) enxofre (TS e TS+V3), exibiram os maiores valores de NV, NSP, PMG e produtividade, quando comparados a ácido cítrico (TS+V3) (Tabela 2 e 3).

Os demais modos de aplicação dos produtos biológicos, indutores químicos e ASM, proporcionaram níveis intermediários quanto aos componentes de produção avaliados (Tabelas 2 e 3).

O rendimento total de grãos (kg ha⁻¹) é a característica economicamente mais expressiva e, por consequência, a que mais reflete a variação entre os tratamentos.

A maior produtividade para IPR Campos Gerais foi verificada para as plantas tratadas com *B. amyloliquefaciens* (TS+V3, V3 e TS+V3+R5); *T. harzianum* (TS e TS+V3+R5); salicilato de metila (f V3 e TS+V3+R5); silicato de potássio (TS e TS+V3); enxofre (V3); ácido cítrico (TS+V3+R5); ASM (6546,5 kg ha⁻¹) e testemunha absoluta (6352,7 kg ha⁻¹) (Tabela 3).

Quanto a produtividade no IPR Tangará, plantas tratadas com silicato de potássio (TS, V3 e TS+V3+R5); *B. amyloliquefaciens*, salicilato de metila e enxofre (TS e TS+V3+R5); *T. harzianum* (V3 e TS+V3+R5); ASM (6945,7 kg ha⁻¹) e testemunha absoluta (6362,0 kg ha⁻¹) foram superiores aos demais tratamentos (Tabela 3).

Houve correlação fraca e marginalmente significativa ($r = -0,17$; $p = 0,07$) entre AACPD (área abaixo da curva do progresso da doença) e PMG, indicando que o aumento da severidade da doença reduz o peso de 1000 grãos na cultivar IPR Campos gerais.

Para IPR Tangará, houve correlação fraca e marginalmente significativa para os fatores número de grãos chochos (NSC) ($r = -0,17$; $p = 0,07$), peso de grãos 13% ($r = -0,16$; $p = 0,09$) e produtividade ($r = -0,17$; $p = 0,07$). Indicando que o quanto maior a severidade da doença mais as variáveis de número de grãos chochos, peso de 1000 grãos e produtividade foram reduzidos.

Tabela 2 - Número de vagens (NV), número de grãos por planta (NSP) e número de grãos chochos (NSC) tratadas com diferentes produtos de biocontrole, das cultivares de feijão IPR Campos Gerais e IPR Tangará, em casa de vegetação.

Cultivares de feijão	Produtos	NV				NSP				NSC			
		TS	TS+V3	V3	TS+V3+R5	TS	TS+V3	V3	TS+V3+R5	TS	TS+V3	V3	TS+V3+R5
IPR Campos Gerais	<i>B. amyloliquefaciens</i>	24,8 a ¹	25,8 a	25,0 a	28,5 a	144,5 a	137,8 a	144,3 a	158,0 a	16,8 b	22,8 a	7,5 b	11,3 b
	Ácido cítrico	28,5 a	26,5 a	22,0 b	25,8 a	152,3 a	124,3 a	125,8 a	149,5 a	20,5 a	29,0 a	12,0 b	23,8 a
	Salicilato de metila	23,5 a	21,3 b	28,3 a	29,3 a	127,8 a	114,0 a	159,8 a	160,0 a	25,8 a	14,5 b	22,3 a	34,8 a
	<i>T. harzianum</i>	25,8 a	26,0 a	25,3 a	27,3 a	162,8 a	143,8 a	149,0 a	149,0 a	7,3 b	18,0 b	20,3 a	18,3 b
	Silicato de Potássio	27,5 a	29,0 a	23,8 a	25,3 a	164,5 a	146,8 a	125,0 a	134,3 a	18,0 b	28,3 a	26,3 a	16,3 b
	Enxofre	22,3 b	29,0 a	27,3 a	22,3 b	141,8 a	154,0 a	153,0 a	123,3 a	17,0 b	29,8 a	13,8 b	9,3 b
	ASM	18,8 b				140,0 a				14,0 b			
	Test. Inoculada	12,3 c				101,8 a				25,8 a			
	Test. H ₂ O	17,5 b				125,5 a				15,0 b			
	C.V.%:	18,6	p-valor 0,00			9,5	p-valor 0,00			33,5	p-valor 0,00		
IPR Tangará	<i>B. amyloliquefaciens</i>	21,8 a ¹	17,8 b	16,3 b	18,3 b	114,0 a	115,3 a	90,3 b	93,3 b	10,3 b	10,5 b	3,5 d	18,3 a
	Ácido cítrico	21,0 a	16,5 b	18,0 b	22,3 a	121,0 a	92,3 b	92,5 b	113,0 a	7,5 c	2,8 d	8,3 c	10,5 b
	Salicilato de metila	19,5 a	16,0 b	18,5 b	19,3 a	130,0 a	95,0 b	95,3 b	113,3 a	10,0 b	5,3 c	5,8 c	7,0 c
	<i>T. harzianum</i>	16,3 b	21,0 a	17,3 b	17,8 b	86,5 b	97,0 b	106,0 a	106,0 a	5,0 c	5,0 c	6,8 c	13,3 b
	Silicato de Potássio	19,3 a	19,5 a	17,5 b	19,3 a	110,0 a	120,3 a	114,0 a	89,5 b	5,0 c	2,8 d	4,8 c	21,0 a
	Enxofre	22,0 a	19,5 a	16,8 b	20,8 a	133,0 a	113,0 a	85,3 b	103,3 b	20,0 a	5,0 c	6,3 c	19,5 a
	ASM	22,0 a				120,3 a				13,3 b			
	Test. Inoculada	16,0 b				117,5 a				20,5 a			
	Test. H ₂ O	19,8 a				111,0 a				15,0 b			
	C.V.%:	8,1	p-valor 0,00			9,9	p-valor 0,00			15,8	p-valor 0,00		

¹ Médias seguidas de mesma letra minúscula não diferem entre si, de acordo com o teste de Tukey a 5% de significância. (C.V.) coeficiente de variação.

Tabela 3 - Peso de 1000 grãos corrigido 13% (PMG) e produtividade (kg ha⁻¹) de plantas tratadas com diferentes produtos de biocontrole, das cultivares de feijão IPR Campos Gerais e IPR Tangará, em casa de vegetação.

Cultivares de feijão	Produtos	PMG				Kg ha ⁻¹			
		TS	TS+V3	V3	TS+V3+R5	TS	TS+V3	V3	TS+V3+R5
IPR Campos Gerais	<i>B. amyloliquefaciens</i>	221,4 b ¹	249,9 a	228,3 b	229,4 b	6151,8 b	6251,3 a	6298,2 a	6404,3 a
	Ácido cítrico	203,4 b	242,4 b	212,7 b	232,6 b	6103,2 b	5784,1 b	5877,2 b	6246,1 a
	Salicilato de metila	221,3 b	214,8 b	233,1 b	242,7 b	5737,9 b	5718,3 b	6529,3 a	6593,5 a
	<i>T. harzianum</i>	222,6 b	232,4 b	232,2 b	265,7 a	6404,8 a	6053,7 b	6054,1 b	6622,8 a
	Silicato de Potássio	221,5 b	227,3 b	231,7 b	218,0 b	6404,8 a	6286,1 a	5878,2 b	5881,8 b
	Enxofre	229,0 b	241,9 b	278,0 a	229,3 b	6022,6 b	6176,3 b	7051,0 a	5930,4 b
	ASM	288,5 a				6546,5 a			
	Test. Inoculada	225,6 b				5741,0 b			
	Test. H ₂ O	266,7 a				6352,7 a			
	C.V.%:	9,8	p-valor 0,00			7,1	p-valor 0,00		
IPR Tangará	<i>B. amyloliquefaciens</i>	279,7 a ¹	239,6 b	257,9 b	266,3 b	6368,4 a	5858,0 b	5819,0 b	6011,7 a
	Ácido cítrico	227,8 b	246,5 b	249,0 b	314,5 a	5909,4 b	5705,4 b	5703,1 b	6330,8 a
	Salicilato de metila	250,3 b	248,6 b	263,1 b	291,3 a	5991,1 a	5675,8 b	5922,0 b	6062,6 a
	<i>T. harzianum</i>	235,1 b	274,3 a	292,9 a	278,8 a	6163,4 b	6402,2 a	6221,9 a	6068,8 a
	Silicato de Potássio	280,8 a	276,3 a	283,5 a	263,2 b	6163,4 a	6183,5 a	6152,2 a	6038,9 a
	Enxofre	286,0 a	284,0 a	257,9 b	280,0 a	6459,5 a	6236,0 a	5497,6 b	5965,4 a
	ASM	291,9 a				6945,7 a			
	Test. Inoculada	247,6 b				5203,6 b			
	Test. H ₂ O	280,7 a				6362,0 a			
	C.V.%:	10,8	p-valor 0,00			6,8	p-valor 0,00		

¹ Médias seguidas de mesma letra minúscula não diferem entre si, de acordo com o teste de Tukey a 5% de significância. (C.V.) coeficiente de variação.

3.5 DISCUSSÃO

No contexto da agricultura moderna, a busca por estratégias sustentáveis e eficazes para o manejo de doenças em cultivos tem impulsionado a pesquisa, entre as abordagens promissoras, o uso de agentes indutores químicos de resistência tem ganhado destaque como uma alternativa inovadora. Neste estudo, exploramos o potencial de quatro agentes específicos *Trichoderma harzianum*, *Bacillus amyloliquefaciens*, ácido cítrico e enxofre, como exemplos de indutores químicos de resistência em plantas a *Xanthomonas citri* pv. *fuscans*.

O *B. amyloliquefaciens*, demonstrou eficácia na promoção da resistência sistêmica em plantas tratadas em nosso estudo, ativando vias de sinalização que desencadeiam respostas de defesa, incluindo a produção de fitoalexinas, proteínas de resistência e o aumento da atividade enzimática antioxidante (FIRA et al., 2018; AFZAL et al., 2019).

O gênero *Bacillus* spp., representa uma parcela significativa dos microrganismos benéficos amplamente empregados na agricultura, com cerca da metade dos biofungicidas bacterianos disponíveis comercialmente (ABD EL-DAIM et al., 2019).

O uso de diferentes espécies de *Bacillus*, incluindo *B. amyloliquefaciens*, *B. subtilis* e *B. pumilus*, têm sido reconhecidas por sua atividade antimicrobiana contra fitopatógenos e investigados quanto ao controle de diversas doenças (GUO et al., 2014; RAJPAL, 2022).

O desempenho positivo de *T. harzianum* corrobora com Broetto (2017), analisando isolados de *Trichoderma* spp. no manejo de *Xanthomonas axonopodis* pv. *phaseoli*, onde obteve redução da severidade do cretamento bacteriano comum de 24,78 a 80,58%, sendo que, o isolado de *T. harzianum* apresentou a maior redução (80,58%).

A associação de *Trichoderma* com o sistema radicular e parte aérea da planta leva a uma melhor absorção de nutrientes e água e fornece proteção contra organismos patogênicos (HARMAN, 2000; BENÍTEZ et al. 2004; CONTRERAS-CORNEJO et al., 2015).

Investigando o efeito de isolados de *Trichoderma* spp. sobre *Colletotrichum gloeosporioides*, Martins (2006), concluiu que isolados de *Trichoderma* spp. aplicados simultaneamente, proporcionam uma redução da doença, demonstrando

eficiência no controle do patógeno. Esse resultado se deve ao fato de a germinação de *Trichoderma* spp. estabelecer-se e colonizar o substrato mais rapidamente, competindo com o patógeno por recursos e espaços, o que resulta em uma redução da doença.

O gênero *Trichoderma* spp. produzem metabólitos secundários antagonistas, os polipeptídeos lineares que possuem forte atividade antimicrobiana contra bactérias gram-positivas e fungos (WIEST et al., 2002; SZEKERES et al., 2005).

Assim como o uso de extratos vegetais, o ácido cítrico, tem sido investigado devido às suas propriedades antimicrobianas e à capacidade de induzir resistência nas plantas (BETTIOL et al., 2008; JAMAL et al., 2008; SILVA et al., 2009).

Metabólitos secundários presentes nesses extratos oferecem proteção contra ataques de organismos patogênicos, sendo o ácido cítrico particularmente eficaz contra bactérias como *Ralstonia solanacearum* e *Xanthomonas axonopodis* pv. *manihotis*, independentemente da dosagem (MOTOYAMA et al., 2003).

O ácido cítrico, um ácido orgânico encontrado naturalmente em muitos frutos cítricos, tem sido reconhecido por seus efeitos benéficos na ativação de mecanismos de defesa em plantas (DUTT et al., 2019). Ele ativa respostas de defesa, incluindo o fortalecimento da parede celular, a ativação de genes de defesa e o aumento da produção de antioxidantes (DUTT et al., 2019; SINGH; SHARMA, 2015).

O enxofre, essencial para as plantas, também desempenhou papel fundamental na resistência ao cretamento bacteriano comum. Estudos têm mostrado que plantas são suscetíveis a doenças quando são deficientes em enxofre (KÜNSTLER et al., 2020; GU et al., 2021).

O efeito repressor do enxofre foi verificado quando aplicado no solo no manejo da infecção de colza (*Brassica napus*) com *Pyrenopeziza brassicae*, tubérculos de batata (*Solanum tuberosum*) com *Rhizoctonia solani* e uvas (*Vitis vinifera*) com *Uncinula necator* (BLOEM et al., 2004; BLOEM et al., 2007; KRUSE et al., 2007). Outros estudos relatam que o enxofre pode melhorar a resistência dos tubérculos de batata a *Rhizoctonia solani* (KLIKOCKA et al., 2005).

A aplicação de enxofre nas raízes pode aumentar o teor de compostos fenólicos e lignina em plantas de tomate (*Solanum lycopersicum*), e a atividade de enzimas de defesa relacionadas, aumentando a resistência dos tomates a *Verticillium dahliae* (FU et al., 2016; BOLLIG et al., 2013). Estes relatos levaram ao desenvolvimento

do conceito de resistência induzida por enxofre (SIR) (BLOEM et al., 2007; DUBUIS et al., 2005; BLOEM et al., 2015).

O enxofre é amplamente reconhecido por suas propriedades antimicrobianas, sendo particularmente eficaz no controle de doenças fúngicas em plantas. Seu mecanismo de ação envolve a inibição das enzimas fúngicas através da ligação com grupos sulfidríla, o que interfere na respiração e no metabolismo dos patógenos (FORBES; DICKSON, 2006). Além disso, o enxofre pode alterar a integridade das membranas celulares dos fungos, resultando em danos estruturais e morte celular (MORRIS, 2017).

Devido a essas propriedades, o enxofre é comumente utilizado na forma de pó, suspensão ou emulsão para combater doenças como o oídio, bem como outras infecções fúngicas em diversas culturas agrícolas (AGRIOS, 2005).

Embora o uso do enxofre seja predominantemente focado no controle de fungos, ele também apresenta atividade antimicrobiana contra algumas bactérias patogênicas de plantas. O efeito antibacteriano do enxofre é mais limitado em comparação com sua ação antifúngica e pode variar dependendo das espécies bacterianas (HORSFALL; COWLING, 1980; WANG; ZHANG, 2022).

O enxofre pode interferir na função enzimática bacteriana e alterar a estrutura das membranas celulares, mas sua eficácia como bactericida é frequentemente ampliada quando utilizado em combinações com outros agentes antimicrobianos (FRADKIN; FINERAN, 2020). A aplicação deve ser feita com cautela para evitar fitotoxicidade e impactos ambientais, como a acidificação do solo e poluição atmosférica, especialmente em doses elevadas (COOK; VESETH, 1991; WALTERS; BINGHAM, 2007).

Em nosso estudo a expressão de proteínas (PT), a atividade da enzima peroxidase (POD), fenilalanina amônia-liase (FAL) e compostos fenológicos totais (CFT) foi elevada após a inoculação das plantas. Sendo estes os mais importantes marcadores de resposta de defesa nas plantas, conforme evidenciado por estudos anteriores (RESENDE et al., 2000).

A elevação destas sugere a ativação do sistema defensivo nas plantas, possivelmente desencadeado pelos receptores na membrana celular das cultivares,

levando a síntese de proteínas de membrana, fortalecendo as defesas no local de reconhecimento (TAKKEN; TAMELING, 2009).

O aumento dessas enzimas e proteínas desempenham um papel decisivo na limitação do desenvolvimento de *Xanthomonas citri* pv. *fuscans* nos tecidos, com uma resposta mais expressiva nas plantas tratadas e cultivares tolerantes, como o IPR Tangará. A relação entre a resposta de defesa, expressa por meio de aumento de proteínas totais solúveis, peroxidase, fenilalanina amônia-liase e compostos fenólicos, sugere uma correlação direta com a resistência das cultivares à infecção bacteriana.

A correlação entre os resultados obtidos e estudos anteriores destaca a importância de enzimas como peroxidase e compostos fenólicos na resistência de plantas a patógenos. Além disso, a aplicação via tratamento de semente e pulverização dos produtos biológicos (*B. amyloliquefaciens*, *T. harzianum*) e indutores químicos (enxofre e ácido cítrico) demonstrou eficácia na redução da severidade do cretamento bacteriano comum, oferecendo uma alternativa de manejo promissora tanto para cultivares suscetíveis quanto tolerantes.

Os resultados sugerem que o aumento observado em PT, POD, FAL e CFT está associado à restrição do desenvolvimento do patógeno, contribuindo para a resistência a *Xanthomonas citri* pv. *fuscans*. Esses achados não apenas corroboram com a literatura existente (SHARMA et al., 1983; ARAUJO; STADNIK, 2013; OMARA et al., 2022), mas também indicam implicações práticas valiosas na abordagem do manejo do cretamento bacteriano comum.

De acordo com Fageria et al. (2006), a produtividade do feijão não é influenciada de forma isolada pelos componentes de produção, mas sim em conjunto. Isto pode explicar, a correlação positiva do cretamento bacteriano e peso de mil grãos, uma vez que a diminuição do número de grãos por vagem pode ter induzido o aumento do peso de mil grãos.

Na cultura do feijão, a produtividade de grãos está fortemente correlacionada com diversos componentes da produção, como o número de vagens por planta, número de grãos por planta e massa de grãos (LE MOS et al., 2004). Em determinadas condições, alguns desses componentes podem aumentar enquanto outros diminuem, permitindo a manutenção da estabilidade da produtividade de grãos (COSTA et al., 1983).

No presente estudo, a interferência mais significativa dos componentes foi observada no peso de 1000 grãos corrigido 13% (PMG) e na produtividade final das cultivares, especialmente em IPR Campos Gerais, que apresentou valores mais baixos de PMG e produtividade (kg ha^{-1}).

Embora esses fatores exerçam uma grande influência sobre a produtividade, sofrem de grande instabilidade, sendo afetados por mudanças ambientais (LEMOS et al., 2004). Elevadas produtividades geralmente estão associadas a um maior número de vagens por planta (ZILIO et al., 2011).

Ambas as cultivares demonstraram certa tolerância aos danos causados pela doença quando tratadas com produtos de biocontrole. Destaca-se a importância de selecionar produtos de biocontrole apropriados e aplicá-los no momento correto para uma redução significativa na severidade do cretamento bacteriano comum (CBC) e para garantir um manejo eficiente da cultura.

É crucial ressaltar que cada agente de biocontrole e modo de aplicação podem ter uma ação variável, dependendo da cultivar e das condições específicas do cultivo. Neste estudo, *B. amyloliquefaciens* e *T. harzianum*, bem como o ácido cítrico, destacaram-se como produtos de biocontrole eficazes no manejo do cretamento bacteriano comum causado por *Xanthomonas citri* pv. *fuscans* em feijão.

Este estudo destaca a importância da indução de resistência por meio de agentes biológicos e indutores químicos no manejo do cretamento bacteriano comum em feijão. Futuras pesquisas podem se concentrar em otimizar estratégias de aplicação e explorar a interação específica entre os agentes de biocontrole, os indutores químicos e as cultivares de feijão para maximizar os benefícios na resistência contra *Xanthomonas citri* pv. *fuscans*.

4 ARTIGO B: MANEJO DE ANTRACNOSE, CRESTAMENTO BACTERIANO COMUM E MANCHA-ANGULAR À CAMPO COM USO DE AGENTES BIOLÓGICOS E INDUTORES QUÍMICOS

RESUMO

Xanthomonas citri pv. *fuscans* (Xcf), *Colletotrichum lindemuthianum* e *Pseudocercospora griseola* são agentes responsáveis por perdas significativas na cultura do feijão. A utilização de agentes de biocontrole e o sensoriamento remoto podem ser uma alternativa no manejo das doenças. Este estudo teve como objetivo avaliar a capacidade de agentes biológicos e indutores químicos de resistência no manejo do crestamento bacteriano comum, antracnose e mancha-angular em cultivares de feijão, bem como seu impacto nos componentes de produção. Os agentes testados foram *Bacillus amyloliquefaciens*, *Trichoderma harzianum*, ácido cítrico e enxofre, aplicados via tratamento de semente (TS) e via tratamento de semente mais pulverização foliar (TS+V3). As cultivares de feijão utilizadas foram IPR Campos Gerais e IPR Tangará. Para o TS e as pulverizações foliares, foi utilizada uma calda seguindo a dose recomendada na bula do fabricante. Avaliou-se a severidade do crestamento bacteriano comum, antracnose e mancha-angular, índice de refletância aos 12, 15 e 18 dias após a inoculação e os componentes da produção. Embora não tenham sido observadas diferenças significativas entre as cultivares de feijão nas duas safras, os agentes utilizados demonstraram redução na severidade das doenças, principalmente para crestamento bacteriano comum, em comparação aos padrões de controle, em ambas cultivares. Em relação aos componentes de produção, na cultivar IPR Campos Gerais, *B. amyloliquefaciens* e ácido cítrico demonstraram maior número de vagens por planta e redução de grãos chochos, quando utilizados via tratamento de semente mais pulverização foliar (TS+V3). Para IPR Tangará, *T. harzianum* e ácido cítrico via TS destacaram-se pelos maiores números de vagens; *B. amyloliquefaciens* via TS+V3 com melhor desempenho na redução de grãos chochos. Quanto à produtividade, *T. harzianum* e *B. amyloliquefaciens* via TS+V3, além de enxofre via TS, foram os tratamentos mais promissores. Uma correlação inversa significativa entre a severidade e a produção na cultivar IPR Tangará durante a safra das águas, foi verificada, sendo que um aumento na severidade do crestamento bacteriano comum está associado a uma diminuição na produção. A incidência do crestamento, antracnose e mancha-angular variaram de acordo com os modos de aplicação dos agentes biológicos e indutores químicos, com redução significativa na incidência com uso de *B. amyloliquefaciens* em comparação com os controles, em ambos cultivares. Em conclusão, o estudo destacou a eficácia dos agentes biológicos e indutores químicos de resistência no controle das doenças e na promoção dos componentes de produção das cultivares de feijão estudadas. A combinação de diferentes agentes e modos de aplicação demonstrou-se promissora para mitigar os efeitos adversos das doenças estudadas e melhorar a produtividade. Esses resultados enfatizam a importância de considerar abordagens integradas de manejo de crestamento, antracnose e mancha-angular para otimizar a produção agrícola.

Palavras-chave: *Xanthomonas citri* pv. *fuscans*, *Colletotrichum lindemuthianum*, índice de vegetação da diferença normalizada, indutores químicos de resistência.

ABSTRACT

Xanthomonas citri pv. *fuscans* (Xcf), *Colletotrichum lindemuthianum* and *Pseudocercospora griseola* are agents responsible for significant losses in bean crops. The use of biological control agents and remote sensing may offer an alternative in managing these diseases. This study aimed to evaluate in the field the effectiveness of biological agents and resistance inducers in managing common bacterial blight, anthracnose, and angular leaf spot in bean cultivars, as well as their impact on yield components. The tested agents included *Bacillus amyloliquefaciens*, *Trichoderma harzianum*, citric acid, and sulfur, applied via seed treatment (ST) and seed treatment plus foliar spraying (ST+V3). The bean cultivars used were IPR Campos Gerais and IPR Tangará. For ST and foliar sprays, a mixture was used following the dose recommended on the manufacturer's label. The severity of common bacterial blight, anthracnose, and angular leaf spot, as well as reflectance index at 12, 15, and 18 days after inoculation and yield components, were assessed. Although no significant differences were observed between the bean cultivars across the two growing seasons, the agents used demonstrated a reduction in disease severity, particularly for common bacterial blight, compared to the control standards in both cultivars. Regarding yield components, in the IPR Campos Gerais cultivar, *B. amyloliquefaciens* and citric acid showed a higher number of pods per plant and a reduction in shriveled seeds when applied via seed treatment plus foliar spraying (ST+V3). For IPR Tangará, *T. harzianum* and citric acid via ST were notable for higher pod numbers; *B. amyloliquefaciens* via ST+V3 performed best in reducing shriveled seeds. In terms of productivity, *T. harzianum* and *B. amyloliquefaciens* via ST+V3, as well as sulfur via ST, were the most promising treatments. A significant inverse correlation between disease severity and yield in the IPR Tangará cultivar during the rainy season was observed, indicating that an increase in common bacterial blight severity is associated with a decrease in yield. The incidence of common bacterial blight, anthracnose, and angular leaf spot varied according to the modes of application of the biological agents and inducers, with a significant reduction in incidence using *B. amyloliquefaciens* compared to controls in both cultivars. In conclusion, the study highlighted the effectiveness of biological agents and resistance inducers in controlling the diseases and promoting yield components in the studied bean cultivars. The combination of different agents and application methods proved promising in mitigating the adverse effects of the studied diseases and improving productivity. These results emphasize the importance of considering integrated management approaches for common bacterial blight, anthracnose, and angular leaf spot to optimize agricultural production.

Keywords: *Xanthomonas citri* pv. *fuscans*, *Colletotrichum lindemuthianum*, normalized difference vegetative index, radiometer.

4.1 INTRODUÇÃO

As doenças representam fatores significativos associados à baixa produtividade brasileira de feijão (WENDLAND et al., 2016; MAY DE MIO, 2018). O crestamento bacteriano comum (CBC), causado por *Xanthomonas citri* pv. *fuscans*

(Xcf); a antracnose (*Colletotrichum lindemuthianum*) e mancha-angular (*Pseudocercospora griseola*) são consideradas importantes ameaças à cultura ((BRADBURY, 1986; BULL et al., 2010; CONSTANTIN et al., 2016; SCHWARTZ et al., 2005; DELGADO et al., 2013; WENDLAND et al., 2016; RASHID et al., 2023).

Em períodos de alta umidade e temperatura entre 16 e 28 °C, o CBC e mancha-angular podem ocasionar perdas na produtividade e qualidade dos grãos, atingindo até 70% (SCHWARTZ et al., 2005; WENDLAND et al., 2016; BOREL et al., 2011; PARDELLA et al., 2013). A antracnose, sob condições de temperaturas (17°C) e umidade relativa (92%) favoráveis, pode reduzir a produção em até 100% (SHARMA et al., 2008; CAMPA et al., 2014; MLEMBA, 2021).

A estação chuvosa no Brasil contribui para a maior incidência de CBC, antracnose e mancha-angular devido à alta umidade relativa e baixas temperaturas (WENDLAND et al., 2016). Além disso, o uso de grãos de feijão contaminadas e o plantio em áreas com histórico de ocorrência das doenças aumentam a probabilidade de infecção (SCHWARTZ et al., 2005).

Estratégias de manejo incluem o uso de grãos sadias, cultivares com tolerância, rotação de culturas e tratamento químico (RODRIGUES et al., 1999; DARRASSE et al., 2007). No entanto, tais abordagens nem sempre apresentam eficácia. Diante da necessidade crescente de tecnologias de produção menos prejudiciais ao homem e ao meio ambiente, destaca-se a importância da utilização de produtos naturais ou indutores químicos de resistência na área de proteção vegetal, como enfatizado por Wordell Filho et al., (2007).

A utilização de biofertilizantes e biopesticidas surge como alternativa sustentável para manter a alta produção com baixo impacto ecológico na cultura do feijão (HEWEZI et al., 2018; PASCHOLATI et al., 2018), assim como métodos que quantificam danos por meio de sensoriamento.

O sensoriamento remoto vem sendo estudado para detecção precoce das doenças em plantas por meio do índice de área foliar sadia na quantificação de danos, correlacionando diretamente com a produtividade (MAHLEIN et al., 2012; PSIROFONIA et al., 2017). Tais respostas permitem realizar o acompanhamento temporal e espacial da cultura, determinar o estado das plantas e realizar previsões futuras (WEST et al., 2003; SANCHES et al., 2014).

Este estudo teve como objetivo determinar a eficácia de agentes biológicos e indutores químicos de resistência no controle do cretamento bacteriano comum, antracnose e mancha-angular, bem como o efeito no índice de refletância e na produtividade de duas cultivares de feijão.

4.2 MATERIAL E MÉTODOS

Dois ensaios foram conduzidos a campo durante a safra da seca e outro na das águas de 2023, no Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná, IAPAR-EMATER (IDR-Paraná) (23°21'31.2"S 51°09'53.4"W), utilizando grãos das cultivares de feijão IPR Campos Gerais e IPR Tangará.

O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso em arranjo fatorial 4 agentes x 2 modos de aplicação + 1 controle Acibenzolar-S-metil (ASM) + 1 controle inoculado sem tratamento, com quatro repetições.

Cada parcela experimental foi constituída por quatro linhas de cinco metros de comprimento com espaçamento entre linhas de 0,45 m entre linhas, que receberam doze grãos por metro das cultivares de feijão IPR Campos Gerais e IPR Tangará. A área útil de cada parcela foi composta pelas duas linhas centrais, desconsiderando as duas linhas de bordadura de cada extremidade.

Calda de 100 mL foi preparada seguindo a dose recomendada na bula do fabricante dos agentes *Bacillus amyloliquefaciens* cepa BUMAF6614 (Veraneio®, 150 g 100 kg⁻¹), *Trichoderma harzianum* cepa ESALQ1306 (Trichodermil®, 1,0 L), enxofre (Kumulus®, 300 g 100 L⁻¹) e ácido cítrico (BioAce®, 200 mL 100 L⁻¹), tanto para tratamento de semente quanto para pulverização foliar.

Os agentes foram utilizados via tratamento de grãos (TS) e tratamento de grãos + pulverização foliar (TS+V3). O produto comercial Bion® 550WG, Acibenzolar-S-metil (ASM) foi aplicado no estágio fenológico V3 na dose de 25 g ha⁻¹.

Para garantir infecção por Xcf nas plantas, inoculação nos folíolos pelo método de microferimentos com agulhas múltiplas foi realizado com a suspensão bacteriana (10⁸ UFC mL⁻¹) do isolado 1216 de Xcf (SILVA et al., 2009b) no estágio fenológico V4. A antracnose e mancha-angular são de ocorrências endêmicas na área devido ao histórico existente.

A adubação consistiu de NPK (5-30-15 a 400 kg/ha) com cobertura de nitrogênio de 60 kg/ha no estágio V3. Outras práticas culturais seguiram recomendações regionais. As irrigações foram efetuadas por um sistema de aspersão convencional, sendo utilizado turno de rega de cinco dias sempre que necessário, atendendo às necessidades do sistema solo-planta, principalmente nas fases de emergência das plântulas, de florescimento pleno e de enchimento de grãos.

4.3 AVALIAÇÕES

4.3.1 Severidade, Incidência e Índice de Refletância

As avaliações de severidade do crestamento bacteriano comum foram realizadas semanalmente aos 12, 15 e 18 dias após a inoculação, utilizando a escala diagramática de porcentagem de área foliar doente, de acordo com Díaz et al. (2001).

A avaliação da incidência foi realizada aos 64-67 dias após a semeadura (estádio fenológico R7) pela seleção de cinquenta folíolos representativos de cada parcela. Escalas foram utilizadas para avaliação do crestamento bacteriano comum (DÍAZ et al. 2001), antracnose e mancha-angular (GODOY et al. 1997).

As leituras da porcentagem de luz refletida pelo dossel foram realizadas semanalmente, aos 12, 15 e 18 dias após a inoculação, com o auxílio de um radiômetro de múltiplo espectro portátil Green Seeker, que quantifica a porcentagem de luz solar refletida pelo dossel de 660nm e 770nm comprimentos de onda. Durante as leituras, o sensor permaneceu a uma altura de 2 m sobre o solo. As leituras foram realizadas no período da manhã, entre 10:00 e 12:00 horas.

O índice vegetativo da diferença normalizada (NDVI) utilizou a seguinte fórmula: $NDVI = (NIR - VIS) / (NIR + VIS)$. Onde, NIR é referente ao valor de refletância no comprimento de onda de 770nm; VIS ao valor de refletância no comprimento de onda de 660nm.

4.3.2 Componentes de produção

A colheita foi realizada manualmente, coletando vinte plantas das duas linhas centrais de cada parcela experimental, quando as plantas apresentavam a maturação completa (R9). Os componentes de produção avaliados foram número de vagens (NV),

número de grãos chochos (NSC), número de grãos por planta (NSP), peso de 1000 grãos (PMG) e produtividade em kg ha⁻¹.

4.3.3 Análises estatísticas

Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). As pressuposições de normalidade dos erros e homogeneidade das variâncias foram testadas por Shapiro-Wilk e Bartlett, respectivamente, usando o software R 4.0.2 (R CORE TEAM, 2020).

Os dados sobre o componente de produção nos ensaios da safra das águas, a severidade e incidência das doenças foram transformados para ($\sqrt{x} + 0,5$) a fim de normalizar os dados e estabilizar as variâncias antes da Anova. O teste de Scheffé ($P \leq 0,5$) foi utilizado para comparar a média de cada tratamento com a média dos controles.

4.4 Resultados

4.4.1 Severidade

Não foi possível verificar diferenças significativas entre as cultivares de feijão nas safras da seca e das águas. No entanto, foi possível observar padrões distintos na severidade do cretamento bacteriano comum dentro de cada cultivar submetidas aos diferentes tratamentos (Tabela 4).

Os agentes biológicos e indutores químicos utilizados não demonstraram diferenças significativas entre si, considerando as diferentes formas de aplicação e safras avaliadas para a cultivar IPR Campos Gerais. Entretanto, quando comparados aos padrões controles (ASM e Inoculada sem trat.), a maioria dos agentes biológicos e indutores químicos demonstrou redução na severidade da doença em ambas as safras (Tabela 4).

Para o cultivar IPR Tangará, na safra das águas, o enxofre e ácido cítrico, quando utilizados via TS+V3 demonstraram uma redução na severidade, (144,5 e 166,0%, respectivamente), em comparação com outros agentes biológicos e indutores químicos (Tabela 4). Ao comparar os modos de aplicação, observou-se que *B. amyloliquefaciens* e *T. harzianum* demonstraram redução na severidade (136,4 e 131,1%, respectivamente), quando aplicados na forma de TS, em relação ao modo TS+V3 (191,2 e 136,4%, respectivamente) (Tabela 4).

De maneira geral, a maioria dos agentes utilizados reduziu a severidade da doença, tanto em TS quanto em TS+V3. Os controles padrões apresentaram comportaram consistente, onde o padrão inoculado sem tratamento exibiu maior severidade, enquanto o padrão ASM contribuiu para a redução na severidade da doença, em ambas as safras (Tabela 4).

Tabela 4 - Severidade (média $\pm$ desvio padrão) de cretamento bacteriano comum, ocasionado por *Xanthomonas citri* pv. *fuscans*, em duas safras de feijão, após aplicação de agentes biológicos e indutores químicos de resistência em cultivares de feijão.

Cultivar de feijão	Agente	Safr da “seca”				Safr das “águas”			
		TS		TS+V3		TS		TS+V3	
IPR Campos Gerais	<i>B. amyloliquefaciens</i>	162,3 $\pm$ 56,0	Aa*	112,3 $\pm$ 44,4	Aa ²	171,7 $\pm$ 38,9	Aa ²	189,6 $\pm$ 29,5	Aa ²
	Ácido cítrico	150,9 $\pm$ 40,8	Aa ²	136,8 $\pm$ 40,8	Aa ²	159,46 $\pm$ 19,0	Aa ²	170,7 $\pm$ 34,9	Aa ²
	<i>T. harzianum</i>	127,7 $\pm$ 52,1	Aa ²	103,6 $\pm$ 58,9	Aa ²	154,7 $\pm$ 28,0	Aa ²	188,9 $\pm$ 21,9	Aa ²
	Enxofre	142,3 $\pm$ 61,2	Aa ²	132,0 $\pm$ 56,4	Aa ²	150,8 $\pm$ 14,1	Aa ²	155,0 $\pm$ 8,9	Aa ²
	ASM ¹	142,7 $\pm$ 84,2				177,4 $\pm$ 36,7			
	Inoculada sem trat. ²	212,2 $\pm$ 24,4				248,7 $\pm$ 28,3			
	C.V.%:	20,9				7,6			
IPR Tangará	<i>B. amyloliquefaciens</i>	105,0 $\pm$ 54,1	Aa ²	88,5 $\pm$ 33,8	Aa ²	136,4 $\pm$ 6,6	Ab ^{1, 2}	191,2 $\pm$ 15,1	ABa ²
	Ácido cítrico	117,5 $\pm$ 53,5	Aa ²	113,7 $\pm$ 46,9	Aa ²	153,2 $\pm$ 18,1	Aa ²	166,0 $\pm$ 30,1	BCa ²
	<i>T. harzianum</i>	82,4 $\pm$ 30,2	Aa ²	87,3 $\pm$ 29,6	Aa ²	131,1 $\pm$ 6,1	Ab ^{1, 2}	204,4 $\pm$ 10,0	Aa ²
	Enxofre	106,2 $\pm$ 37,2	Aa ²	89,2 $\pm$ 33,2	Aa ²	144,5 $\pm$ 12,5	Aa ^{1, 2}	144,5 $\pm$ 12,5	Ca ^{1, 2}
	ASM ¹	123,3 $\pm$ 58,3				173,6 $\pm$ 26,7			
	Inoculada sem trat. ²	199,6 $\pm$ 28,3				227,1 $\pm$ 14,3			
	C.V.%:	20,2				4,5			

* Médias seguidas de mesma letra minúscula não diferem entre si, de acordo com o teste de Tukey a 5% de significância. TS: tratamento de semente; TS+V3: tratamento de semente + pulverização foliar em estágio fenológico V3; ¹Agente difere de ASM: indutor de resistência comercial acibenzolar-S-metílico (Bion[®]);

²Agente difere de testemunha inoculada sem tratamento.

4.4.2 Componentes de produção

As variáveis número de vagens (NV), número de grãos chochos (NSC), número de grãos por planta (NSP), peso de 1000 grãos (PMG) e produtividade em kg ha⁻¹, apresentaram diferenças no modo de aplicação, agentes biológicos e indutores químicos utilizados para cada cultivar (Tabela 5).

Na variável NV, foi observada diferença para *T. harzianum* via TS+V3 (290,5), em comparação com os controles ASM (171,8) e a testemunha inoculada sem tratamento (134,5), ressaltando o impacto positivo específico da aplicação de *T. harzianum* nessa condição de tratamento em relação aos controles (Tabela 5).

Uma redução no NSC em plantas tratadas via TS+V3 com ácido cítrico (94,0), seguido por *T. harzianum* (186,3) foi observado, em comparação com os demais agentes biológicos e indutores químicos (255,0 e 247,0) utilizados na cultivar IPR Campos Gerais (Tabela 4). Além disso, diferenças foram observadas para *B. amyloliquefaciens* e enxofre (TS e TS+V3) em comparação com o controle ASM (146,5); e para ácido cítrico (TS e TS+V3) e *T. harzianum* (TS) em comparação com a testemunha inoculada sem tratamento (236,5). Esses resultados evidenciam a influência positiva do tratamento com ácido cítrico e *T. harzianum* na redução do NSC.

Para a variável NSP, foi observada diferença para *B. amyloliquefaciens* (TS), ácido cítrico, *T. harzianum* e enxofre (TS+V3), em comparação com os controles ASM (690,0) e a testemunha inoculada sem tratamento (490,8) (Tabela 5).

Um desempenho na promoção da produtividade foi observado para *B. amyloliquefaciens* (7868,1 kg ha⁻¹) via TS+V3, e enxofre (8261,1kg ha⁻¹) via TS, em comparação com os controles ASM (7275,3 kg ha⁻¹) e à testemunha inoculada sem tratamento (6039,5 kg ha⁻¹) (Tabela 5). Sugerindo potenciais benefícios agrônômicos da aplicação de *B. amyloliquefaciens* (TS+V3) e enxofre (TS) na cultivar IPR Campos Gerais.

Na cultivar IPR Tangará, foram identificadas diferenças significativas no NV em resposta aos diferentes tratamentos, *T. harzianum* proporcionou o maior NV quando utilizado via TS+V3 (166,0), seguido de ácido cítrico e *T. harzianum* (154,8) via TS, superando *B. amyloliquefaciens* (93,0) e enxofre (82,3). Os agentes *B. amyloliquefaciens*, ácido cítrico e *T. harzianum* (TS); bem como ácido cítrico, *T.*

harzianum e enxofre (TS+V3), demonstraram diferenças estatísticas quando comparados com a testemunha inoculada sem tratamento (78,5) (Tabela 5).

Na variável NSC, *B. amyloliquefaciens* via TS+V3 apresentou o menor número de grãos chochos (95,5), enquanto as plantas tratadas com enxofre exibiram o maior número, sendo 199,0 grãos chochos (Tabela 5). Aos serem contrastados com os controles, o *B. amyloliquefaciens* (TS+V3) diferiu da testemunha inoculada sem tratamento (179,0), e enxofre (199,0) do ASM (93,5) (Tabela 5). Portanto, o tratamento com *B. amyloliquefaciens* via TS+V3 demonstrou ser mais eficaz na redução de grãos chochos.

Quanto ao NSP, *T. harzianum* (686,5), ácido cítrico (646,8) e *B. amyloliquefaciens* (563,0) demonstram os maiores valores quando tratados via TS, diferindo de enxofre (341,0). Para plantas tratadas via TS+V3, *T. harzianum* (560,8) e enxofre (543,5) exibiram os maiores valores, diferindo de *B. amyloliquefaciens* (318,3) (Tabela 5). Aos serem contrastados, *B. amyloliquefaciens* (318,3) e enxofre (341,0) diferiram do controle ASM (547,5), enquanto, *T. harzianum* (686,5) e ácido cítrico (646,8) da testemunha inoculada sem tratamento (409,5) (Tabela 5).

Para PMG, foram verificadas diferenças em plantas tratadas com *T. harzianum* via TS (249,4), em relação a enxofre (212,9). Ao serem contrastados, *B. amyloliquefaciens* (TS e TS+V3), ácido cítrico (TS+V3) e enxofre (TS) diferiram do controle ASM; enquanto ácido cítrico (TS), *T. harzianum* (TS e TS+V3) e enxofre (TS+V3) diferiram da testemunha inoculada sem tratamento (Tabela 5).

Embora não tenham sido observadas diferenças estatísticas na produtividade entre os agentes biológicos e indutores químicos utilizados na cultivar IPR Tangará, os resultados demonstraram que os tratamentos foram superiores à testemunha não tratada. Em particular, *T. harzianum* (7304,5 kg ha⁻¹) e *B. amyloliquefaciens* (6848,1 kg ha⁻¹) aplicados via TS+V3, bem como o enxofre (7067,8 kg ha⁻¹), apresentaram aumentos significativos na produtividade em comparação com a testemunha inoculada sem tratamento, que teve um rendimento de 5681,9 kg ha⁻¹ (Tabela 5).

Tabela 5 – Componentes de produtividade das cultivares de feijão IPR Campos Gerais e IPR Tangará tratadas com diferentes produtos de biocontrole, na safra das águas.

Cultivar de feijão	Agentes	NV				NSC				NSP				PMG				Kg ha ⁻¹			
		TS		TS+V3		TS		TS+V3		TS		TS+V3		TS		TS+V3		TS		TS+V3	
IPR Campos Gerais	<i>B. amyloliquefaciens</i>	204.8	Aa*	177.0	Aa	286.0	Aa ¹	255.0	Aa ¹	841.3	Aa ^{1,2}	690.0	Aa	225.6	Aa ²	236.0	Aa ²	6807.8	Aa	7868.1	Aa ²
	Ácido cítrico	178.8	Aa	189.0	Aa	117.8	Aa ²	94.0	Ba ²	741.5	Aa	872.5	Aa ^{1,2}	228.9	Aa ²	215.7	Aa ²	6891.9	Aa	6759.0	Aa
	<i>T. harzianum</i>	185.8	Aa	290.5	Aa ^{1,2}	144.8	Aa ²	186.3	ABa	632.8	Ab	993.3	Aa ^{1,2}	223.0	Aa ²	219.2	Aa ²	7083.8	Aa	6952.1	Aa
	Enxofre	187.8	Aa	217.0	Aa	241.5	Aa ¹	247.0	Aa ¹	511.3	Ab	885.3	Aa ^{1,2}	225.9	Aa ²	207.5	Aa	8261.1	Aa ²	6728.8	Ab
	ASM ¹	171.8				146.5				690.0				215.8				7275.3			
	Inoculada sem trat. ²	134.5				236.5				490.8				188.7				6039.5			
	C.V.%:	18.78				24.93				14.36				4.43				6.60			
IPR Tangará	<i>B. amyloliquefaciens</i>	124.5	ABa ²	93.0	Ba	138.8	Aa	95.5	Ba ²	563.0	Aa	318.3	Bb ¹	218.9	ABa ¹	222.3	Aa ¹	6093.6	Aa	6848.1	Aa ²
	Ácido cítrico	154.8	Aa ²	120.0	ABb ²	154.0	Aa	116.0	ABa	646.8	Aa ²	457.0	ABb	245.6	ABa ²	222.0	Aa ¹	6652.8	Aa	6156.1	Aa
	<i>T. harzianum</i>	154.8	Aa ²	166.0	Aa ²	166.3	Aa	139.0	ABa	686.5	Aa ²	560.8	Aa	249.4	Aa ²	238.2	Aa ²	6576.9	Aa	7304.5	Aa ²
	Enxofre	82.3	Bb	135.0	ABa ²	146.5	Aa	199.0	Aa ¹	341.0	Bb ¹	543.5	Aa	212.9	Bb ¹	247.9	Aa ²	7067.8	Aa ²	6714.1	Aa
	ASM ¹	121.5				93.5				547.5				251.7				6402.8			
	Inoculada sem trat. ²	78.5				179.0				409.5				210.4				5681.9			
	C.V.%:	8.33				23.37				10.19				3.96				6.45			

* Médias seguidas de mesma letra minúscula não diferem entre si, de acordo com o teste de Tukey a 5% de significância. TS: tratamento de semente; TS+V3: tratamento de semente + pulverização foliar em estágio fenológico V3; (NV) número de vagens; (NSC) número de grãos chochos; (NSP) número de grãos por planta; (PMG) peso de 1000 grãos corrigido 13%; (kg ha⁻¹) produtividade.

¹Agente difere de ASM: indutor de resistência comercial acibenzolar-S-metílico (Bion[®]); ²Agente difere de testemunha inoculada sem tratamento.

Diante dos resultados obtidos, na cultivar IPR Campos Gerais, os tratamentos com *Bacillus amyloliquefaciens* e ácido cítrico, destacaram-se pelos maiores NV e redução de NSC. Para o NSP, *B. amyloliquefaciens* (TS+V3) exibiu um desempenho estável, enquanto em relação ao PMG, tratamentos como *B. amyloliquefaciens* (TS+V3) e enxofre (TS) destacaram-se.

Na cultivar IPR Tangará, *T. harzianum* (TS+V3) e ácido cítrico (TS) se destacaram pelos maiores NV. Na redução de grãos chochos, *B. amyloliquefaciens* (TS+V3) apresentou o melhor desempenho. Quanto ao NSP, *T. harzianum*, ácido cítrico e *B. amyloliquefaciens* (TS) destacaram-se, sendo *B. amyloliquefaciens* (TS+V3) o tratamento mais estável. No que se refere ao PMG, *T. harzianum* via TS se mostrou mais vantajoso.

De modo geral, *Bacillus amyloliquefaciens* via TS+V3 destacou-se para redução do NSC em ambas cultivares. Em contrapartida, para incremento na produtividade geral, tratamentos como *T. harzianum* (TS) e *B. amyloliquefaciens* (TS+V3) se destacaram.

Na análise de correlação de Pearson, houve correlação inversa significativa ($r = -0,41$, $p = 0,00$) entre AACPD (área abaixo da curva do progresso da doença) e produção (P) durante a safra das águas para a cultivar IPR Tangará, indicando que o aumento da severidade do cretamento bacteriano comum está associado a diminuição na produção (Tabela 6).

Na cultivar IPR Campos Gerais, não foram observadas correlações significativas entre as variáveis nas safras de seca ou águas. Da mesma forma, a relação entre a severidade e NDVI (S X N) e NDVI x produção (N x P) não apresentaram diferenças estatisticamente significativas em ambas as condições (Tabela 6).

Tabela 6 – Análise das correlações de Pearson entre severidade da doença (S), índice de vegetação por diferença normalizada (N) e produção (P) na cultivar IPR Campos Gerais e IPR Tangará, na safra de seca e águas de 2023, Londrina-PR.

Cultivar de feijão		S x P		S x N		N x P	
		S. seca	S. águas	S. seca	S. águas	S. seca	S. águas
IPR Campos Gerais	r*	-	-0,25	0,02	0,20	-	-0,07
	p#	-	0,10	0,89	0,18	-	0,66

IPR Tangará	r	-	-0.41	-0,01	0,01	-	-0,09
	p	-	0.01	0,10	0,97	-	0,58

r*: coeficiente de correlação de Pearson; p#: p-value.

A ausência de correlações estatísticas até o momento indica a necessidade de investigações mais aprofundadas. Pode ser interessante considerar fatores adicionais que possam influenciar a produção, como condições climáticas, práticas agrícolas, ou a presença de outras doenças não analisadas neste contexto.

A incidência de cretamento bacteriano comum (*Xanthomonas citri* pv. *fuscans*), antracnose (*Colletotrichum lindemuthianum*) e mancha-angular (*Pseudocercospora griseola*) durante as safras da seca e águas variou conforme o modo de aplicação utilizados dos agentes biológicos e indutores químicos (Tabela 7).

Na safra da seca, não foram observadas diferenças significativas nos modos de aplicação dos agentes biológicos e indutores químicos na incidência do cretamento bacteriano comum, antracnose e mancha-angular para IPR Campos Gerais e IPR Tangará (Tabela 7).

Ao contrastar os produtos com os controles, *B. amyloliquefaciens* e enxofre demonstraram diferença em relação ao ASM e à testemunha inoculada sem tratamento na cultivar IPR Campos Gerais (Tabela 7), destacando a relevância desses tratamentos na redução da incidência do cretamento bacteriano comum. Para IPR Tangará, todos os agentes biológicos e indutores químicos demonstraram diferirem da testemunha sem tratamento (Tabela 7).

Para antracnose, em ambas as cultivares não foram observadas diferenças estatísticas entre os agentes biológicos e indutores químicos ao serem contrastadas com os controles (Tabela 7).

O ácido cítrico e *T. harzianum* (TS+V3) exibiram diferença em relação à testemunha inoculada sem tratamento na cultivar IPR Campos Gerais quanto a mancha-angular, reduzindo a incidência da doença em comparação com plantas que não receberam tratamento. Enquanto para IPR Tangará, *B. amyloliquefaciens* via TS, diferiu de ASM ao ser contrastado (Tabela 7).

Na safra das águas, não foram observadas diferenças significativas nos modos de aplicação dos agentes biológicos e indutores químicos na incidência do

crestamento bacteriano comum, antracnose e mancha-angular para IPR Campos Gerais (Tabela 7).

Para a cultivar IPR Tangará, *B. amyloliquefaciens* (TS+V3), reduziu a incidência de crestamento bacteriano comum, em relação aos demais agentes biológicos e indutores químicos (Tabela 7). Ao serem contrastados com os controles, *B. amyloliquefaciens*, *T. harzianum* (TS), ácido cítrico e *T. harzianum* (TS+V3) diferiram do ASM, enquanto *B. amyloliquefaciens*, (TS+V3) diferiu da testemunha sem tratamento (Tabela 7).

A incidência de antracnose não diferiu entre os agentes biológicos e indutores químicos; no entanto, ao serem contrastados com os controles, *T. harzianum* (TS) demonstrou diferença ao ASM, assim como para mancha-angular, *B. amyloliquefaciens* (TS+V3) diferiu de ASM (Tabela 7).

Tabela 7 - Incidência (média $\pm$ desvio padrão) de cretamento bacteriano comum, antracnose e mancha-angular em duas cultivares de feijão sob diferentes modos de aplicação de agentes biológicos e indutores químicos nas safras da seca e águas.

Cultivar de feijão	Agentes	Safr da “seca”											
		Common bacterial growth				Anthracnose				Angular-spot			
		TS		TS+V3		TS		TS+V3		TS		TS+V3	
IPR Campos Gerais	<i>B. amyloliquefaciens</i>	1.58 ± 2.36	Aa* ^{1, 2}	6.42 ± 6.09	Aa ²	1.43 ± 0.65	Aa	0.85 ± 0.48	Aa	1.31 ± 13.0	Aa	0.91 ± 0.98	Aa
	Ácido cítrico	8.22 ± 6.60	Aa ²	2.77 ± 2.35	Aa ²	1.22 ± 0.30	Aa	1.30 ± 1.37	Aa	2.39 ± 3.21	Aa	2.55 ± 0.72	Aa ²
	<i>T. harzianum</i>	6.83 ± 5.14	Aa ²	5.54 ± 4.70	Aa ²	2.09 ± 181	Aa	1.26 ± 1.29	Aa	2.34 ± 1.71	Aa	4.37 ± 3.96	Aa ²
	Enxofre	8.00 ± 5.61	Aa ²	1.33 ± 1.54	Aa ^{1, 2}	0.98 ± 0.35	Aa	0.97 ± 0.89	Aa	2.39 ± 2.07	Aa	2.41 ± 2.86	Aa
	ASM ¹	9.42 ± 8.39				1.00 ± 0.79				1.50 ± 0.64			
	Inoculada sem trat. ²	29.33 ± 9.33				1.31 ± 0.91				0.34 ± 0.54			
IPR Tangará	<i>B. amyloliquefaciens</i>	1.9 ± 3.79	Aa ²	6.00 ± 3.17	Aa ²	0.67 ± 0.66	Aa	0.92 ± 1.46	Aa	1.26 ± 0.88	Aa ¹	2.78 ± 1.67	Aa
	Ácido cítrico	5.29 ± 5.68	Aa ²	6.09 ± 5.63	Aa ²	1.00 ± 0.63	Aa	1.02 ± 0.36	Aa	2.78 ± 3.67	Aa	2.31 ± 0.64	Aa
	<i>T. harzianum</i>	4.42 ± 6.18	Aa ²	6.29 ± 5.41	Aa ²	1.92 ± 1.18	Aa	2.43 ± 4.03	Aa	2.00 ± 1.65	Aa	4.01 ± 6.08	Aa
	Enxofre	4.00 ± 3.44	Aa ²	5.31 ± 3.72	Aa ²	1.56 ± 1.53	Aa	0.48 ± 0.29	Aa	4.62 ± 6.67	Aa	2.47 ± 3.58	Aa
	ASM ¹	3.67 ± 4.33				0.97 ± 0.99				5.01 ± 3.58			
	Inoculada sem trat. ²	33.85 ± 0.29				1.24 ± 2.02				2.09 ± 2.22			
Cultivar de feijão	Agentes	Safr das “águas”											
		Common bacterial growth				Anthracnose				Angular-spot			
		TS		TS+V3		TS		TS+V3		TS		TS+V3	
IPR Campos Gerais	<i>B. amyloliquefaciens</i>	7.77 ± 7.99	Aa	13.35 ± 8.80	Aa	1.63 ± 1.28	Aa	1.85 ± 0.93	Aa	1.13 ± 2.25	Aa	1.43 ± 2.85	Aa
	Ácido cítrico	10.11 ± 3.84	Aa	12.18 ± 5.59	Aa	0.91 ± 0.72	Aa	1.16 ± 0.96	Aa	0.65 ± 1.30	Aa	0.31 ± 0.62	Aa
	<i>T. harzianum</i>	8.69 ± 7.29	Aa	11.53 ± 3.40	Aa	1.51 ± 0.87	Aa	0.95 ± 0.75	Aa	2.34 ± 1.99	Aa	1.11 ± 1.32	Aa
	Enxofre	11.17 ± 3.86	Aa	11.28 ± 6.17	Aa	0.65 ± 0.07	Aa ²	1.46 ± 1.44	Aa	0.96 ± 1.24	Aa	2.53 ± 5.05	Aa
	ASM ¹	8.58 ± 3.28				1.68 ± 0.80				0.08 ± 0.17			
	Inoculada sem trat. ²	10.10 ± 6.27				8.66 ± 3.42				5.33 ± 1.89			
IPR Tangará	<i>B. amyloliquefaciens</i>	10.81 ± 5.69	Aa ¹	5.90 ± 1.63	Cb ²	1.37 ± 0.83	Aa	2.05 ± 0.57	Aa	1.61 ± 1.25	Aa	0.00 ± 0.00	Aa ¹
	Ácido cítrico	10.84 ± 6.80	Aa	15.28 ± 6.28	Aa ¹	1.81 ± 1.37	Aa	2.09 ± 2.52	Aa	1.86 ± 3.75	Aa	2.69 ± 2.33	Aa
	<i>T. harzianum</i>	12.10 ± 4.31	Aa ¹	12.92 ± 5.70	ABa ¹	2.84 ± 1.11	Aa ¹	1.67 ± 1.21	Aa	1.88 ± 3.75	Aa	0.17 ± 0.33	Aa
	Enxofre	9.91 ± 4.10	Aa	8.26 ± 4.31	ABa	2.67 ± 1.40	Aa	1.81 ± 1.75	Aa	0.70 ± 0.82	Aa	1.29 ± 2.58	Aa
	ASM ¹	4.64 ± 3.32				1.16 ± 1.06				0.75 ± 0.17			
	Inoculada sem trat. ²	11.47 ± 3.97				1.34 ± 0.94				1.32 ± 1.07			

*Médias seguidas de mesma letra minúscula não diferem entre si, de acordo com o teste de Tukey a 5% de significância. ¹Agente difere de ASM: indutor de resistência comercial acibenzolar-S-metílico (Bion[®]); ²Agente difere de testemunha inoculada sem tratamento; TS: tratamento de semente; TS+V3: tratamento de semente + pulverização foliar em estágio fenológico V3.

5 DISCUSSÃO

Padrões distintos na severidade da doença em resposta aos diferentes tratamentos foram observadas, indicando uma redução significativa na severidade do cretamento bacteriano comum quando comparados aos padrões controles (ASM e Inoculada sem tratamento). A aplicação de *Bacillus amyloliquefaciens* e *Trichoderma harzianum* na forma de TS ou TS+V3, demonstraram eficácia na redução da severidade da doença.

Consequentemente a aplicação destes agentes influenciaram diretamente também nos componentes de produção, como número de vagens, número de grãos chochos, número de grãos por planta, peso de 1000 grãos e produtividade. Para a cultivar IPR Campos Gerais, *B. amyloliquefaciens* e ácido cítrico destacaram-se pelos maiores números de vagens e pela redução de grãos chochos. Na cultivar IPR Tangará, *T. harzianum* e ácido cítrico foram eficazes em aumentar o número de vagens.

Esses resultados estão alinhados com pesquisas que destacam a eficácia dos agentes biológicos no controle de doenças em culturas agrícolas, incluindo arroz, melancia, tomate, feijão, pepino e tabaco (SAECHOW et al., 2018, WU et al., 2019, MOHAMED et al., 2020; KONAPPA et al., 2020; JIAO et al., 2021).

B. amyloliquefaciens e *T. harzianum* são reconhecidos por promover a resistência das plantas a patógenos, resultando em uma redução notável na severidade de doenças (MOHAMED et al., 2020; JIAO et al., 2021). Substâncias antagônicas que inibem diretamente o crescimento de patógenos ao competir por recursos e nutrientes essenciais são secretadas por *B. amyloliquefaciens*, reduzindo a severidade de doenças nas plantas (GAMEZ et al., 2019; DIMOPOULOU et al., 2021; KAZEROONI et al., 2021), enquanto *T. harzianum* ativa genes de defesa e produz compostos antibacterianos (LUO et al., 2022; WANG et al., 2023).

Estudos demonstram que a indução de resistência por *B. amyloliquefaciens* inclui atividade antimicrobiana estimulada e processos de biossíntese relacionados à deposição calosa e lignificações, assim como, enzimas de defesa, fenilalanina amônia-liase e peroxidase, que estão diretamente envolvidos no controle do

desenvolvimento de patógenos e na redução da severidade da doença (GOWTHAM et al., 2018).

Assim como em nosso estudo, onde *B. amyloliquefaciens* quando aplicado nas grãos e foliar reduziu a severidade de crestamento bacteriano comum, estudos relatam a inibição da murcha bacteriana no tomate quando utilizado nas grãos ou no solo, devido à superprodução de antibióticos por indução de resistência sistêmica (YAMAMOTO et al., 2015; KONAPPA et al., 2020).

Embora indução de resistência sistêmica não seja um efeito antipatogênico direto da bactéria *B. amyloliquefaciens*, ela desempenha um papel indispensável na defesa das plantas contra doenças (JI et al., 2021; LUO et al., 2022), reduzindo a severidade.

Outros estudos relatam sobre o uso de espécies de *Bacillus* sp. onde pulverizações semanais como mistura de tanque com hidróxido de cobre reduz consistentemente a severidade da doença da pinta preta do tomate, mesmo que a pressão da doença fosse elevada (ABBASI; WESELOWSKI, 2014). Assim como, o uso de *Bacillus* sp. em combinação com azoxistrobina possibilita o controle do oídio em abobrinha (GILARDI et al., 2008).

Em um estudo de Fousia et al., (2016), a severidade da doença de mancha bacteriana e a incidência foi significativamente reduzida quando as plantas de tomate tratado com *Bacillus* sp. foram comparadas ao tratamento controle.

Os diferentes tipos de compostos policetídeos que são produzidos a partir de espécies de *Bacillus amyloliquefaciens* atuam como antagônico para bactérias gram-positivas e gram-negativas (CHEN et al., 2006, 2009; Kinsella et al., 2009) inibindo a síntese de proteínas e fornecendo proteção as plantas (ZWEERINK; EDISON, 1987).

Além da ação antimicrobiana, *B. amyloliquefaciens* mostrou capacidade de estimular o crescimento das plantas, promovendo o desenvolvimento radicular, aumento da absorção de nutrientes e maior eficiência fotossintética (CHEN et al., 2007; QIAO et al., 2014; RÜCKERT et al., 2011; QIN et al., 2015; SHAHID et al., 2021; SHETEIWY et al., 2021). Esses efeitos contribuem para um sistema vegetal mais robusto e resistente a estresses, fortalecendo sua capacidade de defesa contra patógenos (DIMOPOULOU et al., 2021; KAZEROONI et al., 2021).

A capacidade das estirpes de *Bacillus* de colonizar plantas é um processo multifatorial que dá pela resistência aos sistemas de defesa das plantas, bem como a capacidade de iniciar o crescimento nas superfícies, invadir tecidos e desenvolver-se dentro da planta. Em troca de um ambiente seguro e rico em nutrientes, a bactéria pode fornecer ao hospedeiro resistência a patógenos de plantas através da síntese de antibióticos e enzimas e promover o crescimento das plantas (HALLMANN et al., 1997; WIPAT; HARWOOD, 1999; REVA et al., 2004).

A escassez de nutrientes do solo é a principal limitação para o crescimento das plantas, e *B. amyloliquefaciens* com potentes características de biofertilização (XUE et al., 2021) pode melhorar a disponibilidade de nutrientes do solo através da melhoria do fornecimento de N.

Jogaiah et al., (2018) descreveram que *B. amyloliquefaciens* melhora significativamente o crescimento, a supressão de doenças e estimula a imunidade inata das plantas.

Da mesma forma, *Trichoderma harzianum* tem demonstrado eficácia na ativação de genes de defesa das plantas, na produção de compostos antibacterianos suprimindo o crescimento de bactérias patogênicas de plantas (YAN; KHAN, 2021).

Os principais metabólitos secundários relatados tendo efeito contra bactérias patogênicas de plantas como *Clavibacter michiganensis*, *Erwinia amylovora*, produzidos por *T. harzianum* e outros *Trichoderma* spp. são lisosima, viridiofungina e tricoconina (UTKHEDE; KOCH, 2004; XIAO-YAN et al., 2006; EL-HASAN et al., 2009).

Os compostos antibacterianos produzidos por *T. harzianum* afetam a população bacteriana em uma variedade de mecanismos, incluindo destruições de membranas, DNA e proteínas (TANAKA et al., 2006; ZHANG et al., 2008; AL-OBAIDI 2014).

Estes resultados também estão de acordo com Carvalho et al., (2015), demonstram a eficácia do biocontrole da murcha de *Fusarium* sp. do feijoeiro com *T. harzianum*, seja via aplicação via sulco ou foliar. A aplicação de *T. harzianum* no solo a 10 g m⁻² proporcionou 42,9% e 61,5% de controle de *Fusarium* sp., enquanto os

tratamentos de grãos resultaram em menos de 30% de controle da doença (PRASAD et al., 2002).

O *T. harzianum* reduz efetivamente a severidade e incidência de mofo branco e outras doenças em diversas culturas economicamente importantes, como o tomate (ABDULLAH et al., 2008) e feijão comum (GERALDINE et al., 2013; CARVALHO et al., 2014).

Além da redução de severidade e ativação de genes de defesa, *T. harzianum* exibe comportamento micoparasitário, onde pode atacar e parasitar diretamente outros fungos patogênicos. A competição por recursos, como espaço e nutrientes, é uma estratégia eficaz empregada por *Trichoderma* para suprimir o crescimento de patógenos nas proximidades (HERMOSA et al., 2013; PEREIRA et al., 2014).

A interação física entre *Trichoderma* e plantas é limitada à primeira camada celular da epiderme e à casca da raiz. Esta relação simbiótica protegeria assim as plantas contra patógenos. *Trichoderma* induz a expressão de genes envolvidos na resposta de defesa e promove o crescimento das plantas, o desenvolvimento das raízes e a disponibilidade de nutrientes (HERMOSA et al., 2012; HERMOSA et al., 2013).

Trichoderma spp. são produtores proeminentes de metabólitos com múltiplas atividades biológicas, incluindo efeitos de promoção do crescimento das plantas (GHISALBERTI, 2002; REINO et al., 2008) e mecanismos de defesa das plantas contra os patógenos (HERMOSA et al., 2012; MALMIERCA et al., 2014), induzindo a expressão de proteínas relacionadas à patogênese (PR) que reduzem sintomas das doenças.

Grãos de plantas, quando expostas a conídios de *Trichoderma* spp., exibiram aumento de produtividade, sugerindo que metabólitos de *Trichoderma* spp. atuam como compostos sinalizadores, além do efeito de crescimento das plantas (BENÍTEZ et al., 2004).

Cepas de *Trichoderma* são capazes de produzir metabólitos secundários envolvendo mecanismos dependentes de auxina para melhorar o crescimento radicular e aumentar a biomassa vegetal (CONTRERAS-CORNEJO et al., 2009; HOYOS-

CARVAJAL et al., 2009). Recentemente Konappa et al., (2020) relataram o papel de *Trichoderma* spp. na indução de resistência à murcha bacteriana em tomateiros.

Alguns estudos mostraram que a defesa desencadeada por *Trichoderma* é mediada por uma rede de vias complexas de sinalização vegetal envolvendo expressão gênica estimulada relacionada às espécies reativas de oxigênio (ROS) do hospedeiro, ácido salicílico, ácido jasmônico e etileno. Além dos atores centrais da defesa, outros hormônios para o crescimento das plantas também são alterados simultaneamente, como auxina, giberelina e ácido abscísico (ALFIKY; WEISSKOPF, 2021; YU et al., 2022; WOO et al., 2023).

O enxofre é amplamente utilizado no controle de doenças de plantas devido às suas notáveis propriedades antimicrobianas, especialmente contra fungos. Sua eficácia como fungicida é atribuída à sua capacidade de inibir enzimas fúngicas por meio da ligação com grupos sulfidríla, o que afeta diretamente a respiração e o metabolismo dos patógenos (FORBES; DICKSON, 2006).

Adicionalmente, o enxofre pode comprometer a integridade das membranas celulares dos fungos, levando a danos estruturais e morte celular (MORRIS, 2017). De fato, o enxofre é amplamente aplicado na forma de pó, suspensão ou emulsão para o manejo de infecções fúngicas como o oídio, além de outras doenças fúngicas que afetam diversas culturas (AGRIOS, 2005).

Apesar de sua aplicação predominante contra fungos, o enxofre também possui atividade antimicrobiana contra algumas bactérias patogênicas em plantas. Embora seu efeito antibacteriano seja menos pronunciado em comparação com sua ação antifúngica, o enxofre ainda pode interferir na função enzimática e na integridade das membranas celulares bacterianas (HORSFALL; COWLING, 1980; WANG; ZHANG, 2022).

A eficácia do enxofre como bactericida pode ser aumentada quando combinado com outros agentes antimicrobianos (FRADKIN; FINERAN, 2020). No entanto, é fundamental aplicar o enxofre com precaução para evitar efeitos fitotóxicos e minimizar impactos ambientais como a acidificação do solo e a poluição atmosférica (COOK; VESETH, 1991; WALTERS; BINGHAM, 2007).

Neste estudo demonstramos que o sucesso do controle biológico envolve uma compreensão das interações da planta e o patógeno, bem como o modo e a dose de aplicação, assim como relatado por Angelopoulou et al., (2014).

A diversidade de culturas abordadas em pesquisas prévias, incluindo cereais, hortaliças e leguminosas, destaca a versatilidade desses agentes no controle de doenças, consolidando sua posição como ferramentas cruciais no manejo integrado de patógenos. A convergência desses resultados com estudos anteriores não apenas valida a eficácia desses agentes biológicos, mas também amplia a base de conhecimento sobre sua aplicabilidade em diferentes sistemas agrícolas.

Conclui-se que a aplicação de *B. amyloliquefaciens* e *T. harzianum* na forma de TS ou TS+V3 destacam-se como uma estratégia eficaz na redução da severidade das doenças e promoção da produtividade nas cultivares de feijão estudadas. No entanto, recomenda-se investigações mais detalhadas para entender completamente o impacto desses tratamentos em diferentes condições ambientais e em outras cultivares.

A síntese destes resultados com a literatura existente contribui para a construção de uma base científica sólida que respalda a integração efetiva de agentes biológicos em estratégias de manejo fitossanitário sustentável.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os agentes biológicos *Bacillus amyloliquefaciens* e *Trichoderma harzianum*, bem como o ácido cítrico induzem a resistência em plantas de feijão das cultivares IPR Campos Gerais e IPR Tangará, com redução da severidade de *Xanthomonas citri* pv. *fuscans* em ensaio de casa de vegetação e a campo. A aplicação desses agentes na forma de TS e TS+V3 reduzem a severidade da doença e trazem benefícios adicionais para as plantas. Cada agente de biocontrole e modo de aplicação apresentam ação dependendo da cultivar e das condições específicas do cultivo. Esses resultados contribuem para o avanço no conhecimento do manejo fitossanitário de cretamento bacteriano comum, antracnose e mancha-angular no feijão, fornecendo informações valiosas para agricultores e pesquisadores na busca por práticas agrícolas sustentáveis e eficazes.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABBASI, P. A.; WESELOWSKI, B. Influence of foliar sprays of *Bacillus subtilis* QST 713 on development of early blight disease and yield of field tomatoes in Ontario. *Canadian Journal of Plant Pathology*, v. 36, n. 2, p. 170-178, 2014.

ABBASI, S. et al. Streptomyces strains induce resistance to *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* race 3 in tomato through different molecular mechanisms. **Frontiers in Microbiology**, v. 10, p. 1505, 2019.

ABD EL-DAIM, I. A. et al. Identifying potential molecular factors involved in *Bacillus amyloliquefaciens* 5113 mediated abiotic stress tolerance in wheat. **Plant Biology**, v. 20, n. 2, p. 271-279, 2018.

ABD EL-DAIM, I. A.; BEJAI, S.; MEIJER, J. *Bacillus velezensis* 5113 induced metabolic and molecular reprogramming during abiotic stress tolerance in wheat. **Scientific reports**, v. 9, n. 1, p. 16282, 2019.

ABDEL-FATTAH, G. M. et al. Induction of defense responses in common bean plants by arbuscular mycorrhizal fungi. **Microbiological research**, v. 166, n. 4, p. 268-281, 2011.

ABDULLAH, M.T.; ALI, N.Y.; SULEMAN, P. Biological control of *Sclerotinia sclerotiorum* (Lib.) de Bary with *Trichoderma harzianum* and *Bacillus amyloliquefaciens* Crop Protection, v.27, p.1354-1359, 2008. DOI: 10.1016/j.cropro.2008.05.007.

AFZAL, I. et al. Plant beneficial endophytic bacteria: Mechanisms, diversity, host range and genetic determinants. **Microbiological research**, v. 221, p. 36-49, 2019.

AGRIOS, G. N. **Plant Pathology**, 5th ed San Diego: Elsevier Academic Press, p. 922, 2005.

ALAVI, S. M.; SANJARI, S.; DURAND, F.; BRIN, C.; MANCEAU, C.; POUSSIER, S. Assessment of the genetic diversity of *Xanthomonas axonopodis* pv. *phaseoli* and *Xanthomonas fuscans* subsp. *fuscans* as a basis to identify putative pathogenicity genes and a type III secretion system of the SPI-1 family by multiple suppression subtractive hybridizations. **Appl. Environ. Microbiol.** v. 74, p. 3295-3301, 2008.

ALFIKY, Alsayed; WEISSKOPF, Laure. Deciphering *Trichoderma*–plant–pathogen interactions for better development of biocontrol applications. **Journal of Fungi**, v. 7, n. 1, p. 61, 2021.

- ALKEMADE, J. A.; MESSMER, M. M.; VOEGELE, R. T.; FINCKH, M. R.; HOHMANN, P. Genetic diversity of *Colletotrichum lupini* and its virulence on white and Andean lupin. **Sci Rep Article**. P. 13547, 2021.
- ALMEIDA, H. O.; BARBOSA, M. O.; MARQUES, A. E.; PEREIRA, T. H. A.; MAGALHÃES JUNIOR, M. J.; TESSAROLLO, N. G.; GAMES, P. D.; BARROS, E. G.; STOLF-MOREIRA, R.; MARCELINO-GUIMARÃES, F. C.; ABDELNOOR, R. V.; PEREIRA, P. R. G.; BARACAT-PEREIRA, M. C. Enzimas marcadoras de indução de resistência diferencialmente reguladas em soja resistente e suscetível à ferrugem asiática da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 47, n. 2, p. 163-172, 2012.
- AL-OBAIDI, O. Studies on antibacterial and anticancer activity of *Nerium oleander* extracts. **Eur Chem Bull**, v. 3, n. 3, p. 259-262, 2014.
- AL-SADI, A. M.; AL-OWEISI, F. A.; EDWARDS, S. G.; AL-NADABI, H.; AL-FAHDI, A. M. Genetic analysis reveals diversity and genetic relationships among *Trichoderma* isolates from potting media, cultivated soil and uncultivated soil. **Biomed Central Microbiology**, London, v. 15, n. 147, p. 1-11, 2015.
- ALVES, S. A. M.; NUNES, C. C. Metodologia para elaboração de escalas diagramáticas para avaliação de doenças em planta. Embrapa Uva e Vinho- **Comunicado Técnico (INFOTECA-E)**, 2012.
- AMORIM, L.; BERGAMIN FILHO, A. **Manual de fitopatologia: Princípios e Conceitos**. 5.ed. São Paulo: Agronômica Ceres, p. 499-504, 2018.
- ANDRADE, M. J. B.; OLIVEIRA, D. P.; FIGUEIREDO, M. A.; MARTINS, F. A. D. Exigências edafoclimáticas. In: CARNEIRO, J. E.; PAULA JÚNIOR, T. J.; BORÉM, A. **Feijão - do plantio à colheita**. Viçosa: UFV, 2015. p. 68-95.
- ANDRADE, M.J.B.O., D.P., FIGUEIREDO, M. A., MARTINS, F. A. D. 2015. **Exigências Edafoclimáticas**. In: Carneiro. J. E; De Paula Junior. T. J., Bórem, A., Feijão (2ª ed). Viçosa: Editora UFV, 67-95.
- ANGELOPOULOU, D. J. et al. Biological control agents (BCAs) of verticillium wilt: influence of application rates and delivery method on plant protection, triggering of host defence mechanisms and rhizosphere populations of BCAs. **Plant pathology**, v. 63, n. 5, p. 1062-1069, 2014.
- ANJANA, G.; KINI, K. R.; SHETTY, H. S.; PRAKASH, H. S. Changes in Peroxidase Activity in Sunflower during Infection by Necrotrophic Pathogen *Alternaria helianthin*. **Archives of Phytopathology and Plant Protection** v. 41, p. 586-596, 2008.

ARAUJO, F. F.; MENEZES, D. Indução de resistência a doenças foliares em tomateiro por indutores químicos bióticos (*Bacillus subtilis*) e abiótico (Acibenzolar-S-Metil). **Summa Phytopathologica**, Botucatu, v. 35, n. 3, p. 169-172, 2009.

ARAUJO, L.; STADNIK, M. J. Cultivar-specific and ulvan-induced resistance of apple plants to *Glomerella* leaf spot are associated with enhanced activity of peroxidases. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 35, n. 3, p. 287-293, 2013.

AZEVEDO, L. A. S. **Manual de quantificação de doenças**. São Paulo: O Editor, p. 114, 1997.

BACON, C. W.; PALÊNCIA, E. R.; HINTON, D. M. Metabólitos secundários benéficos e tolerantes ao estresse de plantas abióticas e bióticas produzidos por espécies endofíticas de *Bacillus*. In: **Simbiose de micróbios vegetais: facetas aplicadas**. Nova Delhi: Springer India, 2015. p. 163-177.

BANOO, A.; NABI, A.; RASOOL, R. S.; SHAH, M. D.; MAHIYA-FAROOQ; AHMAD. M.; SOFI, P.; NABI, A.; ITOO, H.; SHARMA, P.; PADDER, B. A. Feijão comum do noroeste do Himalaia: estrutura populacional e mapeamento da antracnose quantitativa resistência através do estudo de associação ampla do genoma. **Front Plant Sci** v. 11, p. 1459, 2020.

BARBOSA, F. R.; GONZAGA, A. C. de O. **Informações técnicas para o cultivo do feijoeiro-comum na Região Central Brasileira: 2012-2014**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2012, p. 247.

BARET, F.; HOULÈS, V.; GUÉRIF, M. Quantification of plant stress using remote sensing observations and crop models: the case of nitrogen management. **Journal of Experimental Botany**, v. 58, p. 869-880, 2007.

BARROS, F. C.; SAGATA, E.; FERREIRA, L. C. C.; JULIATTI, F. C. Indução de resistência em plantas contra fitopatógenos. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 26, n. 2, p. 231- 239, 2010.

BENÍTEZ, T.; RINCÓN, A. M.; LIMÓN, M. C.; et al. Biocontrol mechanisms of *Trichoderma* strains. **Int Microbiol**, v. 7, p. 249–260, 2004.

BERIC, T. et al. Antimicrobial activity of *Bacillus* sp. natural isolates and their potential use in the biocontrol of phytopathogenic bacteria. **Food Technology and Biotechnology**, v. 50, n. 1, p. 25, 2012.

BETTIOL, W.; GHINI, R.; MORANDI, M. A. B.; STADNIK, M. J.; KRAUS, U.; STEFANOVA, M.; PRADO, A. M. C. Controle Biológico de Doenças de Plantas na América Latina. In: ALVES, S.B.; LOPES, R.B.(EDs.) **Controle Microbiano de**

Pragas na América Latina: avanços e desafios. Piracicaba: FEALQ, 2008, p. 303-331.

BETTIOL, W.; STADNIK, M. J. **Controle alternativo de oídios.** Stadnik, MJ Oídios, Jaguariúna, Embrapa Meio Ambiente, p. 165-192, 2001.

BIANCHINI, A.; MARINGONI, A. C.; CARNEIRO, S. M. T. P. G.
BIRCH, P. R. J. et al. RAPD PCR-based differentiation of *Xanthomonas campestris* pv. *phaseoli* and *Xanthomonas campestris* pv. *phaseoli* var. *fuscans*. **European Journal of Plant Pathology**, v. 103, p. 809-814, 2005.

BLOEM, E. et al. Facts and fiction about sulfur metabolism in relation to plant-pathogen interactions. **Plant Biology**, v. 9, n. 05, p. 596-607, 2007.

BLOEM, E. et al. Sulphur supply and infection with *Pyrenopeziza brassicae* influence L-cysteine desulphydrase activity in *Brassica napus* L. **Journal of Experimental Botany**, v. 55, n. 406, p. 2305-2312, 2004.

BLOEM, E., HANEKLAUS, S., KESSELMEIER, J., & SCHNUG, E. Sulfur fertilization and fungal infections affect the exchange of H₂S and COS from agricultural crops. **Journal of Experimental Botany**, v. 56, n. 416, p. 1601–1608, 2005.

BLOEM, E.; HANEKLAUS, S.; SCHNUG, E. Milestones in plant sulfur research on sulfur-induced-resistance (SIR) in Europe. **Frontiers in Plant Science**, v. 5, p. 779, 2015.

BOAVA, L. P. et al. Atividade de quitinases e peroxidases em folhas de eucalipto em diferentes estádios de desenvolvimento após tratamento com acibenzolar-S-metil (ASM) e inoculação com *Puccinia psidii*. **Tropical plant pathology**, v. 35, p. 124-128, 2010.

BOECHAT, L. T.; PINTO, F. A. C.; PAULA, J. R.; QUEIROZ, D. M.; TEIXEIRA, H. Detecção do mofo-branco no feijoeiro, utilizando características espectrais. **Revista Ceres**. p. 907-915, 2014.

BOLLIG, K. et al. Sulphur supply impairs spread of *Verticillium dahliae* in tomato. **European journal of plant pathology**, v. 135, p. 81-96, 2013.

BONALDO, S. M.; PASCHOLATI, S. F.; ROMEIRO, R. S. Indução de resistência: noções básicas e perspectivas. In: CAVALCANTI, L. S.; PIERO, R. M.; CIA, P.; PASCHOLATI, S. F.; RESENDE, M. L. V.; ROMEIRO, R. S. (Ed.). **Indução de resistência em plantas a patógenos e insetos**. Piracicaba: FEALQ, 2005b, p. 11-28.

- BONALDO, S. M.; SCHWAN-ESTRADA, K. R. F.; STANGARLIN, J. R.; TESSMAN, D. J. SCAPIM, C. A. Fungitoxicidade, atividade elitora de fitoalexinas e proteção de pepino contra *Colletotrichum lagenarium*, pelo extrato aquoso de *Eucalyptus citriodora*. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 29, p. 128-134, 2004.
- BOREL, J.C., RAMALHO, M.A.P., ABREU, A.F.B. AND MAIA, L.G.S. Genetic control of the angular leaf spot reaction in common bean leaves and pods. **Scientia Agricola** 68: 661-664. 2011.
- BORGES, A.; MELOTTO, M.; TSAI, S.; CALDAS, D. G. G. Mudanças na expressão gênica espacial e temporal durante interação incompatível entre feijoeiro e patógeno da antracnose. **J Plant Physiol** v. 169, n. 12, p. 1216–1220, 2012.
- BRADBURY, J. F. **Guide to plant pathogenic bacteria**. [s.l.] CAB international, 1986.
- BRADFORD, M. A. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. **Analytical Biochemistry**, v. 72, p. 248-254, 1976.
- BROETTO, L. et al. Indução de resistência a *Xanthomonas axonopodis* pv. *phaseoli* mediada por diferentes espécies de *Trichoderma* na cultura do feijão. 2017.
- BROTMAN, Y.; KAPUGANTI, J. G.; VITERBO, A. *Trichoderma*. **Current Biology**, London, v. 20, n. 9, p. 390-391, 2010.
- BULL, C. T.; DE BOER, S. H.; DENNY, T. P.; FIRRAO, G.; SAUX, M. F.; SADDLER, G. S.; SCORTICHINI, M.; STEAD, D. E.; TAKIKAWA, Y. Comprehensive list of names of plant pathogenic bacteria, 1980–2007. **Journal of Plant Pathology**, v. 1, p. 551–592, 2010.
- BUZI, A. et al. Induction of resistance in melon to *Didymella bryoniae* and *Sclerotinia sclerotiorum* by seed treatments with acibenzolar-S-methyl and methyl jasmonate but not with salicylic acid. **Journal of Phytopathology**, v. 152, n. 1, p. 34-42, 2004.
- CAMPA, A.; RODRÍGUEZ-SUÁREZ, C.; GIRALDEZ, R.; FERREIRA, J. J. Análise genética da resposta a onze raças de *Colletotrichum lindemuthianum* em uma população RIL de feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.). **BMC Plant Biology**, v. 14, p. 115, 2014.
- CAMPOS, A. Atividade de peroxidase e polifenoloxidase na resistência do feijão à antracnose. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 39, n. 7, p. 637-643, 2004.

CAMPOS, Â. D. et al. Induction of chalcone synthase and phenylalanine ammonia-lyase by salicylic acid and *Colletotrichum lindemuthianum* in common bean. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 15, p. 129-134, 2003.

CANTERI, M. G.; DALLA PRIA, M. SCHIEBELBEIN, L. M.; SILVA, O. C.; AMORIM, L.; BERGAMIN FILHO, A. Relações entre área foliar sadia, produtividade, refletância e severidade da mancha angular em feijoeiro. **Fitopatologia Brasileira**, v. 23, p. 498-501, 1998.

CARPITA, N. C.; MCCANN, M. The cell wall. In Biochemistry and Molecular Biology of Plants, B. Buchanan, W. Gruissem, and R.L. Jones, eds Rockville, MD: **American Society of Plant Physiologists**, p. 52–108, 2000.

CARVALHO, D.D.C.; LOBO JUNIOR, M.; MARTINS, I.; INGLIS, P.W.; MELLO, S.C.M. Biological control of *Fusarium oxysporum* f. sp. *Phaseoli* by *Trichoderma harzianum* and its use for common bean seed treatment. **Tropical Plant Pathology**, v.39, p.384-391, 2014. DOI: 10.1590/S1982-56762014000500005.

CARVALHO, Daniel Diego Costa et al. Biological control of *Fusarium* wilt on common beans by in-furrow application of *Trichoderma harzianum*. **Tropical Plant Pathology**, v. 40, p. 375-381, 2015.

CAVALCANTI, L. S.; BRUNELLI, K. R.; STANGARLIN, J. R. Aspectos bioquímicos e moleculares da resistência induzida. In: CAVALCANTI, L. S.; DI PIERO, R. M.; CIA, P.; PASCHOLATI, S. F.; RESENDE, M. L. V.; ROMERO, R. S. **Indução de resistência em plantas a patógenos e insetos**. Piracicaba: FEALQ, 2005, p. 81-124.

CAWOY, H. et al. Pesticides in the modern world—pesticides use and management. **Edited by Dr. Margarita Stoytcheva**, 2011.

COOK, R. J., & VESETH, R. Fungi and Bacteria in Soil and Their Control. In **Principles of Plant Pathology**. Springer. 1991.

CHAN, J. W. Y. F.; GOODWIN, P. H. Differentiation of *Xanthomonas campestris* pv. *phaseoli* from *Xanthomonas campestris* pv. *phaseoli* var. *fuscans* by PFGE and RFLP. **European Journal of Plant Pathology**, v. 105, p. 867-878, 1999.

CHEN, N. W. G. et al. Common bacterial blight of bean: a model of seed transmission and pathological convergence. **Molecular Plant Pathology**, v. 22, n. 12, p. 1464-1480, 2021.

CHEN, X. H. et al. Genome analysis of *Bacillus amyloliquefaciens* FZB42 reveals its potential for biocontrol of plant pathogens. **Journal of biotechnology**, v. 140, n. 1-2, p. 27-37, 2009.

CHEN, X. H. et al. Comparative analysis of the complete genome sequence of the plant growth-promoting bacterium *Bacillus amyloliquefaciens* FZB42. **Nature biotechnology**, v. 25, n. 9, p. 1007-1014, 2007.

CHEN, Xiao-Hua et al. Structural and functional characterization of three polyketide synthase gene clusters in *Bacillus amyloliquefaciens* FZB 42. *Journal of bacteriology*, v. 188, n. 11, p. 4024-4036, 2006.

CHET, I.; INBAR, J.; HADAR, I. Fungal antagonists and mycoparasites. In: Wicklow DT, Söderström B (eds) *The Mycota IV: Environmental and microbial relationships*. Springer-Verlag, Berlin, 1997, p. 165-184.

CHETHANA, K. W. T.; JAYAWARDENA, R. S.; CHEN, Y. J.; KONTA, S.; TIBPROMMA, S.; ABEYWICJRAMA, P. D.; GOMDOLA, D.; BALASURIYA, A.; JIANPING, X. U.; LUMYONG, S.; HYDE, K. Diversity and function of appressoria. **Pathogens**, v. 10, p. 746, 2021.

CHITTOOR, J. M.; LEACH, J. E.; WHITE, F. F. Induction of peroxidase during defense against pathogens. **Pathogenesis-related proteins in plants**, p. 171-193, 1999.

CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Observatório Agrícola: Acompanhamento da Safra Brasileira, safra 2022/2023**. v. 10; n. 10, 2023.

CONRATH, U.; PIETERSE, C. M. J.; MAUCH-MANI, B. Priming in plant-pathogen interactions. **Trends in Plant Science**, v. 7, p. 210-216, 2002.

CONSTANTIN, E.; CLEENWERCK, I.; MAES, M.; BAEYEN, S.; VAN MALDERGHEN, C.; DE VOS, P.; AND COTTYN, B. Genetic characterization of strains named as *Xanthomonas axonopodis* pv. *dieffenbachiae* leads to a taxonomic revision of the *X. axonopodis* species complex. **Plant Pathol.** v. 65, p. 792-806, 2016.

CONTRERAS-CORNEJO, H. A.; LÓPEZ-BUCIO, J. S.; MÉNDEZ-BRAVO, A. et al. Mitogen-activated protein kinase 6 and ethylene and auxin signaling pathways are involved in *Arabidopsis* root-system architecture alterations by *Trichoderma atroviride*. **Mol Plant Microbe Interact**, v. 28, p. 701–710, 2015.

CONTRERAS-CORNEJO, H.; ORTIZ-CASTRO, R.; LÓPEZ-BUCIO, J. Promotion of plant growth and the induction of systemic defence by *Trichoderma*: physiology, genetics and gene expression. In: MUKHERJEE, P. K. (ed) **Trichoderma biology and applications**. CABI, London, 2013, p. 175–196.

CONTRERAS-CORNEJO, H. A. et al. *Trichoderma virens*, a plant beneficial fungus, enhances biomass production and promotes lateral root growth through an auxin-

dependent mechanism in Arabidopsis. **Plant physiology**, v. 149, n. 3, p. 1579-1592, 2009.

COSTA, J. G. C. DA; KOHASHI-SHIBATA, J.; COLIN, S. M. Plasticidade no feijoeiro comum. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 18, p. 159-167, 1983.

DARRASSE, A. et al. Niches and routes of transmission of *Xanthomonas citri* pv. *fuscans* to bean seeds. **Plant and Soil**, v. 422, p. 115-128, 2018.

DARRASSE, A. et al. Contamination of bean seeds by *Xanthomonas axonopodis* pv. *phaseoli* associated with low bacterial densities in the phyllosphere under field and greenhouse conditions. **European Journal of Plant Pathology**, v. 119, p. 203-215, 2007.

DE KESEL, J. et al. The induced resistance lexicon: Do's and don'ts. **Trends in plant science**, v. 26, n. 7, p. 685-691, 2021.

DE OLIVEIRA, A. G.; MURATE, L.S.; SPAGO, F.R.; DE PAULA LOPES, L.; DE OLIVEIRA BERANGER, J.P.; SAN MARTIN, J.A.B.; NOGUEIRA, M.A.; DE MELLO, J.C.P.; DE JESUS ANDRADE, C.G.T. AND ANDRADE, G., Evaluation of the antibiotic activity of extracellular compounds produced by the *Pseudomonas* strain against the *Xanthomonas citri* pv. *citri* 306 strain. **Biological Control**, v. 56, n. 2, p.125-131, 2011.

DE QUADROS, F. M; GARCÉS-FIALLOS, F. R.; de BORBA, M. C; de FREITAS, M. B.; STADNIK, M. J. *Fusarium oxysporum* affects differently the hydrogen peroxide levels and oxidative metabolism in susceptible and resistant bean roots. **Physiological and Molecular Plant Pathology**, v. 106, p.1-6, 2019.

DEISING, H. B.; REIMANN, S.; PASCHOLATI, S. F. Mechanisms and significance of fungicide resistance. **Brazilian Journal of Microbiology**, v. 39, p. 286-295, 2008.

DEL RIO, L. E.; LAMPPA, R. S.; GROSS, P. L.; BROLLEY, B.; PRISCHMANN, J. Identificação de *Colletotrichum lindemuthianum* raça 73 em Manitoba, Canadá. **Jornal Canadense de Patologia Vegetal**, v. 25, n. 104-107, 2003.

Delgado, D. Z., Freitas, M. B., & Stadnik, M. J. (2013). Effectiveness of saccharin and ulvan as resistance inducers against rust and angular leaf spot in bean plants (*Phaseolus vulgaris*). *Crop Protection*, 47, 67-73.

DHAU, I.; ADAM, E.; MUTANGA, O.; AYISI, K.; ABDEL-RAHMAN, E. M.; ODINDI, J.; MASOCHA, M. Testing the capability of spectral resolution of the new multispectral sensors on detecting the severity of grey leaf spot disease in maize crop. **Geocarto International**. p. 1-14, 2017.

DÍAZ, C. G., BASSANEZI, R. B., BERGAMIN FILHO, A. Desenvolvimento e validação de uma escala diagramática para *Xanthomonas axonopodis* pv. *phaseoli* em feijoeiro. **Summa Phytopathologica**, v. 27, n. 1, p. 35-39, 2001.

DIMOPOULOU, Anastasia et al. Direct antibiotic activity of bacillibactin broadens the biocontrol range of *Bacillus amyloliquefaciens* MBI600. **Msphere**, v. 6, n. 4, p. 10.1128/msphere. 00376-21, 2021.

DIXON, R. A.; PAIVA, N. L. Stress-induced phenylpropanoid metabolism. **The Plant Cell, Baltimore**, v.7, p.1085-1097, 1995.

DONI, F.; ANIZANB, I.; CHE RADZIAH, C. M. Z.; YUSOFFA, W. M. W. Transpiration rates of rice plants treated with *Trichoderma* spp. **AIP Conf Proc**, v. 1614, p.566-569, 2014.

DUBUIS, P. H. et al. Sulphur deficiency causes a reduction in antimicrobial potential and leads to increased disease susceptibility of oilseed rape. **Journal of Phytopathology**, v. 153, n. 1, p. 27-36, 2005.

DUTRA, E. P. **Uso de VANTs na Agricultura**. Obtenção e tratamento de dados. Trabalho de conclusão de curso. Ponta Grossa: Universidade Estadual de Ponta Grossa, 2014.

DUTT, S., GAUR, A., KUMAR, A., & TRENKAMP, S. Characterization of a Citrus R2R3-MYB Transcription Factor that Regulates the Flavonol and Hydroxycinnamic Acid Biosynthesis. **Scientific Reports**, v. 9, n. 1, p.1–14, 2019.

DYE, D. W. et al. International standards for naming pathovars of phytopathogenic bacteria and a list of pathovar names and pathotype strains. **Review of Plant pathology**, v. 59, n. 4, p. 153-168, 1980.

EL-HASAN, Abbas et al. Detection of viridifungin A and other antifungal metabolites excreted by *Trichoderma harzianum* active against different plant pathogens. **European Journal of Plant Pathology**, v. 124, p. 457-470, 2009.

EL-RAHMAN, S. S. A.; MOHAMED, H. I. Application of benzothiadiazole and *Trichoderma harzianum* to control faba bean chocolate spot disease and their effect on some physiological and biochemical traits. **Acta Physiologiae Plantarum**, Sweden, v. 36, n. 2, p. 343-354, 2014.

EMBRAPA. (2009). Doenças bacterianas: crestamento bacteriano comum. Disponível em: <<http://www.cnpaf.embrapa.br/feijao/pragasedoencas/crestamento.htm>>. Acesso em: 24 maio 2022.

EMBRAPA. Defesa de plantas contra o ataque de fitopatógenos. **Documentos 250**, v. 17, 2008.

ENYIUKWU, D. N.; AMADIOHA, A. C.; ONONUJU, C. C. Evaluation of some pesticides of plant origin for control of anthracnose disease (*Colletotrichum destructivum*) in cowpea. **Asian J Agric**, v. 5, p. 4–11, 2021.

FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V. C.; CLARK, R. B. **Physiology of crop production**. New York: Food Products Press, 2006, p.345.

FAN, B., CHEN, X. H., BUDIHARJO, A., BLEISS, W., VATER, J., BORRIS, R., & SONG, C. Cellobiose lipids secreted by *Burkholderia terrae* promote growth and induce systemic resistance on *Arabidopsis thaliana* plants. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 77, n. 12, p. 4956–4962, 2011.

FAN, X. et al. Over-expression of pectinase gene in endophytic *Bacillus strains* and its effect on colonization. **Chin J Appl Environ Biol**, v. 19, p. 805-810, 2013.

FERREIRA, D. F. Sisvar: um guia para seus procedimentos Bootstrap em comparações múltiplas. **Ciência e agrotecnologia**, v. 38, p. 109-112, 2014.

FIRA, D. et al. Biological control of plant pathogens by *Bacillus species*. **Journal of biotechnology**, v. 285, p. 44-55, 2018.

FLORES-SOSA, Á. R. et al. Variation in protein and amino acids content among landraces of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **Emirates Journal of Food and Agriculture**, p. 750-760, 2020.

FONTANA, D. C. et al. Endophytic fungi: Biological control and induced resistance to phytopathogens and abiotic stresses. **Pathogens**, v. 10, n. 5, p. 570, 2021.

FORBES, R. R., DICKSON, J. G. **Sulfur as a Fungicide and Bactericide**. In Fungicides for Plant Disease Management. Springer. 2006.

FORTUNATO, A. A., DEBONA, D., BERNARDELI, A. M. A., & RODRIGUES, F. A. Enzimas relacionadas à defesa na resistência da soja à mancha-alvo. **Jornal de Fitopatologia**, v. 163, p. 731-742, 2015.

FOUSIA, S.; PAPLOMATAS, E. J.; TJAMOS, S. E. *Bacillus subtilis* QST 713 Confers Protection to Tomato Plants Against *Pseudomonas syringae* pv tomato and Induces Plant Defence-related Genes. **Journal of Phytopathology**, v. 164, n. 4, p. 264-270, 2016.

FRADKIN, D., FINERAN, P. C. The Role of Sulfur in Plant Pathogen Control. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v. 68, n. 12, p.3452-3461. 2020. doi:10.1021/acs.jafc.0c00589.

FRANCIS, I.; HOLSTERS, M.; VEREECKE, D. The Gram-positive side of plant–microbe interactions. *Environmental Microbiology*, v. 12, n. 1, p. 1-12, 2010.

FU, X. et al. Physiological response and sulfur metabolism of the *V. dahliae*-infected tomato plants in tomato/potato onion companion cropping. *Scientific reports*, v. 6, n. 1, p. 36445, 2016.

GAKUUBI, M. M. et al. Chemical composition and antibacterial activity of essential oils of *Tagetes minuta* (Asteraceae) against selected plant pathogenic bacteria. *International Journal of Microbiology*, 2016.

GAMEZ, R. et al. Screening, plant growth promotion and root colonization pattern of two rhizobacteria (*Pseudomonas fluorescens* Ps006 and *Bacillus amyloliquefaciens* Bs006) on banana cv. Williams (*Musa acuminata* Colla). *Microbiological research*, v. 220, p. 12-20, 2019.

GARCÉS-FIALLOS, F. R., de BORBA, M. C., SCHMIDT, É. C., BOUZON, Z. L., STADNIK, M. J. Delayed upward colonization of *Xylem vessels* is associated with resistance of common bean to *Fusarium oxysporum* f. sp. *phaseoli*. *European Journal of Plant Pathology*, v. 149, n. 2, p.477-489, 2017.

GAUSMAN, H. W. Leaf reflectance if near-infrared. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. v. 51, n. 11, p. 1725-1734, 1985.

GERALDINE, A.M.; LOPES, F.A.C.; CARVALHO, D.D.C.; BARBOSA, E.T.; RODRIGUES, A.R.; BRANDÃO, R.S.; ULHOA, C.J.; LOBO JUNIOR, M. Cell wall-degrading enzymes and parasitism of sclerotia are key factors on field biocontrol of white mold by *Trichoderma* spp. *Biological Control*, v.67, p.308-316, 2013. DOI: 10.1016/j.biocontrol.2013.09.013.

GHISALBERTI, E. L. Anti-infective agents produced by the Hyphomycetes genera *Trichoderma* and *Gliocladium*. *Current Medicinal Chemistry-Anti-Infective Agents*, v. 1, n. 4, p. 343-374, 2002.

GILARDI, G. et al. Efficacy of the biocontrol agents *Bacillus subtilis* and *Ampelomyces quisqualis* applied in combination with fungicides against powdery mildew of zucchini/Kombinationswirkung der Antagonisten *Bacillus subtilis* und *Ampelomyces quisqualis* mit Fungiziden gegenüber dem Echten Gurken-Mehltau *Podosphaera xanthii* an Zucchini. *Journal of Plant Diseases and Protection*, p. 208-213, 2008.

GIORGIO, A. et al. *Rhizobacteria* isolated from common bean in southern Italy as potential biocontrol agents against common bacterial blight. **European journal of plant pathology**, v. 144, p. 297-309, 2016.

GITELSON, A. A.; KAUFMAN, Y. J.; STARK, R.; RUNDQUIST, D. Novel algorithms for remote estimation of vegetation fraction. **Remote Sensing of Environment**, p. 76-87, 2002.

GODOY, C. V. et al. Diagrammatic scales for bean diseases: development and validation/Diagrammatische Boniturskalen für Bohnenkrankheiten: Entwicklung und Validation. Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz/Journal of **Plant Diseases and Protection**, p. 336-345, 1997.

GONZÁLEZ-CHAVIRA, M.; RODRÍGUEZ-GUERRA, R.; HERNÁNDEZ-GODÍNES, F.; ACOSTA-GALLEGOS, J. A.; MARTÍNEZ DE LA VEJA, O.; SIMPSON, J. Análise de patótipos de *Colletotrichum lindemuthianum* encontrados na região central do México e resistência em germoplasma elite de *Phaseolus vulgaris*. **Plant Disease**, v. 88, p. 152 – 156, 2004.

GOWTHAM, H. G. et al. Plant growth promoting rhizobacteria-*Bacillus amyloliquefaciens* improves plant growth and induces resistance in chilli against anthracnose disease. **Biological control**, v. 126, p. 209-217, 2018.

GRAHAM, P. H.; RANALLI, P. Common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 53, n. 1, p. 131-146, 1997.

GU, G. et al. Sulfur induces resistance against canker caused by *Pseudomonas syringae* pv. *actinidae* via phenolic components Increase and morphological structure modification in the kiwifruit stems. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 22, n. 22, p. 12185, 2021.

GULLINO, L. M.; LEROUX, P.; SMITH, C. M. Uses and challenges of novels compounds for plant disease control. **Crop Protection**, Guildford, v. 19, p. 1-11, 2000.

GUO, Q. et al. Fengycin produced by *Bacillus subtilis* NCD-2 plays a major role in biocontrol of cotton seedling damping-off disease. **Microbiological Research**, v. 169, n. 7-8, p. 533-540, 2014.

HABOUDANE, D.; MILLER, J. R.; PATTEY, E.; ZARCO-TEJADA, P. J.; STRACHAN, I. B. Hyperspectral vegetation indices and novel algorithms for predicting green LAI of crop canopies: Modeling and validation in the contexto of precision agriculture. **Remote Sensing of Environment**. v. 90, 2004.

HALLMANN, J. et al. Bacterial endophytes in agricultural crops. **Canadian journal of microbiology**, v. 43, n. 10, p. 895-914, 1997.

HANEKLAUS, S.; BLOEM, E.; SCHNUG, E. Disease control by sulphur induced resistance. **Aspects of Applied Biology**, p. 221-224, 2009.

HARMAN, G. E. Myths and dogmas of biocontrol. Changes in perceptions derived from reasearch on *Trichoderma harzianum* T-22. **Plant Dis**, v. 84, p. 377–393, 2000.

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

HERMOSA, M. R.; GRONDONA, I.; ITURRIAGA, E. A.; DIAZ-MINGUEZ, J. M.; CASTRO, C.; MONTE, E.; GARCIA-ACHA, I. Molecular characterization and identification of biocontrol isolates of *Trichoderma* spp. **Applied Microbiology and Biotechnology**, Berlin, v. 66, n. 5, p. 1890-1898, 2000.

HERMOSA, R. et al. Plant-beneficial effects of *Trichoderma* and of its genes. **Microbiology**, v. 158, n. 1, p. 17-25, 2012.

HERMOSA, R. et al. The contribution of *Trichoderma* to balancing the costs of plant growth and defense. **Int. Microbiol**, v. 16, n. 2, p. 69-80, 2013.

HERNANDEZ-BLANCO, C. et al. Impairment of cellulose synthases required for Arabidopsis secondary cell wall formation enhances disease resistance. **The Plant Cell**, v. 19, n. 3, p. 890-903, 2007.

HEWEZI, T. et al. Phytopathogen-induced changes to plant methylomes. **Plant Cell Reports**, v. 37, p. 17-23, 2018.

HORSFALL, J. G., COWLING, E. B. **Plant Disease Control: Principles and Practice**. Academic Press. 1980.

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

INDEX FUNGORUM. Banco de dados de taxonomia de fungos. Disponível em: <https://www.indexfungorum.org/names/names.asp> . Acesso em: 10 jan. 2023.

JACQUES, M. A.; ARLAT, M.; BOULANGER, A.; BOUREAU, T.; CARRÈRE, S.; CESBRON, S.; VERNIÈRE, C. Usando ecologia, fisiologia e genômica para entender a

especificidade do hospedeiro em *Xanthomonas*. **Ann. Rev. Phytopathol.** v. 54, p. 163-187, 2016.

JAMAL, C. M.; SILVEIRA, D.; RONCHI, R.; ANDRADE, M. A.; BATITUCCI, M. C.; BRASILEIRO, B. G.; SILVA, M. B. O uso de extratos vegetais no controle alternativo da podridão pós-colheita da banana. In: SIMPÓSIO NACIONAL DO CERRADO, IX, 2008, ParlaMundi. Anais... Brasília, DF: EMBRAPA Cerrados, 2008, p. 1-9.

JAVOID, A.; ALI, A.; SHOAIB, A.; KHAN, I. H. Alleviating stress of *Sclerotium rolfsii* on growth of chickpea var. Bhakkar-2011 by *Trichoderma harzianum* and *T. viride*. **J Anim Plant Sci**, v. 31, p. 1755- 1761, 2021.

JL, C. et al. Genomic analysis reveals potential mechanisms underlying promotion of tomato plant growth and antagonism of soilborne pathogens by *Bacillus amyloliquefaciens* Ba13. **Microbiology Spectrum**, v. 9, n. 3, p. e01615-21, 2021.

JL, K.; WANG, Y.; SUN, W.; LOU, Q.; MEI, H.; SHEN, S.; CHEN, H. Drought-responsive mechanisms in rice genotypes with contrasting drought tolerance during reproductive stage. **J Plant Physiol**, v. 169, p. 336-344, 2012.

JIAO, R. et al. *Bacillus amyloliquefaciens* YN201732 produces lipopeptides with promising biocontrol activity against fungal pathogen *Erysiphe cichoracearum*. **Frontiers in Cellular and Infection Microbiology**, v. 11, p. 598999, 2021.

JOGAIAH, S. et al. Different mechanisms of *Trichoderma virens*-mediated resistance in tomato against *Fusarium* wilt involve the jasmonic and salicylic acid pathways. **Molecular plant pathology**, v. 19, n. 4, p. 870-882, 2018.

JULIATTI, F. C.; POLIZEL, A. C.; JULIATTI, A. C. **Manejo Integrado de Doenças na Cultura da soja**. Uberlândia: UFU. 2004, p. 327.

KADEGE, E. L. et al. Pathogenicity and approaches for management of anthracnose in common bean (*Phaseolus vulgaris*) in Africa. **Int. J. Agric Biol**, v. 28, p. 269-280, 2022.

KAMLE, M.; BORAH, R.; BORA, H.; JAISWAL, A. K.; SINGH, R. K.; KUMAR, P. Systemic Acquired Resistance (SAR) and Induced Systemic Resistance (ISR): Role and Mechanism of Action Against Phytopathogens. In **Fungal Biotechnology and Bioengineering**; Hesham, A.E.-L., Upadhyay, R.S., Sharma, G.D., Manoharachary, C., Gupta, V.K., Eds.; Springer: Cham, Switzerland, 2020; p. 457–470.

KANDAN, A. et al. Induction of phenylpropanoid metabolism by *Pseudomonas fluorescens* against tomato spotted wilt virus in tomato. **Folia microbiologica**, v. 47, p. 121-129, 2002.

KAZEROONI, Elham Ahmed et al. Biocontrol Potential of *Bacillus amyloliquefaciens* against *Botrytis pelargonii* and *Alternaria alternata* on *Capsicum annuum*. **Journal of Fungi**, v. 7, n. 6, p. 472, 2021.

KELEMU, S.; CARDONA, C.; SEGURA, G. Antimicrobial and insecticidal protein isolated from seeds of *Clitoria ternatea*, a tropical forage legume. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 42, n. 11, p. 867-873, 2004.

KELLY, J. D.; BORNOWSKI, N. Melhoramento assistido por marcadores para características econômicas em feijoeiro. **Biotecnologias de melhoramento de culturas**, Springer, Cham, v. 3, p. 211–238, 2018.

KELLY, J. D.; VALLEJO, V. A. Uma revisão abrangente dos principais genes que condicionam a resistência à antracnose em feijoeiro comum. **Hort Science**, v. 39, n. 6, p. 1196–1207, 2004.

KESWANI, C.; MISHRA, S.; SARMA, B. K.; SINGH, S. P.; SINGH, H. B. Unraveling the efficient applications of secondary metabolites of various *Trichoderma* spp. **Applied Microbiology and Biotechnology**, Berlin, v. 98, p. 533-544, 2014.

KHALEDI, N.; TAHERI, P. Biocontrol mechanisms of *Trichoderma harzianum* against soybean charcoal rot caused by *Macrophomina phaseolina*. **Journal of plant protection research**, Poznan, v.56, n.1, p.21-31, 2016.

KHAN, I. H.; JAVAID, A. DNA cleavage of the fungal pathogen and production of antifungal compounds are the possible mechanisms of action of biocontrol agent *Penicillium italicum* against *Macrophomina phaseolina*. **Mycologia**, v. 114, p. 24–34, 2022.

KHAN, I. H.; JAVAID, A.; AHMED, D. *Trichoderma viride* controls *Macrophomina phaseolina* through its DNA disintegration and production of antifungal compounds. **Inter J Agric Biol**, v. 25, p. 888- 894, 2021.

KHAN, W.; PRITHIVIRAJ, B.; SMITH, D. L. Photosynthetic responses of corn and soybean to foliar application of salicylates. **Journal of plant physiology**, v. 160, n. 5, p. 485-492, 2003.

KINSELLA, Karen et al. Rapid quantification of *Bacillus subtilis* antibiotics in the rhizosphere. *Soil Biology and Biochemistry*, v. 41, n. 2, p. 374-379, 2009.

KLIKOCKA, H. et al. Influence of sulfur fertilization on infection of potato tubers with *Rhizoctonia solani* and *Streptomyces scabies*. *Journal of Plant Nutrition*, v. 28, n. 5, p. 819-833, 2005.

KÖHL, J.; KOLNAAR, R.; RAVENSBERG, W. J. Mode of action of microbial biological control agents against plant diseases: relevance beyond efficacy. **Frontiers in plant science**, p. 845, 2019.

KONAPPA, Narasimhamurthy et al. Efficacy of indigenous plant growth-promoting rhizobacteria and *Trichoderma* strains in eliciting resistance against bacterial wilt in a tomato. **Egyptian Journal of Biological Pest Control**, v. 30, p. 1-13, 2020.

KOURELIS, J.; VAN DER HOORN, R. A. L. Defended to the nines: 25 years of resistance gene cloning identifies nine mechanisms for R protein function. **The Plant Cell**, v. 30, n. 2, p. 285-299, 2018.

KRUSE, C. et al. Improved sulfur nutrition provides the basis for enhanced production of sulfur-containing defense compounds in *Arabidopsis thaliana* upon inoculation with *Alternaria brassicicola*. **Journal of plant physiology**, v. 169, n. 7, p. 740-743, 2012.

KRUSE, C. et al. Sulfur-enhanced defence: effects of sulfur metabolism, nitrogen supply, and pathogen lifestyle. **Plant Biology**, v. 9, n. 05, p. 608-619, 2007.

KUHN, O. J. Indução de resistência em feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*) por acibenzolar-S-metil e *Bacillus cereus*: aspectos fisiológicos, bioquímicos e parâmetros de crescimento e produção. 2007. 140 f. Tese (Doutorado em Fitopatologia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

KUHN, O. J.; PASCHOLATI, S. F.; CARDOSO FILHO, J. A.; PORTZ, R. L.; OSSWALD, W. Indução de resistência sistêmica em plantas: aspectos gerais, efeitos na produção e sobre microrganismos não-alvo. In: Luz WC (Ed.) **Revisão Anual de Patologia de Plantas**, v. 14, p. 249-300, 2006.

KUMAR, A.; MALI, P. C.; MANGA, V. K. Changes of some phenolic compounds and enzyme activities on infected pearl millet caused by *Sclerospora graminicola*. **International Journal of plant physiology and biochemistry**, v. 2, n. 1, p. 6-10, 2010.

KÜNSTLER, A. et al. The versatile roles of sulfur-containing biomolecules in plant defense- A road to disease resistance. **Plants**, v. 9, n. 12, p. 1705, 2020.

- LAZO, G. R.; ROFFEY, R.; GABRIEL, D. W. Pathovars of *Xanthomonas campestris* are distinguishable by restriction fragment-length polymorphism. **International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology**, v. 37, n. 3, p. 214-221, 1987.
- LEÃO, E. U., SILVA, J. C. D., MEDEIROS, F. R., MACÊDO, G. S. S. R., ADORIAN, G. C., MARINGONI, A. C. Potencial in vitro de *Bacillus* spp. no controle de *Curtobacterium flaccumfaciens* pv. *flaccumfaciens* em feijoeiro-comum. **Summa Phytopathologica**, v. 42, n. 4, p. 360-362, 2018.
- LEMOES, L. B. et al. Características agronômicas e tecnológicas de cultivares de feijão do grupo comercial Carioca. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 39, p. 319–326, 2004.
- LLORENS, E.; GARCÍA-AGUSTÍN, P.; LAPENÑA, L. Advances in induced resistance by natural compounds: towards new options for woody crop protection. **Scientia Agricola**, v. 74, p. 90-100, 2017.
- LO, L.C.; WEIERGANG, I.; BONHAM, C.; HIPSKIND, J.; WOOD, K.; NICHOLSON, R. L. Phytoalexin accumulation in sorghum: identification of a methyl ether of luteolinidin. **Physiological and Molecular Plant Pathology**. v. 49, p. 21-31, 1996.
- LOBO JUNIOR, M. **Análise de risco para pragas não quarentenárias regulamentadas do feijoeiro comum**. Embrapa Arroz e feijão. 2009.
<http://extranet.agricultura.gov.br/sislegis-consulta/servlet/VisualizarAnexo?id=15151>>
 Acesso em: 24 jul. 2023.
- LOGAN, N. A. et al. Genus *I. bacillus*. **Bergey's manual of systematic bacteriology**, v. 3, p. 21-128, 2009.
- LORENZETTI, E. et al. Indução de resistência à *Macrophomina phaseolina* em soja tratada com extrato de alecrim (*Rosmarinus officinalis*). **Summa Phytopathologica**, v. 44, n. 1, p. 45-50, 2018.
- LU, S., LU, X., ZHAO, W., LIU, Y.; WANG, Z.; OMASA, K. Comparação de índices de vegetação para medição remota de clorofila em folhas de álamo-branco e olmo-da-china com diferentes superfícies adaxial e abaxial. **Journal of Experimental Botany**, v. 66, n. 18, p. 5625-5637, 2015.
- LUCAS, J. A.; HAWKINS, N. J.; FRAAIJE, B. A. The evolution of fungicide resistance. **Advances in applied microbiology**, v. 90, p. 29-92, 2015.

LUO, L. et al. *Bacillus amyloliquefaciens* as an excellent agent for biofertilizer and biocontrol in agriculture: An overview for its mechanisms. **Microbiological Research**, v. 259, p. 127016, 2022.

LUSSO, M. F. G.; PASCHOLATI, S. F. Activity and isoenzymatic pattern of soluble peroxidases in maize tissues after mechanical injury or fungal inoculation. **Summa Phytopathologica** 25:244-249, 1999.

LUTHRA, Y. P.; JOSHI, U. N.; GANDHI SK, ARORA, S. K. Biochemical alteration in downy mildew infected Lucerne leaves. **Indian Phytopath**, v. 41, p. 100-106, 1988.

MADI, L.; KATAN, J. *Penicillium janczewskii* and its metabolites, applied to leaves, elicit systemic acquired resistance to stem rot caused by *Rhizoctonia solani*. **Physiological and Molecular Plant Pathology**, v. 53, n. 3, p. 163-175, 1998.

MAHIYA-FAROOQ; PADDER, B. A.; BHAT, N. N.; SHAH, M.; SHIKARI, A. B.; AWALE, H. E.; KELLY, J. D. Expressão temporal de genes candidatos no locus Co-1 e sua interação com outros genes relacionados à defesa no feijão comum. **Physiol Mol Plant Pathol**, v. 108, p. 101424, 2019.

MAHLEIN, A. K.; OERKE, E. C.; STEINER, U.; DEHNE, H. W. Recent advances in sensing plant diseases for precision crop protection. **European Journal of Plant Pathology**, v. 133, n. 1, p. 197-209, 2012.

MAHLEIN, A. K.; RUMPF, T.; WELKE, P.; DEHN, H. W.; PLÜMER, L.; STEINER, U.; OERKE, E. C. Development of spectral indices for detecting and identifying plant diseases. **Remote Sensing of Environment**, v. 128, p. 21-30, 2013.

MAHUKU, G. S.; JARÁ, C.; HENRÍQUEZ, M. A.; CASTELLANOS, G.; CUASQUER, J. Genotypic Characterization of the Common Bean Bacterial Blight Pathogens, *Xanthomonas axonopodis* pv. *phaseoli* and *Xanthomonas axonopodis* pv. *phaseoli* var. *fuscans* by rep-PCR and PCR–RFLP of the Ribosomal Genes. **Journal of Phytopathology**, Berlin, v. 154, p. 35–44, 2006.

MALMIERCA, M. G. et al. Novel aspinolide production by *Trichoderma arundinaceum* with a potential role in *Botrytis cinerea* antagonistic activity and plant defence priming. **Environmental Microbiology**, v. 17, n. 4, p. 1103-1118, 2015.

MANDAL, S. Induction of phenolics, lignin and key defense enzymes in eggplant (*Solanum melongena* L.) roots in response to elicitors. **African Journal of Biotechnology**, v. 9, n. 47, p. 8038-8047, 2010.

- MARINGONI, A.C.; FREGONESE, C.H.; TOFOLI, J.G; KUROZAWA, C. Reação foliar e de vagens de feijoeiro a *Xanthomonas campestris* pv. *phaseoli* e transmissão da bactéria pelas grãos. **Fitopatologia Brasileira**, v. 18, p. 412-415, 1993.
- MARIOT, E. J. 1989. **Ecofisiologia do feijoeiro**. In: IAPAR, ed. O feijão no Paraná. Londrina: IAPAR, 25-41.
- MARQUES, A. S. A.; GUIMARÃES, P. M.; DOS SANTOS, J. P.; VIEIRA, T. M. Sobrevivência e viabilidade de *Xanthomonas axonopodis* pv. *phaseoli* em grãos de feijão armazenadas sob condições controladas. **Fitopatologia Brasileira**, v. 468, p. 30:527, 2005.
- MARTINS, I. Reação de progênies de maracujazeiro-azedo ao *Colletotrichum gloeosporioides* e biocontrole da antracnose com *Trichoderma* spp. 2006.
- MASUNGA, M.; NCHIMBI, M. S.; ROBERT, M.; LUSEKO, A. C. Races of *Colletotrichum lindemuthianum* (Sacc. Magnus) *Briosi Cavara* in major bean growing regions in Tanzania. **Afr J Plant Sci**, v. 14, p. 308–314, 2020.
- MAUCH-MANI, B.; BACCELLI, I.; LUNA, E.; AND FLORS, V. Defense priming: an adaptive part of induced resistance. **Annu. Rev. Plant Biol.** V. 68, p. 485–512, 2017.
- MAY DE MIO, L. L. Prefácio. In: Pria MD, Silva OS (Eds.) **Cultura do feijão: doenças e controle**. Editora UEPG: Ponta Grossa. p. 9–10, 2018.
- MAYO, S.; GUTIÉRREZ, S.; MALMIERCA, M. G.; LORENZANA, A.; CAMPELO, M. P.; HERMOSA, R.; CASQUERO, P. A. Influence of *Rhizoctonia solani* and *Trichoderma* spp. In growth of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) and in the induction of plant defense-related genes. **Frontiers in Plant Science**, León, v. 6, n. 685, p. 1-11, 2015.
- MEDEIROS, F. H. V.; SILVA, J. C. P. da; PASCHOLATI, S. F. Controle biológico de doenças de plantas. In: AMORIM, L.; REZENDE, A. M.; BERGAMIN FILHO, A., **Manual de fitopatologia: princípios e conceitos**. 5ed. Ouro Fino MG: Agronômica Ceres, 2018, p. 573.
- MHEDBI-HAJRI, N. et al. Evolutionary history of the plant pathogenic bacterium *Xanthomonas axonopodis*. **Plos one**, v. 8, n. 3, p. e58474, 2013.
- MILAVEC, M.; RAVNIKAR, M.; KOVAČ, M. Peroxidases and photosynthetic pigments in susceptible potato infected with potato virus YNTN. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 39, n. 10, p. 891-898, 2001.

MKANDAWIRE, A. B. C. et al. Genetic diversity and pathogenic variation of common blight bacteria (*Xanthomonas campestris* pv. *phaseoli* and *X. campestris* pv. *phaseoli* var. *fuscans*) suggests pathogen coevolution with the common bean. **Phytopathology**, v. 94, n. 6, p. 593-603, 2004.

MLEMBA, S. A. Phenotypic and molecular evaluation of lines developed for multiple disease resistance in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). MSc Thesis. **Sokoine University of Agriculture**, 2021.

MOHAMED, B. F. F. et al. Approving the biocontrol method of potato wilt caused by *Ralstonia solanacearum* (Smith) using *Enterobacter cloacae* PS14 and *Trichoderma asperellum* T34. **Egyptian Journal of Biological Pest Control**, v. 30, p. 1-13, 2020.

MOHAMMED, A. An overview of distribution, biology and the management of common bean anthracnose. **J Plant Pathol Microbiol**, v. 4, p. 1000193, 2014.

MORA, I.; CABREFIGA, J.; MONTESINOS, E. Cyclic lipopeptide biosynthetic genes and products, and inhibitory activity of plant-associated *Bacillus* against phytopathogenic bacteria. **PLoS One**, v. 10, n. 5, p. e0127738, 2015.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. 4. ed. Viçosa, MG: Ed. UFV. p. 422, 2011.

MOREIRA, R. C. Influência do posicionamento e da largura de bandas de sensores remotos e dos efeitos atmosféricos na determinação de índices de vegetação. 114 f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2000.

MORRIS, T. C. **Management of Plant Diseases Using Sulfur**. In *Advances in Plant Disease Management*. Academic Press. 2017.

MOTOYAMA, M. M. et al. Efeito antimicrobiano de ácido cítrico sobre *Ralstonia solanacearum* e *Xanthomonas axonopodis* pv. *manihotis*. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 25, n. 2, p. 509-512, 2003.

MUKHERJEE, P. K.; HORWITZ, B. A.; HERRERA-ESTRELLA, A. *Trichoderma* research in the genoma age. **Annu Rev Phytopathol**, v. 51, p. 105-29, 2013.

MURPHY, J. F.; ZEHNDER, G. W.; SCHUSTER, D. J.; SIKORA, E. J.; POLSTON, J. E.; KLOPPER, J. W. Plant growth-promoting rhizobacterial mediated protection in tomato against Tomato mottle virus. **Plant Disease**, St Paul, v. 84, p. 779-784, 2000.

- NADEEM, M. A. et al. Common bean as a potential crop for future food security: an overview of past, current and future contributions in genomics, transcriptomics, transgenics and proteomics. **Biotechnology & Biotechnological Equipment**, v. 35, n. 1, p. 759-787, 2021.
- NAGENDRAN, K. et al. Exploiting endophytic bacteria for the management of sheath blight disease in rice. **Biological agriculture & horticulture**, v. 30, n. 1, p. 8-23, 2014.
- NANDAKUMAR, R. et al. Induction of systemic resistance in rice against sheath blight disease by *Pseudomonas fluorescens*. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 33, n. 4-5, p. 603-612, 2001.
- NICHOLSON, R. L. Events in resistance expression in maize and sorghum: Molecular and biochemical perspectives. **Summa Phytopathologica**. v. 21, p. 95-99, 1995.
- NICHOLSON, R. L.; HAMMERSCHMIDT, R. Phenolic compounds and their role in disease resistance. **Annual Review of Phytopathology**, Palo Alto, v. 107, p. 19-28, 1992.
- NUTTER, F. W. J. R. Detection and measurement of plant disease gradients in peanut with a multispectral radiometer. **Phytopathology**. St. Paul, v. 79, n. 9, p. 958-963, 1989.
- NUTTER, F. W. J. R.; LITTREL, R. H. Relationships between defoliation, canopy reflectance and pod yield in the peanut-late leafspot pathosystem. **Crop Protection**, Guilford, v. 15, n. 2, p. 135-142, 1996.
- O'BRIEN, P. A. Biological control of plant diseases. **Australasian Plant Pathology**, v. 46, p. 293-304, 2017.
- OLIVEIRA, M. G. de C. 2018. **Conhecendo a fenologia do feijoeiro e seus aspectos fitotécnicos**. Brasília, DF: Embrapa. 59 p.
- OMARA, R. I. et al. Efficacy of certain bioagents on patho-physiological characters of wheat plants under wheat leaf rust stress. **Physiological and molecular plant pathology**, v. 106, p. 102-108, 2019.
- OMARA, R. I. et al. Host Resistance to *Uromyces appendiculatus* in Common Bean Genotypes. **Plants**, v. 11, n. 5, p. 628, 2022.
- OOSTENDORP, M.; KUNZ, W.; DIETRICH, B.; STAUB, T. Induced disease resistance in plants by chemicals. **European Journal of Plant Pathology**, Dordrecht, v. 107, p. 19-28, 2001.

- PADDER, B. A.; SHARMA, P. N.; AWALE, H.; KELLY, J. D. *Colletotrichum lindemuthianum*, o agente casual da antracnose do feijão. **J Plant Pathol**, n. 99, v. 2, p. 317–330, 2017.
- PAIVA, B. A. R.; WENDLAND, A.; TEIXEIRA, N. C.; FERREIRA, M. A. Rapid detection of *Xanthomonas citri* pv. *fuscans* and *Xanthomonas phaseoli* pv. *phaseoli* in common bean by Loop-Mediated Isothermal Amplification. **Plant disease**, n. 104, v.1, p. 198-203, 2020.
- PANDHAIR, V.; SEKHON, B. S. Reactive oxygen species and antioxidants in plants: An overview. **J. Plant. Biochem.** v. 15, p. 71–78, 2006.
- PARRELLA, R. A. da C. et al. Eficiência da avaliação da severidade da mancha angular do feijoeiro baseada nas áreas sadia e doente da folha. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 13, p. 178-185, 2013.
- PASCHOLATI, S. F. Fisiologia do parasitismo: como as plantas se defendem dos patógenos. In: AMORIM, L.; REZENDE, J. A. M.; BERGAMIN FILHO, A. (Ed). **Manual de Fitopatologia: princípios e conceitos**. 4. ed. São Paulo: Ceres, v. 1, 2011, p. 593-636.
- PASCHOLATI, S. F.; DALIO, R. J. D. Fisiologia do parasitismo: como as plantas se defendem dos patógenos. In: Amorim, L.; Rezende, J. A. M.; Bergamim Filho, A. (Eds.) **Manual de Fitopatologia**, 5 ed. Ouro Fino-MG, Agronômica Ceres, v. 1., 2018, p. 423-452.
- PASCHOLATI, S. F.; LEITE, B. Hospedeiro: mecanismos de resistência. In: BERGAMIN FILHO, A.; KIMATI, H.; AMORIM, L. (Ed.) **Manual de fitopatologia: princípios e conceitos**. São Paulo: Ed. Agronômica Ceres, v. 1, 1995. p.193-217.
- PASTOR-CORRALES, M. A. Revisão de estudos de coevolução entre patógenos e seus hospedeiros de feijoeiro: Implicações para o desenvolvimento de feijões resistentes a doenças. **Relatório Anual da Cooperativa de Melhoria do Feijão**, v. 47, p. 67 – 68, 2004.
- PAULA-JUNIOR, T. J.; ZAMBOLIM, L. Doenças. In: VIEIRA, C.; PAULA JUNIOR, T. J.; BOREM, A. **Feijão**. 2. Ed. Viçosa, MG: UFV, 2006, p. 359-414.
- PEDRO, E. A. S.; HAKAKA, R.; LUCON, C. M. M.; GUZZO, S. D. Promoção do crescimento do feijoeiro e controle da antracnose por *Trichoderma* spp. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 47, n. 11, p. 1589-1595, 2012.
- PEIXOTO, P. H. P.; CAMBRAIA, J.; SANT'ANNA, R.; MOSQUIN, P. R.; MOREIRA, M. A. Aluminium effects on lipid peroxidation and on the activities of

enzymes of oxidative metabolism in sorghum. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v. 11, n. 3, p. 137-143, 1999.

PELLIER, A. L.; LAUGÉ, R.; FOURREY, C. V.; LANGIN CLNR1, T. The AREA/NIT2-like global nitrogen regulator of the plant fungal pathogen *Colletotrichum lindemuthianum* is required for the infection cycle. **Mol Biol**, v. 48, p. 639–655, 2003.

PEREIRA, J. L. et al. Analysis of *Phaseolus vulgaris* response to its association with *Trichoderma harzianum* (ALL-42) in the presence or absence of the phytopathogenic fungi *Rhizoctonia solani* and *Fusarium solani*. **Plos one**, v. 9, n. 5, p. e98234, 2014.

PÉREZ-GARCÍA, A.; ROMERO, D.; DE VICENTE, A. Plant protection and growth stimulation by microorganisms: biotechnological applications of *Bacillus* in agriculture. **Current opinion in biotechnology**, v. 22, n. 2, p. 187-193, 2011.

PESSANHA, G. G.; FRANCO, A. A.; DÖBEREINER, J.; GROSZMANN, A.; BRITO, D. P. P. S. Correlação negativa da nodulação com a produção de feijão (*Phaseolus vulgaris*) em solos onde nitrogênio não é fator limitante. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 7, p. 49-56, 1972.

PINTO, M. S. T.; RIBEIRO, J. M.; OLIVEIRA, E. A. G. O estudo de genes e proteínas de defesa em plantas. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v. 9, n. 2, p. 241-248, 2011.

PONZONI, F. J. Comportamento Espectral da Vegetação. In: MENESSES, P.R.; MADEIRA NETO, J.S., (Eds). **Sensoriamento remoto: reflectância de alvos naturais**. Brasília: UNB/EMBRAPA, 2001.

PRASAD, R. D. et al. Effect of soil and seed application of *Trichoderma harzianum* on pigeonpea wilt caused by *Fusarium udum* under field conditions. *Crop protection*, v. 21, n. 4, p. 293-297, 2002.

PSIROFONIA, P.; SAMARITAKIS, V.; ELIOPOULOS, P.; POTAMITIS, I. Use of unmanned aerial vehicles for agricultural applications with emphasis on crop protection: Three novel case-studies. **International Journal of Agricultural Science and Technology**, 2017.

QIAO, J. Q. et al. Stimulation of plant growth and biocontrol by *Bacillus amyloliquefaciens* subsp. *plantarum* FZB42 engineered for improved action. **Chemical and Biological Technologies in Agriculture**, v. 1, p. 1-14, 2014.

QIN, Y. et al. Complete genome sequence of *Bacillus amyloliquefaciens* L-H15, a plant growth promoting rhizobacteria isolated from cucumber seedling substrate. **Journal of biotechnology**, v. 200, p. 59-60, 2015.

R CORE TEAM. R: a language and environment for statistical computing. Austria: **R Foundation for Statistical Computing**, Vienna, 2020. Disponível em: <https://www.R-project.org/>.

R CORE TEAM. R: A Language and Environment for Statistical Computing. **R Foundation for Statistical Computing**, Vienna, Austria, 2020. <https://www.r-project.org/>.

RADEMAKER, J. L. W. et al. A comprehensive species to strain taxonomic framework for *Xanthomonas*. **Phytopathology**, v. 95, n. 9, p. 1098-1111, 2005.

RAGHAVENDRA, V. B.; SIDDALINGAIAH, L.; SUGUNACHAR, N. K.; NAYAK, C.; RAMACHANDRAPPA, N. S. Induction of system icresistance by biocontrol agents against bacterial blight of cotton caused by *Xanthomonas campestris* pv. *malvacearum*. **European Journal of Plant Pathology**, London, v. 2, p. 59-69, 2013.

RAHMAN, M.; PUNJA, Z. K. Biochemistry of ginseng root tissues affected by rusty root symptoms. **Plant Physiology and Biochemistry**, Paris, v. 43, p. 1103-1114, 2005.

RAJPAL, V. R. Fungal Diversity, Ecology and Control Management. Springer **Nature**, 2022.

RASHID, U. et al. Status and management of angular leaf spot disease of beans (*Phaseolus vulgaris* L.) caused by *Phaeoisariopsis griseola* (Sacc.) Ferraris. **Indian Phytopathology**, v. 76, n. 2, p. 473-481, 2023.

RAVA, C. A.; SARTORATO, A. Crestamento bacteriano comum. In: SARTORATO, A.; RAVA, C. A. (Ed). **Principais doenças do feijoeiro comumeseucontrole**, Brasília: EMBRAPA-SPI, 1994. p. 217-242.

REINO, J. L. et al. Secondary metabolites from species of the biocontrol agent *Trichoderma*. **Phytochemistry Reviews**, v. 7, p. 89-123, 2008.

RESENDE M.L.V., NOJOSA G.B.A., AGUILAR M.A.G., SILVA L.H.C.P., NIELLA G.R., CARVALHO G.A., GIOVANINI G.R., CASTRO R.M., Perspectivas da indução de resistência em cacaueteiro contra *Crinipellis pernicioso* através do benzotiadiazole (BTH). **Fitopatologia Brasileira**, n. 25, p. 149-156, 2000.

RESENDE, M. L. V., NOJOSA, G. B. A., CAVALCANTI, L. S., AGUILAR, M. A. G., SILVA, L. H. C. P., PEREZ, J. O., ANDRADE, G. C. G., CARVALHO, G. A.; CASTRO R. M. Induction of resistance in cocoa against *Crinipellis pernicioso* and *Verticillium dahliae* by acibenzolar-S-methyl (ASM). **Plant Pathology**, n. 51, p. 621-628, 2002.

RESENDE, M. L.; OLIVEIRA, J. A.; GUIMARÃES, R. M.; PINHO, R. G. V.; VIEIRA, A. R. Inoculação de grãos de milho utilizando o *Trichoderma harzianum* como promotor de crescimento. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 28, n. 4, p. 793-798, 2004.

REVA, O. N. et al. Taxonomic characterization and plant colonizing abilities of some bacteria related to *Bacillus amyloliquefaciens* and *Bacillus subtilis*. **FEMS microbiology ecology**, v. 48, n. 2, p. 249-259, 2004.

RODRIGUES, F. Á.; JURICK II, W. M.; DATNOFF, L. E.; JONES, J. B.; ROLLINS, J. A. Silicon influences cytological and molecular events in compatible and incompatible rice-*Magnaporthe grisea* interactions. **Physiological and Molecular Plant Pathology**, n. 66, v. 4, p. 144-159, 2005.

RODRIGUES, R. et al. Combining ability of *Phaseolus vulgaris* L. for resistance to common bacterial blight. **Genetics and Molecular Biology**, v. 22, p. 571-575, 1999.

ROMEIRO, R. D. S.; GARCIA, F. A. O. Indução de resistência em plantas a patógenos por eliciadores de natureza bacteriana. In: BETTIOL, W. e MORANDI, M. A. B. (Eds.). **Biocontrole de Doenças de Plantas: uso e perspectivas**. Jaguariúna, SP: Embrapa Meio Ambiente, 2009, p.85-99.

ROUSE, J. W.; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. In: Earth resources technology satellite-1 symposium, 3., Washington. **Proceedings...** Washington, DC: NASA, v.1, 309- 317p. (NASA SP-351), 1974.

RÜCKERT, C. et al. Genome sequence of *B. amyloliquefaciens* type strain DSM7T reveals differences to plant-associated *B. amyloliquefaciens* FZB42. **Journal of biotechnology**, v. 155, n. 1, p. 78-85, 2011.

RÜCKERT, Christian et al. Genome sequence of *B. amyloliquefaciens* type strain DSM7T reveals differences to plant-associated *B. amyloliquefaciens* FZB42. **Journal of biotechnology**, v. 155, n. 1, p. 78-85, 2011.

RYAN, R. P.; VORHÖLTER, F. J.; POTNIS, N.; JONES, J. B.; VAN SLUYS, M. A.; BOGDANOVE, A. J.; DOW, J. M. Patogenômica de *Xanthomonas*: entendendo as interações planta-bactéria. **Nat. Rev. Microbiol.** v. 9, p. 344-355, 2011.

RYU, C. M. et al. Bacterial volatiles promote growth in Arabidopsis. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 100, n. 8, p. 4927-4932, 2003.

SAECHOW, S. et al. Antagonistic activity against dirty panicle rice fungal pathogens and plant growth-promoting activity of *Bacillus amyloliquefaciens* BAS23. 2018.

- SAETTLER, A.W. Common bacterial blight. In: SCHWARTZ, H.F.; STEADMAN, J.R.; HALL, R.; FOSTER, R.L. (Ed.). **Compendium of bean diseases**. 2nd ed. Saint Paul: APS PRESS, p. 46-47, 2005.
- SALLAM, N. M. Biological control of common blight of bean (*Phaseolus vulgaris*) caused by *Xanthomonas axonopodis* pv. *phaseoli* by using the bacterium *Rahnella aquatilis*. **Archives of Phytopathology and Plant Protection**, v. 44, n. 20, p. 1966-1975, 2011.
- SALVADOR, C. A. **Feijão - análise da conjuntura agropecuária**. Curitiba: DER/SAA, 2014.
- SANCHES, I. D.; SOUZA FILHO, C.R.; KOKALY, R.F. Spectroscopic remote sensing of plant stress at leaf and canopy levels using the chlorophyll 680 nm absorption feature with continuum removal. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 97, p. 111–122, 2014.
- SANKARAN, S.; EHSANI, R.; INCH, S. A.; PLOETZ, R. C. Avaliação de espectros de refletância no infravermelho próximo ao visível de folhas de abacate como uma ferramenta de detecção não destrutiva para detecção de murcha de louro. **Doenças de plantas**, v. 96, n. 11, p.1683-1689, 2012.
- SANTOS, J. B.; GAVILANES, M. L. Botânica. In: VIEIRA, C.; PAULA JUNIOR, T. J.; BORÉM, A. **Feijão**. 2.ed. Viçosa/MG: Editora UFV, 2006, p. 41-65.
- SANTOS, J. B.; GAVILANES, M. L.; VIEIRA, R. F.; PINHEIRO, L. R. Botânica. In: CARNEIRO, J. E.; PAULA JR, T. J.; BORÉM, A. **Feijão do plantio a colheita**. Viçosa: UFV, 2015. p.38-66.
- SANTOS, P. et al. Utilização de extratos vegetais em proteção de plantas. **Enciclopédia Biosfera**, v. 9, n. 17, 2013.
- SANTOS, C. H. DOS, PINTO, J. F. *Manejo integrado de doenças em culturas de feijão*. **Revista de Fitopatologia**. 2023.
- SARTORATO, A.; RAVA, C. A. Mancha angular. In: (Ed.). Principais doenças do feijoeiro comum e seu controle. Brasília. EMBRAPA, SPI, 1994, p. 41-68.
- SATI, S. C.; JOSHI, S. Antibacterial activities of Ginkgo biloba L. leaf extracts. **The Scientific World JOURNAL**, v. 11, p. 2237-2242, 2011.
- SBALCHEIRO, C. C. Ação do biocontrolador com atividade de indução de resistência no controle do cretamento bacteriano comum do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). 124

f. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2006.

SCHAAD, N. W., POSTNIKOVA, E., LACY G, SECHLER, A., AGARKOVA, I., STROMBERG, P. E., STROMBERG, V. K., AND VIDAVER, A. K. Emended classification of xanthomonad pathogens on citrus. **Syst. Appl. Microbiol.** n. 16, p. 690-695, 2006.

SCHAAD, N. W., POSTNIKOVA, E., LACY, G. H., SECHLER, A., AGARKOVA, I., STROMBERG, P. E., STROMBERG, V. K., VIDAVER, A. K. Reclassification of *Xanthomonas campestris* pv. *citri* (ex Hasse 1915) Dye 1978 forms A, B/C/D, and E as *X. smithii* subsp. *citri* (ex Hasse) sp. nov. nom. rev. comb. nov., *X. fuscans* subsp. *aurantifolii* (ex Gabriel 1989) sp. nov. nom. rev. comb. nov., and *X. alfalfae* subsp. *citrumelo* (ex Riker and Jones) Gabriel et al., 1989 sp. nov. nom. rev. comb. nov.; *X. campestris* pv. *malvacearum* (ex Smith 1901) Dye 1978 as *X. smithii* subsp. *smithii* nov. comb. nov. nom. nov.; *X. campestris* pv. *alfalfae* (ex Riker and Jones, 1935) Dye 1978 as *X. alfalfae* subsp. *alfalfae* (ex Riker et al., 1935) sp. nov. nom. rev.; and “var. *fuscans*” of *X. campestris* pv. *phaseoli* (ex Smith, 1987) Dye 1978 as *X. fuscans* subsp. *fuscans* sp. nov. **Syst. Appl. Microbiol.** v. 28, p. 494-518, 2005.

SCHALLMEY, M.; SINGH, A.; WARD, O. P. Developments in the use of *Bacillus* species for industrial production. **Canadian journal of microbiology**, v. 50, n. 1, p. 1-17, 2004.

SCHNUG, E.; HANEKLAUS, S. Diagnosis of sulphur nutrition. **Sulphur in agroecosystems**, p. 1-38, 1998.

SCHWAN-ESTRADA; K. R. F.; STANGARLIN, J. R.; PASCHOLATI, S. F. Mecanismos bioquímicos de defesa vegetal. In: PASCHOLATI, S. F.; LEITE, B.; STANGARLIN, J. R.; CIA, P. (Ed). **Interação planta-patógeno: fisiologia, bioquímica e biologia molecular**. Piracicaba: FEALQ, 2008. p. 227-248.

SCHWARTZ, H. F. et al. **Compendium of bean diseases**. American Phytopathological Society (APS Press), 2005.

SHAH, Z. H.; REHMAN, H. M.; AKHTAR T.; ALSAMADANY H.; HAMOOH B. T.; MUJTABA T.; DAUR, I.; AL ZAHIRANI, Y.; ALZAHIRANI, H. A. S.; ALI, S.; YANG, S. H.; CHUNG, G. Humic Substances: Determining Potential Molecular Regulatory Processes in Plants. **Front. Plant Sci.** v. 9, p. 263. 2018.

SHAHID, Izzah et al. Profiling of metabolites of *Bacillus* spp. and their application in sustainable plant growth promotion and biocontrol. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, v. 5, p. 605195, 2021.

- SHARF W.; JAVAID, A.; SHOAIB, A.; KHAN, I. H. Induction of resistance in chili against *Sclerotium rolfsii* by plant growth promoting rhizobacteria and *Anagallis arvensis*. **Egypt J Biol Pest Contr** v. 16, 2021.
- SHARMA M.; KULSHRESTHA, S. *Colletotrichum gloeosporioides*: An anthracnose causing pathogen of fruits and vegetables. **Biosci Biotechnol Res Asia**, v. 12, p. 1233–1246, 2015.
- SHARMA, P. N.; SHARMA, O. P.; PADDER, B. A.; KAPIL, R. Avaliação da perda de rendimento em feijão comum devido à antracnose (*Colletotrichum lindemuthianum*) sob condições subtemperadas do noroeste do Himalaia. **Indian Phytopathol**, v. 61, n. 3, p. 323–330, 2008.
- SHARMA, S. G.; NARAYANA, R.; LAL S.; CHATURVEDI, C. Role of phenolic compounds in resistance of maize leaf blight caused by *Drechslera steste Cochliobolus heterostrophus*. **Indian Phytopath**, v. 36, p. 43-46, 1983.
- SHEPPARD, J. W. Detection of seed-borne bacterial blights of bean. **Seed Science and Technology**, Bassersdorf, v. 11; p. 561-567, 1983.
- SHETEIWY, Mohamed S. et al. Inoculation with *Bacillus amyloliquefaciens* and mycorrhiza confers tolerance to drought stress and improve seed yield and quality of soybean plant. **Physiologia Plantarum**, v. 172, n. 4, p. 2153-2169, 2021.
- SHIMIZU, G. D.; MARUBAYASHI, R. Y. P.; GONÇALVES, L. S. A. AgroR: Experimental Statistics and Graphics for Agricultural Sciences. **R package version**, v. 1, n. 1, 2022.
- SHORESH, M.; HARMAN, G. E.; MASTOURI, F. Induced systemic resistance and plant responses to fungal biocontrol agents. **Annual review of phytopathology**, v. 48, p. 21-43, 2010.
- SILVA, A. J.; CANTERI, M. G., SANTIAGO, D. C., HIKISHIMA, M.; SILVA, A. L. A refletância na estimativa do efeito de fungicidas no controle da ferrugem asiática da soja. **Summa Phytopathologica**, v. 35, p. 53-56, 2009a.
- SILVA, A.D.; SANTOS, I.D.; BALBINOT, A.L.; MATEI, G.; OLIVEIRA, P.D. Reação de cultivares de feijão ao cretamento bacteriano comum, avaliado por dois métodos de inoculação. **Ciência e Agrotecnologia**, v.33, p.2019-2024, 2009b.
- SILVA, H.T. 2005. Descritores mínimos para caracterizar cultivares/variedades de feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.). Santo Antônio de Goiás: Embrapa CNPAF, 32p. **(Documentos, 184)**.

SILVA, L. C. et al. Physiological and antioxidant insights into common bean resistance to common bacterial blight. **Physiological and Molecular Plant Pathology**, v. 111, p. 101-105, 2020.

SILVA, L. C.; DEBONA, D.; AUCIQUE-PÉREZ, C. E.; OLIVEIRA, J. R.; JÚNIOR, J. R.; BRÁS, V. V.; RODRIGUES, F. A. Physiological and antioxidant insights into common bean resistance to common bacterial blight. **Physiological and Molecular Plant Pathology**, v. 111, p. 101-505, 2020.

SILVA, R. A.; REIS, V. M.; BALDANI, J. I.; OLIVARES, F. L. Defesa de plantas contra o ataque de fitopatógenos. **Seropédica: Embrapa Agrobiologia**, 2008, p. 49.

SILVA, R. F. Indução de resistência em plantas de berinjela e tomate por *Lentinula edodes* e *Agaricus blazei* contra bactérias causadoras de murcha (*Ralstonia solanacearum*) e cancro (*Clavibacter michiganensis* subsp. *Michiganensis*). 109 f. Tese (Doutorado na área de Fitopatologia), Universidade de São Paulo, Piracicaba. 2007.

SILVA, V. N.; GUZZO, S. D.; LUCON, C. M. M.; HARAKAVA, R. Promoção de crescimento e indução de resistência à antracnose por *Trichoderma* spp. em pepineiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 12, p. 1609-1618, 2011.

SILVA, L. A., et al. *Biocontrole e indutores de resistência em doenças do feijoeiro*. **Journal of Plant Protection**. 2022.

SINGH, A., & SHARMA, A. K. Citric acid improves the resistance of tomato plants to *Alternaria alternata*. **Indian Phytopathology**, v. 68, n. 3, p. 301–305, 2015.

SINGLETON, V. L.; ORTHOFER, R.; LAMUELA-RAVENTOS, R. M. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent. **Methods Enzymol**, v. 299, p. 152, 1999.

SOBRINHO, C. A.; FERREIRE, P. T. O.; CAVALCANTI, L. S. Indutores químicos abióticos. In: CAVALCANTI, L. S.; PIERO, R. M.; CIA, P.; PASCHOLATI, S. F.; Cia, P, p. 51-80, 2005.

STADNIK, M. J.; BUCHENAUER, H. Inhibition of phenylalanine ammonia-lyase suppresses the resistance induced by benzothiadiazole in wheat to *Blumeria graminis* f. sp. *tritici*. **Physiological and Molecular Plant Pathology**, v. 57, n. 1, p. 25-34, 2000.

STANGARLIN, J. R. et al. A defesa vegetal contra fitopatógenos. **Scientia Agraria Paranaensis**, v. 10, n. 1, p. 18-18, 2011.

STANGARLIN, J. R. et al. Plantas medicinais e controle alternativo de fitopatógenos. **Biotecnologia Ciência & Desenvolvimento**, v. 11, n. 3, p. 16-21, 1999.

SU, H. et al. Endogenous salicylic acid shows different correlation with baicalin and baicalein in the medicinal plant *Scutellaria baicalensis* Georgi subjected to stress and exogenous salicylic acid. **PLoS One**, v. 13, n. 2, p. e0192114, 2018.

SZEKERES, A.; LEITGEB, B.; KREDICS, L.; ZSUZSANNA, A.; HATVANI, L.; MANCZINGER, L.; VAGVOLGYI, C. Peptaibols and related peptaibiotics of *Trichoderma*. **Acta Microbiol Immunol Hung**, v. 52, p. 137–168, 2005.

TABEA, J. Differences among Spanish and Latin-American banana cultivars: morphological, chemical and sensory characteristics. **Food Chemistry**, v. 59, p. 411–419, 1997.

TAKKEN, F. L. W.; TAMELING, W. I. L. To nibble at plant resistance proteins. **Science**, v. 324, n. 5928, p. 744–746, 2009.

TANAKA, J. C. A. et al. Antibacterial activity of indole alkaloids from *Aspidosperma ramiflorum*. **Brazilian Journal of Medical and Biological Research**, v. 39, p. 387–391, 2006.

TAVARES, C. J.; JAKELAITIS, A.; REZENDE, B. P. M.; CUNHA, P. C. R. da. Fitossociologia de plantas daninhas na cultura do feijão. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 8, n. 1, p. 27–32, 2013.

THAKUR, M.; SOHAL, B. S. Role of elicitors in inducing resistance in plants against pathogen infection: a review. **ISRN biochemistry**, p. 1–10, 2013.

TIMILSINA, S., KARA, S., JACQUES, M. A., POTNIS, N., MINSAVAGE, G. V., VALLAD, G. E., FISCHER-LE SAUX, M. Reclassificação de *Xanthomonas gardneri* (ex Šutič 1957) Jones et al. 2006 como um sinônimo heterotípico posterior de *Xanthomonas cynarae* Trébaol et al. 2000 e descrição de *X. cynarae* pv. *cynarae* e *X. cynarae* pv. *gardneri* com base em análises do genoma completo. **Int. J. Syst. Evol. Micr.** v. 69, p. 343–349, 2019.

TODOROVIĆ, B. et al. Toxicity of twenty-two plant essential oils against pathogenic bacteria of vegetables and mushrooms. **Journal of Environmental Science and Health, Part B**, v. 51, n. 12, p. 832–839, 2016.

TORRES, J. P.; MARINGONI, A. C.; SILVA JÚNIOR, T. A. F. Survival of *Xanthomonas axonopodis* pv. *phaseoli* var. *fuscans* in common bean leaflets on soil. **Journal of Plant Pathology**. v. 91, n. 1, p. 195–198, 2009.

- UMESHA, S. Phenylalanine ammonia lyase activity in tomato seedlings and its relationship to bacterial canker disease resistance. **Phytoparasitica**, v. 34, p. 68-71, 2006.
- UTKHEDE, R.; KOCH, C. Biological treatments to control bacterial canker of greenhouse tomatoes. **Biocontrol**, v. 49, n. 3, p. 305-313, 2004.
- VALARINI, P. J.; MENTEN, J. O. M. *Xanthomonas campestris* pv. *phaseoli* em grãos de feijão: detecção por inoculação em planta indicadora. **Revista Brasileira de Grãos**, São Paulo, v. 14, p. 171-179, 1992.
- VALE, F. X. R.; JESUS JUNIOR, W. C.; LIBERATO, J. R.; SOUZA, C. A. Quantificação de doenças e do crescimento do hospedeiro. In: VALE, F.X.R.; JESUS JUNIOR, W. C.; ZAMBOLIM, L. **Epidemiologia aplicada ao manejo de doenças de plantas**. Viçosa: UFV, 2004.
- VAN LOON, L. C.; VAN STRIEN, E. A. The families of patogénesis-related proteins, their activities, and comparative analysis of PR-1 type proteins. **Physiological and Molecular Plant Pathology**, London, v. 55, p. 85-87, 1999.
- VAN LOON, L.C.; REP, M.; PIETERSE, C.M.J. Significance of inducible defence-related proteins in infected plantas. **Annual Review Phytopathology**, Palo Alto, v. 44, p. 135-162, 2006.
- VAUTERIN, L. et al. Reclassification of *Xanthomonas*. **International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology**, v. 45, n. 3, p. 472-489, 1995.
- VIECELLI, C. A. Controle da mancha angular e análise bioquímica de resistência em feijoeiro tratado com extratos de *Pycnoporus sanguineus*. 64 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Marechal Cândido Rondon, 2008.
- VIECELLI, C. A. et al. Control of the common bacterial blight in the bean crop by using foliar fertilizers. **Scientia Agraria Paranaensis**, v. 12, n. 1, p. 66-72, 2013.
- VIGO, S. C. et al. Ação de tinturas e óleos essenciais de plantas medicinais sobre o cretamento bacteriano comum do feijoeiro e na produção de proteínas de indução de resistência. **Summa phytopathologica**, v. 35, p. 293-304, 2009.
- VIJAYABHARATHI, R. et al. Deciphering the tri-dimensional effect of endophytic *Streptomyces* sp. on chickpea for plant growth promotion, helper effect with *Mesorhizobium ciceri* and host-plant resistance induction against *Botrytis cinerea*. **Microbial pathogenesis**, v. 122, p. 98-107, 2018.

- WAARD, M. A. et al. Chemical control of plant diseases: problems and prospects. **Annual review of phytopathology**, v. 31, n. 1, p. 403-421, 1993.
- WALLEN, V. R.; SUTTON, M. D. *Xanthomonas phaseoli* var. *fuscans* (Burkh.) Starr & Burkh. on field bean in Ontario. **Canadian Journal of Botanic, Guelph**, v. 43, p. 437- 446, 1965.
- WALTERS, D. et al. Induced resistance for plant disease control: maximizing the efficacy of resistance elicitors. **Phytopathology**, v. 95, n. 12, p. 1368-1373, 2005.
- WANG, Y., ZHANG, H. The Efficacy of Sulfur Compounds in Controlling Plant Pathogens. *Pest Management Science*, v. 78, n.1, p.220-232. 2022. doi:10.1002/ps.6792
- WANG, S.; WANG, X.; CHEN, J. Identification of miRNAs Involved in Maize-Induced Systemic Resistance Primed by *Trichoderma harzianum* T28 against *Cochliobolus heterostrophus*. **Journal of Fungi**, v. 9, n. 2, p. 278, 2023.
- WEBB, K. M.; CALDERÓN, F. J. Mid-Infrared (MIR) and Near-Infrared (NIR) Detection of *Rhizoctonia solani* AG-2-2 IIB on Barley-Based Artificial Inoculum. **Applied Spectroscopy**. v. 69, n. 10, p. 1129-1136, 2015.
- WALTERS, D. R., BINGHAM, I. J. **Fungicide Resistance Management: Practical Approaches**. In Integrated Pest Management: Principles and Practice. Cambridge University Press. 2007.
- WELLER, D. M.; A. W. SAETTLER. Colonization and distribution of *Xanthomonas phaseoli* and *Xanthomonas phaseoli* var. *fuscans* in field-grown navy beans. **Phytopathology**, v. 70, p- 500-506, 1980.
- WENDLAND, A.; LOBO JÚNIOR, M.; DE FARIA, J. C. **Manual de identificação das principais doenças do feijoeiro-comum**. 2018.
- WENDLAND, A.; MOREIRA, A. S.; BIANCHINI, A.; GIAMPAN, J. S.; LOBO JUNIOR, M. Doenças do Feijoeiro. In: Amorim L, Rezende JAM, Bergamin AF, Camargo LEA (Eds.) **Manual de Fitopatologia**, Vol. 2, Doenças das plantas cultivadas, 5a Edição. Agronômica Ceres, Ouro Fino, 2016, p. 383–396.
- WEST, J. S.; BRAVO, C.; OBERTI, R.; LEIMARE, D.; MOSHOU, D.; MCCARTNEY, H. A. The potential of optical canopy measurement for targeted control of field crop diseases. **Annual Review of Phytopathology**, v. 41, p. 593-614, 2003.
- WIESEL, L.; NEWTON, A. C.; ELLIOTT, I.; BOOTY, D.; GILROY, E. M.; BIRCH, P. R. J.; et al. Molecular effects of resistance elicitors from biological origin and their potential for crop protection. **Front. Plant Sci.** v. 5, p. 655, 2014.

WIEST, A.; GRZEGORSKI, D.; XU, B.; GOULARD, C.; REBUFFAT, S.; EBBOLE, D. J.; BODO, B.; KENERLEY, C. Identification of peptaibols from *Trichoderma virens* and cloning of a peptaibolsynthetase. **J Biol Chem**, v. 277, p. 20862–20868, 2002.

WIPAT, A.; HARWOOD, C. R. The *Bacillus subtilis* genome sequence: the molecular blueprint of a soil bacterium. **FEMS Microbiology Ecology**, v. 28, n. 1, p. 1-9, 1999.

WOO, S. L. et al. Trichoderma: A multipurpose, plant-beneficial microorganism for eco-sustainable agriculture. **Nature Reviews Microbiology**, v. 21, n. 5, p. 312-326, 2023.

WORDELL FILHO, J. A., MARTINS, D. A., & STADNIK, M. J. (2007). Aplicação foliar de tratamentos para o controle do míldio e da podridão-de-escamas de bulbos de cebola. *Horticultura Brasileira*, 25(4), 544-549.

WU, Y. et al. Antifungal and plant growth promotion activity of volatile organic compounds produced by *Bacillus amyloliquefaciens*. **MicrobiologyOpen**, v. 8, n. 8, p. e00813, 2019.

XIAO-YAN, S. et al. Broad-spectrum antimicrobial activity and high stability of *Trichokonins* from *Trichoderma koningii* SMF2 against plant pathogens. **FEMS Microbiology Letters**, v. 260, n. 1, p. 119-125, 2006.

XUE, L. et al. Efficiency and mechanism of reducing ammonia volatilization in alkaline farmland soil using *Bacillus amyloliquefaciens* biofertilizer. **Environmental Research**, v. 202, p. 111672, 2021.

XUE, R.; Wu, J.; Zhu, Z.; Wang, L.; Wang, X.; Wang, S.; Blair, M. W. Differentially expressed genes in resistant and susceptible common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes in response to *Fusarium oxysporum* f. sp. *phaseoli*. **Plos One**. v. 10, 2015.

YAMAMOTO, S. et al. Impact of *Bacillus amyloliquefaciens* S13-3 on control of bacterial wilt and powdery mildew in tomato. **Pest management science**, v. 71, n. 5, p. 722-727, 2015.

YAN, L.; KHAN, R. A. A. Biological control of bacterial wilt in tomato through the metabolites produced by the biocontrol fungus, *Trichoderma harzianum*. **Egyptian Journal of Biological Pest Control**, v. 31, n. 1, p. 1-9, 2021.

YAO, H.; TIAN, S. Effects of pre and post-harvest application of salicylic acid or methyl jasmonate on inducing disease resistance of sweet cherry fruit in storage. **Postharvest Biology and Technology**, Leuven, v. 35, p. 253-262, 2005.

YEDIDIA, I.; BENHAMOU, N.; CHET, I. Induction of defense responses in cucumber plants (*Cucumis sativus* L.) by the biocontrol agente *Trichoderma harzianum*. **Applied and Environmental Microbiology**, Washington, v. 65, p. 1061-1070, 1999.

YU, Y. et al. Induced systemic resistance for improving plant immunity by beneficial microbes. **Plants**, v. 11, n. 3, p. 386, 2022.

YUAN, S.; LI, M. FANG, Z. LIU, Y.; SHI, W.; PAN, B.; WU, K.; SHI, J.; SHEN, B.; SHEN, Q. Biological control of tobacco bacterial wilt using *Trichoderma harzianum* amended bioorganic fertilizer and the arbuscular mycorrhizal fungi *Glomus mosseae*. **Biological Control**, San Diego, v. 92, p. 164-171, 2016.

ZHANG, L. et al. Three flavonoids targeting the β -hydroxyacyl-acyl carrier protein dehydratase from *Helicobacter pylori*: Crystal structure characterization with enzymatic inhibition assay. **Protein Science**, v. 17, n. 11, p. 1971-1978, 2008.

ZHANG, T.; CHATURVEDI, V.; CHATURVEDI, S. Novel *Trichoderma polysporum* strain for the biocontrol of *Pseudo gymnoascus destructans*, the fungal etiologic agent of bat white nose syndrome. **Journal Plos One**, Napoli, v. 10, n. 10, p. 1-17, 2015.

ZHANG, W. et al. PeaT1-induced systemic acquired resistance in tobacco follows salicylic acid-dependent pathway. **Molecular biology reports**, v. 38, p. 2549-2556, 2011.

ZHANG, Y., TURNER, J. G., & TIAN, J. The effects of aphid infestation on sulfur metabolism in *Brassica juncea*. **Plant, Cell & Environment**, v. 34, n. 9, p. 1187–1196, 2011.

ZILIO, M. et al. Contribuição dos componentes de rendimento na produtividade de cultivares crioulos de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 42, n. 2, p. 429-438, 2011.

ZWEERINK, M. M.; EDISON, A. Difficidin and oxydifficidin: novel broad spectrum antibacterial antibiotics produced by *Bacillus* sp.. Mode of action of difficidin. The journal of antibiotics, v. 40, n. 12, p. 1692-1697, 1987.