UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE ENGENHARIA
CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA

WALMOR MOYA PERES

USO DE *Trichoderma atroviride* NA CULTURA DO FEIJOEIRO

Ilha Solteira
2022

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Campus de Ilha Solteira

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA - PPGA

WALMOR MOYA PERES

USO DE *Trichoderma atroviride* NA CULTURA DO FEIJOEIRO

Tese apresentada à Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - UNESP como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Agronomia. Especialidade: Sistemas de Produção.

PhD. Paulo Cezar Ceresini
Orientador

PhD. André Rodrigues dos Reis
Coorientador

Ilha Solteira
2022

FICHA CATALOGRÁFICA
Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

P437u

Peres, Walmor Moya.
Uso de *Trichoderma atroviride* na cultura do feijoeiro / Walmor Moya Peres. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2022
99 f. : il.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Área de conhecimento: Sistemas de Produção, 2022

Orientador: Paulo Cezar Ceresini
Coorientador: André Rodrigues dos Reis
Inclui bibliografia

1. Agricultura sustentável. 2. Biotecnologia. 3. Manejo agrícola. 4. Microrganismo benéfico. 5. Rendimento.

Raiane da Silva Santos
Supervisora Técnica de Seção
Seção Técnica de Referência, Atendimento ao Usuário e Documentação
Diretoria Técnica de Biblioteca e Documentação
CRB/8 - 9999

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Ilha Solteira

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: Uso de Trichoderma atroviride na cultura do feijoeiro

AUTOR: WALMOR MOYA PERES
ORIENTADOR: PAULO CEZAR CERESINI
COORIENTADOR: ANDRE RODRIGUES DOS REIS

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em AGRONOMIA, área: Sistemas de Produção pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. PAULO CEZAR CERESINI (Participação: Presencial)
Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - UNESP

Prof. Dr. MARCO EUSTAQUIO DE SÁ (Participação: Presencial)
Departamento de Fitotecnia, Tecnologia de Alimentos e Sócio Economia / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - UNESP

Prof. Dr. EDSON LAZARINI (Participação: Presencial)
Departamento de Fitotecnia, Tecnologia de Alimentos e Sócio Economia / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - UNESP

Prof.Dr OSCAR MITSUO YAMASHITA (Participação: Virtual)
Departamento de Agronomia / Universidade do Estado de Mato Grosso - UNEMAT

Prof. Dr. MARCO ANTONIO CAMILLO DE CARVALHO (Participação: Virtual)
Departamento de Agronomia / Universidade do Estado de Mato Grosso - UNEMAT

Ilha Solteira, 03 de junho de 2022

[illegible]

DEDICATÓRIA

A Deus pela vida, pela graça concedida, toda honra e toda glória a ti senhor.

A minha querida e amada mãe Adelaide Moya Peres “*in memorian*”, pela educação, amor e por ter me tornado forte para enfrentar as adversidades da vida.

A Grace Queiroz David, esposa dedicada, pela parceria, ensinamentos e apoio nos momentos difíceis.

Aos meus filhos Letícia David Peres e Gabriel David Peres, presentes divinos, pelo entendimento que a mudança era necessária, pelo apoio e pela paciência ao longo dessa trajetória.

DEDICO.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela força para superar os desafios.

À Universidade do Estado de Mato Grosso - UNEMAT, pela concessão do afastamento para a qualificação em nível de Doutorado.

À Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” - UNESP, Campus de Ilha Solteira, pelo acolhimento no Programa de Pós-Graduação em Agronomia (PPGA).

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) pelo apoio (Código de Financiamento 001) na realização do presente trabalho.

A minha família, pela abdicação, mudança, confiança, perseverança e por acreditar que era possível.

Aos amigos Marco Antonio Camillo de Carvalho, Ostenildo Ribeiro Campos, Oscar Mitsuo Yamashita, Paulo Sergio Koga, Maria Luíza do Nascimento Martins, Christian Luís Ferreira Berti, Mariana Pina da Silva Berti, ajuda, pelo incentivo e pelas palavras de carinho nas horas de maior dificuldade.

Ao Engenheiro Agrônomo/Empresário Marcos Cesar Costa da empresa Geoclean nutrição e proteção de plantas pela parceria que culminou na intenção e realização do Doutorado.

Aos Professores PhD. Paulo Cezar Ceresini e Dr. Marco Eustáquio de Sá pela orientação, pela pessoa, pelo acolhimento, pelos ensinamentos, pela paciência.

Aos Professores do Programa de Pós-Graduação em Agronomia e colaboradores, Alan Rodrigo Panosso, Ana Carolina Firmino, Ana Maria Rodrigue Cassiolato, André Rodrigues dos Reis, Aparecida Conceição Boliani, Bruno Éttore Pavan, Edson Lazarini, Heloiza Ferreira Alves do Prado, João Antonio da Costa

Andrade, Maria Gabriela Fontanetti Rodrigues, Orivaldo Arf, Patrícia Ferreira Alves, Regina Maria Monteiro de Castilho, pelos ensinamentos, seriedade, paciência e dedicação.

Aos profissionais da Seção Técnica da Pós-Graduação, Márcia Regina Nagamachi Chaves, Graciele Perez Viegas Nizo, Thaíz Lenquist da Rocha, pelo excelente atendimento e serviço prestado.

Aos Técnicos de Laboratório, Fábio Amaral de Almeida Morais, Selma Maria Bozitte de Moraes, Alexandre Marques da Silva, Sinval Antonio de Abreu, Élton Souza, pela seriedade, pelos ensinamentos relacionados ao uso dos equipamentos e análises práticas dos experimentos e pela paciência e companheirismo ao longo do curso.

Ao Técnico Administrativo do Ensino Superior Diego Cardoso Berardinelli Monteiro pelo incentivo e ensinamentos na área da computação que foi de suma importância para a escrita da tese.

Aos amigos do Programa de Pós-Graduação e da Graduação Matheus Pereira de Brito Mateus, Alexandre Araújo Ascoli, Cleverson Rodrigues e Lucas Alves de Almeida pelo companheirismo e pela ajuda na instalação e avaliação dos experimentos, pois sem as vossas colaborações tudo seria mais difícil.

Aos técnicos da Fazenda Experimental de Pesquisa e Extensão - FEPE, da Faculdade de Engenharia, Campus de Ilha Solteira - UNESP, localizada no município de Selvíria - MS, pela contribuição durante a condução do experimento.

A todos que, de uma forma ou de outra, fizeram parte dessa trajetória, que foi muito além da defesa da tese, apoiando, incentivando e torcendo para o meu sucesso. Sem vocês essa conquista não seria possível.

OBRIGADO.

“Confia no Senhor de todo o teu coração, e não estribes no teu próprio entendimento”.

(Provérbios 3:5)

RESUMO

O uso de microrganismos benéficos tem se tornado uma alternativa em programas de manejo integrado para a produção de alimentos em uma agricultura sustentável. Os fungos do gênero *Trichoderma* estão entre os microrganismos mais estudados no Brasil e no mundo para o uso na agricultura. O presente estudo teve por objetivo avaliar o efeito da aplicação de doses de *Trichoderma atroviride* em dois estádios de desenvolvimento, a sua influência sobre os pigmentos fotossintetizantes, açúcares solúveis totais, sacarose, nitrato, amônia, ureídeos, os nutrientes das folhas, os componentes de produção e a produtividade do feijoeiro à campo. O experimento foi conduzido em réplica, com 3 repetições, em blocos casualizados, em esquema fatorial (3 x 5) totalizando 15 tratamentos. Os tratamentos constituíram da aplicação manual, na linha de cultivo de 3 doses (0,0, 1,0 e 2,0 kg ha^{-1}) de *Trichoderma atroviride* em V_3 e 5 doses (0,0, 0,5, 1,0, 1,5 e 2,0 kg ha^{-1}) aplicadas em R_5. O produto a base de *Trichoderma atroviride* foi obtido a partir da fermentação sólida do milheto e usado na concentração de 1,0 x 10^9 conídios viáveis. Após 15 dias da aplicação dos tratamentos, em R_5, foram coletadas folhas diagnósticas para a realização das análises bioquímicas e nutricionais. Para a avaliação dos parâmetros biométricos foram utilizadas 5 plantas colhidas da terceira linha da área útil de cada parcela. A produtividade das sementes foi estimada com a colheita das plantas das 2 linhas centrais de 5 metros de comprimento da área útil de cada parcela, corrigindo-se a umidade para 13% (base úmida) e a média dos valores foram extrapoladas para (kg ha^{-1}). A aplicação de doses de *Trichoderma atroviride* nos estádios V_3 e R_5 da cultura do feijoeiro influenciou os teores de nutrientes das folhas (fósforo, cálcio e manganês), os pigmentos fotossintéticos (clorofila a, b e total, feofitina a, b e total e os carotenoides), os ureídeos (ácido alantóico e alantoína), a sacarose, o nitrato, a amônia, os componentes de produção (número de nós, vagens e sementes por planta e o número de sementes por vagem) e a produtividade. A dose de 1,0 kg ha^{-1} em V_3 do bioagente proporcionou aumento de 44% (2.311,20 kg ha^{-1}) na produtividade do feijoeiro, cultivar IPR-Campos Gerais, à campo, quando comparado com a testemunha (1.610,75 kg ha^{-1}).

Palavras-chave: agricultura sustentável; biotecnologia; manejo agrícola; microrganismo benéfico; rendimento.

ABSTRACT

The use of beneficial microorganisms has become an alternative in integrated management programs for the production of food in a sustainable agriculture. The fungi of the genus *Trichoderma* are among the most studied microorganisms in Brazil and in the world for the use in agriculture. The present study had for objective to evaluate the effect of the application of doses of *Trichoderma atroviride* in two stages of development, its influence on the photosynthesis pigments, total soluble sugars, sucrose, nitrate, ammonium, ureides, the nutrients of the leaves, the components of production and the productivity of the common bean plant in the field. The experiment was conducted in replication, with 3 repetitions, in randomized blocks, in a factorial design (3 x 5), totaling 15 treatments. The treatments consisted of manual application, in the cultivation line, of 3 doses (0.0, 1.0 and 2.0 kg ha^{-1}) of *Trichoderma atroviride* in V_3 and 5 doses (0.0, 0.5, 1.0, 1.5 and 2.0 kg ha^{-1}) applied in R_5. The product based on *Trichoderma atroviride* was obtained from the solid fermentation of millet and used in the concentration of 1.0 x 10^9 viable conidia. After 15 days of the application of treatments, in R_5, diagnostic leaves were collected to perform biochemical and nutritional analyses. For the evaluation of the biometric parameters, 5 plants harvested from the third row of the useful area of each plot were used. The seed yield was estimated by harvesting the plants of the two 5-meter long central lines of each plot, correcting the humidity to 13% (wet basis) and the average values were extrapolated to (kg ha^{-1}). The application of doses of *Trichoderma atroviride* in the V_3 and R_5 stages of the common bean crop influenced the nutrient contents of the leaves (phosphorus, calcium and manganese), the photosynthetic pigments (chlorophyll a, b and total, pheophytin a, b and total and carotenoids), ureides (allantoic acid and allantoin), sucrose, nitrate, ammonium, yield components (number of nodes, pods and seeds per plant and number of seeds per pod) and productivity. The dose of 1.0 kg ha^{-1} in V_3 of the bioagent provided an increase of 44% (2,311.20 kg ha^{-1}) in the yield of common bean, cultivar IPR-Campos Gerais, in the field, when compared with the control (1,610.75 kg ha^{-1}).

Key-words: sustainable agriculture; biotechnology; agricultural management; beneficial microorganism; Yield.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Área do experimento. Selvíria-MS, 2019..... 47

Figura 2 - Coleta de amostras de solo para análise (a, b, c). Semente de feijão IPR-Campos Gerais (d). Semeadura mecanizada do feijoeiro (e, f). Selvíria-MS, 2019..... 52

Figura 3 - Área semeada e verificação de falhas na semeadura (a, b). Irrigação por pivô central (c). Emergência (d, e). Estaqueamento (f). Selvíria-MS, 2019..... 53

Figura 4 - Adubação de cobertura (a, b, c). Produto a base de *Trichoderma atroviride* (d). Aplicação manual do bioagente em V_3 (primeira folha trifoliolada aberta) (e, f). Selvíria-MS, 2019..... 53

Figura 5 - Estádio R_5 do feijoeiro (surgimento dos botões florais) (a). Aplicação de *Trichoderma atroviride* em R_5 (b, c). Colheita manual do feijoeiro (d). Ensacamento (e). Transporte (f). Secagem (g). Trilha (h). Avaliação da produtividade (i). Selvíria-MS, 2019..... 54

Figura 6 - Desdobramentos para fósforo (a), cálcio (b) e manganês (c) de doses de *Trichoderma atroviride* aplicadas em R_5 para cada nível de aplicação em V_3 (a). Ilha Solteira-SP, 2021..... 60

Figura 7 - Desdobramento para clorofila A (a), clorofila B (b) e Clorofila Total (c) de doses de *Trichoderma atroviride* aplicadas em R_5 para cada nível de aplicação em V_3. Ilha Solteira-SP, 2021..... 66

Figura 8 - Desdobramento para feofitina A (a), feofitina B (b), feofitina total (c) e carotenoide (d) de doses de *Trichoderma atroviride* aplicadas em R_5 para cada nível de aplicação em V_3. Ilha Solteira-SP, 2021..... 68

Figura 9 - Desdobramento para ácido alantóico (a), alantoína (b) e ureídeos (c) de doses de *Trichoderma atroviride* aplicadas em R_5 para cada nível de aplicação em V_3. Ilha Solteira-SP, 2021... 76

Figura 10 - Desdobramento para sacarose (a), nitrato (b) e amônia (c) de doses de *Trichoderma atroviride* aplicadas em R_5 para cada nível de aplicação em V_3. Ilha Solteira-SP, 2021..... 77

Figura 11 - Teor de açúcares solúveis totais em função de doses de *Trichoderma atroviride* aplicadas em R_5. Ilha Solteira-SP, 2021. 78

Figura 12 - Desdobramento para número de vagens por planta, número de sementes por vagem, número de sementes por planta, massa de cem sementes e produtividade de doses de *Trichoderma atroviride* aplicadas em R_5 para cada nível de aplicação em V_3. Ilha Solteira-SP, 2021..... 86

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Resumo da análise de variância com graus de liberdade e valores de quadrado médio (variância) para verificação da similaridade entre os experimentos no campo para os parâmetros biométricos e produtividade de feijoeiro IPR-Campos Gerais submetido a aplicação de doses de *Trichoderma atroviride* em diferentes estádios de desenvolvimento. Ilha Solteira-SP, 2021..... 55

Tabela 2 - Resumo da análise de variância com graus de liberdade e valores de quadrado médio (variância) para os teores de nutrientes das folhas do feijoeiro IPR-Campos Gerais submetido a aplicação de doses de *Trichoderma atroviride* em diferentes estádios de desenvolvimento. Ilha Solteira-SP, 2021..... 56

Tabela 3 - Teores de nutrientes nas folhas de feijoeiro, cultivar IPR-Campos Gerais submetidos a aplicação de doses de *Trichoderma atroviride* nos estádios de desenvolvimento V_3 e R_5. Ilha Solteira-SP, 2021..... 59

Tabela 4 - Resumo da análise de variância com graus de liberdade e valores de quadrado médio (variância) para os pigmentos fotossintetizantes de feijoeiro IPR-Campos Gerais submetido a aplicação de doses de *Trichoderma atroviride* em diferentes estádios de desenvolvimento. Ilha Solteira-SP, 2021..... 61

Tabela 5 - Teores de pigmentos fotossintetizantes em folhas de feijoeiro, cultivar IPR-Campos Gerais submetidos a aplicação de doses de *Trichoderma atroviride* nos estádios de desenvolvimento V_3 e R_5. Ilha Solteira-SP, 2021..... 64

Tabela 6 - Resumo da análise de variância com graus de liberdade e valores de quadrado médio (variância) para teores de ácido alantóico, alantoína, ureídeos, açúcares solúveis totais, sacarose, nitrato e amônia em folhas de feijoeiro IPR-Campos Gerais submetido a aplicação de doses de *Trichoderma atroviride* em diferentes estádios de desenvolvimento. Ilha Solteira-SP, 2021..... 71

Tabela 7 - Teores de ácido alantóico, alantoína, ureídeos, açúcares solúveis totais, sacarose, nitrato e amônia em folhas de feijoeiro, cultivar IPR-Campos Gerais submetidos a aplicação de doses de *Trichoderma atroviride* em diferentes estádios de desenvolvimento. Ilha Solteira-SP, 2021..... 75

Tabela 8 - Teores de açúcares solúveis totais em folhas de feijoeiro, cultivar IPR - Campos Gerais submetidos a aplicação de doses 77

de *Trichoderma atroviride* no estádio de desenvolvimento V_3. Ilha Solteira-SP, 2021.....

Tabela 9 - Resumo da análise de variância com graus de liberdade e valores de quadrado médio (variância) para os parâmetros biométricos e produtividade de feijoeiro, cultivar IPR-Campos Gerais submetido a aplicação de doses de *Trichoderma atroviride* em diferentes estádios de desenvolvimento. Ilha Solteira-SP, 2021..... 81

Tabela 10 - Número de nós por planta, número de vagens por planta, número de sementes por vagem, número de sementes por plantas, massa de cem sementes e produtividade de feijoeiro, cultivar IPR-Campos Gerais submetidos a aplicação de doses de *Trichoderma atroviride* em diferentes estádios de desenvolvimento. Ilha Solteira-SP, 2021..... 85

SUMÁRIO

1	**INTRODUÇÃO**	14
2	**CAPÍTULO I: Revisão Bibliográfica**	16
2.1	**A cultura do feijoeiro**	16
2.2	**Gênero** *Trichoderma*	24
	REFERÊNCIAS	33
3	**CAPÍTULO II: Avaliação de doses de** *Trichoderma atroviride* **em diferentes estádios de desenvolvimento e sua influência sobre os componentes de produção e na produtividade do feijoeiro** (*Phaseolus vulgaris* L.)	42
	RESUMO	42
	ABSTRACT	43
3.1	**Introdução**	44
3.2	**Materiais e Métodos**	47
3.2.1	***Análise Estatística***	54
3.3	**RESULTADOS E DISCUSSÃO**	55
3.4	**Conclusões**	88
	REFERÊNCIAS	90

1 INTRODUÇÃO

O feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) é uma cultura de grande expressão na geração de renda e emprego em diversos países do mundo. Seu ciclo curto e retorno econômico rápido o torna uma ótima opção para rotação e sucessão de culturas. Seus grãos constituem importante fonte de proteínas, vitaminas, minerais, fibras e antioxidantes fazendo dessa leguminosa um fator de segurança alimentar para as populações. O Brasil configura entre os maiores produtores desta leguminosa, sendo também o maior consumidor mundial dos seus grãos. O consumo “per capita” é variável e dependente da região e de fatores econômicos situando-se em média, a 14,9 quilogramas por habitante ano (ROY; PAUL; SHAMSUDDOHA, 2020; COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB, 2021).

A preocupação com a segurança alimentar, com a saúde humana e com a sustentabilidade do ambiente tem intensificado o desenvolvimento de tecnologias alternativas com potencial para melhorar o rendimento, a qualidade das sementes, proteger as culturas e diminuir os custos de produção, com ênfase na aplicação de insumos biológicos.

A cadeia produtiva do feijoeiro vem atravessando uma série de problemas ao longo dos últimos anos. Dentre os principais, estão o alto custo dos insumos, a instabilidade no preço dos grãos, a ocorrência de pragas e doenças e o uso de sementes de baixa qualidade o que tem comprometido de maneira significativa a atividade.

Diante do exposto acima, o uso de microrganismos benéficos como os fungos do gênero *Trichoderma* pode ser uma alternativa viável e de baixo custo devido seu grande potencial biotecnológico. Estes microrganismos se caracterizam pela habilidade em promover a saúde dos vegetais e por participarem ativamente da dinâmica nutricional do solo podendo ser considerado como aliado na produção agrícola sustentável. O potencial de uso na agricultura é amplo, incluindo efeitos benéficos na germinação de sementes, emergência de plântulas, resistência a estresses ambientais, crescimento radicular, eficiência dos nutrientes, produtividade de grãos, promoção de crescimento, controle biológico e qualidade ambiental pela diminuição de contaminantes no solo e na água (CALERO-HURTADO *et al*., 2019;

CHANDRIKA; PRASAD; GODBOLE, 2019; CAMPOS *et al*., 2020; BHANDARI *et al*., 2021).

Trabalhos que avaliaram os efeitos da aplicação de *Trichoderma atroviride* e sua influência sobre os nutrientes das folhas, pigmentos fotossintetizantes, açúcares solúveis totais, sacarose, nitrato, amônia, ureídeos, os componentes de produção e a produtividade de plantas de feijoeiro à campo são escassos e contrastantes evidenciando a necessidade da execução de mais estudos que possam elucidar os benefícios desse bioagente na cultura do feijoeiro.

Dessa forma, as hipóteses testadas no presente trabalho foram para verificar se as doses de *Trichoderma atroviride* influenciam os pigmentos fotossitetizantes em plantas de feijoeiro cultivadas à campo (hipótese 1); se as doses de *Trichoderma atroviride* influenciam os açúcares solúveis totais, sacarose, nitrato, amônia, ureídeos e os nutrientes das folhas de feijoeiro cultivados à campo (hipótese 2) e as doses de *Trichoderma atroviride* influenciam os componentes de produção e a produtividade do feijoeiro cultivado à campo (hipótese 3).

Sendo assim, o objetivo da presente pesquisa foi avaliar o efeito da aplicação de doses de *Trichoderma atroviride* em dois estádios de desenvolvimento, a sua influência sobre os pigmentos fotossintetizantes, açúcares solúveis totais, sacarose, nitrato, amônia, ureídeos, os nutrientes das folhas, os componentes de produção e a produtividade do feijoeiro cultivado à campo.

2 CAPÍTULO I: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 A cultura do feijoeiro

O feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) constitui importante fonte de proteínas, vitaminas, sais minerais, fibras, cálcio e ferro na dieta alimentar em países em desenvolvimento. É considerado um adjuvante na prevenção de vários tipos de câncer e doenças cardíacas, controla sintomas do diabetes, anemia e colesterol do sangue, diminui a incidência de doenças degenerativas em seres humanos, devido aos altos índices de flavonoides e carotenoides (LOVATO *et al*., 2018; ROY; PAUL; SHAMSUDDOHA, 2020; VIÇOSI; PEIXOTO; PELÁ, 2020).

No Brasil é uma cultura expressiva, tida como integrante essencial da dieta dos brasileiros, além de ter grande importância econômica na geração de renda e emprego (ITO; STEIN, 2007; ANJOS *et al*., 2017; CONAB, 2021). É cultivado em todas as regiões do país, por pequenos, médios e grandes produtores, em diferentes graus de tecnificação. Isso se deve à sua grande plasticidade no que se refere à diversificação nos métodos de cultivo e ampla adaptabilidade à diferentes ambientes (BROUGHTON *et al*., 2003; PAVEZI; FAVARÃO; KORTE, 2017).

A área colhida na safra 2020/2021 foi de 2.923.200 ha com uma produção de 2.856.100 toneladas e uma produtividade de 977 Kg ha^{-1}. Os países maiores produtores de feijão são Myanmar, Índia, Brasil, Estados Unidos, México e Tanzânia que juntos, são responsáveis, por aproximadamente, 57% do total produzido no mundo. O Brasil é o terceiro maior produtor e o maior consumidor mundial de feijão. O consumo per capita é variável e dependente da região e de fatores econômicos situando-se em 14,9 Kg $hab.^{-1}$ ano^{-1} (COELHO, 2018; FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION - FAOSTAT, 2018; CONAB, 2021).

O feijoeiro comum é classificado botanicamente como pertencente à divisão Fanerógama, subdivisão Angiosperma, classe Dicotiledônea, subclasse Archichlamydeae, ordem Rosales, família Fabaceae (Leguminosae), subfamília Faboideae (Papilionoideae), tribo Phaseoleae, gênero *Phaseolus*, espécie *Phaseolus vulgaris* L. (SANTOS *et al*., 2015).

O feijoeiro é uma planta anual, diploide (2n = 22 cromossomos) cujo mecanismo fotossintético é do tipo C_3 tendo como primeiro produto estável o ácido 3-fosfoglicérico (3-PGA). Essas plantas fixam o gás carbônico atmosférico (CO_2)

pelo ciclo de Calvin metabolizando-o em compostos orgânicos que vão formar as suas estruturas. Por esse mecanismo consegue assimilar no máximo entre 20 e 50 mg CO_2 dm^{-2} h^{-1} (FLOSS, 2008; MARENCO; LOPES, 2009).

O ciclo de vida do feijoeiro é relativamente curto variando de 70 a 110 dias dependendo do cultivar e das condições climáticas. Seu desenvolvimento é dividido em fase vegetativa e fase reprodutiva e estas são subdivididas em 10 estádios fenológicos. A fase vegetativa é constituída dos estádios V_0 (germinação), V_1 (emergência), V_2 (folhas primárias totalmente expandidas), V_3 (primeira folha composta aberta) e V_4 (terceira folha composta aberta) enquanto a fase reprodutiva é constituída dos estádios R_5 (surgimento dos primeiros botões florais), R_6 (planta com 50% das flores abertas), R_7 (formação das primeiras vagens), R_8 (enchimento dos grãos) e R_9 (maturação) (SANTOS *et al*., 2015; OLIVEIRA *et al*., 2018).

Quanto ao hábito de crescimento o feijoeiro pode ser agrupado e caracterizado em determinado, quando o caule termina em uma inflorescência, com ramificação ereta (tipo I) e indeterminado, em que na extremidade do caule encontra-se uma gema vegetativa ou floral e vegetativa podendo ser arbustivo (tipo II), prostrado (tipo III) e trepador (tipo IV) (GONZAGA, 2014; ARF *et al*., 2015).

Morfologicamente a planta é caracterizada por apresentar um sistema radicular axial ou pivotante, bastante ramificado, com raiz primária bem desenvolvida originada da radícula do embrião. As raízes são superficiais e se concentram em uma faixa de 20 a 40 cm de profundidade, sendo sensíveis à deficiência hídrica (SILVA, 2003; ARF *et al*., 2015; SANTOS *et al*., 2015).

O caule é herbáceo do tipo haste e se origina no meristema apical do embrião, situado no ápice do epicótilo. Apresenta ao longo do seu eixo os nós e os entrenós. Os nós são os pontos de inserção das folhas no caule e de onde partem os ramos. Os entrenós são os espaços entre dois nós. Na axila das folhas pode ocorrer três tipos de gemas, as vegetativas, as florais e vegetativas e as completamente florais. Cada nó apresenta uma folha composta (trifoliada) e uma inflorescência do tipo racemo que dará origem às vagens com as sementes (ARF *et al*., 2015; SANTOS *et al*., 2015; NHANOMBE, 2019).

A planta apresenta dois tipos de folhas as simples (primárias) e as compostas (trifoliadas). As folhas primárias são aquelas já presentes no embrião que darão espaço para as folhas compostas (folhas verdadeiras). As folhas compostas são trifoliadas, de disposição alternadas, apresentando pecíolos longos com pulvínulo na

base do pecíolo (SILVA, 2003; COSTA, 2009; ARF *et al*., 2015; SANTOS *et al*., 2015).

A inflorescência é do tipo racemo podendo ser axilar (hábitos de crescimento II, III e IV) ou terminal (hábito de crescimento I), originada de um complexo de gemas denominada tríade floral, localizada na axila das brácteas (SILVA, 2003; COSTA, 2009; ARF *et al*., 2015; SANTOS *et al*., 2015).

A flor é do tipo papilionácea com simetria bilateral, formada por um pedicelo glabro ou subglabro, com pelos unguiculados. A flor é completa, formada pelo cálice e pela corola. O cálice é verde, gamossépalo, glabro ou ligeiramente pubescente curto-tubuloso, coberto pelas bractéolas, com cinco sépalas. A corola é composta por cinco pétalas que podem ser brancas, rosadas ou violáceas. O gineceu é súpero, unicarpelar, com ovário estreito e alongado. Os óvulos se encontram em linha, dentro do ovário. O androceu é formado por dez estames sendo nove aderentes ao filete e um livre, formando um tubo estaminal que envolve o ovário (COSTA, 2009; ARF *et al*., 2015; SANTOS *et al*., 2015).

O feijoeiro é considerado uma planta autógama, o tipo de flor e a disposição das estruturas reprodutivas favorecem a autofecundação. A taxa de alogamia ou polinização cruzada é muito baixa, variando de 1 a 10%. O número de flores formadas durante a floração varia entre os cultivares podendo apresentar acima de 40 flores por planta, contudo, o abortamento pode chegar a 75% (VIEIRA; RAVA, 2000; ARF *et al*., 2015; SANTOS *et al*., 2015).

O fruto é um legume ou vagem deiscente constituído por duas valvas unidas por duas suturas, uma dorsal (placentária) e outra ventral. As vagens são glabras ou subglabras com coloração que varia entre os cultivares. Cada vagem pode apresentar de quatro a sete sementes no seu interior variando entre os cultivares (VIEIRA; RAVA, 2000; SILVA, 2003; ARF *et al*., 2015; SANTOS *et al*., 2015).

As sementes são exalbuminosas (sem albúmen) constituídas, externamente, por tegumento, hilo, micrópila, estrofiole e rafe. O tegumento é a capa externa da semente, que a envolve e a protege, onde estão concentrados os pigmentos que são responsáveis pela cor do grão. O hilo é uma cicatriz deixada pelo funículo que conecta a semente com a placenta. O halo é uma estrutura que circunda o hilo da semente. A micrópila é uma abertura próxima ao hilo através da qual se realiza a absorção de água durante o processo germinativo. A estrofiole é uma pequena saliência resultante de uma excrescência formada a partir do funículo ou da rafe,

junto ao hilo. A rafe é uma saliência localizada acima do hilo que representa a parte do funículo que permanece soldada a semente (VIEIRA; RAVA, 2000; SILVA, 2003; ARF *et al*., 2015; SANTOS *et al*., 2015).

O feijoeiro é muito exigente em condições ambientais no campo, tendo a sua eficiência produtiva afetada quando submetido a condições inadequadas (GONZAGA, 2014; FRANCISCO *et al*., 2016).

A temperatura média ótima para o desenvolvimento do feijoeiro é 21°C, regiões com médias entre 15 e 29°C são consideradas aptas para o cultivo. Temperaturas diurnas superiores a 30°C são prejudiciais, podendo afetar negativamente a germinação, causar morte de plântulas, murcha, abortamento de flores e vagens. Sob temperaturas extremas (≥ 35°C) as plantas tendem a fechar os estômatos para diminuir a perda de água por transpiração, diminuindo assim, a taxa fotossintética e a produção de fotoassimilados (FANCELLI; DOURADO NETO, 2001; SILVA; RIBEIRO, 2009; BARBOSA; GONZAGA, 2012; GONZAGA, 2014; ARF *et al*., 2015).

A precipitação pluviométrica é um componente importante para o desenvolvimento do feijoeiro visto que a água é o principal elemento responsável por processos fisiológicos como a fotossíntese, a respiração, a transpiração, a translocação de nutrientes e fotoassimilados. Estima-se que a necessidade hídrica esteja na faixa de 250 a 350 mm por ciclo vegetativo. Chuvas regulares e bem distribuídas ao longo do ciclo da cultura garantem o fornecimento de água para o bom desenvolvimento e uma boa produção (OLIVEIRA *et al*., 2018). A deficiência hídrica resulta na perda de turgescência, fechamento dos estômatos, redução do crescimento com consequente perda na produção final (GUIMARÃES *et al*., 2011; AVILEZ *et al*., 2018).

O excesso de água também é prejudicial diminuindo a quantidade de oxigênio disponível no solo, comprometendo a germinação e a emergência de plântulas. Além disso, causa apodrecimento de raízes, aumentando a incidência e a severidade de doenças e diminui a absorção de nutrientes (SILVEIRA; STONE, 2004; SALISBURY; ROSS, 2012; GONZAGA, 2014).

A radiação solar influencia as taxas de fotossíntese das plantas. Regiões onde os valores de radiação solar ficam em torno de 150 a 250 W m^{-2} são consideradas ideais para o desenvolvimento da cultura. A quantidade e a intensidade da radiação solar são dependentes da latitude, altitude, declinação solar

e quantidade de nuvens. Baixas intensidades de radiação solar diminui o índice de área foliar prédispondo as plantas a uma menor área de interceptação de energia, interferindo em todo seu metabolismo fisiológico (GONZAGA, 2014).

Em relação ao fotoperíodo, os cultivares de feijoeiro utilizados no Brasil, são considerados insensíveis ao número de horas de período luminoso, não afetando o seu ciclo de desenvolvimento o que traz uma vantagem para a espécie que pode ser cultivada em várias épocas do ano (GONZAGA, 2014; ANDRADE *et al*., 2015; ARF *et al*., 2015).

O solo é um parâmetro importante a ser considerado para se ter sucesso no cultivo do feijoeiro. Deve se dar preferência para solos férteis, de textura média, bem drenados, pH variando entre 5,8 e 6,2 e saturação de base de 60% (ARF *et al*., 2015).

O feijoeiro é uma planta de ciclo curto bastante exigente em nutrientes e sensível à acidez do solo devido seu sistema radicular ser pequeno e pouco profundo. Esse fato faz do uso de corretivos e fertilizantes uma prática obrigatória para se ter sucesso no cultivo. Além disso, os solos na sua grande maioria não conseguem suprir a demanda das plantas por nutrientes. Nas condições brasileiras, normalmente, esses solos são ácidos, com baixos níveis de fósforo e com elevados teores de alumínio o que limita a absorção dos nutrientes (FAGERIA; BALIGAR; JONES, 2011; GONZAGA *et al*., 2014; ARF *et al*., 2015; CARVALHO; NASCENTE, 2018; OLIVEIRA *et al*., 2018).

A calagem eleva o pH, melhora a disponibilidade de nutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S e Mo), aumenta a saturação de bases, melhora as propriedades físicas do solo, diminui os efeitos tóxicos do alumínio e manganês, aumenta a atividade microbiana, entre outros. O calcário deve ser incorporado com, pelo menos, 60 dias de antecedência da semeadura, para que tenha o tempo necessária de reação no solo (SILVA; AZEVEDO; DE-POLLI, 2007; SORATTO; CRUSCIOL; MELLO, 2010; GONZAGA, 2014; ARF *et al*., 2015; NASCENTE; COBUCCI, 2015; OLIVEIRA *et al*., 2018).

A adubação é uma prática indispensável para atingir produtividades elevadas e o feijoeiro necessita de 18 nutrientes para o seu desenvolvimento normal (C, H, O, N, P, K, Ca, Mg, S, Zn, Cu, Fe, Mn, B, Mo, Cl, Ni e Co) (OLIVEIRA *et al*., 2018).

Da germinação até a abertura das folhas primárias (V_0 a V_2) a exigência por nutrientes é baixa, sendo suprida pela reserva contida na semente. Em V_3, a planta

passa a depender diretamente dos nutrientes do solo e inicia a formação dos nódulos para a FBN. A partir de V_4 a absorção dos nutrientes é acelerada e estes devem estar prontamente disponíveis, principalmente o nitrogênio que é essencial para o acúmulo de matéria seca e o aumento da área foliar (OLIVEIRA *et al*., 2018).

No estádio de prefloração e floração (R_5-R_6) ocorre acúmulo rápido dos nutrientes pela planta. Nessa fase, as plantas devem estar nutricionalmente equilibradas para assegurar o pegamento de flores e vagens, sendo o boro especialmente importante. A FBN começa a declinar no estádio de formação das vagens (R_7) onde ocorre o máximo acúmulo de nutrientes e a redução da atividade das raízes e a translocação dos carboidratos se dá preferencialmente para a formação das vagens (OLIVEIRA *et al*., 2018).

O nitrogênio (N) é absorvido durante todo o ciclo da cultura e em maior quantidade no florescimento e enchimento dos grãos (35 e 50 dias após a emergência), devendo ser aplicado de forma parcelada na semeadura e em cobertura. As doses dos fertilizantes nitrogenados variam de 20 a 120 kg ha^{-1} dependendo da produtividade esperada, do nível de tecnologia empregado e dos teores no solo (BARBOSA; GONZAGA, 2012; OLIVEIRA *et al*., 2018). É constituinte de aminoácidos, proteínas, ácidos nucléicos, da clorofila e precursor das auxinas. Promove crescimento das raízes melhorando a absorção de nutrientes e promove o crescimento da parte aérea melhorando a captação de luz e a atividade fotossintética (FAGAN *et al*., 2015; TAIZ *et al*., 2017).

O fósforo (P) faz parte da molécula de adenosina trifosfato (ATP) que é a fonte de energia que move a planta. A maior absorção ocorre dos 30 a 55 dias após a emergência, acentuando-se no final do florescimento e início de formação das vagens (ROSOLEM, 1987). Participa das reações bioquímicas, da fotossíntese, da respiração, síntese de proteínas, ativação de enzimas, transporte de água na célula, facilitando a floração, aumentando a frutificação, contribuindo para o desenvolvimento do sistema radicular (FAGAN *et al*., 2015; TAIZ *et al*., 2017). Seu fornecimento via adubação aumenta a capacidade da planta de buscar nutrientes e água. As doses variam de 30 a 120 kg ha^{-1} de P_2O_5 (ROSOLEM, 1987).

O potássio (K) é o segundo elemento mais absorvido e exportado pelo feijoeiro. Tem dois picos de absorção, o primeiro na diferenciação dos botões florais e o segundo no final do florescimento e na formação das vagens (WANG *et al*., 2013; FAGAN *et al*., 2015; ROY; PAUL; SHAMSUDDOHA, 2020). É importante na

ativação de enzimas, síntese de proteínas, transporte de açúcar, transporte de carboidratos, abertura e fechamento dos estômatos. As doses variam de 50 a 80 kg ha^{-1} de K_2O (MALAVOLTA, 1980; ROSOLEM, 1987; TAIZ *et al*., 2017; ROY; PAUL; SHAMSUDDOHA, 2020).

O cálcio (Ca) e Magnésio (Mg) geralmente não são problemas como nutriente em solos adequadamente corrigidos com calcário. No entanto, é preciso monitorar o magnésio para garantia de um teor mínimo de 5 mmolc dm^3. Se o solo for deficiente em Mg é preciso aplicar calcário magnesiano ou dolomítico. Caso contrário, o calcário calcítico poderá ser utilizado (TAUSZ; DREYER; DEKOK, 2009).

O cálcio é importante na formação e estabilidade das paredes celulares, na divisão celular, na manutenção da estrutura e permeabilidade da membrana, hidrólise de ATP e de fosfolipídeos, no fechamento estomático, na germinação, no crescimento do tubo polínico. O magnésio atua como ativador e cofator de várias enzimas, fosforilação, fotossíntese, é regulador das respostas das células aos estímulos, é componente da molécula de clorofila, participa da síntese de proteínas (FAGAN *et al*., 2015; TAIZ *et al*., 2017).

O enxofre (S) está envolvido em processos enzimáticos e reações de oxirredução sendo requerido em quantidade elevada para o desenvolvimento do feijoeiro. É constituinte dos aminoácidos cisteína, cistina e metionina que corresponde a cerca de 90% do enxofre total na planta (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997; MARSCHNER, 2012). É importante na ativação enzimática do citocromo e da ferridoxina, na transferência de energia nas células (FAGAN *et al*., 2015; TAIZ *et al*., 2017).

Os micronutrientes são elementos essenciais ao desenvolvimento das plantas desempenhando funções importantes para o metabolismo das plantas. Os mais relatados em análises de solo padrão são o zinco (Zn), ferro (Fe), manganês (Mn), boro (B), cloro (Cl), cobre (Cu), molibdênio (Mo) e níquel (Ni) (ALMEIDA; GUIMARÃES, 2017). O zinco (Zn) é componente de várias enzimas, que atuam em rotas metabólicas relacionadas ao crescimento das plantas, atua no metabolismo do carbono, na integridade da membrana, participa da síntese de triptofano, aminoácidos e clorofila, é precursor das auxinas e é essencial para a ativação de reações anabólicas de manutenção dos hormônios vegetais (FAGAN *et al*., 2015; TAIZ *et al*., 2017).

O ferro (Fe) é componente do citocromo e ferro proteínas, tem importância na ativação de enzimas, transporte de elétrons, biossíntese de clorofila, desenvolvimento de cloroplastos, atividade fotossintética, participa na fixação de nitrogênio e da respiração. O manganês (Mn) é cofator de enzimas, atua na síntese de aminoácidos, proteínas, carboidratos, lipídeos, clorofila, participa da fotossíntese, participa da divisão e elongação celular e é requerido para a atividade da desidrogenase, oxidase e peroxidase (FAGAN *et al*., 2015; TAIZ *et al*., 2017).

O boro (B) é cofator na síntese de clorofila, atua na síntese de ácidos nucléicos e auxinas, na translocação de açúcares e metabolismo de carboidratos e nitrogênio, atua no florescimento, frutificação. O cloro (Cl) é ativador de enzimas, atua na regulação osmótica, fotólise da água, elementos fotossintéticos e na regulação do balanço hídrico. O cobre (Cu) atua na ativação enzimática e reação redox, como componente do mecanismo fotossintético, como constituinte de proteínas agindo no transporte de elétrons no fotossistema I e atua na desintoxicação celular (FAGAN *et al*., 2015; CUNHA *et al*., 2016; BARCELOS, 2016; TAIZ *et al*., 2017).

O molibdênio (Mo) é essencial para a fixação biológica do nitrogênio, sendo cofator de enzimas como nitrogenase e redutase do nitrato, atuando no metabolismo do nitrogênio e na produção de grãos de pólen. O níquel (Ni) atua como cofator de enzimas, na uréase e hidrogenase (SILVA *et al*, 2008; ALBUQUERQUE *et al*., 2012; MATOSO; KUSDRA, 2014; FAGAN *et al*., 2015; CUNHA *et al*., 2016; BARCELOS, 2016; OLIVEIRA; PELÁ; PELÁ, 2017; TAIZ *et al*., 2017).

O feijoeiro é uma planta que possui capacidade para fixar biologicamente o nitrogênio. A inoculação das sementes é uma prática de baixo custo que aumenta o rendimento da cultura. A eficiência da fixação biológica é maior em solos corrigidos (pH entre 6,0 e 7,0) e com saturação de base acima de 50% (ALI *et al*., 2009).

A fixação biológica do nitrogênio (FBN) é um processo em que grupos de bactérias, normalmente, do gênero *Rhizobium* se associam às raízes do feijoeiro estabelecendo uma interação simbiótica, onde ambos são mutuamente favorecidos. As bactérias retiram o nitrogênio (N_2) do ar fornecendo para as plantas e as plantas fornecem energia para a sobrevivência das bactérias (LEMOS *et al*., 2003; MATOSO; KUSDRA, 2014; VIÇOSI; PEIXOTO; PELÁ, 2020).

Após 15 a 20 dias após a semeadura, os rizóbios já são capazes de fixar o nitrogênio e para verificar a eficiência, deve-se retirar algumas plantas com raízes

para observar a presença de nódulos. Se observar de 10 a 20 nódulos por planta e a coloração rósea/avermelhada no interior dos nódulos é um indicativo de que a fixação está sendo eficiente. A coloração verde escura das folhas por volta dos 20 aos 25 dias após a semeadura também é um indicativo da eficiência do *Rhizobium* (HUNGRIA; CAMPO; MENDES, 2007; UNKOVICH *et al*., 2008; CASSINI; FRANCO, 2011; DIAS, 2017).

A colheita é o momento em que as plantas diminuem as atividades metabólicas, deixando de transferir fotoassimilados, reduzindo a umidade dos grãos, atingindo a maturidade fisiológica. Na prática a colheita nessa fase é incompatível devido à alta umidade dos grãos (38 a 44%) e a elevada quantidade de folhas ainda verdes nas plantas. Assim, é desejável que as plantas permaneçam no campo por mais alguns dias, sob o sol, para que ocorra a redução da umidade e a queda das folhas para que a colheita possa ser realizada com maior eficiência (GONZAGA, 2014; ARF *et al*., 2015;).

A colheita pode ser feita de forma manual, sendo aquela realizada em pequenas áreas produtivas ou de subsistência e semimecanizada e mecanizada aquelas realizadas em lavouras de porte médio a grande. A escolha depende do tamanho da área, sistema de cultivo, do hábito de crescimento das plantas e da infraestrutura do produtor (GONZAGA, 2014; ARF *et al*., 2015).

2.2 Gênero *Trichoderma*

A taxonomia do grupo *Trichoderma* é bastante complexa, devido à falta de parâmetros consistentes na interpretação dos limites interespecíficos. Até a década de 90 era comum a utilização de dupla nomenclatura para designar os gêneros de ascomicetos conforme o tipo de reprodução observado, onde um nome era dado a fase assexuada (anamórfica ou imperfeita) e outro nome era dado a fase sexuada (teleomórfica ou perfeita). Atualmente, as espécies *Trichoderma* são informalmente classificadas em grupos monofiléticos ou clados bem definidos dentro da filogenia do gênero e nomeados de acordo com a espécie mais conhecida em cada clado (CHAVERRI; SAMUELS, 2003, MONTOYA *et al*., 2016).

De acordo com o *GenBank* (*NCBI*), que utiliza o *Index Fungorum* (www.indexfungorum.org), como fonte de referência, a classificação atualizada utilizada como base para o acesso às espécies colocam os fungos deste grupo

como pertencentes ao domínio Eucaryota, “grupo” Fungi/Metazoa, reino Fungi, filo Ascomycota, subfilo Pezizomycotina, classe Sordariomycetes, subclasse Hypocreomycetidae, ordem Hipocreales, “família” Hypocreales mitospóricos, gênero *Trichoderma* (ou família Hipocreacea, gênero Hypocrea na forma teleomórfica).

Os fungos do gênero *Trichoderma* são habitantes naturais de solo de clima temperado e tropical, podem ser saprófitas, micoparasitas, fazem parte da microbiota ativa do solo se utilizando de uma grande e diversificada quantidade de compostos como fonte de carbono e nitrogênio. São resistentes a inibidores produzidos por outros microrganismos e tolerantes a diferentes tipos de fungicidas. Crescem bem em meios de culturas, dentre eles, podemos citar o de aveia (oatmeal agar - OA), o batata-dextrose (potato dextrose agar - PDA), extrato de malte (malt extract agar (2%) - MA2) e o meio sintético pobre (spezieller nahrstoffarmer agar - SNA) (DRUZHININA *et al*, 2011; DARYAEI *et al*., 2016).

O *Trichoderma* é facilmente reconhecido pela produção de um micélio vegetativo de hifas hialinas, ramificadas, de aspecto cotonoso, de crescimento rápido em meio de cultura onde, à medida que vai se desenvolvendo começa a aparecer pústulas ou círculos verdes devido a produção de esporos subhialinos que dão um aspecto granular ou pulverulento à colônia (MEYER *et al*., 2019).

Os conídios são na sua maioria verdes, contudo, às vezes hialinos ou subhialinos, são unicelulares, de forma subglobosa, ovóide, elipsóide ou elíptico-cilíndrica, com paredes de textura lisa ou muito rugosa, com poucos micrômetros de tamanho. Os conidióforos se apresentam em forma piramidal ou cônico, com diferentes padrões de ramificação. As fiálides são marcadores morfológicos importantes, caracterizadas pela sua forma oval ou subglobosa, ou cilíndrica a alongada e pelo seu número e disposição espacial ao longo do conidióforo. Na ponta das fiálides são produzidos os conídios (MEYER *et al*., 2019).

Os clamidósporos são estruturas de resistência capazes de suportar condições adversas do ambiente. São hialinos e intercalares e bastante abundantes em algumas espécies. Nas espécies onde a fase sexuada é conhecida, esta é caracterizada pela formação de corpos de frutificação do tipo peritécio, formados em estromas de coloração verde, amarelada, creme ou marrom, produzidos sobre o substrato colonizado. Nos peritécios são formados ascos cilíndricos contendo oito ascósporos bicelulares, que se fragmentam em 16 esporos esverdeados ou hialinos (MEYER *et al*., 2019).

A temperatura ótima para crescimento varia entre 25°C e 30°C. São altamente seletivos, seguros para a saúde humana, animal e do meio ambiente e não prejudicam os inimigos naturais (JAKLITSCH, 2009; RIBAS, 2010; DRUZHININA *et al*, 2011; ZHANG; CHATURVEDI; CHATURVEDI, 2015).

Este gênero se destaca pela versatilidade nos mecanismos de ação, pela distribuição geográfica, pelo rápido crescimento, pela persistência mesmo sob condições adversas do ambiente, pela capacidade e efetividade antimicrobiana contra uma ampla gama de fitopatógenos, por possuírem resistência inata e/ou induzida a alguns fungicidas (KESWANI *et al*., 2014; ZHANG *et al*., 2016; MEYER *et al*., 2019).

Alguns autores ressaltam a capacidade do *Trichoderma* colonizar a rizosfera das plantas, estimulando a emissão de um volume maior de radicelas, provocando alterações no metabolismo, promovendo melhor absorção de nutrientes e minerais, favorecendo o desenvolvimento radicular, conferindo maior tolerância ao estresse hídrico e induzindo a expressão de genes envolvidos nas respostas de defesa das plantas contra patógenos (HERMOSA *et al*., 2000; PEDRO *et al*., 2012).

Na natureza os microrganismos podem apresentar comportamento benéfico, neutro ou patogênico em relação as plantas e estas podem ou não serem hospedeiras para os microrganismos. Sendo assim, a interação entre uma planta e um microrganismo vai depender do reconhecimento entre ambos por meio de uma intensa troca de sinais. Moléculas liberadas pelos organismos são fundamentais para o processo de sinalização. É por meio dessa sinalização que se estabelece uma maior ou menor afinidade de uma espécie de organismo por uma espécie vegetal. Assim, um microrganismo pode ser eficiente na promoção de crescimento ou na supressão de enfermidades em uma espécie vegetal e nem sequer conseguir colonizar outra espécie vegetal (MEYER *et al*., 2019).

Algumas sequências de eventos são fundamentais para o estabelecimento da colonização do sistema radicular tais como: a migração em direção às sementes ou raízes, o ataque às raízes, o reconhecimento entre as partes, a sobrevivência após o ataque, a sua distribuição ao longo das raízes, o crescimento e estabelecimento das populações. Essas etapas dependem e podem variar muito em função do genótipo da planta, do microrganismo e das condições ambientais (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006; NOUMAVO *et al*., 2016).

A colonização e a interação acontecem, de maneira geral, porque os microrganismos estão naturalmente presentes no solo, podendo viver saprofiticamente e a presença das plantas desencadeiam uma série de sinais químicos pela exsudação de substâncias (flavonóides, isoflavonóides, chalconas, betaínas, açúcares, aminoácidos, ácidos dicarboxílicos como succinato, malato, fumarato, e compostos aromáticos incluindo shiquimato, quinato, vanilato, catecol, luteolin entre outros) que os atraem em direção às raízes por um quimiotaxismo positivo. A partir daí, ocorre uma interação onde cada organismo responde conforme a substância exsudada pela planta (FIGUEIREDO *et al*., 2008).

Os fungos do gênero *Trichoderma* se associam na rizosfera e nas raízes promovendo a colonização do sistema radicular com a produção de compostos que estimulam o crescimento das plantas. Nessa interação, as raízes das plantas excretam mono, di e polissacarídeos na rizosfera que são usados para o crescimento do fungo. Dentre estes, a sacarose é um importante recurso captado pelas células de *Trichoderma* que favorece a colonização rizosférica. Por outro lado, o *Trichoderma* tem que pôr em prática, mecanismos para resistir aos metabólitos tóxicos produzidos pelas plantas em resposta a invasão de um organismo exógeno, patogênico ou não (HOWELL, 2003; DRUZHININA *et al*., 2011; HERMOSA *et al*., 2013).

A eficiência e a rapidez na resposta contra os produtos tóxicos produzidos pelas plantas são fundamentais para o sucesso do estabelecimento da interação *Trichoderma*/planta. A aderência do fungo na superfície das raízes é mediada por proteínas do tipo hidrofobinas presentes na parede celular e por expansinas que estão relacionadas ao desenvolvimento da parede celular. Já a capacidade de resistência aos metabólitos tóxicos produzidos pelas plantas está associada ao sistema de transporte ABC que são fatores chaves em múltiplas interações estabelecidas por isolados de *Trichoderma* em ambientes potencialmente antagonístico ou tóxico, com rápida degradação dos compostos fenólicos e supressão de fitoalexinas produzidas pelas plantas (HOWELL, 2003; DRUZHININA *et al*., 2011; HERMOSA *et al*., 2013).

O conjunto de sinais para o entendimento da interação fungo/planta não está completamente elucidado, contudo, acredita-se que estes são reconhecidos por receptores proteicos, presentes na membrana plasmática do fungo que é covalentemente modificado por sinais da planta e interagiria com outras proteínas

sinalizando para o núcleo a transcrição de genes que promoveria a associação simbiótica entre o fungo e a planta (REQUENA *et al*., 2007; LOPEZ *et al*., 2012; BARBOSA *et al*., 2015).

Após a quimiotaxia ocorre a comunicação e o estabelecimento dos microrganismos nos tecidos das plantas que acontece por meio dos fitormônios produzidos. Uma vez colonizado a planta, o microrganismo pode ocasionar alteração no balanço hormonal e beneficiar a planta pela disponibilização de nutrientes (MEYER *et al*., 2019).

Machado *et al*. (2012) fazem referência a atuação como bioestimulantes, promovendo crescimento vegetal pela produção de fitohomônios e solubilização de nutrientes. Martins *et al*. (2017) enfatizam o amplo espectro de substâncias antibióticas produzidas pelos *Trichodermas* o que lhe confere maior eficiência competitiva no ambiente. Peixoto; Azevedo e Araújo (2002) destacam a persistência destes microrganismos na colonização das raízes onde primeiramente ocorre o reconhecimento, a aderência, a penetração e a resistência aos metabólitos tóxicos produzidos pelas plantas tais como fitoalexinas, flavonóides, agliconas, fenóis, terpenóides entre outros compostos microbianos em resposta a essa invasão.

Kubicek *et al*. (2011) reforçam que a vantagem competitiva no ambiente se deve ao fato desses organismos possuem genes que codificam chaperonas (proteínas que reparam os danos celulares provocados pelo crescimento em condições adversas) e transportadores ABC (proteínas da membrana celular que facilitam a entrada de muitos nutrientes, precursores biossintéticos que secretam metabólitos primários e secundários e que eliminam substâncias tóxicas e agroquímicos absorvidos pelas células).

O modo de ação do *Trichoderma* ocorre por diferentes meios de associação ou não de mecanismos que podem ocorrer simultaneamente dos quais, destacam-se: antibiose, competição, parasitismo, indução de resistência, promoção de crescimento (MORANDI; BETTIOL, 2009; DALACOSTA, 2019; MEYER *et al*., 2019).

A antibiose é o mecanismo pelo qual os fungos deste gênero interagem com microrganismos de outras espécies secretando metabólitos capazes de inibir ou impedir o seu desenvolvimento (BEDENDO *et al*., 2011).

Trichoderma produz metabólitos secundários, como antibióticos e enzimas hidrolíticas, voláteis ou não, que tem a capacidade de suprimir ou destruir propágulos de diferentes microrganismos. Dentre os metabólitos secundários mais

estudados, estão os peptaibols, pequenos peptídeos não ribossômicos (NRP), os poliquetídeos (PK), os terpenos e pironas como a 6-pentil-pirona (6-PP) que é um composto orgânico volátil (COVs) que inibe o crescimento de patógenos como *Fusarium oxysporum* e é responsável pela cor amarela e cheiro de coco em cultivos de *Trichoderma* (MEYER *et al*., 2019).

Deve ser ressaltado que alguns metabólitos são fitotóxicos, como o trichoteceno e a trichodermina, que impede o uso, por exemplo, do *Trichoderma brevicompactum* como agente de controle biológico e outros apresentam ação inseticida como a NPR gliotoxina (HARMAN, 2000; RUBIO *et al*., 2009; KUBICEK *et al*., 2011; HERMOSA *et al*., 2013; MEYER *et al*., 2019).

A competição ou rizocompetência é a habilidade do microrganismo de se estabelecer na rizosfera das plantas e competir por espaço e nutrientes de maneira que a utilização destes recursos por um deles reduz a quantidade disponível para os outros microrganismos (HOWELL, 2003).

O parasitismo ocorre em várias etapas desde o reconhecimento até a morte do fungo hospedeiro. O antagonista detecta o organismo a ser parasitado por estímulos químicos no solo, cresce em sua direção até a interceptação onde, o seu micélio se enrola nas hifas ou estruturas de resistência do hospedeiro e penetram a parede celular por meio de enzimas hidrolíticas (como quitinases, glucanases e proteases) que vão auxiliar na sua degradação e, em seguida, o seu conteúdo celular será utilizado como fonte de alimento. Várias enzimas líticas, incluindo β-glucanases, quitinases e proteases, são produzidas durante a ação parasitária (SAMUELS; HEBBAR, 2015; MEYER *et al*., 2019).

A indução de resistência nas plantas por *Trichoderma* ocorre pelo desencadeamento de uma série de alterações morfológicas e bioquímicas na planta que ativam os mecanismos de defesa contra vários fitopatógenos. Além das barreiras físicas e químicas pré-formadas as plantas podem apresentar padrões moleculares associados a patógenos (PAMPs) e microrganismos (MAMPs). Os fungos do gênero *Trichoderma* são conhecidos produtores de MAMPs como xilanases e abamectinas (*T. viride*), celulases (*T. longibrachiatum*), endopoligalacturonases (*T. harsianum*), trichocolininas (*T. pseudokoningii*), 6-pentil-α-pironas (vários), harzianolidas (vários) e harzianopiridonas (vários). Os metabólitos secundários secretados, em baixas concentrações, atuam como padrões moleculares associados a microrganismos, que são reconhecidos pela planta

iniciando uma cascata de sinalização mediado pelo ácido jasmônico e etileno, culminando no acúmulo de proteínas relacionadas à patogênese como fitoalexinas e outros compostos, ativando os mecanismos de defesa da planta. Como exemplos de mecanismos de defesa, podemos citar a deposição de caloses e celulose nas paredes celulares e liberação de compostos fenólicos (HERMOSA, *et al*., 2013; MEYER *et al*., 2019).

A promoção de crescimento ocorre pela produção de fitormônios como giberelinas e auxinas como o ácido indol acético (AIA) que favorece o desenvolvimento do sistema radicular. A produção de ácidos orgânicos por *Trichoderma* e sua liberação na rizosfera pode sequestrar cátions e acidificar o ambiente próximo às raízes promovendo solubilização nutrientes como o fósforo, pela ação da enzima fosfatase ácida, o ferro, o cobre, manganês, zinco que podem ser limitantes, tornando-os disponíveis para a nutrição das plantas. A captação do ferro pode ocorrer pela produção de sideróforos por isolados de *Trichoderma*. As plantas podem transportar o ferro do complexo sideróforo-Fe^{3+} pela redução à Fe^{2+} e uma troca de ligante com o fitossideróforo, respectivamente, ou pela absorção direta do complexo sideróforo-Fe^{3+}. Como os sideróforos microbianos geralmente apresentam estabilidade melhor e constante do complexo Fe-quelante do que os fitossideróforos como o ácido mugineico, a troca de ligante requer excesso de fitossideróforo e cinética favorável. *Trichoderma* também provoca uma diminuição dos níveis de etileno (ET) nas plantas, mediada pela enzima 1-aminociclopropano-1-carboxilato (ACC) desaminase, resultando em maior crescimento das plantas (HARMAN *et al*., 2004; HERMOSA *et al*., 2013; GOMES *et al*., 2015; MEYER *et al*., 2019).

A literatura apresenta trabalhos que comprovam o modo de atuação dos fungos do gênero *Trichoderma*. Oliveira *et al*. (2012) avaliaram o potencial de produção de ácido indol acético (AIA) e a capacidade de solubilização de fosfato, in vitro, por isolados de *Trichoderma* spp. e concluíram que todos os isolados foram capazes de solubilizar fosfato de cálcio, sendo o isolado Tr-Dina, o mais eficiente. Em relação à produção de AIA, a maioria dos isolados foi capaz de produzir, mas o isolado que apresentou melhor desempenho foi o Tr-SMa.

Milanesi *et al*. (2013) testaram in vitro e in vivo a capacidade de isolados de *Trichoderma* controlar o patógeno *Fusarium* spp. em plântulas de soja. Os isolados de *Trichoderma koningiopsis*, *T. tomentosum*; e *T. asperellum* testados foram

eficientes no controle *Fusarium oxysporum* e *F. proliferatum* e atuaram como promotores de crescimento na soja cv. FT-Estrela. Dildey *et al*. (2016) pesquisaram a interação de isolados de *Trichoderma* spp. no feijão e o seu efeito na atividade de enzimas relacionadas à defesa da planta e capacidade endofítica e concluíram que os isolados de *Trichoderma* spp. têm capacidade endofítica e interfere na atividade da β-1-3-glucanase.

Oliveira; Viana e Martins (2016) testaram a atividade fungitóxica do antagonista *Trichoderma* sp. in vitro e in vivo no controle da antracnose da bananeira. O *Trichoderma* suprimiu em 84% o patógeno in vitro e acima de 50 % in vivo o desenvolvimento de lesões nas bananas. Sabando-Àvila; Molina-Atiencia; Garcés-Fiallos (2017) demonstraram o efeito de 4 doses do produto comercial TRICHO-D® WP (*T. harzianum*) aplicado em pré-semeadura, no solo, sobre as variáveis agronômicas da variedade de abacaxi MD-2. A aplicação de *T. harzianum* afetou positivamente a altura da planta, o número de folhas por planta e o peso fresco das plantas.

Gonçalves *et al*. (2018) testaram a eficiência de *Trichoderma* na manutenção e produtividade de plantas de soja no cerrado, Tocantins, Brasil. Foi aplicado a dose 2 Kg ha^{-1} de um granulado a base de *Trichoderma asperellum* estirpe UFT201 onde foi avaliado a sua eficiência. A estirpe UFT 201 promoveu aumento da produtividade nos experimentos nas regiões de Gurupi e Crixas da ordem de 34,5% e 33% superior ao controle. Carvalho *et al*. (2018) avaliaram o potencial de 12 isolados de *Trichoderma* no controle da mancha foliar de eucalipto induzido por *Cylindrocladium scoparium* e concluíram que todos foram eficientes na supressão da enfermidade sendo o isolado CEN262 o mais promissor para o desenvolvimento de biofungicidas.

Santos *et al*. (2019) testaram *Trichoderma harzianum* no manejo *Pratilenchus brachyurus* na soja cv. Soy Tech 820 RR e concluíram que o antagonista reduziu o número de juvenis na raiz e no solo inviabilizando ou retardando o parasitismo dos nematoides sobre as raízes das plantas. Sá *et al*. (2019) estudaram o efeito antagônico de isolados bacterianos do gênero *Bacillus* sp. e do fungo *Trichoderma* sp. sobre o crescimento micelial de *Sclerotium rolfsii*, agente causador da podridão de esclerócio em plantas de feijão-caupi (*V. unguiculata*) e demonstraram que os isolados de *Bacillus* e *Trichoderma* foram capazes de inibir o crescimento micelial do fungo *Sclerotium rolfsii*.

Santos *et al*. (2020) aplicaram cinco isolados de *Trichoderma* no tratamento de sementes de *Handroanthus serratifolius*, em pré e pós-plantio e avaliaram os efeitos na germinação e no seu desenvolvimento. As sementes tratadas com o isolado TAM03 de *Trichoderma* obteve maior taxa de germinação e índice de velocidade de germinação. Silva *et al*. (2020) avaliaram o potencial de 19 isolados de *Trichoderma* spp. de um ecótone cerrado-caatinga no controle de *Colletotrichum truncatum*, na soja e concluíram que todos os isolados apresentaram antagonismo contra o patógeno, tanto in vivo como in vitro.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, H. C.; PEGORARO, R. F.; VIEIRA, N. M. B.; AMORIM, I. J. F.; KONDO, M. K. Capacidade nodulatória e características agronômicas de feijoeiros comuns submetidos à adubação molíbdica parcelada e nitrogenada. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 43, p.214-221, 2012.

ALI, S.F.; RAWAT, L.S.; MEGHVANSI, M.K.; MAHNA, S.K. Selection of stress-tolerant rhizobial isolates of wild legumes growing in dry regions of Rajasthan, India. **Journal of Agricultural and Biological Science**, Islamabad, v. 4, p. 13-18, 2009.

ALMEIDA, L. S.; GUIMARÃES, E. C. Geoestatística para determinação e modelagem da variabilidade espacial de micronutrientes no solo cultivado com cafeeiro no munícipio de Araguari-MG. **Cultura Agronômica**, Ilha Solteira, v. 26, n. 2, p. 158-173, 2017.

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, MG: UFV, 2015. p. 68-95.

ANJOS, D. D. N.; MENDES, H. T. A.; VASCONCELOS, R. C.; MOREIRA, P. M.; CANGUSSU, A. C. V.; PIRES, E. S. Avaliação do feijoeiro comum em função dos bioestimulantes, NPK e micronutrientes em Vitória da Conquista-BA. **Revista Agrarian**, Dourados, v. 10, n. 35, p. 1-9, 2017.

ARF, O. *et al*. **Aspectos gerais da cultura do feijão *Phaseolus vulgaris***. Botucatu: FEPAF, 2015. 433 p.

AVILEZ, A. M. A.; HERNANDEZ, F. B. T.; BISPO, R.C.; TEIXEIRA, A. H. C. Semeadura do feijoeiro em função da disponibilidade hídrica no solo no noroeste paulista. **Water Resources and Irrigation Management**, Dordrecht, v. 7, n. 1, p. 17-27, 2018.

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

BARBOSA, J. Z.; CONSALTER, R.; VEZZANI, F. M.; MOTTA, A. C. V. Bactérias e fungos benéficos na endosfera das plantas. **Revista Agrogeoambiental**, Pouso Alegre, v. 7, n. 3, p. 99-116, 2015.

BARCELOS, G. S. **Bioestimulantes na cultura do milho: impacto na nutrição e nos parâmetros biométricos**. 2016. Trabalho de Conclusão de curso (Graduação em Agronomia) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2016.

BEDENDO, I. P.; MASSOLA JUNIOR, N. S.; AMORIM, L. Controle cultural, físico e biológico de doenças de plantas. **In**: AMORIM, L.; REZENDE, J. A. M.; BERGAMIM FILHO, A. (ed.). **Manual de fitopatologia**. 4 ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 2011. p. 367-388.

BHANDARI, S.; PANDEY, K. R.; JOSHI, Y. R.; LAMICHHANE, S. K. An overview of multifaceted role of *Trichoderma* spp. for sustainable agriculture. **Archives of Agriculture and Environmental Science**, Madison, v. 6, n. 1, p. 72-79, 2021.

BROUGHTON, W. J.; HERNÁNDEZ, G.; BLAIR, M.; BEEBE, S.; GEPTS, P.; VANDERLEYDEN, J. Beans (*Phaseolus* spp.) - model food legumes. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 252, n.1, p. 55-128, 2003.

CALERO-HURTADO, A.; QUINTERO-RODRÍGUEZ, E.; PÉREZ-DÍAZ, Y.; OLIVERA-VICIEDO, D.; PEÑA-CALZADA, K.; JIMÉNEZ-HERNÃNDEZ, J. Efecto entre microorganismos eficientes y fitomas-e en el incremento agroproductivo del frijol. **Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial**, Cauca, v. 17, n. 1, 2019.

CAMPOS, B. F.; ARAÚJO, A. J. C.; FELSEMBURGH, C. A.; VIEIRA, T. A.; LUSTOSA, D. C. *Trichoderma* contributes to the germination and seedling development of açaí palm. **Agriculture**, Basel, v. 10, p. 456, 2020.

CHANDRIKA, K. S. V. P.; PRASAD, R. D.; GODBOLE, V. Development of chitosan-PEG blended films using *Trichoderma*: Enhancement of antimicrobial activity and seed quality. **International Journal of Biological Macromolecules,** Amsterdam, v. 126, p. 282-290, 2019.

CARVALHO FILHO, M. R.; MARTINS, I.; PEIXOTO, G. H. S.; MUNIZ, P. H. P. C.; CARVALHO, D. D. C.; MELLO, S. C. M. Biological Control of Leaf Spot and Growth Promotion of Eucalyptus Plants by *Trichoderma* spp. **Journal of Agricultural Science**, Beaver Creek, v. 10, n. 9, 2018.

CARVALHO, M. C. S.; NASCENTE, A. S. Application of lime, phosphogypsum and fertilization rates affect soil fertility and common bean development in no-tillage system in cerrado oxisol. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 40, e 39322, 2018.

CASSINI, S. T. A.; FRANCO, M. C. Fixação biológica de nitrogênio: microbiologia, fatores ambientais e genéticos. *In*: VIEIRA, C.; PAULA JÚNIOR, T. J.; BORÉM, A. (ed.). **Feijão**. 2. ed. Viçosa: UFV, p.143-170, 2011.

CHAVERRI, P.; SAMUELS, G. J. Hypocrea/Trichoderma (Ascomycota, Hypocreales, Hypocreaceae): species with green ascospores. **Studies in Mycology**, Utrecht, v. 48, p. 1-116, 2003.

COELHO, J. D. Produção de grãos: feijão, milho e soja. **Caderno Setorial ETENE**, [*s. l.*], ano 3, n. 33, 2018.

Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB). **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**, Brasília, DF, v. 8, safra 2020/2021, n.12, décimo segundo levantamento, Brasília, p.1-97, setembro 2021.

COSTA, J. G. C. Conhecendo a planta do feijoeiro comum. *In:* KLUTHCOUSKI, J.; STONE, L. F.; AIDAR, H. (ed.). **Fundamentos para uma agricultura sustentável, com ênfase na cultura do feijoeiro**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e feijão, 2009. Cap. 2, p. 37-43.

CUNHA, F. N.; SILVA, N. F.; SOUSA, A. E. C.; TEIXEIRA, M. B.; SOARES, F. A. L.; VIDAL, V. M. Yield of sugarcane submitted to nitrogen fertilization and water depths by subsurface drip irrigation. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 20, p. 841-846, 2016.

DALACOSTA, N. L. **Compatibilidade de *Trichoderma harzianum* associado ao controle químico no tratamento de sementes de soja**. 2019. 53 f. Dissertação Pato Branco, 2019.

DARYAEI, A.; JONES, E. E.; GHAZALIBIGLAR, H.; GLARE, T. R.; FALLOON, R. E. Effects of temperature, light and incubation period on production, germination and bioactivity of *Trichoderma atroviride*. **Journal of Applied Microbiology,** Chichester, v.120, p. 999-1009, 2016.

DIAS, P. A. S. **Potencial genético de linhagens elite de feijoeiro comum para a fixação biológica de nitrogênio**. 2017. 106 f. Tese (Doutorado), Universidade Federal de Goiás - UFG, Goiânia, 2017.

DILDEY, O. D. F.; BROETO, L.; RISSATO, B. B.; GONÇALVES-TREVISOLI, E. D. V.; COLTRO-RONCATO, S.; DAL'MASO, E. G.; MEINERZ, C. C.; Nicanor Pilarski HENKEMEIER, N. P.; STANGARLIN, J. R.; KUHN, O. J.; WEBLER, T. F. B. *Trichoderma*-bean interaction: Defense enzymes activity and endophytism. **African Journal of Agricultural Research**, Sapele, v. 11, n. 43, p. 4286-4292, 2016.

DRUZHININA, I. S.; SEIDL-SEIBOTH, V.; HERRERA-ESTRELLA, A.; HORWITZ, B. A.; KENERLEY, C. M., MONTE, E.; KUBICEK, C. P. *Trichoderma*: the genomics of opportunistic success. **Nature Reviews Microbiology**, London, v. 9, n. 10, p. 749, 2011.

FAGAN, E. B.; ONO, E.O.; RODRIGUES, J. D.; SOARES, L. H.; DORADO NETO, D. **Fisiologia vegetal**: metabolismo e nutrição mineral. [*S. l.*]: Andrei, 2015. 212 p.

FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V. C.; JONES, C. A. **Growth and mineral nutrition of field crops**. Boca Raton: CRC, 2011.

FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. Ecofisiologia: implicações práticas de manejo. *In:* FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. (ed.) **Sistemas de produção de feijão irrigado**. Piracicaba: Departamento de Produção Vegetal/ ESALQ/USP, p.196-211, 2001.

FOOD AND AGRICULTURAL ORGANIZATION STATISTICS - FAOSTAT. **Crops**. [*S. l.: s. n.*], 2018. Disponível em: http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC. Acesso em: 15 out., 2020.

FIGUEIREDO, M. V. B.; BURITY, H. A.; STAMFORD, N. P.; SANTOS, C. E. R. S. **Microrganismos e agrobiodiversidade**: o novo desafio para a agricultura. Guaíba: Agrolivros, 2008. 568 p.

FLOSS, E. L. **Fisiologia das plantas cultivadas**: o estudo do que está por trás do que se vê. 4. ed. Passo Fundo: UPF, 2008. 733 p.

FRANCISCO, P. R. M.; BANDEIRA, M. M.; SANTOS, D.; PEREIRA, F. C.; GONÇALVES, J. L. G. Aptidão climática da cultura do feijão comum (*Phaseolus vulgaris*) para o Estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, ano 12, v. 19, p. 366-378, 2016.

GOMES, E. V.; COSTA, M. N.; AZEVEDO, R. R.; PAULA, R. G.; SILVA, F. L.; NORONHA, E. F.; ULHOA, C. J.; MONTEIRO, V. N.; CARDOZA, R. E. L.; GUTIERREZ, S.; SILVA, R. N. The Cerato-Platanin protein Epl-1 from *Trichoderma harzianum* is involved in mycoparasitism, plant resistance induction and self-cell wall protection. **Scientific Reports**, London, v. 5, p. 17998, 2015.

GONÇALVES, A. H.; CHAGAS, L. F. B.; SANTOS, G. R.; FIDELIS, R. R.; MAGNO FILHO, R. C.; MILLER, L. O.; CHAGAS JÚNIOR, A. F. *Trichoderma* efficiency in the maintenance and productivity of soybean plants in producing savanna regions, Tocantins, Brazil. **Revista de Ciências Agrárias**, Jaboticabal, v. 41, n. 1, p. 175-181, 2018.

GONZAGA, A. C. O. **Feijão**: o produtor pergunta, a Embrapa responde. 2. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2014. 247 p.

GUIMARAES, C. M.; STONE, L. F.; DEL PELOSO, M. J.; OLIVEIRA, J. P. Genótipos de feijoeiro comum sob deficiência hídrica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambienta**l, Campina Grande, v. 15, n. 7, p. 649-656, 2011.

HARMAN, G. E. Myth and dogmas of biocontrol changes in perceptions derived from research on *Trichoderma harzianum* T-22. **Plant Disease**, St. Paul, v. 84, n. 4, p. 377-393, 2000.

HARMAN, G. E.; HOWELL, C. R.; VITERBO, A.; CHET, I.; LORITO, M. *Trichoderma* species - Opportunistic, avirulent plant symbionts. **Nature Reviews Microbiology**, London, v. 2, n. 1, 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**, Heidelberg, v. 66, n. 5, p. 1890-1898, 2000.

HERMOSA, R.; RUBIO, M. B.; CARDOZA, R. E.; NICOLÁS, C.; MONTE, E.; GUTIÉRREZ, S. The contribution of *Trichoderma* to balancing the costs of plant growth and defense. **International Microbiology**, Basel, v. 16, p. 69-80, 2013.

HOWELL, C. R. Mechanisms employed by *Trichoderma* species in the biological control of plant diseases: the history and evolution of current concepts. **Plant Disease**, St. Paul, v. 87, p. 4-10, 2003.

HUNGRIA, M.; CAMPO, R. J.; MENDES, I. C. **A importância do processo de fixação biológica do nitrogênio para a cultura da soja**: componente essencial para a competitividade do produto brasileiro. Londrina-PR: Embrapa Soja, 80p. 2007. (Documentos, 283).

ITO, M. F.; STEIN, C. P. **Seminário sobre pragas, doenças e plantas daninhas do feijoeiro**. Campinas: Instituto Agronômico, 2007. 250 p. (Documentos IAC, 79)

JAKLITSCH, W. M. European species of Hypocrea Part I. The green-spored species. **Studies in Mycology**, Utrecht, v. 63, p. 1-91, 2009.

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**, Heidelberg, v. 98, p. 533-544, 2014.

KUBICEK, C. P. *et al*. Comparative genome sequence analysis underscores mycoparasitism as the ancestral life style of *Trichoderma*. **Genome Biology**, London, v. 12, n.4, R40, 2011.

LEMOS, L. B.; FORNASIERI FILHO, D.; CAMARGO, M. B.; SILVA, T. R. B.; SORATTO, R. P. Inoculação de rizóbio e adubação nitrogenada em genótipos de feijoeiro. **Agronomia**, [*s. l.*], v. 37, n. 1, p. 26-31, 2003.

LOPEZ, A. M. *et al*. **Botânica de inverno**. São Paulo: Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo, 212p.: il., 2012.

LOVATO, F.; KOVALESKI, J.; SILVA, S. Z.; HELDA, L. F. S. Proximate composition and mineral contend of different cultivars of biofortified beans (*Phaseolus vulgaris* L.). **Brasilian Journal of Food Technology**, São Paulo, v. 21, e2017068, 2018.

MACHADO, D. F. M.; PARZIANELLO, F. R.; SILVA, A. C. F. & ANTONIOLLI, Z. I. Trichoderma no Brasil: o fungo e o biocontrole. **Revista de Ciências Agrárias**, Jaboticabal, v. 35, n. 1, p. 274-288, 2012.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo. Agronômica Ceres, 1980. 256 p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas**: princípios e aplicações. Piracicaba: Potafós, 1997.

MARENCO, R. A.; LOPES, N. F. **Fisiologia vegetal**: fotossíntese, respiração, relações hídricas e nutrição mineral. 3. ed. (atual. ampl.). Viçosa: UFV, 2009. 486 p.

MARTINS, B. A.; BENITES, W. L.; CATELAN, L. C.; PASSAMANI, L. R. R.; KROHN, N. G. Qualidade fisiológica e sanitária de sementes de milho com associação de microbiolização e tratamento químico. **Journal of Agronomic Sciences**, [*s. l.*], v. 6, p. 59-75, 2017.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 3. ed. Orlando: Academic 2012. 672 p.

MATOSO, S. C. G.; KUSDRA, J. F. Nodulação e crescimento do feijoeiro em resposta à aplicação de molibdênio e inoculante rizobiano. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 18, n. 6, p. 567-573, 2014.

MEYER, M. C. *et al*. **Trichoderma**: uso na agricultura. Brasília, DF: Embrapa, 2019. 538 p.

MILANESI, P. M.; BLUME, E.; ANTONIOLI Z. I.; MUNIZ, M. F. B.; SANTOS, R. F.; FINGER, G.; DURIGON, M. R. Biocontrole de *Fusarium* spp. com *Trichoderma* spp. e promoção de crescimento em plântulas de soja. **Revista de Ciências Agrárias**, Jaboticabal, v. 36, n. 3, p. 347-356 3, 2013.

MONTOYA, Q. V.; MEIRELLES, L. A.; CHAVERRI, P.; RODRIGUES, A. Unraveling *Trichoderma* species in the attine ant environment: description of three new taxa. **International Journal of General and Molecular Microbiology**, [*s. l.*], v. 109, n. 5, p. 633-651, 2016.

MORANDI, M. A.; BETTIOL, W. B. Biocontrole de doenças de plantas: uso e perspectivas*. In:* MORANDI, M. A. B.; BETTIOL, W. (ed). **Controle biológico de doenças de plantas no Brasil**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2009. p. 7-14.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. 2.ed., Lavras: UFLA, 2006. 729 p.

NASCENTE, A. S.; COBUCCI, T. Calcário na forma de micropartícula aplicado no sulco de semeadura aumenta produtividade do feijoeiro. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 62, n. 6, p. 597-606, 2015.

NHANOMBE, E. A. L. P. **Efeito de restrição hídrica em feijoeiro cultivado em plantio direto e convencional**. 2019. 57 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa – UFV, Viçosa, MG, 2019.

NOUMAVO, P. A.; AGBODJATO, N. A.; BABA-MOUSSA, F.; ADJANOHOUN, A.; BABA-MOUSSA, L. Plant growth promoting rhizobacteria: Beneficial effects for healthy and sustainable agriculture. **African Journal of Biotechnology**, Sapele, v. 15, n. 27, p. 1452-1463, 2016.

OLIVEIRA, A. G.; CHAGAS JÚNIOR, A. F.; SANTOS, G. R.; MILLER, L. O.; CHAGAS, L. F. B. Potencial de solubilização de fosfato e produção de AIA por *Trichoderma* spp. **Revista Verde**, [*s. l.*], v. 7, n. 3, p. 149-155, 2012.

OLIVEIRA, E. S.; VIANA, F. M. P.; MARTINS, M. V. V. Alternativas a Fungicidas Sintéticos no Controle da Antracnose da Banana. **Summa Phytopathologica**, Botucatu, v. 42, n. 4, p. 340-350, 2016.

OLIVEIRA, C. A. B.; PELÁ, G. M.; PELÁ. A Inoculação com *Rhizobium tropici* e adubação foliar com Molibdênio na cultura do feijão comum. **Revista de Agricultura Neotropical**, Dourados, v. 4, supl. 1, p. 43-50, 2017.

OLIVEIRA, M. G. C. *et al*. **Conhecendo a fenologia do feijoeiro e seus aspectos fitotécnicos**. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 59 p.

PAVEZI, A.; FAVARÃO, S. C. M.; KORTE, K. P. Efeito de diferentes bioestimulantes na cultura do feijão-comum. **Revista Ciências Exatas e da Terra e Ciências Agrárias**, v. 12, n. 1, p. 30-35, 2017.

PEDRO, E. A. S.; HARAKAVA, R.; LUCON, C. M. M.; GUZZO, S. D. Promoção do crescimento do feijoeiro e controle da antracnose por *Trichoderma* spp. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Seropedica, v. 47, n. 11, p. 1589-1595, 2012.

PEIXOTO, P. A. S. N.; AZEVEDO, J. L.; ARAÚJO, W. L. Microrganismos endofíticos. **Biotecnologia Ciência & Desenvolvimento**, Uberlandia, v. 29, p. 62-77, 2002.

REQUENA, N.; SERRANO, E.; OCÓN, A.; BREUNINGUER, M. Plant signals and fungal perception during arbuscular mycorrhiza establishment. **Phytochemistry**, Oxford, v. 68, p. 33-40, 2007.

RIBAS, P. P. **Compatibilidade de *Trichoderma* spp. a princípios ativos de fungicidas comerciais aplicados na cultura do feijão**. 2010. 104 f. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal do Rio grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

ROSOLEM, C. A. **Nutrição e adubação do feijoeiro**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1987. 93 p.

ROY, B.; PAUL, A. K.; SHAMSUDDOHA, A. T. M. Effect of Different Levels of Potassium Fertilizer on the Yeld Components of BARI Bush Bean-2. **Asian Soil Research Journal**, West Bengal, v. 3, n. 2, p. 35-40, 2020.

RUBIO, M. B.; HERMOSA, R.; REINO, J. L.; COLLADO, I. G.; MONTE, E. Thctf1 transcription factor of *Trichoderma harzianum* is involved in 6-pentyl-2H-pyran-2-one production and antifungal activity. **Fungal Genetics and Biology**, Maryland Heights, v. 46, n. 1, p. 17-27, 2009.

SÁ, M. N. F.; LIMA, J. S.; JESUS, F. N.; PEREZ, J. O.; GAVA, C. A. T. Efeito de *Bacillus* sp. e *Trichoderma* sp. no crescimento micelial de *Sclerotium rolfsii*. **Acta Brasiliensis**, Campina Grande, v. 3, n. 2, p. 79-81, 2019.

SABANDO-ÁVILA, F.; MOLINA-ATIENCIA, L. M.; GARCÉS-FIALLOS, F. R. *Trichoderma harzianum* en pre-transplante aumenta el potencial agronómico del cultivo de piña. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 12, n.4, p. 410-414, 2017.

SALISBURY, F. B.; ROSS, C. W. **Fisiologia das plantas**. 4. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2012. 774 p.

SAMUELS, G. J.; HEBBAR, P. K. Developing *Trichoderma*-Based Products for Application in Agriculture. *In:* SAMUELS, G. J.; HEBBAR, P. K. (ed.). ***TRICHODERMA***: identification and agricultural applications. Saint Paul: American Phytopathological Society, 2015. p. 7-34.

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, A. R. B.; ALMEIDA, F. A.; LEITE, M. L. T.; FONSECA, W. L.; ALCÂNTARA NETO, F.; PEREIRA, F. F.; CARVALHO, R. M.; BARRETO, A. F.; SANTOS, T. S. Biocontrole no manejo de *Pratylenchus brachyurus* na soja. **Revista de Ciências Agrárias**, Jaboticabal, v. 42, n. 3, p. 776-785, 2019.

SANTOS, M. F.; SANTOS, L. E.; COSTA, D. L.; VIEIRA, T. A.; LUSTOSA, D. C. *Trichoderma* spp. on treatment of *Handroanthus serratifolius* seeds: effect on seedling germination and development. **Heliyon**, London, v. 6, n. 6, p. e04044, 2020.

SILVA, H. T. **Caracterização botânica de espécies silvestres do gênero *Phaseolus* L. (Leguminosae)**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 40p., 2003.

SILVA, E. E., AZEVEDO, P. H. S.; DE-POLLI, H. **Determinação da respiração basal (RBS) e quociente metabólico do solo (qCO2).** Seropédica: EMBRAPA, 2007. (Comunicado Técnico, 99).

SILVA, T. T. A.; PINHO, E. V. R. V.; CARDOSO, D. L.; FERREIRA, C. A.; ALVIM, P. O.; COSTA, A. A. F. Qualidade fisiológica de sementes de milho na presença de bioestimulantes. **Revista Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 3, p. 840-846, 2008.

SILVA, S. C.; RIBEIRO, J. R. Zoneamento Agroclimático para o Feijão (2ª Safra) nos Estados de Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais e Bahia. **In**: KLUTHCOUSKI, J.; STONE L. F.; AIDAR, H. (ed.) **Fundamentos para uma agricultura sustentável, com ênfase na cultura do feijoeiro**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2009. Cap. 6, p. 97-106.

SILVA, H. F.; SANTOS, A. M. G.; AMARAL, A. C. T.; BEZERRA, J. L.; LUZ, E. D. M. N. Bioprospection of *Trichoderma* spp. originating from a Cerrado-Caatinga ecotone on *Colletotrichum truncatum*, in soybean. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v.15, n.1, e7680, 2020.

SILVEIRA, P. M.; STONE, L. F. Irrigação. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 25, n. 223, p. 74-82, 2004.

SORATTO, R. P.; CRUSCIOL, C. A. C.; MELLO, F. F. de C. Componentes da produção e produtividade de cultivares de arroz e feijão em função de calcário e gesso aplicados na superfície do solo. **Bragantia**, Campinas, v. 69, n. 4, p. 965-974, 2010.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 858 p.

TAUSZ, M.; DREYER, E.; DE KOK, L.J. Plant functioning in a changing global environment. **Plant Biology**, Chichester, v. 11, p. 1-3, 2009.

UNKOVICH, M.; HERRIDG, D.; PEOPLES, M.; CADISCH, G.; BODDEY, B.; GILLER, K.; ALVES, B.; CHALK, P. **Measuring plant-associated nitrogen fixation in agricultural systems**. Canberra: Aciar, 2008. 258 p.

VIEIRA, E. H. N; RAVA, C. A. **Sementes de feijão**: produção e tecnologia. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2000. 270 p.

VIÇOSI, K. A.; PEIXOTO, N.; PELÁ, A. Response of snap bean cultivars of determined growing to inoculation with *Rhizobium tropici*. **Agrarian**, Dourados, v. 13, n. 49, p. 352-361, 2020.

WANG, M.; QINGSON, G.; ZHENG, Q.; SHEN, Q.; GUO, S. The critical role of potassium in plant stress response. **International Journal of Molecular Sciences**, Basel, v.14, p.7370-7390, 2013.

ZHANG, T.; CHATURVEDI, V.; CHATURVEDI, S. Novel *Trichoderma polysporum* strain for the biocontrol of *Pseudogymnoascus destructans*, the fungal etiologic agent of bat white nose syndrome. **PloS ONE**, San Francisco, v. 10, n. 10, p. 1-17, 2015.

ZHANG, F.; GE, H.; ZHANG, F.; GUO, N.; WANG, Y.; CHEN, L.; JI, X.; LI, C. Biocontrol potential of *Trichoderma harzianum* isolate T-aloe against *Sclerotinia sclerotiorum* in soybean. **Plant Physiology and Biochemistry**, Issy les Moulineaux Cedex, v. 100, p. 64-74, 2016.

3 CAPÍTULO II: Avaliação de doses de *Trichoderma atroviride* em dois estádios de desenvolvimento e sua influência sobre os componentes de produção e a produtividade do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.)

RESUMO

Os fungos do gênero *Trichoderma* spp. estão entre os microrganismos mais estudados no Brasil e no mundo para o uso na agricultura. O presente estudo teve por objetivo avaliar o efeito da aplicação de doses de *Trichoderma atroviride* em dois estádios de desenvolvimento e a sua influência sobre os pigmentos fotossintetizantes, açúcares solúveis totais, sacarose, nitrato, amônia, ureídeos, os nutrientes das folhas, os componentes de produção e a produtividade do feijoeiro cultivado à campo. O experimento foi conduzido em réplica, com 3 repetições, em blocos casualizados, em esquema fatorial (3 x 5) totalizando 15 tratamentos. Os tratamentos constituíram da aplicação manual, na linha de cultivo de 3 doses de *T. atroviride* no estádio vegetativo (V_3) e 5 doses aplicadas no estádio reprodutivo (R_5). Foram realizadas análises bioquímicas para verificar a influência do *Trichoderma* sobre os teores dos pigmentos fotossintetizantes (clorofila a, b e total, carotenóides, feofitina a, b e total), os açúcares solúveis totais, sacarose, nitrato, amônio, ureídeos, macro e micronutrientes. As plantas foram avaliadas quanto a biometria (altura de plantas, número de nós por planta, altura de inserção da primeira vagem, número de vagens por planta, número de sementes por vagem, número de sementes por planta) e a produtividade. A aplicação de doses de *T. atroviride* nos estádios V_3 e R_5 da cultura do feijoeiro influenciou os teores de nutrientes das folhas (fósforo, cálcio e manganês), os pigmentos fotossintéticos (clorofila a, b e total, feofitina a, b e total e os carotenoides), os ureídeos (ácido alantóico e alantoína), a sacarose, o nitrato, a amônia, os componentes de produção (número de nós, vagens e sementes por planta e o número de sementes por vagem) e a produtividade. A dose de 1,0 kg ha^{-1} em V_3 do bioagente proporcionou aumento de 44% (2.311,20 kg ha^{-1}) na produtividade do feijoeiro, cultivar IPR-Campos Gerais, à campo, quando comparado com a testemunha (1.610,75 kg ha^{-1}).

Palavras-chave: agricultura sustentável; biotecnologia; manejo agrícola; microrganismo benéfico; rendimento.

Evaluation of *Trichoderma atroviride* **doses in two development stages and its influence on the production components and the productivity of the common bean plant** (*Phaseolus vulgaris* L.)

ABSTRACT

The fungi of the genus *Trichoderma* spp. are among the most studied microorganisms in Brazil and in the world for the use in agriculture. The present study had for objective to evaluate the effect of the application of doses of *Trichoderma atroviride* in two stages of development and its influence on the photosynthesis pigments, total soluble sugars, sucrose, nitrate, ammonium, ureides, the nutrients of the leaves, the components of production and the productivity of the common bean cultivated in the field. The experiment was conducted in replication, with 3 repetitions, in randomized blocks, in a factorial design (3 x 5), totaling 15 treatments. The treatments consisted of manual application, in the row, of 3 doses of *T. atroviride* in the vegetative stage (V_3) and 5 doses applied in the reproductive stage (R_5). Biochemical analyses were carried out to verify the influence of *Trichoderma* on the contents of photosynthesizing pigments (chlorophyll a, b and total, carotenoids, pheophytin a, b and total), total soluble sugars, sucrose, nitrate, ammonium, ureides, macro and micronutrients. The plants were evaluated for biometry (plant height, number of nodes per plant, height of insertion of the first pod, number of pods per plant, number of seeds per pod, number of seeds per plant) and productivity. The application of *T. atroviride* at the V_3 and R_5 stages of the common bean crop influenced the nutrient contents of the leaves (phosphorus, calcium and manganese), the photosynthetic pigments (chlorophyll a, b and total, pheophytin a, b and total and the carotenoids), ureides (allantoic acid and allantoin), sucrose, nitrate, ammonium, yield components (number of nodes, pods and seeds per plant and number of seeds per pod) and productivity. The dose of 1.0 kg ha^{-1} in V_3 of the bioagent provided an increase of 44% (2,311.20 kg ha^{-1}) in the yield of common bean, cultivar IPR-Campos Gerais, in the field, when compared with the control (1,610.75 kg ha^{-1}).

Key-words: sustainable agriculture; biotechnology; agricultural management; beneficial microorganism; Yield.

3.1 Introdução

A agricultura é um setor importante da economia brasileira que emprega milhões de trabalhadores. O Brasil é o segundo maior fornecedor de alimentos e produtos agrícolas e a tendência é que seja o principal produtor de alimentos para atender a demanda global. Contudo, o aumento da população e a rápida expansão da agricultura, tem fomentado o desmatamento, o uso excessivo de fertilizantes e defensivos agrícolas com consequências desastrosas para o ambiente e a população. A degradação das áreas cultivadas, a contaminação do solo, água e o ar, os resíduos de pesticidas nos alimentos, o aumento da resistência dos fitopatógenos aos princípios ativos dos defensivos, contribuem para o decréscimo do rendimento das culturas, gerando insustentabilidade do sistema produtivo de alimentos (PIETRO SOUZA *et al*., 2020; RAI *et al*., 2020).

A preocupação com a segurança alimentar, com a saúde humana e com a sustentabilidade do ambiente tem intensificado o desenvolvimento de tecnologias alternativas com potencial para melhorar o rendimento, proteger as culturas e diminuir os custos de produção, com ênfase na aplicação de insumos biológicos (SINGH; SINGH; PAL, 2017; LOPES *et al*., 2018; FERREIRA; BETTIOL, 2019).

Nesse sentido, os fungos do gênero *Trichoderma* spp. estão entre os microrganismos mais estudados no Brasil e no mundo para o uso na agricultura. Estes organismos são habitantes naturais do solo, capazes de sobreviver em ambientes distintos que variam desde a Antártida até o deserto do Saara. São dotados de um oportunismo inato com alta capacidade para colonização rápida da rizosfera das plantas e versatilidade para decompor diferentes substratos e ainda dispõem de uma excelente capacidade reprodutiva, com produção de muitos esporos e estruturas de resistência (clamidósporos) que permite a sobrevivência sob condições adversas (MONTE; BETTIOL; HERMOSA, 2019).

Os mecanismos de ação destes fungos incluem micoparasitismo, antibiose, competição, indução de resistência, interação com as plantas, e promoção de crescimento vegetal.

Druzhinina *et al*. (2018) demonstraram que em maior ou menor escala, todas as espécies de *Trichoderma* são eficazes parasitas de fungos fitopatogênicos e oomicetos. Kubicek *et al*. (2011) relataram que genes relacionados ao micoparasitismo responderam transcricionalmente ao fitopatógeno e que enzimas

que degradam a parede celular foram identificadas e expressas nas interações de *Trichoderma* spp. com fungos fitopatogênicos. Já Monte; Bettiol e Hermosa (2019) comprovaram o micoparasitismo de espécies de *Trichoderma* sobre fungos fitopatogênicos por meio da produção de enzimas como quitinases, glucanases e proteases.

A atividade antifúngica foi verificada, in vitro, pela produção de metabólitos secundários como os peptaibols, poliquetídeos, terpenos e pironas que apresentaram efeito antibiótico sobre diversos patógenos como *Rhizoctonia*, *Colletotrichum*, *Fusarium*, *Sclerotinia*, *Aspergillus*, *Penicillium*, *Gaeumannomyces*, *Botrytis*, entre outros. Os metabólitos de *Trichoderma* contribuem com as enzimas degradadoras da parede celular no potencial de controle (KUBICEK *et al*., 2011; HERMOSA *et al*., 2014; MARRA *et al*., 2019).

De acordo com Morán-Diez *et al*. (2010); Mukherjee; Horwitz; Kenerley, (2012) e Li *et al*. (2015), os *Trichoderma* spp. são exímios competidores por apresentarem elevada tolerância ao estresse oxidativo, pela capacidade de produzir sideróforos e por solubilizarem fosfato. Além disso, muitas espécies de *Trichoderma* mostram uma grande versatilidade metabólica que lhes permitem crescer utilizando uma ampla gama de fontes de carbono e de nitrogênio. E, ainda, apresentam extraordinária capacidade para colonizar a rizosfera que é um ponto chave para crescer e competir por espaço e nutrientes (MEYER *et al*., 2019).

A indução de resistência em plantas frente ao ataque de patógenos e insetos sem a necessidade de estabelecer contato direto com o invasor por *Trichodermas* spp. foi relatada por Pascholati; Dalio (2018) em inúmeras espécies botânicas incluindo cafeeiro, cevada, feijoeiro, melancia, melão, soja. Medeiros *et al*. (2017) constataram a indução de resistência trabalhando com nematoides em tomateiro, Coppola *et al*. (2017) com afídeos em tomateiro e Junges *et al*. (2018) com antracnose no feijoeiro. *Trichoderma* estimula a defesa das plantas frente ao ataque de patógenos e condições edáficas e ambientais adversas, sem a necessidade de estabelecer contato direto com o invasor ou estar submetida a um estresse prévio (MEYER *et al*., 2019).

Os efeitos positivos da interação entre *Trichoderma* spp. com plantas foram demonstrados por Druzhinina *et al*. (2011); Buysens *et al*. (2016); Mendoza-Mendoza *et al*. (2018) e Carrero-Carrón *et al*. (2018). Em sua relação simbiótica com as plantas, *Trichoderma* implanta mecanismos antioxidantes e induz nas raízes e na

parte aérea da planta uma diminuição dos níveis de espécies reativas de oxigênio (ERO) quando são prejudiciais para a planta, fato que leva a uma melhor tolerância ao déficit hídrico e outros estresses abióticos (MASTOURI *et al*., 2012).

A promoção de crescimento foi avaliada por Milanesi *et al*. (2013), Chagas *et al*. (2017) e Pereira *et al*. (2019) que observaram resultados positivos em plântulas de soja e nas culturas da soja, feijão caupi, arroz e milho e na produção de alface, respectivamente. Além da atividade direta contra fitopatógenos, alguns compostos produzidos por *Trichoderma* são capazes de alterar substancialmente o metabolismo de plantas hospedeiras (PATILl *et al*., 2016). Algumas cepas de *Trichoderma* são capazes de aumentar a biomassa de plantas promovendo crescimento lateral de raízes através de mecanismos dependentes de auxina (Contreras-Cornejo *et al*., 2009) e/ou são capazes de produzir o ácido indolacético (AIA) ou análogos de auxina (Hoyos-Carvajal *et al*, 2009).

De acordo com Bisset *et al*. (2015), são conhecidas mais de 250 espécies do gênero *Trichoderma* e poucas são efetivamente utilizadas como antagonista para a promoção de crescimento e controle biológico. A exemplo, podemos citar o *T. harzianum* e *T. asperellum* que estão entre os mais estudados.

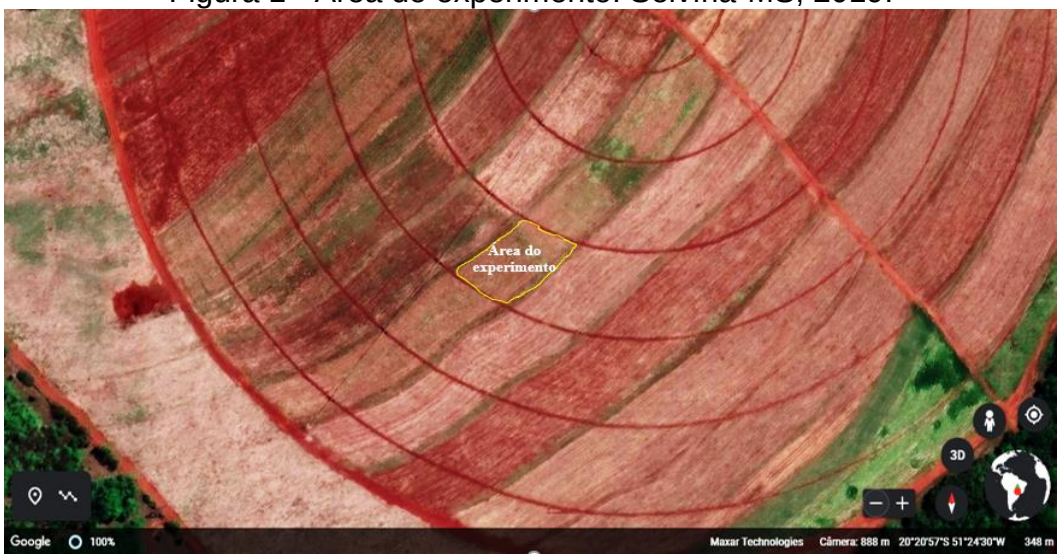
Contudo, a literatura é escassa e os resultados são contraditórios a respeito do uso de *T. atroviride* e seus efeitos na cultura do feijoeiro. E, tendo em vista, a importância dessa leguminosa para a alimentação humana devido seus grãos serem fonte de proteínas de baixo custo e acessível para as populações urge a necessidade da realização trabalhos que atestem a eficiência do uso desses microrganismos benéficos, corroborando com a sustentabilidade da atividade na área agrícola.

Dessa forma, nesta pesquisa foram verificadas as hipóteses de que o uso de doses de *Trichoderma atroviride* em dois estádios de desenvolvimento do feijoeiro, cultivar IPR-Campos Gerais influenciam os pigmentos fotossitetizantes, os açúcares solúveis totais, sacarose, nitrato, amônia, ureídeos e os nutrientes das folhas e os componentes de produção e a produtividade do feijoeiro cultivado à campo. E, o objetivo foi avaliar o efeito da aplicação de doses de *Trichoderma atroviride* em dois estádios de desenvolvimento, a sua influência sobre os pigmentos fotossintetizantes, açúcares solúveis totais, sacarose, nitrato, amônia, ureídeos, os nutrientes das folhas, os componentes de produção e a produtividade do feijoeiro à campo.

3.2 Material e Métodos

O experimento foi conduzido na fazenda experimental da Universidade Estadual Paulista - UNESP, localizada no município de Selvíria-MS, Brasil (20º20’57” S e 51º24’30” W) (Figura 1). O clima predominante, de acordo com a classificação de Köppen, é do tipo Aw (tropical com inverno seco) (ALVARES *et al*., 2013), com temperatura média anual de 25°C, precipitação pluviométrica média anual de 1.330 mm e umidade relativa do ar média de 66%. A altitude local é de 348 m acima do nível do mar. O solo é classificado como Latossolo Vermelho Distrófico típico argiloso.

Figura 1 - Área do experimento. Selvíria-MS, 2019.



Fonte: Google Earth (2021).

A fertilidade do solo foi determinada pela análise química a uma profundidade de 0-20 cm (Figura 2 a, b, c) e os resultados estão descritos a seguir e mostraram os seguintes atributos: pH $_{CaCl2}$ = 4,7; V (%) = 46%; SB = 36,2 mmolc dm^{-3}; CTC = 78,2 mmolc dm^{-3}; Al = 3; H+Al = 42 mmolc dm^{-3}; M.O = 24 g dm^{-3}; P$_{resina}$ = 26 mg dm^{-3}; K = 5,2 mmolc dm^{-3}; Ca = 17 mmolc dm^{-3}; Mg = 14 mmolc dm^{-3}; B = 0,17 mg dm^{-3}; Cu = 6,8 mg dm^{-3}; Fe = 41 mg dm^{-3}; Mn = 54,0 mg dm^{-3}; Zn = 1,3 mg dm^{-3}.

A área na qual foi implantado o experimento vem sendo cultivada, a 10 anos, com soja e milho safrinha em verões alternados e na sequência milheto e feijão safra de inverno, em sistema de semeadura direta sobre a palhada do milheto. Foi realizada a dessecação da vegetação sete dias antes da semeadura, utilizando-se

glifosato (480 g L^{-1}) na dose de 2 L do pc ha^{-1} aplicado em volume de calda de 200 L ha^{-1}.

As sementes utilizadas foram do grupo carioca, cultivar IPR-Campos Gerais (Figura 2 d). O hábito de crescimento é indeterminado, tipo II com ciclo de 88 dias. O tratamento das sementes foi realizado com fungicida carboxina (200 g L^{-1}) + tiram (200 g L^{-1}) na proporção de 250 mL do produto comercial por cem quilogramas de sementes. Posteriormente, as sementes foram inoculadas com inoculante sólido turfoso para feijão a base de *Rhizobium tropici* utilizando-se a dose de 100 g do produto comercial (2,0 x 10^9 células viáveis por grama) para 50 kg de sementes. Foi deixado para secar à sombra e a semeadura foi realizada 24 horas após a inoculação.

A semeadura mecanizada foi realizada no dia 06/06/2019, distribuindo-se 13 sementes por metro linear, a 0,03 m de profundidade, no espaçamento de 0,45 m entre linhas, visando uma população de, aproximadamente, 260 mil plantas por hectare (90% de germinação) (Figura 2 e, f). A emergência das plântulas ocorreu, em sua maioria, 6 dias após a semeadura (Figura 3 d, e). A área semeada (Figura 3 a, b) foi irrigada por meio de pivô central com a aplicação de uma lâmina de água de 15 mm a cada 3 dias (Figura 3 c).

A adubação mineral constituiu-se da aplicação do formulado N-P-K (8-28-16) na dose de 250 kg ha^{-1}, na semeadura para a obtenção de altos rendimentos. Em cobertura foi aplicado 150 kg ha^{-1} de ureia (45% de N), no estádio de desenvolvimento V_4 (terceira folha trifoliolada completamente expandida) (Figura 4 a, b, c). Em seguida procedeu-se a irrigação para diminuir as perdas por volatilização.

Para o controle das plantas indesejadas e insetos pragas foram aplicados em pós-emergência, o herbicida fomesafen (250 g L^{-1}) na dose de 1,0 L pc ha^{-1} conjuntamente com o inseticida imidacloprid (200 g L^{-1}) na dose de 500 mL do pc ha^{-1} em um volume de calda de 200 L ha^{-1}. Aos 40 dias após a semeadura foi aplicado associados os inseticidas abamectina (18 g L^{-1}) + triflumuron (480 g L^{-1}) nas doses de 400 mL pc ha^{-1} e 50 mL pc ha^{-1} em volume de calda de 200 L ha^{-1}, respectivamente.

O experimento foi conduzido em réplica, sendo cada réplica constituída de 3 repetições, para as características agronômicas e 2 repetições para as análises laboratoriais, em blocos casualizados, em esquema fatorial (3 x 5) totalizando 15 tratamentos. Os tratamentos constituíram da aplicação de 3 doses (0,0, 1,0 e 2,0 kg

ha^{-1}) de *Trichoderma atroviride* em V_3 (primeira folha trifoliolada aberta) (Figura 4 e, f) e 5 doses (0,0, 0,5, 1,0, 1,5 e 2,0 kg ha^{-1}) de *T. atroviride* em R_5 (surgimento dos botões florais) (Figura 5 b, c). O produto a base de *T. atroviride* foi obtido a partir da fermentação sólida do milheto, desidratado, na concentração de 1,0 x 10^9 conídios viáveis (Figura 4 d). A aplicação foi realizada, manualmente na linha de cultivo.

A parcela experimental foi constituída de 5 linhas de feijão com 5 m cada, espaçadas 0,45 m entre as linhas, totalizando 11,25 m^2 a área da parcela. A área útil da parcela foi constituída de 3 linhas de 5 m. O experimento contou com 90 parcelas com uma área total de 1.012,5 m^2.

Após 15 dias da aplicação dos tratamentos, em R_5, foram coletadas 5 folhas diagnósticas (terceira folha totalmente expandida do ápice para base) de 5 plantas da parcela para a realização das seguintes análises bioquímicas: clorofila a, b, clorofila total, carotenóides, feofitina a, b, feofitina total, açúcares totais, sacarose, nitrato, amônia, ureídeos (ácido alantóico e alantoína) e análise nutricional (macro e micronutrientes).

As concentrações de clorofila a, b, clorofila total, carotenóides e feofitina a, b e feofitina total foram avaliadas seguindo a metodologia proposta por Lichtenthaler (1987). A extração foi feita por meio da maceração 0,5 g de matéria fresca da folha em 5 mL de acetona 80%. Após 48 horas, as amostras foram centrifugadas e 100 µL do sobrenadante foram adicionados a 1.900 µL de acetona 80%. Foram realizadas as leituras das absorbâncias, em espectrofotômetro, em diferentes comprimentos de onda. As concentrações de clorofila a, clorofila b, clorofila total, feofitina a, feofitina b, feofitina total e carotenóides foram expressas em µg mL^{-1}.

Para as análises de açúcares e compostos nitrogenados o material vegetal foi extraído de acordo com método descrito por Bieleski e Turner (1966). As folhas foram maceradas em almofariz com nitrogênio líquido, e 1,0 g de material vegetal fresco foi pesado e macerado em 10 mL de solução MCW (60% de metanol, 25% de clorofórmio, e 15% de água). Uma solução contendo o extrato da planta foi armazenado em tubos falcon de 15 mL, turbilhonado, centrifugado em 10.000 rpm por 10 min a 4°C, e armazenado em geladeira por 48 h. Após este período, 4 mL do sobrenadante foi extraído, transferido para outro tubo falcon de 15 mL com a adição de 1,5 mL de água deionizada e 1 mL de clorofórmio, e armazenado em geladeira por 24 h para separar as fases lipossolúvel e solúvel em água, que foram usadas para realizar as análises de açúcares totais solúveis, sacarose, nitrato e amônia.

A concentração de açúcares totais foi determinada de acordo com a metodologia descrita por DuBois *et al*. (1956), adicionando 20 µL de sobrenadante da fase hidrossolúvel, 500 µL de 5% fenol, e 2 mL de ácido sulfúrico concentrado, lentamente em tubos de vidro. Esta mistura foi agitada, e depois de esfriar à temperatura ambiente, a absorbância foi lida em um espectrofotômetro em comprimento de onda de 490 nm.

A sacarose foi determinada seguindo o método de Van Handel (1968) adicionando lentamente 50 µL do extrato hidrossolúvel, 500 µL de 30% KOH, e 2 mL de ácido sulfúrico concentrado, em tubos de vidro. A mistura foi turbilhonada e mantida em uma estufa a 100°C por 10 min, e após o resfriamento, foram realizadas leituras espectrofotométricas das absorbâncias no comprimento de onda de 490 nm. Estas foram determinadas de acordo com a curva padrão de sacarose, e os resultados foram expressos em mg g^{-1} de peso fresco.

Para determinação do nitrato, foi utilizado o método descrito por Cataldo *et al*. (1975). Foi utilizada a alíquota de 20 µL de amostra e 40 µL de ácido salicílico 5%. Após 20 minutos à temperatura ambiente, 1 mL de NaOH (2N) foi adicionado. Depois de esfriar à temperatura ambiente, foram feitas as leituras em espectrofotômetro no comprimento de onda de 410 nm. A concentração de nitrato foi determinada usando uma solução padrão de nitrato de curva de cálcio. Os resultados foram expressos em µmol g^{-1} de matéria fresca.

A concentração de amônia foi quantificada de acordo com o método descrito por McCullough (1967), usando 200 µL da fase hidrossolúvel, 500 µL de solução de fenol (2,5 g de fenol e 12,5 mg de nitroprussiato de sódio, para um volume final de 250 mL), e 500 µL de solução de fosfato (1,25 g NaOH, 13,4 g $Na_2HPO_4.7H_2O$ e 2,5 mL de NaOCl a 5%, para volume final de 250 mL). Foram incubados em 37°C por 1 h. A absorbância foi lida em espectrofotômetro no comprimento de onda de 630 nm. A concentração de amônia foi determinada por um padrão curva de amônio sulfato solução, e os resultados foram expressos em µmol g^{-1} de matéria fresca.

A determinação dos ureídeos (ácido alantóico e alantoína) nas folhas do feijoeiro seguiu o método descrito por Vogels e Van Der Drift (1970). Nessa etapa foi feita a hidrólise alcalina onde a alantoína foi hidrolisada a ácido alantóico. Para tal, foi adicionado 250 µL da amostra, 250 µL de NaOH 0,5 M e 1 gota de fenilhidrazina em tubos de ensaio que em seguida foram aquecidos em estufa a 100°C por 8 minutos e deixados para resfriar à temperatura ambiente. Em seguida, foi realizado

a hidrólise ácida adicionando 250 µL de HCl (0,65 N) e novamente aquecido, em estufa, a 100°C durante 4 minutos, para que ocorra a hidrólise do ácido alantóico para glioxilato. O material foi resfriado à temperatura ambiente. Após, foi adicionado 250 µL de tampão fosfato pH 7,0 (0,4 M) e 250 µL de solução de fenilhidrazina 0,33%. Esperou-se 5 minutos para atingir a temperatura ambiente e o material foi incubado em banho de gelo por 10 minutos. Logo após, foi adicionado 1,25 mL de HCl concentrado previamente gelado e 250 µL de solução de ferrocianeto de potássio 1,65%. Os tubos foram retirados do banho de gelo e homogeneizados em vortex. Após 15 minutos em temperatura ambiente, foram realizadas as leituras em espectrofotômetro em comprimento de onda de 535 nm. A concentração de ureídeos foi calculada com base em curva padrão de solução alantoína. Os resultados foram expressos em µmol g^{-1} de peso fresco.

A análise nutricional das folhas foi feita seguindo a metodologia descrita por Malavolta; Vitti e Oliveira (1997). Com a coleta das folhas diagnósticas de plantas da área útil da parcela procedeu-se a limpeza do material com água destilada e em seguida colocou para secar em estufa de circulação de ar forçado, sob temperatura de 65°C até atingir peso constante. Depois de completamente secas, as amostras foram moídas em moinho tipo Wiley para que fossem determinados os teores de macro e micronutrientes. O nitrogênio (N) foi determinado pela digestão sulfúrica da amostra seguindo o método de Kjedahal. A determinação dos teores de fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), cobre (Cu), zinco (Zn) enxofre (S) e manganês (Mn) foi realizada por meio da digestão nítrico-perclórica onde o P e S foram avaliados em espectrofotômetro, em comprimento de onda de 470 nm. E, o K, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn e Zn foram quantificados em espectrofotometria de absorção atômica. Em seguida, calculou-se o acúmulo dos nutrientes multiplicando-se os teores pelos valores de massa seca da parte aérea (g $planta^{-1}$) e dividindo o resultado por 1.000.

A colheita do feijão foi realizada, manualmente, aos 91 dias após a semeadura, quando as plantas se encontravam no estádio de desenvolvimento R_9 caracterizado pelo secamento e maturação das vagens (Figura 5 d). Em seguida o material foi ensacado e transportado para serem processados (Figura 5 d, e, f). As plantas foram colocadas para secar ao ar livre e em seguida foram trilhadas em trilhadeira mecânica (Figura 5 g, h).

A produtividade das sementes foi estimada com a colheita das plantas de 2 linhas centrais de 5 metros de comprimento da área útil de cada parcela, corrigindo-se a umidade para 13% (base úmida) e a média dos valores foi extrapolada para (kg ha^{-1}) (Figura 5 i).

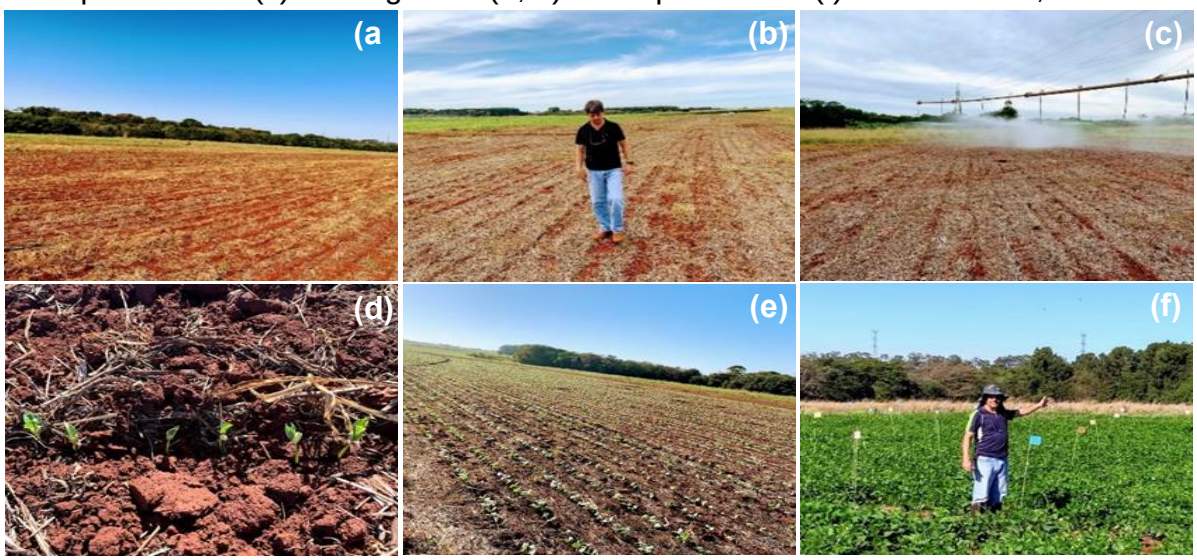
Os parâmetros biométricos foram avaliados com a mensuração da altura de plantas, número de nós por planta, altura de inserção da primeira vagem, número de vagens por planta, número de sementes por vagem, número de sementes por planta. Foram utilizadas 5 plantas colhidas da terceira linha da área útil de cada parcela e as sementes foram obtidas por meio da debulha manual das vagens dessas plantas.

Na Figura 2 consta a sequência de eventos realizadas ao longo do experimento na fazenda experimental da UNESP - Ilha Solteira.

Figura 2 - Coleta de amostras de solo para análise (a, b, c). Semente de feijão IPR-Campos Gerais (d). Semeadura mecanizada do feijoeiro (e, f). Selvíria-MS, 2019.

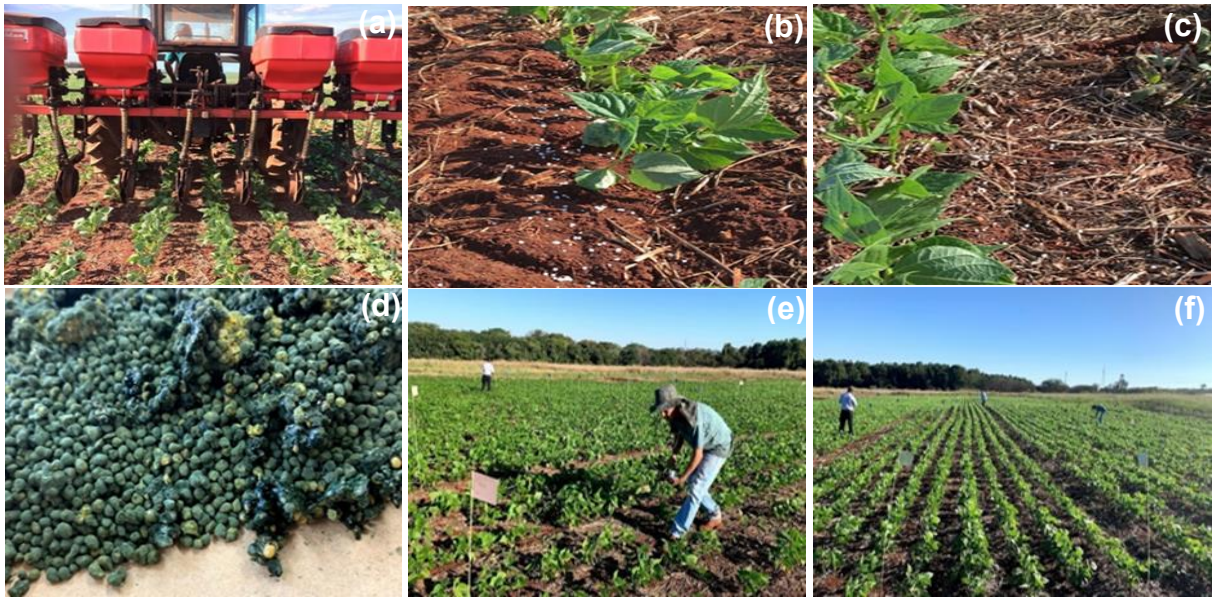
Fonte: Próprio autor.

Figura 3 - Área semeada e verificação de falhas na semeadura (a, b). Irrigação por pivô central (c). Emergência (d, e). Estaqueamento (f). Selvíria-MS, 2019.



Fonte: Próprio autor.

Figura 4 - Adubação de cobertura (a, b, c). Produto a base de *Trichoderma atroviride* (d). Aplicação manual do bioagente em V_3 (primeira folha trifoliolada aberta) (e, f). Selvíria-MS, 2019.



Fonte: Próprio autor.

Figura 5 - Estádio R_5 do feijoeiro (surgimento dos botões florais) (a). Aplicação de *Trichoderma atroviride* em R_5 (b, c). Colheita manual do feijoeiro (d). Ensacamento (e). Transporte (f). Secagem (g). Trilha (h). Avaliação da produtividade (i). Selvíria - MS, 2019.

Fonte: Próprio autor.

3.2.1 Análise estatística

Para verificar o grau de similaridade entre as réplicas foi realizada a análise de variância e aplicado o teste F ($P \leq 0,05$) e quando não significativo se empregou a análise conjunta do experimento. Foi realizado o teste de normalidade dos resíduos de Shapiro-Wilk. Quando significativo o teste F, na análise de variância, para as doses em V_3 foi realizado o teste de comparação de médias de Tukey a 5% de significância devido esse fator, apesar de quantitativo, apresentar somente 3 níveis e para doses em R_5 realizou-se o estudo de regressão polinomial dos fatores com auxílio do programa estatístico R Core Team (2021), utilizando-se o pacote ExpDes.pt.

3.3 Resultados e Discussão

Na análise de variância conjunta dos dois experimentos, verificou-se não haver diferenças significativas entre as réplicas indicando completa reprodutibilidade das observações, independentemente do experimento, possibilitando a análise em conjunto dos dados (Tabela 1).

Tabela 1. Resumo da análise de variância com graus de liberdade e valores de quadrado médio (variância) para verificação da similaridade entre os experimentos no campo para os parâmetros biométricos e produtividade de feijoeiro IPR-Campos Gerais submetido a aplicação de doses de *Trichoderma atroviride* em diferentes estádios de desenvolvimento. Ilha Solteira-SP, 2021.

FV	GL	AP	AIPV	NNP	NVP	NSV	NSP	PROD
Exps	1	22,8^{ns}	2,9^{ns}	0,6^{ns}	1,1^{ns}	0,01^{ns}	24,4^{ns}	208.800,8^{ns}
Trat	14	129,8*	1,3^{ns}	2,2**	114,5**	0,3**	3.268,2**	409.315,2**
Exp*Trat	14	16,1^{ns}	0,2^{ns}	0,1^{ns}	9,4^{ns}	0,03^{ns}	272,7^{ns}	45.492,1^{ns}
Bloco	2	266,7*	2,0^{ns}	0,2^{ns}	32,2^{ns}	0,002^{ns}	963,3^{ns}	93.469,1^{ns}
Erro	-	58,7	0,8	0,4	19,8	0,1	566,7	76.301,5
Média	-	80,2	12,5	15,3	27,0	4,8	130,6	1.988,0
CV (%)	-	9,5	7,1	4,4	16,5	6,7	18,2	13,9

Nota: OBS: **, * e ns correspondem respectivamente a significativo a 1%, 5% e não significativo pelo teste F ($P \leq 0,05$). AP = Altura de planta, AIPV = altura de inserção da primeira vagem, NNP = número de nós por planta, NVP = número de vagens por planta, NSV = número de sementes por vagem, NSP = número de sementes por planta e PROD = produtividade.
Fonte: Próprio autor.

Na Tabela 2 consta o resumo da análise de variância para os teores de nutrientes das folhas do feijoeiro IPR-Campos Gerais submetido à aplicação de doses de *Trichoderma atroviride*, à campo, em diferentes estádios de desenvolvimento.

As doses de *Trichoderma* proporcionaram efeito significativo quando aplicadas em V_3 e para a interação entre doses em V_3 e doses em R_5 para o elemento fósforo. Para o cálcio, houve efeito apenas para a interação entre as doses do bioagente em V_3 e doses em R_5. E, para o manganês houve efeito apenas para a interação entre as doses do bioagente em V_3 e doses em R_5.

Tabela 2 - Resumo da análise de variância com graus de liberdade e valores de quadrado médio (variância) para os teores de nutrientes das folhas do feijoeiro IPR-Campos Gerais submetido a aplicação de doses de *Trichoderma atroviride* em diferentes estádios de desenvolvimento. Ilha Solteira-SP, 2021.

FV	**GL**	**N**	**P**	**K**	**Ca**	**Mg**	**S**	**Cu**	**Fe**	**Mn**	**Zn**
Dose V_3	2	$25,9^{ns}$	0,3**	$4,9^{ns}$	$6,8^{ns}$	$0,8^{ns}$	$0,01^{ns}$	$35,5^{ns}$	$4250,1^{ns}$	$1058,7^{ns}$	$29,3^{ns}$
Dose R_5	4	$10,5^{ns}$	$0,01^{ns}$	$11,3^{ns}$	$3,0^{ns}$	$0,5^{ns}$	$0,02^{ns}$	$22,1^{ns}$	$1051,0^{ns}$	$1508,8^{ns}$	$46,7^{ns}$
DV_3*DR_5	8	$18,0^{ns}$	0,14*	$6,9^{ns}$	22,2*	$0,4^{ns}$	$0,09^{ns}$	$20,2^{ns}$	$2508,7^{ns}$	2042,2**	$44,5^{ns}$
Erro	45	14,4	0,05	5,2	10,2	0,4	0,05	14,4	1423,6	609,2	35,0
CV (%)	-	12,0	12,9	12,3	14,0	11,7	13,1	28,1	19,3	24,9	18,2

Nota: OBS: **, * e ns correspondem respectivamente a significativo a 1%, 5% e não significativo pelo teste F ($P \leq 0,05$). N = nitrogênio, P = fósforo, K = potássio, Ca = cálcio, Mg = magnésio, S = enxofre, Cu = cobre, Fe = ferro, Mn = manganês, Zn = zinco.
Fonte: Próprio autor.

Na Tabela 3 consta os resultados para os teores de nutrientes nas folhas de feijoeiro submetidos à aplicação de doses de *T. atroviride* nos estádios de desenvolvimento V_3 e R_5. As doses de 1,0 e 2,0 kg ha^{-1} do *Trichoderma* em V_3 na ausência de aplicação em R_5 proporcionaram os maiores teores de fósforo nas folhas, se constituindo nos melhores tratamentos. Os valores foram 49% e 62%, respectivamente, superiores em relação a dose 0,0 kg ha^{-1}. Quando foi analisado as doses de V_3 em função das doses em R_5, não se observou diferenças entre os tratamentos.

O modelo polinomial que melhor se ajustou ao acúmulo de fósforo em função de doses de *T. atroviride* aplicadas em R_5 para o nível 0,0 de V_3 foi o quadrático (R^2 = 0,55), onde a dose de maior resposta foi 1,23 kg ha^{-1} do bioagente, que proporcionou teor de fósforo acumulado de 1,78 g kg^{-1} ms. Para as doses 1,0 e 2,0 em V_3 não ocorreu ajuste a um modelo matemático (Figura 6 a).

O fósforo é um nutriente essencial para o metabolismo das plantas, estando presente em compostos como açúcares fosfato, fosfolipídeos, fosfoproteínas, nucleotídeos, coenzimas e nos ácidos nucléicos. Entre as suas funções, participa ativamente das reações bioquímicas da fotossíntese, da respiração e produção de energia. Também está envolvido em processos enzimáticos, transporte de água na célula, é componente de ácidos nucleicos e membranas celulares (FAGAN *et al*., 2015; TAIZ *et al*., 2017; BONONI *et al*., 2020).

É um dos elementos que mais contribui para o aumento da produtividade de grãos no feijoeiro. Contudo, grande parte desse elemento torna-se indisponível no solo em virtude de reações de adsorção em coloides minerais como o cálcio (P-Ca), ferro (P-Fe), alumínio (P-Al), precipitação ou conversão em formas orgânicas (FAGÉRIA; BALIGAR; JONES, 2011; ARF *et al*., 2015).

Com relação aos teores de cálcio, houve diferença entre as doses do bioagente aplicado em V_3, somente na ausência da aplicação deste em R_5, onde a maior média foi verificada na dose 1,0 kg ha^{-1} em V_3, a qual não diferiu da dose 2,0 kg ha^{-1}. O elemento aumentou a concentração em aproximadamente 37% com a aplicação de 1,0 kg ha^{-1} do bioagente em V_3 quando comparado com a dose 0,0 (Tabela 3).

Para o teor de cálcio acumulado nas folhas não houve ajuste polinomial para nenhum dos três níveis em V_3 (Figura 6 b).

O cálcio é importante na divisão celular, para a manutenção da permeabilidade da membrana, hidrólise de ATP e fosfolipídeos, na regulação osmótica, germinação, sinalização e ativação de enzima, entre outros (FAGAN *et al*., 2015; TAIZ *et al*., 2017). No solo, o cálcio por ser um íon divalente positivo (Ca^{++}) é fortemente adsorvido aos coloides e, como já mencionado anteriormente, se liga ao fósforo na fração argila ficando indisponível para as plantas.

Para o elemento manganês, verificou-se diferença entre os níveis em V_3 para a dose de 1,0 kg ha^{-1} em R_5, sendo que a maior média foi observada na dose de 2,0 kg ha^{-1} em V_3. Observou-se aumento de 66% e 80% respectivamente nos teores do Mn em relação a dose 0,0 e 1,0 (Tabela 3).

O modelo matemático que melhor se ajustou para o manganês foi o quadrático (R^2 = 0,52) com a máxima resposta na dose de 0,82 kg ha^{-1} do bioagente que proporcionou teor de 130,58 mg kg^{-1} do micronutriente (Figura 6 c).

O manganês é necessário para diversas funções fisiológicas como fotossíntese, metabolismo do nitrogênio e síntese de compostos do anel aromático, hormônios (auxinas), fenóis e lignina, desempenhando papel importante no crescimento e na resistência a doenças. É absorvido na forma de Mn^{2+} e em formas complexadas sendo sua concentração na solução do solo dependente do pH. A sua disponibilidade aumenta à medida que o pH do solo diminui. É adsorvido aos coloides como um íon cátion bivalente podendo ocorrer na forma de óxidos e hidróxidos com apenas uma pequena porção disponível para as plantas (ALTOMARE *et al*., 1999; SILVA, 2000; FAGAN *et al*., 2015; TAIZ *et al*., 2017).

Os teores de nitrogênio (N), potássio (K), magnésio (Mg), enxofre (S), cobre (Cu), ferro (Fe) e zinco (Zn) nas folhas não foram influenciados pela aplicação do *T. atroviride*.

No presente trabalho ficou demonstrado a capacidade do fungo *Trichoderma atroviride* em solubilizar fósforo, cálcio e manganês tornando-os disponíveis para as plantas na rizosfera proporcionando aumento dos teores na matéria seca das folhas de feijoeiro. O aumento pode ter ocorrido pelo efeito acidificante da rizosfera promovido pelo *T. atroviride* ou pela quelação e redução dos íons metálicos que também pode ser um mecanismo alternativo para aumentar a absorção do fósforo pelas plantas.

Os fungos do gênero *Trichoderma* são descritos como promotores de crescimento em plantas por produzirem auxinas e metabólitos secundários da classe

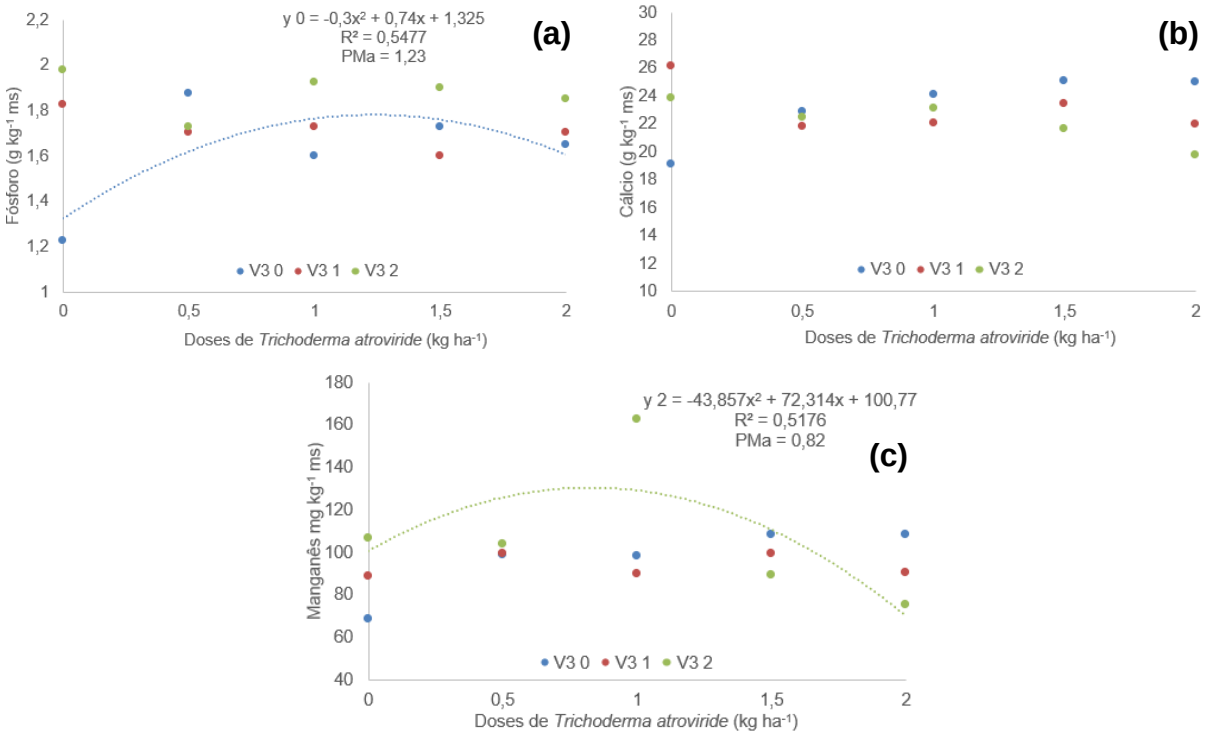
das pironas como o seis pentil pirona (6-PP) que favorecem o desenvolvimento das raízes tornando-as mais profundas e vigorosas, aumentando a quantidade de pelos absorventes nas raízes laterais incrementando assim, a absorção e a solubilização de nutrientes (YEDIDIA *et al*., 2001; CONTRERAS-CORNEJO *et al*., 2009). Li *et al*. (2015) relataram que podem produzir sideróforos e solubilizar fosfatos mediante processos de acidificação, redox, quelação e hidrólises. Atasanova *et al*. (2013) verificaram aumento na expressão de genes de *Trichoderma* relacionados com a aquisição de nutrientes quando estava em confronto com *Rizoctonia solani*.

Tabela 3 - Teores de nutrientes nas folhas de feijoeiro, cultivar IPR-Campos Gerais submetidos a aplicação de doses de *Trichoderma atroviride* nos estádios de desenvolvimento V_3 e R_5. Ilha Solteira-SP, 2021.

T. atroviride **(kg ha^{-1})**		**P** (g kg^{-1})	**Ca** (g kg^{-1})	**Mn** (mg kg^{-1})
R_5	**V_3**			
0,0	0,0	1,22 b	19,10 b	68,25 a
	1,0	1,82 a	26,12 a	88,50 a
	2,0	1,97 a	23,82 ab	106,50 a
0,5	0,0	1,87 a	22,87 a	98,75 a
	1,0	1,70 a	21,82 a	99,50 a
	2,0	1,72 a	22,42 a	103,50 a
1,0	0,0	1,60 a	24,07 a	98,00 b
	1,0	1,72 a	22,07 a	90,00 b
	2,0	1,92 a	23,10 a	162,25 a
1,5	0,0	1,72 a	25,07 a	108,25 a
	1,0	1,60 a	23,42 a	99,25 a
	2,0	1,90 a	21,62 a	89,00 a
2,0	0,0	1,65 a	24,95 a	108,25 a
	1,0	1,70 a	21,95 a	90,50 a
	2,0	1,85 a	19,72 a	75,25 a
CV (%)		12,93	14,00	24,92

Nota: OBS: Médias seguidas de mesma letra, em cada dose de *Trichoderma atroviride* em R_5, não diferem entre si ao nível de 5% pelo teste de Tukey. O CV (%) corresponde ao coeficiente de variação para cada característica avaliada. P = fósforo, Ca = cálcio, Mn = manganês.
Fonte: Próprio autor.

Figura 6 - Desdobramentos para fósforo (a), cálcio (b) e manganês (c) de doses de *Trichoderma atroviride* aplicadas em R_5 para cada nível de aplicação em V_3 (a). Ilha Solteira-SP, 2021.



Fonte: Próprio autor.

Os fungos do gênero *Trichoderma* são descritos como efetivos na solubilização de macro e micronutrientes insolúveis e moderadamente solúveis promovendo o aumentando da disponibilidade desses elementos. A solubilização ocorre devido a capacidade desses microrganismos produzirem ácidos orgânicos (fumárico, glucônico, cítrico), diversas enzimas e fosfatases. Os ácidos orgânicos rebaixam o pH //do solo e as fosfatases atuam hidrolisando compostos orgânicos liberando macro e micronutrientes adsorvidos na fração argila do solo, tornando-os prontamente assimiláveis pelas plantas, resultando em biofertilização e aumento de produtividade nas culturas (HARMAN *et al*., 2004; BENITEZ *et al*., 2004; XIAO *et al*., 2009; STEWART; HILL, 2014; FAGAN *et al*., 2015; ZHAO *et al*., 2017; MEYER *et al*., 2019). Contreras-Cornejo *et al*., (2016) citam que a solubilização do fósforo pode ser realizada, por um mecanismo alternativo, pela quelação e redução dos íons metálicos companheiros executado para aumentar a absorção do fósforo pelas plantas.

Alguns trabalhos têm demonstrado o papel do gênero *Trichoderma* na solubilização de nutrientes na rizosfera tornando-os disponíveis à absorção pelas

raízes e promovendo o crescimento de plantas. Altomare *et al*. (1999) demonstraram a capacidade do *Trichoderma* linhagem T-22 em solubilizar minerais insolúveis ou pouco solúveis como MnO_2, zinco metálico e fosfato de rocha (fosfato de cálcio) concluindo que promoveu aumentando no crescimento de plantas como o feijão, batata e milho. Yobo, *et al*. (2009), concluíram que *Trichoderma atroviride* foi capaz de aumentar os teores de fósforo nas folhas de feijoeiro.

Yedidia *et al*. (2001) observaram aumento significativo da absorção de fósforo, manganês, ferro, cobre, zinco e sódio, em cultura hidropônica de pepino, com a linhagem T-203 de *Trichoderma*.

Rawate e Tewari (2011) concluíram que *Trichoderma* spp. podem solubilizar fosfato de forma eficiente tanto em meio ácido quanto em meio básico. Já Ribas *et al*., 2016 concluíram que diferentes mecanismos estão envolvidos na solubilização de fosfato de cálcio por isolados de *Trichoderma* spp. Bononi *et al*. (2020) demonstraram a solubilização de fosfato por *Trichoderma* spp. prospectados de solos da floresta amazônica.

Na Tabela 4 consta o resumo da análise de variância para os pigmentos fotossintetizantes de feijoeiro submetido à aplicação de doses de *T. atroviride* em diferentes estádios de desenvolvimento. Os resultados mostraram diferença significativa para os teores de clorofila A, clorofila B, clorofila total, feofitina A, feofitina B, feofitina total e carotenóides com a aplicação do bioagente entre as doses aplicadas em V_3, em R_5 e a interação entre as doses em V_3 e doses em R_5.

Tabela 4 - Resumo da análise de variância com graus de liberdade e valores de quadrado médio (variância) para os pigmentos fotossintetizantes de feijoeiro IPR-Campos Gerais submetido a aplicação de doses de *Trichoderma atroviride* em diferentes estádios de desenvolvimento. Ilha Solteira-SP, 2021.

FV	GL	Clor A	Clor B	Clor T	Feo A	Feo B	Feo T	Carot
Dose V_3	2	359,9**	21,1**	555,4**	1039,1**	34,6**	1453,1**	79,0**
Dose R_5	4	201,9**	30,9**	386,1**	607,5**	40,9**	950,2**	147,4**
DV_3*DR_5	8	1289,7**	215,1**	2547,9**	3874,5**	297,4**	6287,8**	636,3**
Erro	45	3,0	0,7	6,2	9,2	1,1	15,4	1,6
CV (%)	-	2,7	3,3	2,8	2,7	3,7	2,8	2,8

Nota: OBS: **, * e ns correspondem respectivamente a significativo a 1%, 5% e não significativo pelo teste F ($P \leq 0,05$). Clor A = clorofila a, Clor B = clorofila b, Clor T = clorofila total, Feo A = feofitina a, Feo B = feofitina b, Feo T = feofitina total, Carot = carotenoides.
Fonte: Próprio autor.

Na Tabela 5 estão contidos os resultados para os teores de pigmentos fotossintetizantes pelo teste de F a ($P \leq 0,05$) de probabilidade.

Para a clorofila A, na ausência da aplicação do *Trichoderma* em R_5, o melhor resultado da aplicação em V_3 foi observado na dose 2,0 kg ha^{-1} que proporcionou aumento de 21% e 103% quando comparado com as doses 1,0 e 0,0 kg ha^{-1} em V_3 respectivamente.

Já, quando se aplicou em R_5 as doses 0,5, 1,0 e 1,5 kg ha^{-1} a melhor resposta foi obtida na ausência da aplicação em V_3. Na aplicação da dose 2,0 kg ha^{-1} em R_5 não foi observado diferença entre a ausência e a dose 2,0 kg ha^{-1} que proporcionaram os melhores resultados.

Em relação a clorofila B, os resultados mostraram que na ausência da aplicação do bioagente em R_5, a melhor dose foi a de 2,0 kg ha^{-1} em V_3 que proporcionou aumento no teor de clorofila das folhas de 32% e 120% em relação as doses de 1,0 e 0,0 kg ha^{-1}.

Quando foram aplicadas em R_5, as doses de 0,5 e 1,5 kg ha^{-1} se observou melhor resposta para a ausência da aplicação em V_3. Com a aplicação de 1,0 kg ha^{-1} em R_5, o maior teor de clorofila B foi observado na dose de1,0 kg ha^{-1} aplicado em V_3. Para a dose de 2,0 kg ha^{-1} em R_5 não foi observado diferenças para a ausência e a dose de 2,0 kg ha^{-1} em V_3 que se constituíram nos melhores resultados.

A clorofila total também proporcionou melhor resultado para a dose 2,0 kg ha^{-1} em V_3 na ausência da aplicação do *Trichoderma* em R_5 onde se observa aumento de 24% e 108% no teor de clorofila total quando comparado com as doses de 1,0 e 0,0 kg ha^{-1}.

Quando se aplicou o microrganismo em R_5 nas doses de 0,5 e 1,5 kg ha^{-1} a melhor resposta foi obtida na ausência da aplicação em V_3. Com a aplicação em R_5 da dose de 1,0 kg ha^{-1} não foi observado diferença para ausência e a dose de 1,0 kg ha^{-1} em V_3 constituindo-se nos melhores tratamentos. Já, para a dose de 2,0 kg ha^{-1} em R_5 não foi observado diferenças para ausência e dose de 2,0 kg ha^{-1} sendo os melhores tratamentos.

A aplicação do *Trichoderma* na dose de 2,0 kg ha^{-1} em V_3, na ausência de aplicação em R_5, proporcionou o melhor resultado para o teor de feofitina A com incremento de 22% e 105% em relação às doses 1,0 e 0,0 kg ha^{-1} em V_3 (Tabela 5). Com a aplicação de 0,5, 1,0 e 1,5 kg ha^{-1} obteve-se melhor resposta quando não foi aplicado o microrganismo em V_3. Para a dose de 2,0 kg ha^{-1} em R_5 não ocorreu

diferença para a ausência de aplicação e a dose de 2,0 kg ha^{-1} em V_3, constituindo-se nas melhores respostas obtidas para esse tratamento.

Para a feofitina B a dose de 2,0 kg ha^{-1} do bioagente em V_3 sem aplicação em R_5 proporcionou teores desse pigmento superior em 33% e 119% quando comparado com as doses de 1,0 e 0,0 kg ha^{-1}.

Quando se aplicou em R_5 as doses de 0,5 e 1,5 kg ha^{-1} os melhores resultados foram encontrados na ausência da aplicação em V_3. Para a dose de 1,0 kg ha^{-1} do microrganismo o melhor resultado foi encontrado com a aplicação de 1,0 kg ha^{-1} em V_3, com teores de feofitina B 9 e 50% superiores, respectivamente, às doses 0,0 e 2,0 kg ha^{-1}. A dose de 2,0 kg ha^{-1} em R_5 dentro da dose 0,0 e 2,0 kg ha^{-1} em V_3 não diferiu estatisticamente entre si mas diferiu da dose 1,0 kg ha^{-1}, constituindo-se assim como os melhores tratamentos.

Para a feofitina total o melhor resultado foi a dose de 2,0 kg ha^{-1} do bioagente em V_3 na ausência da aplicação em R_5, sendo os teores desse pigmento superiores em 24% e 108% em relação aos tratamentos com a dose de 1,0 e 0,0 kg ha^{-1}, respectivamente.

Para as doses de 0,5 e 1,5 kg ha^{-1} em R_5 os melhores resultados foram alcançados na ausência de aplicação em V_3. Na dose de 1,0 kg ha^{-1} do microrganismo em R_5 não houve diferença entre os tratamentos com a aplicação de 1,0 e 0,0 kg ha^{-1} em V_3 sendo estes os melhores resultados. E, para a dose de 2,0 kg ha^{-1} em R_5 na ausência de aplicação e na dose 2,0 kg ha^{-1} os tratamentos foram estatisticamente iguais, mas, diferindo da dose 1,0 kg ha^{-1}.

O teor de carotenoide aumentou para a dose de 2,0 kg ha^{-1} de *T. atroviride* aplicado em V_3, com ausência de aplicação em R_5, constituindo-se o melhor resultado, superando em 34% e 106% os tratamentos que receberam as doses 1,0 e 0,0 kg ha^{-1} em V_3.

Para a aplicação de 0,5 e 1,5 kg ha^{-1} do bioagente em R_5 os melhores resultados foram alcançados na ausência da aplicação em V_3. A dose de 1,0 kg ha^{-1} aplicado em R_5, propiciou a melhor resposta com a aplicação de 1,0 kg ha^{-1} em V'_3. E, a dose de 2,0 kg ha^{-1} em R_5 dentro da dose 0,0 e 2,0 kg ha^{-1} em V_3 foram iguais estatisticamente sendo os melhores tratamentos (Tabela 5).

Tabela 5 - Teores de pigmentos fotossintetizantes em folhas de feijoeiro, cultivar IPR-Campos Gerais submetidos a aplicação de doses de *Trichoderma atroviride* nos estádios de desenvolvimento V_3 e R_5. Ilha Solteira-SP, 2021.

***T. atroviride* (kg ha^{-1})**		**Clor A** (µg mL^{-1})	**Clor B** (µg mL^{-1})	**Clor T** (µg mL^{-1})	**Feo A** (µg mL^{-1})	**Feo B** (µg mL^{-1})	**Feo T** (µg mL^{-1})	**Carot** (µg mL^{-1})
R_5	**V_3**							
0,0	0,0	42,6 c	16,2 c	58,8 c	73,3 c	18,8 c	92,1 c	31,9 c
	1,0	71,5 b	27,0 b	98,5 b	123,5 b	31,0 b	154,5 b	49,0 b
	2,0	86,8 a	35,6 a	122,4 a	150,3 a	41,2 a	191,5 a	65,8 a
0,5	0,0	96,4 a	36,3 a	132,7 a	166,5 a	42,1 a	208,6 a	66,7 a
	1,0	67,9 b	25,7 b	93,6 b	116,9 b	29,5 b	146,4 b	46,7 b
	2,0	44,0 c	16,5 c	60,5 c	76,0 c	18,7 c	94,7 c	33,1 c
1,0	0,0	69,6 a	24,7 b	94,3 a	119,9 a	28,6 b	148,5 a	44,7 b
	1,0	64,3 b	26,4 a	90,7 a	110,7 b	31,2 a	141,9 a	47,2 a
	2,0	48,4 c	18,2 c	66,6 b	83,6 c	20,8 c	104,4 b	33,6 c
1,5	0,0	68,5 a	25,8 a	94,3 a	118,3 a	29,7 a	148,0 a	47,2 a
	1,0	53,9 c	20,6 c	74,5 c	93,0 c	23,5 c	116,5 c	37,6 c
	2,0	57,2 b	22,4 b	79,6 b	98,8 b	25,6 b	124,4 b	40,9 b
2,0	0,0	65,0 a	25,1 a	90,1 a	111,8 a	29,6 a	141,4 a	47,2 a
	1,0	60,0 b	22,6 b	82,6 b	103,5 b	25,8 b	129,3 b	42,4 b
	2,0	63,6 a	25,2 a	88,8 a	109,6 a	29,4 a	139,0 a	45,3 a
CV (%)		2,7	3,3	2,8	2,7	3,7	2,8	2,8

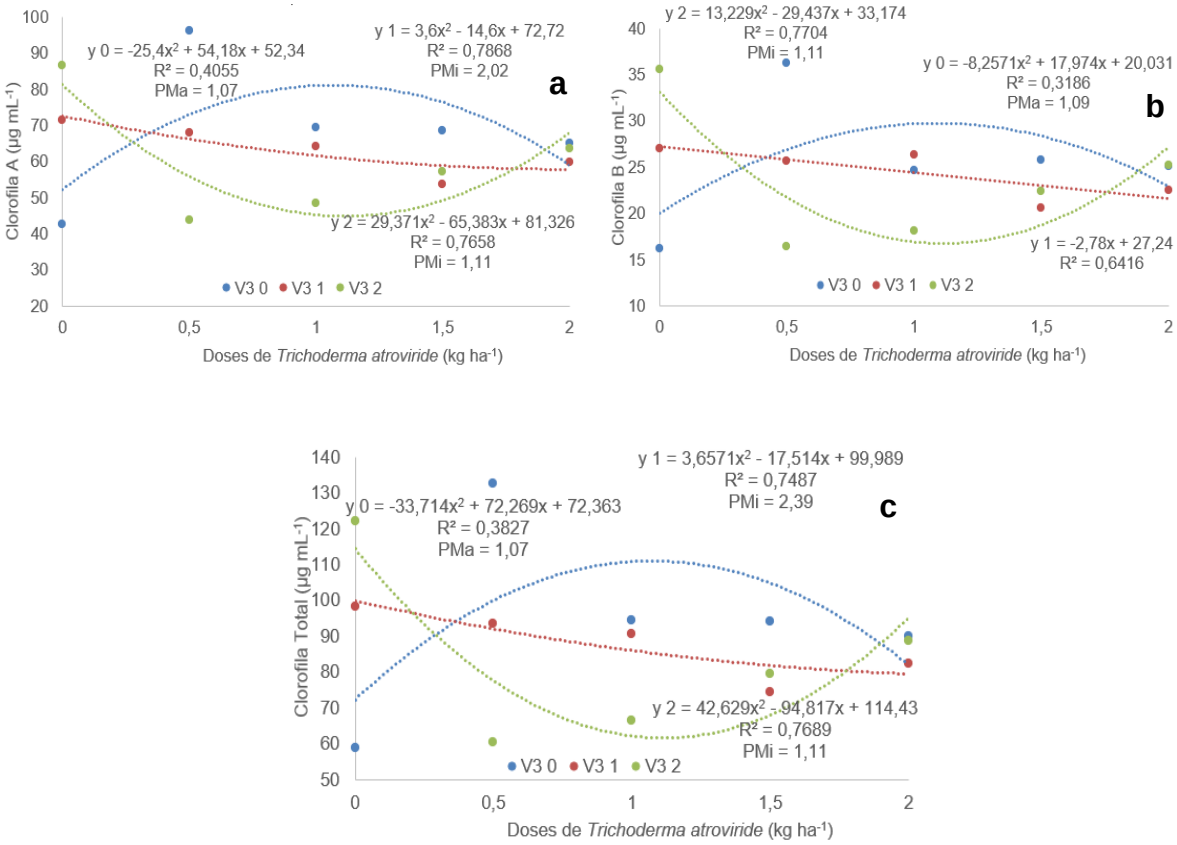
Nota: OBS: Médias seguidas de mesma letra, em cada dose de *Trichoderma atroviride* em R_5, não diferem entre si ao nível de 5% pelo teste de Tukey. O CV (%) corresponde ao coeficiente de variação para cada característica avaliada. Clor A = clorofila a, Clor B = clorofila b, Clor T = clorofila total; Feo A = feofitina a, Feo B = feofitina b, Feo T = feofitina total e Carot = carotenoides.
Fonte: Próprio autor.

Para o efeito de doses em R_5 dentro da aplicação em V_3, o estudo de regressão possibilitou a obtenção de um ajuste quadrático quando se teve ausência da aplicação em V_3, onde o modelo matemático que melhor se ajustou apresentou coeficiente de determinação $R^2 = 0,40$, com melhor resposta obtida com a aplicação de 1,07 kg ha^{-1} de *T. atroviride* que proporcionou nível de teor de clorofila A de 83,13 µg mL^{-1}. Para a dose 1,0 kg ha^{-1} em V_3 se obteve um modelo quadrático ($R^2 = 0,79$) com menor resposta na dose 2,0 kg ha^{-1}, indicando uma tendência de diminuição no teor de clorofila A com o aumento das doses. Na dose de 2,0 kg ha^{-1} aplicadas em V_3 o ajuste ao modelo matemático foi quadrático ($R^2 = 0,76$) com diminuição do teor de clorofila A até a dose 1,11 kg ha^{-1} aplicadas em R_5, onde, a partir desta dose se tem incremento nos teores de clorofila A (Figura 7 a).

Para clorofila B, houve um ajuste ao modelo quadrático (R^2 = 0,32) para ausência de aplicação em V_3 com melhor resposta para a dose de 1,09 kg ha^{-1} do bioagente em R_5 proporcionando teor de clorofila B de 29,81 µg mL^{-1}. Para a dose de 1,0 kg ha^{-1} em V_3 houve ajuste ao modelo linear decrescente (R^2 = 0,64) indicando uma tendência de diminuição no teor de clorofila B com o aumento da dose aplicada. E, para a dose de 2,0 kg ha^{-1} do microrganismo em V_3 o modelo matemático que melhor se ajustou foi o quadrático (R^2 = 0,77) com uma diminuição no nível de clorofila B até a dose de 1,11 kg ha^{-1} e, a partir daí, verificou-se incremento desse pigmento com o aumento da dose aplicada (Figura 7 b).

Quanto ao desdobramento das doses em R_5 dentro das doses aplicadas em V_3 para a clorofila total na dose 0,0 kg ha^{-1} de V_3 ocorreu ajuste ao modelo quadrático com máxima resposta para 1,07 kg ha^{-1} do bioagente com diminuição nos teores de clorofila total a partir dessa dose. Na dose de 1,0 kg ha^{-1} em V_3 se observou ajuste a um modelo quadrático (R^2 = 0,75) com ponto de mínimo na dose de 2,39 kg ha^{-1} indicando uma redução dos teores de clorofila total com o aumento das doses testadas. Para a dose 2,0 kg ha^{-1} em V_3 também ocorreu ajuste quadrático (R^2 = 0,77) com a menor resposta na dose 1,11 kg ha^{-1} indicando redução nos teores de clorofila total até esse ponto, voltando a aumentar a partir dessa dose (Figura 7 c).

Figura 7 - Desdobramento para clorofila A (a), clorofila B (b) e Clorofila Total (c) de doses de *Trichoderma atroviride* aplicadas em R_5 para cada nível de aplicação em V_3. Ilha Solteira-SP, 2021.



Fonte: Próprio autor.

Na Figura 8 a consta o desdobramento da interação para doses de *Trichoderma atroviride* em V_3 em função das doses aplicadas em R_5 para a feofitina A. Na dose 0,0 de V_3 houve ajuste a um modelo quadrático com ponto de máximo na dose de 1,06 kg ha^{-1} do bioagente que proporcionou teor de 140, 20 µg mL^{-1} desse pigmento. Para a dose de 1,0 kg ha^{-1} em V_3 o ajuste matemático também foi o quadrático (R^2 = 0,79) com ponto de mínimo na dose de 1,98 kg ha^{-1} indicando uma diminuição nos teores de feofitina A com o aumento das doses até esse ponto. Em relação a dose 2,0 kg ha^{-1} em V_3, o ajuste também foi quadrático (R^2 = 0,76) com níveis decrescentes desse pigmento até a dose de 1,11 kg ha^{-1} onde, a partir daí houve incremento com o aumento das doses aplicadas.

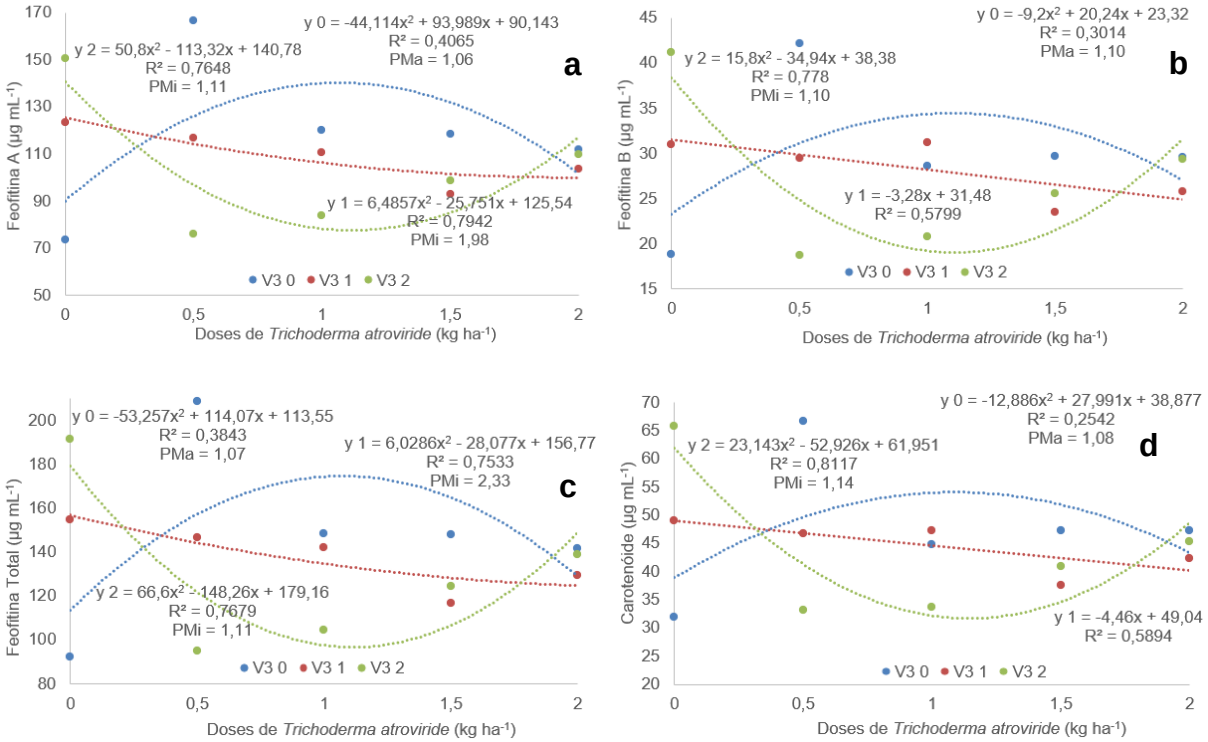
Para a feofitina B o desdobramento da interação mostrou um ajuste quadrático para a dose 0,0 kg ha^{-1} em V_3 onde a máxima resposta foi obtida com a dose de 1,10 kg ha^{-1} do microrganismo que proporcionou teor de Feofitina B de

34,45 µg mL^{-1}. Para a dose 1,0 kg ha^{-1} em V_3 o ajuste foi linear (R^2 = 0,58) com decréscimo nos teores do pigmento nas doses aplicadas em R_5. E, para a dose 2,0 kg ha^{-1} em V_3 a interação mostrou ajuste quadrático (R^2 = 0,78) onde houve decréscimo nos teores do pigmento com aplicação do *Trichoderma* em R_5 até o ponto de mínimo de 1,10 kg ha^{-1} e, a partir daí, houve incremento com o aumento das doses aplicadas (Figura 8 b).

Na Figura 8 c estão contidos os resultados do desdobramento da interação para doses do bioagente em V_3 em função das doses em R_5 para a feofitina total. A dose 0,0 kg ha^{-1} em V_3 demonstrou um ajuste a um modelo matemático quadrático com ponto de máximo na dose 1,07 kg ha^{-1} do bioagente. Para a dose 1,0 kg ha^{-1} em V_3 o modelo que melhor se ajustou foi o quadrático cujo coeficiente de determinação foi (R^2 = 0,75), com tendência de diminuição nos teores de feofitina total até a dose de 2,33 kg ha^{-1} de *T. atroviride*. Na dose 2,0 kg ha^{-1} o modelo que melhor se ajustou também foi o quadrático (R^2 = 0,77) com os teores de feofitina diminuindo até a dose 1,1 kg ha^{-1} onde, a partir desse ponto houve aumento nos teores desse pigmento com o aumento das doses testadas.

O desdobramento da interação para doses do bioagente em V_3 em função das doses em R_5 para o carotenoide está apresentado na Figura 8 d. Na dose 0,0 kg ha^{-1} de V_3 o modelo matemático que melhor se ajustou foi o quadrático com melhor resposta para a dose de 1,08 kg ha^{-1} do bioagente. Para a dose de 1,0 kg ha^{-1} houve um ajuste linear decrescente onde o coeficiente de determinação foi de (R^2 = 0,59) com tendência de diminuição no teor de carotenoide para as doses testadas. E, para a dose de 2,0 kg ha^{-1} o ajuste foi quadrático (R^2 = 0,81) com os teores desse pigmento diminuindo até a dose de 1,14 kg ha^{-1} do microrganismo onde, a partir desse ponto os teores do carotenoide passou a aumentar com as doses testadas.

Figura 8 - Desdobramento para feofitina A (a), feofitina B (b), feofitina total (c) e carotenoide (d) de doses de *Trichoderma atroviride* aplicadas em R_5 para cada nível de aplicação em V_3. Ilha Solteira-SP, 2021.



Fonte: Próprio autor.

Os pigmentos fotossintetizantes são indispensáveis para o metabolismo vegetal. As clorofilas são especializadas em captar a luz solar para oxidar a água liberando oxigênio para reduzir o dióxido de carbono e formar compostos carbonados, sobretudo açúcares. A clorofila a, está envolvida na transformação da energia luminosa em energia elétrica e a clorofila b, atua na melhoria da capacidade de absorção da luz, atuando na faixa da luz azul-violeta. As feofitinas são clorofilas cujo, o íon magnésio, foi substituído por dois íons de hidrogênio que atuam como aceptores iniciais no fotossistema II. E, os carotenoides são constituintes das membranas dos tilacóides e estão associadas às proteínas que formam o aparelho fotossintético sendo responsáveis pela transferência da energia absorvida da luz para o processo de fotossíntese.

De maneira geral, a maior parte dos pigmentos serve como um complexo antena, coletando luz e transferindo energia para os centros de reações onde acontecem as reações químicas de oxidação e redução que levam ao armazenamento de energia a longo prazo (TAIZ *et al*., 2017).

O feijoeiro é uma planta cujo metabolismo fotossintético é do tipo C_3 o que lhe confere uma menor eficiência quando comparado com o tipo C_4. Dessa forma, em situação de campo, quando as plantas passam por estresses abióticos ou bióticos pode ocorrer a perda da sua capacidade de equilibrar as propriedades oxidativas e antioxidantes e assim, apresentar dificuldades em realizar a fotossíntese comprometendo a eficiência metabólica com consequências para a produção e produtividade da cultura.

Nesse sentido, o *T. atroviride* foi capaz de aumentar os teores dos pigmentos fotossintetizantes (clorofila a, b e total, feofitina a, b e total e carotenóide) nas folhas de feijoeiro o que deve ter influenciado na melhoria da taxa fotossintética e diminuído os efeitos do estresse abiótico.

Kliewer (1981) citou que o aumento do teor de clorofila promove aumento da atividade fotossintética e acúmulo de açúcares nas folhas.

Nas avaliações dos nutrientes foliares foi demonstrado a capacidade do *T. atroviride* em solubilizar fósforo, cálcio e manganês. Estes elementos ficaram prontamente assimiláveis pelas raízes, melhorando a eficiência na absorção e aumentando a síntese dos pigmentos fotossintetizantes, contribuindo com o metabolismo energético da planta. Por outro lado, a maior disponibilidade de fósforo próximo ao *T. atroviride* pode ter refletido na produção de ATP bem como na expressão de genes associado à fotossíntese, respondendo com o aumento dos teores dos pigmentos fotossintetizantes como observado nos resultados obtidos.

No caso do manganês, o fato dele fazer parte da molécula de clorofila, estando diretamente envolvido na fotólise da água, no fotossistema II que ocorre no cloroplasto justifica os resultados encontrados na presente pesquisa. Assim como o cálcio que é determinante como fator estrutural no processo de transferência de elétrons como catalizador da oxidação da água favorecendo a liberação do oxigênio.

O *Trichoderma* pode ativar algumas vias de sinalização para sintetizar alguns hormônios que desempenham papel importante na regulação da quantidade de clorofila (MARTÍNEZ-MEDINA *et al*., 2014; RESENDE *et al*., 2014).

A capacidade fotossintética de diferentes espécies de plantas induzidas por várias cepas de *Trichoderma* devido ao aumento de pigmentos fotossintéticos ou expressões gênicas que regulam a biossíntese de clorofila, proteínas complexas de captação de luz ou componentes do ciclo de Calvin foram documentadas em mais de vinte artigos (HARMAN *et al*., 2019).

Alguns autores demostraram aumento dos níveis de pigmentos fotossintetizantes na presença de *Trichoderma* em várias culturas como pepino, trigo, soja e plantas de alface (YEDIDIA; BENHAMOU, 1999; ZHANG; LI; XIA, 2015; ZHANG *et al*., 2016).

Yobo *et al*. (2009) encontraram aumento nas taxas de fotossíntese com a aplicação de *Trichoderma* e *Bacillus* na cultura do feijoeiro. Guler *et al*. (2016), concluíram que *Trichoderma atroviride* foi capaz de aumentar os pigmentos fotossintetizantes (clorofila total e carotenoide) em plantas de milho.

Gupta *et al*. (2011) relataram que a aplicação de fertilizantes a base de *Trichoderma* spp., em milheto, apresentou maior teor de clorofila, melhor assimilação de gás carbônico e foram influenciadas pelo fungo na transpiração e na condutância estomática.

Bader *et al*. (2019) observaram aumento no teor de clorofila, maior crescimento e rendimento de massa fresca e massa seca ao inocular *Trichoderma* em plantas de tomate.

Doni *et al*. (2019) mostraram que plantas de arroz inoculadas com *Trichoderma asperellum* obtiveram aumento significativo na taxa de fotossíntese, na condutância estomática das folhas e na concentração de clorofila.

Carillo *et al*. (2020) concluíram que *Trichoderma harzianum* (T-22) foi capaz de aumentar a eficiência fotossintética e diminuir a atividade fotorrespiratória em plantas de tomate tratadas com o bioagente. E, Chen *et al*. (2021) relataram aumento nos teores de clorofila a e b em plantas de pakchoi (*Brassica chinensis* L.) com 2 cepas de *Trichoderma* (LX-7 e HT-1).

Moreira *et al*. (2021) concluíram que a inoculação dos diferentes isolados de *Trichoderma* e a adição de húmus de minhoca ao substrato foi eficiente na promoção do crescimento e produção de pigmentos fotossintéticos em *Salvia officinalis*.

Na Tabela 6 encontra-se o resumo da análise de variância para os teores de ureídeos, sacarose, nitrato e amônia em folhas de feijoeiro IPR-Campos Gerais submetido a aplicação de doses de *Trichoderma atroviride* em diferentes estádios de desenvolvimento.

Os resultados obtidos demostraram diferenças significativas, pelo teste F, para doses do bioagente aplicadas no estádio vegetativo (V_3) e para doses aplicadas no estádio reprodutivo (R_5) para o ácido alantóico (AA). Para a alantoína (AL) e

ureídeos (UR) houve diferenças para doses em V_3, doses em R_5 e para a interação V_3*R_5. Para os açúcares solúveis totais (AST) houve diferença apenas para doses em R_5. Para a sacarose (SA) houve diferenças para doses em R_5 e para interação V_3*R_5. E, para o nitrato (NI) e amônia (AM) houve diferenças para as doses em V_3, R_5 e para a interação V_3*R_5.

Tabela 6 - Resumo da análise de variância com graus de liberdade e valores de quadrado médio (variância) para teores de ácido alantóico, alantoína, ureídeos, açúcares solúveis totais, sacarose, nitrato e amônia em folhas de feijoeiro IPR-Campos Gerais submetido a aplicação de doses de *Trichoderma atroviride* em diferentes estádios de desenvolvimento. Ilha Solteira-SP, 2021.

FV	GL	AA	AL	UR	AST	SA	NI	AM
Dose V_3	2	1138,5**	210771**	181331**	15174,6^{ns}	1018,9^{ns}	82374**	0,008**
Dose R_5	4	15,0^{ns}	92047**	91253**	19399,3*	998,5*	21039**	0,0006**
DV_3*DR_5	8	90,6*	133979**	134059**	12030,0^{ns}	2596,1**	15481**	0,001**
Erro	45	34,1	1489	1574	6484,5	342,9	601	0,0001
CV (%)	-	15,0	4,1	4,0	24,6	9,4	4,2	4,0

Nota: OBS: **, * e ns correspondem respectivamente a significativo a 1%, 5% e não significativo pelo teste F ($P \leq 0,05$). AA = ácido alantóico, AL = alantoína, UR = ureídeos, AST = açúcares solúveis totais, SA = sacarose, NI = nitrato, AM = amônia.
Fonte: Próprio autor.

Na Tabela 7 encontram-se os resultados para os teores de ácido alantóico (AA), alantoína (AL), ureídeos (UR), sacarose (SA), nitrato (NI) e amônia (AM) em folhas de feijoeiro, cultivar IPR-Campos Gerais submetidos a aplicação de doses de *Trichoderma atroviride* nos estádios de desenvolvimento V_3 e R_5.

Para os teores de AA os melhores resultados foram encontrados com a ausência de aplicação do bioagente em R_5 onde, as doses 0,0 e 1,0 kg ha^{-1} em V_3 não diferiram entre si, mas foram superiores a dose de 2,0 kg ha^{-1}. A não aplicação do microrganismo proporcionou teor de AA 83% superior a dose 2,0 kg ha^{-1}. Quando se aplicou 0,5 e 2,0 kg ha^{-1} em R_5 observou-se que não houve diferença significativa para as doses 0,0 e 1,0 kg ha^{-1} em V_3 se constituindo, estes, nos melhores resultados. E, para a dose 1,0 kg ha^{-1} do bioagente aplicado em R_5 o melhor tratamento foi a dose 0,0 kg ha^{-1} em V_3 que diferiu das doses 1,0 e 2,0 kg ha^{-1}.

O desdobramento para o AA de doses de *T. atroviride* aplicadas em R_5 para cada nível de V_3 mostrou não haver ajuste a um modelo matemático pelo teste de regressão (Figura 9 a).

Para os teores de AL nas folhas de feijoeiro a aplicação de 2,0 kg ha^{-1} do *Trichoderma* em V_3, na ausência da aplicação em R_5 se constituiu o melhor tratamento. Essa dose proporcionou aumento de 9% nos teores de AL quando comparado com a dose 0,0 kg ha^{-1} e 50% em relação a dose 1,0 kg ha^{-1}. Quando foi aplicado 0,5 kg ha^{-1} em R_5, foi observado melhor resposta para a dose 2,0 kg ha^{-1} em V_3. Com a aplicação de 1,0 kg ha^{-1} do bioagente em R_5, a ausência de aplicação e a dose 1,0 kg ha^{-1} em V_3 se constituíram nos melhores resultados, não diferindo entre si, mas, diferindo da dose 2,0 kg ha^{-1} em V_3. Com a dose de 1,5 kg ha^{-1} em R_5, a melhor resposta foi para a aplicação de 1,0 kg ha^{-1} do microrganismo em V_3, cujo valor não diferiu da dose 0,0 kg ha^{-1}, porém, foi superior a dose 2,0 kg ha^{-1} de V_3. E, para a dose de 2,0 kg ha^{-1} aplicada em R_5, observou-se melhor resultado para a aplicação de 2,0 kg ha^{-1} do *Trichoderma* em V_3 (Tabela 7).

O estudo de regressão para os teores de AL em relação as doses do bioagente aplicadas em R_5 dentro de V_3, mostrou que para o tratamento V_3 (0,0) houve ajuste a um modelo polinomial quadrático com diminuição dos teores de AL até a dose de 1,43 kg ha^{-1} de *T. atroviride*, onde a partir daí há uma tendência de aumento nos teores da AL com o aumento das doses testadas. Para o tratamento V_3 (1,0) o ajuste matemático foi o quadrático (R^2 = 0,71) com melhor resposta para a dose de 0,96 kg ha^{-1} do microrganismo que proporcionou teor de alantoína de 974,89 µmol g^{-1}. E, para o tratamento V_3 (2,0) o ajuste matemático também foi quadrático (R^2 = 0,71) com ponto de mínimo na dose de 1,33 kg ha^{-1}, evidenciando uma diminuição nos teores de AL até essa dose, com consequente aumento nos teores a partir dessa (Figura 9 b).

Na avaliação dos teores de UR nas folhas de feijoeiro a melhor resposta foi observada quando não se aplicou o *Trichoderma* em R_5 e aplicou 2,0 kg ha^{-1} em V_3, onde o teor de UR foi 7% e 49% superior em relação as doses 0,0 e 1,0 kg ha^{-1} de V_3, respectivamente. Quando se aplicou 0,5 kg ha^{-1} do bioagente em R_5, a melhor resposta foi observada na dose de 2,0 kg ha^{-1} de V_3. Para essa situação os teores de UR foram aumentados em 84% e 43% em relação as doses 0,0 e 1,0 kg ha^{-1} de V_3. Na aplicação de 1,0 kg ha^{-1} do microrganismo em R_5, as doses 0,0 e 1,0 de V_3 proporcionaram os maiores teores de UR, constituindo-se nos melhores tratamentos, não diferindo significativamente entre si, mas diferindo da dose 2,0 kg ha^{-1} de V_3.

Na dose 1,5 kg ha^{-1} em R_5, a melhor resposta foi para a aplicação de 1,0 kg ha^{-1} em V_3, cujo resultado não diferiu da dose 0,0 mas diferiu da dose 2,0 kg ha^{-1} E,

na dose 2,0 kg ha^{-1} em R_5 foi observado melhor resultado quando se aplicou 2,0 kg ha^{-1} do microrganismo em V_3 com teores de UR 32% e 40% superiores as doses 0,0 e 1,0 kg ha^{-1} (Tabela 7).

Analisando os ureídeos em relação as doses aplicadas em R_5 dentro de V_3, observou-se um ajuste quadrático para o tratamento V_3 (0,0) indicando redução nos teores de UR até a dose de 1,42 kg ha^{-1} de *Trichoderma*, voltando a aumentar a partir dessa dose. Para o tratamento V_3 (1,0) o modelo matemático que melhor se ajustou apresentou coeficiente de determinação R^2 = 0,73 com a melhor resposta do bioagente observada na dose 0,96 kg ha^{-1}. O tratamento V_3 (2,0) obteve ajuste quadrático (R^2 = 0,70) com os teores de UR diminuindo até a dose de 1,33 kg ha^{-1}, voltando a aumentar a partir desse ponto para as doses testadas (Figura 9 c).

A avaliação da SA mostrou não haver diferença entre os tratamentos na ausência de aplicação em R_5 dentro das doses em V_3. Quando foi aplicado a dose 0,5 kg ha^{-1} em R_5 a melhor resposta para o teor de sacarose foi na dose 2,0 kg ha^{-1} em V_3 que propiciou aumento de 22% e 40% em relação as doses 0,0 e 1,0 kg ha^{-1}. Para a dose 1,0 kg ha^{-1} em R_5 não foi observado diferença os teores de SA dentro das doses 0,0 e 1,0 kg ha^{-1} em V_3, sendo estes os melhores resultados, porém diferiu da dose 2,0 kg ha^{-1} de V_3. Nas doses de 1,5 e 2,0 kg ha^{-1} aplicadas em R_5 observou-se o mesmo comportamento para os teores de SA, onde as doses de 1,0 e 2,0 dentro de V_3 não diferiram entre si, mas foram diferentes da dose 0,0 de V_3.

O estudo de regressão para os teores de SA em relação as doses do bioagente aplicadas em R_5 dentro de V_3, mostrou que para o tratamento V_3 (0,0) não houve ajuste a um modelo matemático. Para o tratamento V_3 (1,0) observou-se um ajuste a um modelo linear crescente, indicando aumento do teor de SA com o aumento das doses aplicadas em R_5. E, para o tratamento V_3 (2,0) houve um ajuste quadrático com ponto de mínimo na dose de 1,13 kg ha^{-1}, evidenciando que ocorre uma redução até esta dose e a partir dela se tem o aumento dos teores de SA (Figura 10 a).

Para o NI, o melhor resultado foi na ausência de aplicação em R_5 com a dose 2,0 kg ha^{-1} em V_3, proporcionando incremento de 27% e 33% em relação as doses 0,0 e 1,0 kg ha^{-1}. Quando se aplicou 0,5 kg ha^{-1} em R_5 a melhor resposta foi com a dose de 2,0 kg ha^{-1} em V_3. Para a dose 1,0 kg ha^{-1} não se observou diferença para as doses 0,0 e 2,0 kg ha^{-1} de V_3, mas diferindo da dose 1,0 kg ha^{-1} sendo estas, as melhores respostas para os teores de nitrato. E, para as doses de 1,5 e 2,0 kg ha^{-1}

aplicadas em V_3 foi observado o mesmo comportamento para os teores de NI, onde as doses de 1,0 e 2,0 kg ha^{-1} de V_3 não diferiram entre si, mas foram diferentes da dose 0,0 de V_3.

Analisando o NI em relação as doses aplicadas em R_5 dentro de V_3, se nota que para o tratamento V_3 (0,0) não houve um ajuste a um modelo matemático. Já, para o tratamento V_3 (1,0) o modelo matemático que melhor se ajustou foi o quadrático, evidenciando um decréscimo nos teores de NI até o ponto de mínimo, na dose de 0,60 kg ha^{-1} de *Trichoderma* onde, a partir daí observou-se aumento nos teores para as doses testadas. Para o tratamento V_3 (2,0) também houve um ajuste quadrático onde, se obteve a menor resposta para o teor de NI na dose 1,29 kg ha^{-1} do bioagente. A partir desse ponto houve aumento nos teores para as doses testadas (Figura 10 b).

Para a AM o tratamento na ausência de aplicação em R_5, a dose 2,0 kg ha^{-1} em V_3 não diferiu da dose 0,0 porém, foi superior a dose 1,0 kg ha^{-1} de V_3. A aplicação de 0,5 kg ha^{-1} em R_5 dentro da dose 0,0 de V_3 constituiu o melhor tratamento, diferindo da dose 1,0 e 2,0 kg ha^{-1} de V_3. A aplicação de 1,0 kg ha^{-1} em R_5 dentro da dose 0,0 de V_3 obteve a melhor resposta, com aumento de 40% e 28% em relação as doses 1,0 e 2,0 kg ha^{-1} de V_3. A dose de 1,5 kg ha^{-1} do bioagente aplicado em R_5, na ausência de aplicação em V_3 constituiu o melhor tratamento com acúmulo de 12% e 21% superior em relação as doses 1,0 e 2,0 de V_3. E, para a dose 2,0 kg ha^{-1} de R_5 o melhor resultado foi para a dose 0,0 de V_3, cujo, não diferiu da dose 2,0 mas, foi superior a dose 1,0 de V_3.

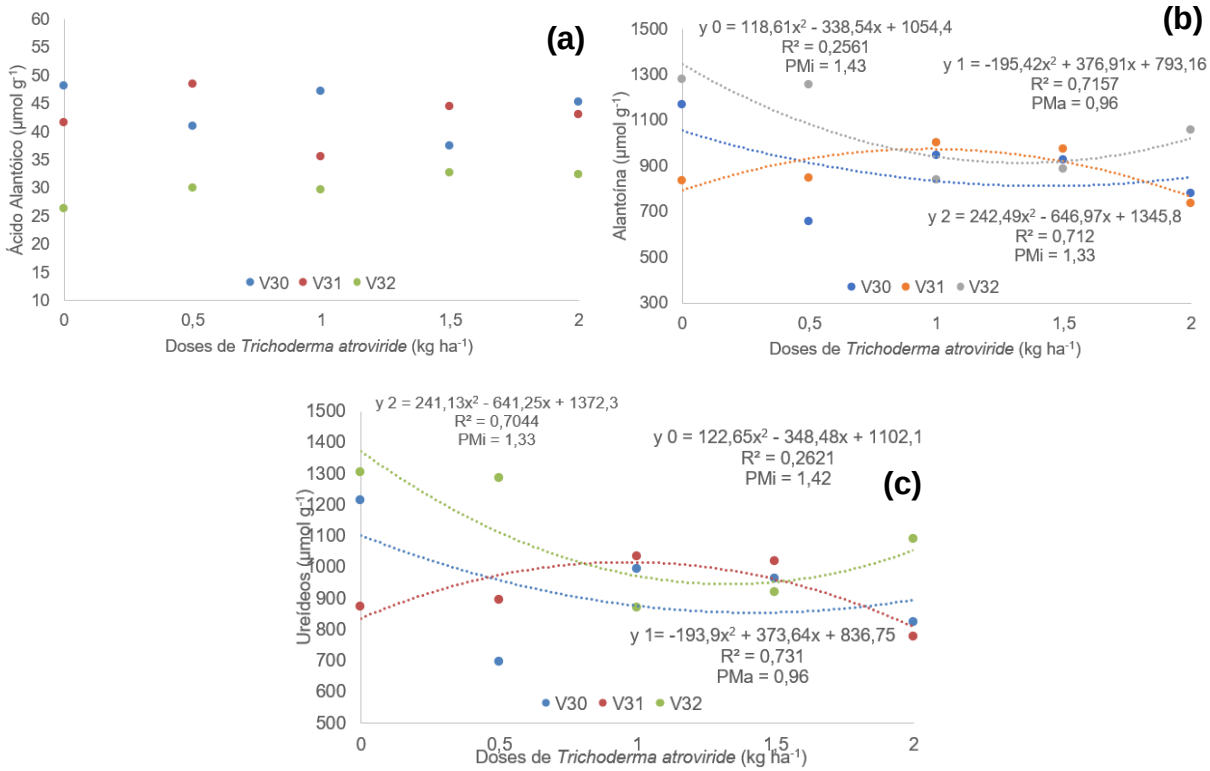
O estudo de regressão para os teores de AM mostrou efeito quadrático para o tratamento V_3 (0,0) com aumento dos teores até o ponto de máximo, na dose 1,03 kg ha^{-1}, com declínio, a partir desse ponto para as doses avaliadas. O tratamento V_3 (1,0) proporcionou um declínio nos teores de AM até a dose de 1,18 kg ha^{-1} do microrganismo, onde a partir daí ocorreu aumento para as doses testadas. E, para o tratamento V_3 (2,0) o ajuste também foi quadrático (R^2 = 0,94) onde se observou diminuição dos teores de AM até a dose 1,35 kg ha^{-1}, com aumento a partir dessa (Figura 10 c).

Tabela 7 - Teores de ácido alantóico, alantoína, ureídeos, sacarose, nitrato e amônia em folhas de feijoeiro, cultivar IPR-Campos Gerais submetidos a aplicação de doses de *Trichoderma atroviride* em diferentes estádios de desenvolvimento. Ilha Solteira-SP, 2021.

***T. atroviride* (kg ha^{-1})**		**AA**	**AL**	**UR**	**SA**	**NI**	**AM**
R_5	**V_3**	(µmol g^{-1})	(µmol g^{-1})	(µmol g^{-1})	(mg g^{-1})	(µmol g^{-1})	(µmol g^{-1})
0,0	0,0	48,2 a	1165,7 b	1213,9 b	202,9 a	562,9 b	0,27 ab
	1,0	41,6 a	832,3 c	873,9 c	209,6 a	539,0 b	0,26 b
	2,0	26,3 b	1276,9 a	1303,2 a	209,4 a	716,4 a	0,29 a
0,5	0,0	40,9 a	654,6 c	695,5 c	177,2 b	498,1 c	0,30 a
	1,0	48,4 a	846,4 b	894,8 b	153,9 b	554,7 b	0,26 b
	2,0	29,9 b	1254,9 a	1284,8 a	216,1 a	743,5 a	0,27 b
1,0	0,0	47,2 a	946,9 a	994,1 a	210,5 a	544,2 a	0,32 a
	1,0	35,6 b	998,8 a	1034,3 a	226,4 a	442,7 b	0,23 c
	2,0	29,7 b	838,3 b	867,9 b	161,2 b	552,6 a	0,25 b
1,5	0,0	37,5 ab	923,6 ab	961,0 ab	180,8 b	557,2 b	0,29 a
	1,0	44,4 a	973,0 a	1017,3 a	216,0 a	651,4 a	0,26 b
	2,0	32,7 b	886,3 b	919,0 b	188,5 ab	629,4 a	0,24 c
2,0	0,0	45,3 a	777,9 b	823,2 b	178,3 b	535,7 b	0,28 a
	1,0	43,0 a	734,2 b	777,2 b	214,8 a	624,9 a	0,25 b
	2,0	32,3 b	1056,3 a	1088,6 a	204,3 ab	660,4 a	0,26 ab
CV (%)		15,0	4,1	4,0	9,4	4,2	4,0

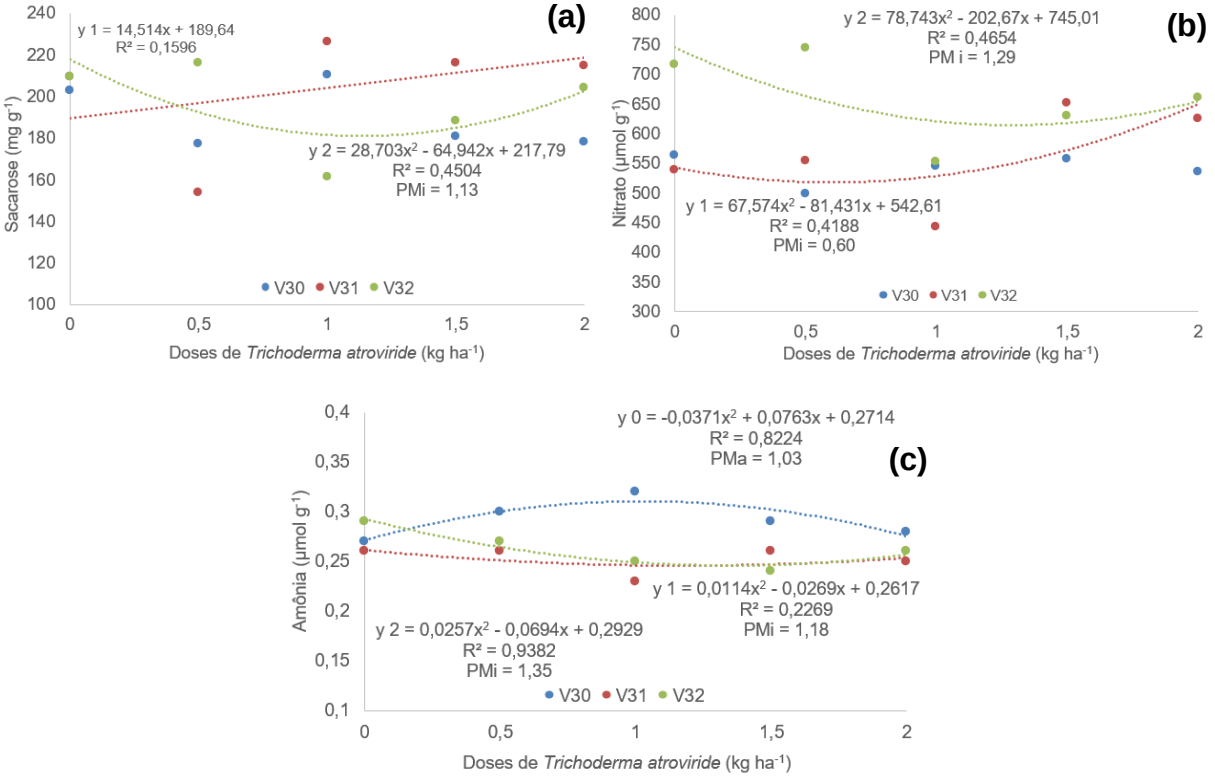
Nota: OBS: Médias seguidas de mesma letra, em cada dose de *Trichoderma atroviride* em R_5, não diferem entre si ao nível de 5% pelo teste de Tukey. O CV (%) corresponde ao coeficiente de variação para cada característica avaliada. AA = ácido alantóico, AL = alantoína, UR = ureídeos, SA = sacarose, NI = nitrato, AM = amônia.
Fonte: Próprio autor.

Figura 9 - Desdobramento para ácido alantóico (a), alantoína (b) e ureídeos (c) de doses de *Trichoderma atroviride* aplicadas em R_5 para cada nível de aplicação em V_3. Ilha Solteira-SP, 2021.



Fonte: Próprio autor.

Figura 10 - Desdobramento para sacarose (a), nitrato (b) e amônia (c) de doses de *Trichoderma atroviride* aplicadas em R_5 para cada nível de aplicação em V_3. Ilha Solteira-SP, 2021.



Fonte: Próprio autor.

Na Tabela 8 consta o resultado para os teores de AST nas folhas do feijoeiro submetidos a aplicação de doses do *T. atroviride* no estádio de desenvolvimento V_3. A inoculação do bioagente nas doses testadas em V_3, não proporcionou diferença significativa pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. A média para o teor dos açúcares solúveis totais nas folhas de feijoeiro foi de 327,0 mg g^{-1}.

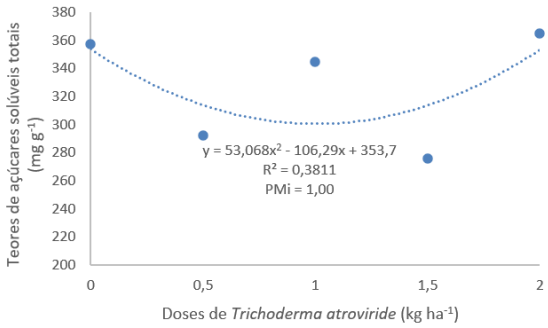
Tabela 8 - Teores de açúcares solúveis totais em folhas de feijoeiro, cultivar IPR – Campos Gerais submetidos a aplicação de doses de *Trichoderma atroviride* no estádio de desenvolvimento V_3. Ilha Solteira-SP, 2021.

T. atroviride (kg ha^{-1})	**AST** (mg g^{-1})
V3 (0,0)	295,5 a
V3 (1,0)	346,5 a
V3 (2,0)	339,0 a
CV (%)	24,6

Nota: OBS: Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si ao nível de 5% pelo teste de Tukey. O CV (%) corresponde ao coeficiente de variação para cada característica avaliada. AST = açúcares solúveis totais.
Fonte: Próprio autor.

O estudo de regressão para os teores de AST mostrou que para as doses de *Trichoderma atroviride* aplicadas em R_5 houve uma diminuição dos níveis de AST até o ponto de mínimo, na dose 1,00 kg ha^{-1}, com incrementos, a partir desse ponto para as doses avaliadas (Figura 11).

Figura 11 - Teores de açúcares solúveis totais em função de doses de *Trichoderma atroviride* aplicadas em R_5. Ilha Solteira-SP, 2021.



Fonte: Próprio autor.

Os solos tropicais normalmente apresentam baixos teores de nitrogênio (N) e o feijoeiro é bastante exigente nesse nutriente que, em razão do ciclo curto, necessita ser suprido nas fases de maior demanda para que o seu potencial produtivo não seja prejudicado. O nitrogênio é o elemento mineral que as plantas requerem em maiores quantidades sendo constituinte de muitos componentes celulares como aminoácidos, proteínas, pigmentos fotossintetizantes, enzimas, ácidos nucleicos, nucleotídeos e vitaminas (TAIZ *et al*., 2017; PEREIRA *et al*., 2019).

De maneira geral, o nitrogênio pode ser fornecido pela decomposição da matéria orgânica, adubação e pela fixação biológica do nitrogênio (FBN). O nutriente é assimilado pelas plantas a partir das raízes e transportado para a parte aérea pelo floema, na forma de nitrato (NO_3), aminoácidos, amidas e ureídeos.

O nitrato (NO_3^-) que é gerado pela fixação ou liberado pela decomposição da matéria orgânica está presente na solução do solo e pode ser absorvido pelas raízes das plantas. Esse íon em altas concentrações nas células é tóxico para os vegetais devendo ser rapidamente convertido a nitrito (NO_2^-), processo que acontece no citosol pela enzima nitrato redutase. O nitrito é reduzido a amônio ($NH4^+$) nos plastídios das raízes e nos cloroplastos das folhas e por fim o amônio é convertido a

aminoácidos pelas enzimas glutamina sintetase (GS) e glutamato sintase (GOGAT) que são essenciais para a síntese de proteínas para as plantas (TAIZ *et al*., 2017).

Os ureídeos (ácido alantóico e alantoína) constituem importantes compostos associados ao armazenamento e transporte de N oriundos da FBN. A alantoína é sintetizada nos peroxissomos, enquanto o ácido alantóico é sintetizado no retículo endoplasmático a partir da alantoína. O nitrogênio neles contidos são transportados para a parte aérea, onde rapidamente são catabolizados a amônio, nas folhas, para formar aminoácidos e proteínas.

Os ureídeos são moléculas econômicas que, em situação de baixa fotossíntese líquida, como acontece em plantas com metabolismo C_3, como o feijoeiro, podem economizar energia devido a alantoína e o ácido alantóico ter como moléculas de armazenamento e transporte de N uma proporção de N:C (1:1) enquanto as amidas glutamina e asparagina apresentam proporção de (1:2,5) e (1:1,2), respectivamente (RASO *et al*., 2007).

Houve aumento dos teores de ureídeos e nitrato (NO_3^-) nas folhas de feijoeiro com a inoculação do *T. atroviride*. Os fungos desse gênero podem ter interagido com as bactérias fixadoras de nitrogênio e contribuindo para proporcionar níveis satisfatórios de nitrogênio, melhorando a eficiência da FBN. Outrossim, a solubilização de nutrientes (P, Ca e Mn) proporcionado pelo *Trichoderma*, também pode ter contribuído para um melhor metabolismo energético.

Os açúcares solúveis totais são constituídos por todos os açúcares solúveis presentes nas folhas e a sacarose ocorre em maior quantidade. Estes açúcares são importantes para fornecer carbono para a manutenção dos processos celulares, bem como para proteger o aparato fotossintético de acúmulos de espécies reativas de oxigênio (JIMÉNEZ *et al*., 2013; MITCHELL *et al*., 2013).

Os resultados obtidos na pesquisa demostraram que doses maiores que 1,0 kg ha^{-1} de *Trichoderma* em R_5 aumentaram os teores de AST (Figura 11).

Nascimento *et al*. (2019) observaram aumento nos teores de açúcares solúveis totais em plantas de *Hevea brasiliesis* submetidas a deficiência hídrica.

Para a sacarose houve aumento nos teores proporcionado pela aplicação do *T. atroviride* quando as doses foram aplicadas em R_5 dentro de V_3.

Segundo Vargas *et al*. (2009) a sacarose oriunda das plantas não é apenas uma fonte de carbono para os microrganismos, mas, também um indutor de fotossíntese nas folhas.

Puranik; Srivastava (1983) relataram que em folhas verdes de feijoeiro o fornecimento de sacarose aumenta a atividade da redutase do nitrato in vivo e in vitro.

Trichoderma atroviride produz uma série de compostos orgânicos voláteis (COVs) onde, o seis pentil pirona (6-PP) ocorre com maior prevalência e, cuja importância está diretamente ligada com a produção de biomassa vegetal e arquitetura radicular que é modulada via sinalização de etileno e transporte de auxina (GARNICA-VERGARA *et al*., 2016; ESTRADA-RIVERA *et al*., 2019; ZIN; BADALUDDIN, 2020).

Esparza-Reynoso *et al*. (2021) verificaram aumento nas concentrações de sacarose e glicose nas partes aéreas, raízes e exsudados radiculares de plantas de Arabidopsis expostas aos compostos orgânicos voláteis (COVs) de *Trichoderma atroviride*.

Outros pesquisadores relataram o acúmulo de açúcares solúveis induzidos por *Trichoderma* spp. em plantas de milho, tomate, pepino (COPOLLA *et al*., 2019; MEI *et al*., 2019; DE PALMA *et al*., 2019).

São inúmeros os modos de ação desse bioagente que podem atuar de forma sinérgica promovendo melhorias no desenvolvimento da planta, como controle biológico, indução de defesas, síntese de fitohormônios como o ácido indol-3-acético (AIA), produção de compostos como o 6PP que regula o crescimento da planta, dentre outros. De maneira geral, os modos de ação do *Trichoderma* tendem a diminuir o estresse abiótico trazendo benefícios para a planta (LOBO JUNIOR; MACHADO-ROSA; GERALDINE, 2019).

Os resultados encontrados na presente pesquisa são consistentes com estudos de outros autores que demonstraram a aptidão de *Trichoderma* spp. na melhoria do rendimento em outras culturas como o milho (Estévez-Geffriaud *et al*., 2020), arroz, tomate (Khoshmanzar *et al*., 2020), cana de açúcar (Scudeletti *et al*., 2021). Outros resultados que corroboram com o presente estudo foram relatados por Silva *et al*. (2019), que demonstraram aumento de 41% nos teores de ureídeos em plantas de feijão fradinho coinoculadas com *Bradyrhizobium* e *Trichoderma* e Chen *et al*. (2021), que observaram aumento no teor de açúcar solúvel e nos teores de clorofila a e b em plantas de pakchoi (*Brassica chinensis* L.) com 2 cepas de *Trichoderma* (LX-7 e HT-1).

Na Tabela 9 encontra-se o resumo da análise de variância para os parâmetros biométricos e produtividade de feijoeiro, IPR-Campos Gerais submetido a aplicação de doses de *T. atroviride* em diferentes estádios de desenvolvimento. Houve diferença significativa, pelo teste F, para o número de nós por planta (NNP) para doses do bioagente aplicadas no estádio vegetativo (V_3) e para a interação entre doses em V_3 e doses em R_5. O número de vagens por planta (NVP) e o número de sementes por planta (NSP) apresentaram níveis de significância para as doses em V_3, R_5 e para bloco. O número de sementes por vagem (NSV) foi significativo apenas para a interação das doses em V_3 e doses em R_5. E, a produtividade (PROD) foi significativo para as doses em R_5 e para a interação entre doses em V_3 e doses em R_5.

Tabela 9 - Resumo da análise de variância com graus de liberdade e valores de quadrado médio (variância) para os parâmetros biométricos e produtividade de feijoeiro, cultivar IPR-Campos Gerais submetido a aplicação de doses de *Trichoderma atroviride* em diferentes estádios de desenvolvimento. Ilha Solteira-SP, 2021.

FV	GL	AP	AIPV	NNP	NVP	NSV	NSP	PROD
Dose V_3	2	$138,5^{ns}$	$0,9^{ns}$	2,6**	181,8**	$0,2^{ns}$	5.125,0**	99.9^{ns}
Dose R_5	4	$28,3^{ns}$	$1,2^{ns}$	$0,8^{ns}$	$39,7^{ns}$	$0,1^{ns}$	$986,5^{ns}$	300.9**
DV_3*DR_5	8	$69,0^{ns}$	$0,7^{ns}$	1,6**	58,5**	0,3*	2.034,9**	299.4**
Bloco	5	$121,5^{ns}$	2,7**	$0,5^{ns}$	62,7*	$0,1^{ns}$	1.954,6**	174.4^{ns}
Erro	70	56,4	0,7	0,5	19,2	0,1	550,9	76.0
CV (%)	-	9,4	6,8	4,5	16,2	7,1	17,9	13,7

Nota: OBS: **, * e ns correspondem respectivamente a significativo a 1%, 5% e não significativo pelo teste F ($P \leq 0,05$). AP = Altura de planta, AIPV = altura de inserção da primeira vagem, NNP = número de nós por planta, NVP = número de vagens por planta, NSV = número de sementes por vagem, NSP = número de sementes por planta e PROD = produtividade.
Fonte: Próprio autor.

Na Tabela 10 consta os resultados para os componentes de produção e produtividade do feijoeiro, cultivar IPR-Campos Gerais submetidos a aplicação de doses de *T. atroviride* nos estádios de desenvolvimento V_3 e R_5.

O NNP na ausência da aplicação em R_5, aumentou com a aplicação dos tratamentos V_3 (1,0) e (2,0) comparado com a ausência de aplicação. As doses de 1,0 e 2,0 kg ha^{-1} em V_3 não diferiram significativamente entre si, mas, diferiram da dose 0,0 kg ha^{-1} com incremento de 9 e 12% do NNP, respectivamente.

Quando foi analisada as doses de V_3 em função das doses em R_5, não foram observadas diferenças para o NNP quando se aplicou as doses 0,5, 1,0 e 2,0 kg ha^{-1}

em R_5. Contudo, quando foi aplicado 1,5 kg ha^{-1} do bioagente em R_5, o melhor resultado foi para a dose de 1,0 kg ha^{-1} em V_3 que não foi diferente da dose V_3 (2,0) mas, diferiu da dose V_3 (0,0).

O estudo de regressão para o NNP mostrou não haver um ajuste a um modelo matemático para as doses de *T. atroviride* aplicadas em R_5 para cada nível de V_3.

O número de nós é uma característica que pode influenciar a produtividade do feijoeiro porque são nos nós que ocorrem as gemas reprodutivas e, como as plantas tendem a apresentar maior número de ramificações, também tendem a produzir maior número de flores e vagens, aumentando assim o número de sementes.

O NVP foi influenciado pelas doses de *T. atroviride* quando comparado com a ausência de aplicação. As doses 1,0 e 2,0 kg ha^{-1} em V_3 quando não foi reinoculado em R_5 se constituíram os melhores resultados, não diferindo entre si, mas, diferindo do tratamento que não recebeu o bioagente. O incremento no NVP foi da ordem de 54 e 74% quando se comparou a dose (0,0) com as doses (1,0) e (2,0), respectivamente, na ausência de aplicação em R_5.

Com a aplicação das doses em V_3 em função das doses em R_5 verificou-se que não houve efeito significativo para o número de vagens por planta para as doses de 0,5, 1,0 e 2,0 kg ha^{-1} do microrganismo aplicados em R_5. A dose de 1,5 kg ha^{-1} em R_5 com 1,0 kg ha^{-1} em V_3 proporcionou o melhor resultado para o NVP com aumento de 27 e 24% em relação as doses 0,0 e 2,0 de V_3, respectivamente (Tabela 10).

O estudo de regressão para o NVP possibilitou a obtenção de um ajuste a um modelo quadrático com coeficiente de determinação R^2 = 0,85, que proporcionou aumento do NVP até o ponto de máximo, na dose de 1,40 kg ha^{-1} de *T. atroviride*, onde a partir dessa dose houve uma diminuição do número de vagens para as doses testadas. A aplicação de 1,40 kg ha^{-1} do bioagente promoveu a produção de 27,60 vagens por planta, em média (Figura 12 a).

O NSV também foi influenciado pelo *Trichoderma* onde, a dose de 2,0 kg ha^{-1} aplicados em V_3 na ausência de aplicação em R_5 proporcionou 5,12 sementes por vagem cujo valor, não diferiu da dose 1,0 kg ha^{-1} com 4,86 sementes, mas, diferiu do tratamento que não recebeu o bioagente com 16% de aumento nesse quesito. Quando foi analisado as doses de V_3 em função das doses em R_5, não se observou diferenças entre os tratamentos (Tabela 10).

O modelo matemático que melhor se ajustou para o NSV foi o quadrático (R^2 = 0,76) com a melhor dose resposta de 1,25 kg ha^{-1} de *Trichoderma* que produziu 4,9 sementes por vagem, em média. A partir dessa dose, houve uma diminuição do NSV com o aumento das doses testadas (Figura 12 b).

O NSP na ausência de aplicação do *Trichoderma* em R_5 demonstrou diferença para as doses 1,0 e 2,0 kg ha^{-1} aplicadas em V_3, cujos valores não diferiram entre si, mas foram superiores a ausência de aplicação em V_3. O incremento de sementes por planta em relação a ausência de aplicação do microrganismo foi de 70 e 102%, respectivamente quando comparados com as doses de V_3 (1,0) e (2,0). Não houve diferença para as demais doses testadas.

O NSP proporcionou um ajuste matemático quadrático (R^2 = 0,82) com aumento do número até a dose de 1,34 kg ha^{-1} com a produção de 135,66 sementes $planta^{-1}$, a partir desse ponto houve um decréscimo nos valores para o aumento das doses testadas (Figura 12 c).

A MCS não apresentou diferença significativa para a aplicação do *Trichoderma* nas doses em V_3 na ausência de aplicação em R_5 (Tabela 10).

Para a aplicação das doses em V_3 em função das doses em R_5 verificou-se que a dose de 2,0 kg ha^{-1} em R_5 também não proporcionou incremento na massa de cem sementes. Já a dose 0,5 kg ha^{-1} do bioagente em R_5 com a dose 1,0 kg ha^{-1} em V_3 aumentou a MCS em 17% e 16% relação as doses de V_3 (0,0) e (2,0). Já para as doses 1,0 e 1,5 kg ha^{-1} em R_5 os melhores resultados foram encontrados para os tratamentos V3 (1,0) e (2,0) que não diferiram entre si, mas proporcionaram maiores valores quando comparados com o tratamento V_3 (0,0).

O modelo polinomial que melhor se ajustou para MCS para o nível V_3 (0,0) foi o quadrático (R^2 = 0,79) com valores diminuindo até o ponto de mínimo, na dose de 1,23 kg ha^{-1} do bioagente. A partir dessa dose houve um aumento da MCS para as doses avaliadas. Para o nível V_3 (1,0) a melhor resposta foi alcançada no ponto de máximo, na dose de 0,74 Kg ha^{-1} com massa de 27,12 g. Após esse ponto houve decréscimo nos valores para as doses testadas (Figura 12 d).

A PROD foi influenciada pela aplicação do *T. atroviride* onde a dose de 1,0 kg ha^{-1} em V_3 na ausência de aplicação em R_5 proporcionou a maior média para essa variável, não sendo diferente da dose 2,0 kg ha^{-1}, mas diferiu estatisticamente da ausência de aplicação do microrganismo em V_3. A dose de 1,0 kg ha^{-1} promoveu incremento de 44% na produtividade do feijoeiro quando comparado com a dose 0,0

kg ha^{-1}. Não houve diferença para as doses aplicadas em V_3 em função das doses de R_5.

O estudo da regressão para a PROD proporcionou um ajuste a um modelo matemático linear crescente para os tratamentos V_3 (0,0) e V3 (2,0) com tendência de incremento na produtividade com o aumento das doses aplicadas. Para o tratamento V_3 (1,0) houve um ajuste a um modelo polinomial quadrático (R^2 = 0,90) com decréscimo na produtividade até o ponto de mínimo, na dose de 0,99 kg ha^{-1} do *T. atroviride*, com incremento dos valores para o aumento das doses avaliadas (Figura 12 e).

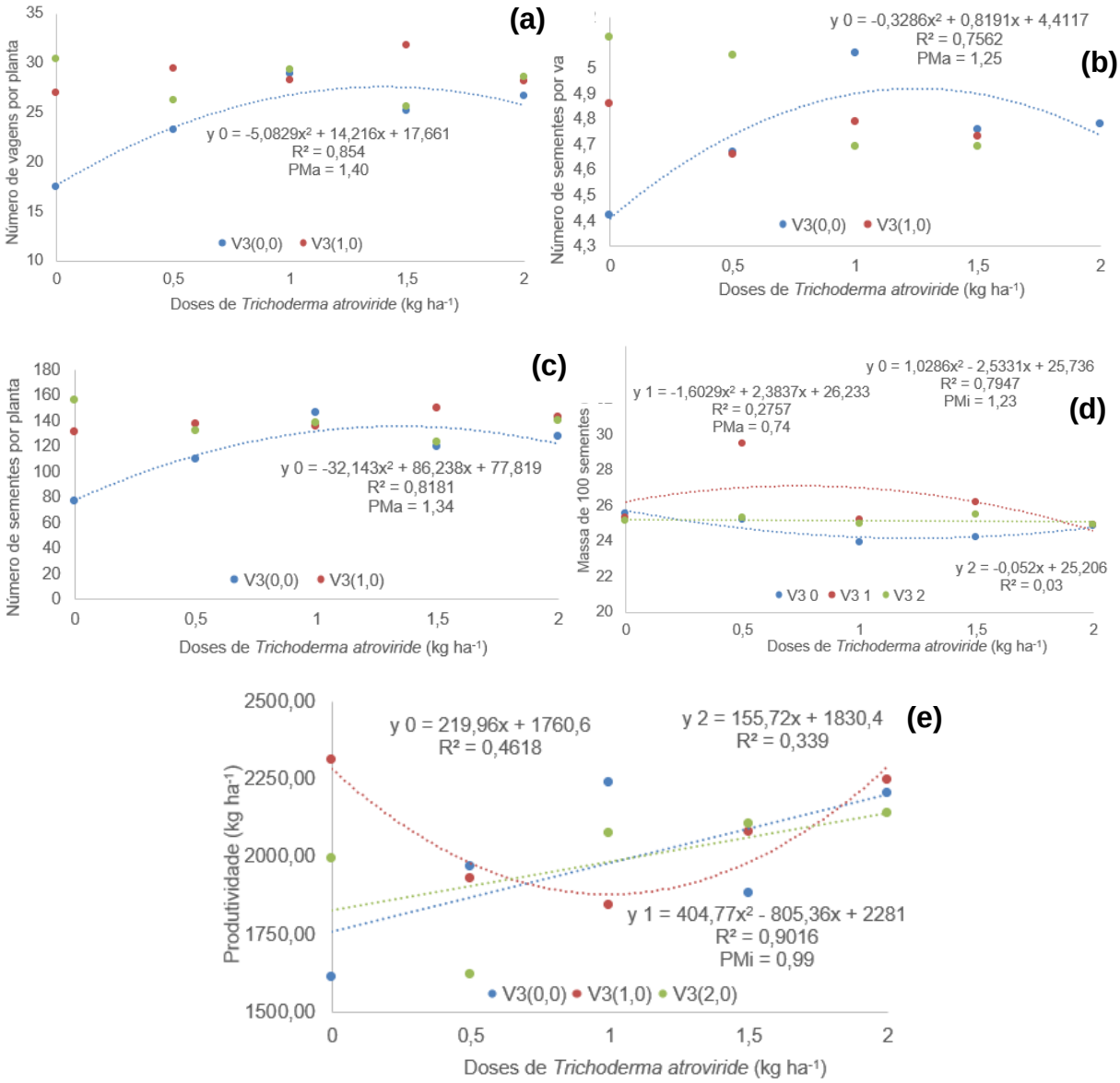
A altura de planta e a altura da inserção da primeira vagem não foram influenciadas pela aplicação do *Trichoderma* quando as doses foram aplicadas no estádio vegetativo (V_3) e reprodutivo (R_5). Os valores para altura de planta variaram de 78,33 a 81,33 cm e para altura de inserção da primeira vagem variaram de 12,27 a 12,81 cm, não diferindo entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 10 - Número de nós por planta, número de vagens por planta, número de sementes por vagem, número de sementes por plantas, massa de cem sementes e produtividade de feijoeiro, cultivar IPR-Campos Gerais submetidos a aplicação de doses de *Trichoderma atroviride* em diferentes estádios de desenvolvimento. Ilha Solteira-SP, 2021.

***Trichoderma* (kg ha^{-1})**		**NNP**	**NVP**	**NSV**	**NSP**	**MCS (g)**	**PROD (kg ha^{-1})**
R_5	**V_3**						
0,0	0,0	14,47b	17,47b	4,42 b	77,07b	25,55a	1.610,75b
	1,0	15,83a	26,97a	4,86ab	131,33a	25,31a	2.311,20a
	2,0	16,13a	30,33a	5,12a	155,93a	25,13a	1.991,74ab
0,5	0,0	14,87a	23,20a	4,67a	109,77a	25,21b	1.969,45a
	1,0	15,73a	29,43a	4,66a	137,17a	29,48a	1.931,27a
	2,0	14,87a	26,20a	5,05a	132,10a	25,31b	1.620,71a
1,0	0,0	15,87a	28,83a	5,06a	145,80a	23,90b	2.236,16a
	1,0	15,43a	28,23a	4,79a	135,37a	25,18a	1.844,27a
	2,0	15,43a	29,30a	4,69a	138,00a	24,94a	2.074,81a
1,5	0,0	14,67b	25,13b	4,76a	119,47a	24,21b	1.882,22a
	1,0	15,73a	31,80a	4,73a	149,57a	26,19a	2.080,22a
	2,0	14,83ab	25,60b	4,69a	122,67a	25,47a	2.103,94a
2,0	0,0	15,27a	26,63a	4,78a	127,10a	24,86a	2.204,27a
	1,0	15,30a	28,07a	5,07a	142,27a	24,90a	2.247,16a
	2,0	15,63a	28,50a	4,92a	140,07a	24,92a	2.139,43a
CV (%)		4,46	16,21	7,06	17,93	2,26	13,68

Nota: OBS: Médias seguidas de mesma letra, em cada dose de *Trichoderma atroviride* em R_5, não diferem entre si ao nível de 5% pelo teste de Tukey. O CV (%) corresponde ao coeficiente de variação para cada característica avaliada. NNP = número de nós por planta, NVP = número de vagens por planta, NSV = número de sementes por vagem, NSP = número de sementes por planta, MCS = massa de cem sementes e PROD = produtividade.
Fonte: Próprio autor.

Figura 12 - Desdobramento para número de vagens por planta, número de sementes por vagem, número de sementes por planta, massa de cem sementes e produtividade de doses de *Trichoderma atroviride* aplicadas em R_5 para cada nível de aplicação em V_3. Ilha Solteira-SP, 2021.



Fonte: Próprio autor.

Os benefícios da inoculação de *Trichoderma atroviride* na cultura do feijoeiro, cultivar IPR-Campos Gerais, à campo, foram notórios e influenciaram os componentes de produção e a produtividade do feijoeiro IPR - Campos Gerais.

O número de vagens, o número de sementes por vagem e o número de sementes por planta são componentes produtivos importantes que foram influenciadas pela aplicação do *T. atroviride* e que contribuíram de maneira decisiva para o aumento da produtividade no experimento com o feijoeiro.

A solubilização de nutrientes minerais como fósforo, cálcio e manganês, no solo, aumentou os teores nas folhas melhorando o metabolismo energético das plantas.

Por outro lado, a maquinaria fotossintética das plantas inoculadas com o *T. atroviride* foi melhorada com o aumento da concentração dos pigmentos fotossintetizantes (clorofila a, b e total, feofitina a, b e total e carotenóide). É sabido que a concentração de clorofila é um importante parâmetro utilizado como indicador de tolerância ao estresse abiótico em culturas (CHUTIPAIJIT *et al*., 2011). Os teores de ureídeos foram aumentados proporcionando nitrogênio nas folhas de forma mais econômica, favorecendo o processo de fotossíntese já que o nutriente faz parte da molécula de clorofila.

Os açúcares solúveis totais foram influenciados pela aplicação do bioagente e é sabido que esses açúcares são importantes para o fornecimento de carbono para a manutenção dos processos celulares, bem como para proteger o aparato fotossintético de acúmulos de espécies reativas de oxigênio, como já descrito anteriormente (JIMÉNEZ *et al*., 2013; MITCHELL *et al*., 2013). Já o aumento nos teores da sacarose além de fornecer carbono, aumenta a atividade da redutase no nitrato e, também é um indutor de fotossíntese nas folhas (PURANIK; SRIVASTAVA, 1983; VARGAS *et al*., 2009).

Deve ser ressaltado que a ação do *Trichoderma* como promotor de crescimento é realizada por interações com processos bioquímicos e produção de enzimas e compostos importantes para as plantas cujos modos de ação não atuam de forma independente, mas sim em conjunto evidenciando a complexidade dessas interações (MEYER, 2019).

O efeito benéfico dos fungos do gênero *Trichoderma* tem sido relatado no desenvolvimento de várias culturas de importância, como mamoeiro, tomateiro, soja, milho, pepineiro, pimentão, eucalipto, feijão comum (CARVALHO FILHO *et al*., 2008; HOYOS-CARVAJAL *et al*., 2009; FONTENELLE *et al*., 2011; SILVA *et al*., 2011; PEDRO *et al*., 2012).

Santos (2008) observou a efetividade do uso de biofungicidas, quando utilizou dez espécies de *Trichoderma* sp. no tratamento de sementes em feijão, onde, seis delas proporcionaram aumento no número de vagens nas plantas, variando entre 92% e 33% em relação a testemunha.

Hoyos-Carvajal *et al*. (2009) relataram que cepas de *Trichoderma* foram capazes de estimular o crescimento de plantas de feijoeiro, com potencial para aumentar a produtividade da cultura.

Carvalho *et al*. (2011) avaliaram a inoculação de isolados *Trichoderma* na promoção do crescimento inicial de feijoeiro comum.

Pedro *et al*. (2012) concluíram que isolados de *Trichoderma* foram capazes de promover crescimento e reduzir a severidade de doenças no feijoeiro.

Aguiar, Bonaldo e Moraes (2014) concluíram que plantas de feijoeiro tratadas com *Trichoderma harzianum* e *Trichoderma asperellum* promoveram aumento no número médio de vagens por planta da ordem de 33 e 21%, respectivamente, quando comparado à testemunha, ressaltando que provavelmente os tratamentos com *Trichoderma* spp. reduziram o abortamento de vagens em comparação a testemunha.

Chagas *et al*. (2017) verificaram que o uso de *Trichoderma asperellum* UFT 201 apresentou resultados positivos no acúmulo de biomassa para as culturas da soja, feijão caupi, arroz e milho.

Abdelhafez *et al*. (2021) observaram que a inoculação de plantas isoladamente ou em combinações com *C. etunicatum* + *T. viride* aumentou significativamente a atividade das enzimas de defesa, promoveu crescimento, produção de vagens e aumentou o rendimento do feijoeiro.

3.4 Conclusões

A aplicação de *Trichoderma atroviride* influenciou os teores de nutrientes (fósforo, cálcio e manganês) das folhas na cultura do feijoeiro à campo.

A aplicação de *Trichoderma atroviride* influenciou os teores dos pigmentos fotossintetizantes (clorofila a, b e total, feofitina a, b e total e os carotenoides) das folhas na cultura do feijoeiro à campo.

A aplicação de *Trichoderma atroviride* influenciou os teores de ureídeos (ácido alantóico e alantoína), sacarose, o nitrato, a amônia das folhas na cultura do feijoeiro à campo.

A aplicação de *Trichoderma atroviride* influenciou os componentes de produção (número de nós, vagens e sementes por planta e o número de sementes por vagem) na cultura do feijoeiro à campo.

A aplicação de *Trichoderma atroviride* influenciou a produtividade, onde a dose de 1,0 kg ha^{-1} em V_3 do bioagente proporcionou aumento de 44% (2.311,20 kg ha^{-1}) na produtividade do feijoeiro, cultivar IPR-Campos Gerais, à campo, quando comparado com a testemunha (1.610,75 kg ha^{-1}).

REFERÊNCIAS

ABDELHAFEZ, A. A.; EID, E. K.; EL-ABEID, S. E.; ABBAS, M. H. H.; AHMED, N.; MANSOUR, R. R. M. E.; ZOU, G.; IQBAL, J.; FAHAD, S.; ELKELISH, A.; ALAMRI, S.; SIDDIQUI, M. H.; MOHAMED, I. Application of soil biofertilizers to a clayey soil contaminated with *Sclerotium rolfsii* can promote production, protection and nutritive status of *Phaseolus vulgaris*. **Chemosphere**, Oxford, v. 271, p. 129321, 2021.

AGUIAR, P. E. V.; BONALDO, S. M.; MORAES, S. R. G. Evaluation of *Trichoderma* spp. on bean culture, in anthracnose, web blight and root-knot nematode. **Scientific Electronic Archives**, Sinop, v. 7, p. 17-25, 2014.

ALTOMARE, C.; NORVELL, W. A.; BJORKMAN, T.; HARMAN, G. E. Solubilization of phosphates and micronutrientes by the plant-growth promoting and biocontrol fungus *Trichoderma harzianum* Rifai 1295-22. **Applied and Environmental Microbiology**, Washington, v. 65, n. 7, p. 2926-2933, 1999.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Stuttgart, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

ARF, O. *et al*. **Aspectos gerais da cultura do feijão** *Phaseolus vulgaris* **L**. Botucatu: FEPAF, 2015. 433 p.

ATANASOVA, L.; LE CROM, S.; GRUBER, S.; COULPIER, F.; SEIDL-SEIBOTH, V.; KUBICEK, C. P.; DRUZHININA, I. S. Comparative transcriptomics reveals different strategies of *Trichoderma* mycoparasitism. **BMC Genomics**, London, v. 14, p.121, 2013.

BADER, A. N.; SALERNO, G. L.; COVACEVICH, F.; CONSOLO, V. F. Native *Trichoderma harzianum* strains from Argentina produce indole-3 acetic acid and phosphorus solubilization, promote growth and control wilt disease on tomato (*Solanum lycopersicum* L.). **Journal of King Saud University-Science**, v. 32, n. 1, p. 867-873, 2019.

BENÍTEZ, T.; RINCÓN, A. M.; LIMÓN, M. C.; CODÓN, A. C. Biocontrol mechanisms of *Trichoderma strains*. **Internatinal Microbiology**, [*s. l*.], v. 7, p. 249-260, 2004.

BIELESKI, R. L.; TURNER, N. A. Separation and estimation of amino acids in crude plant extracts by thin-layer electrophoresis and chromatography. **Analitycal Biochemistry**, [*s. l.*], v. 17, p. 278-293, 1966.

BISSETT, J.; GAMS, W.; JAKLITSCH, W.; SAMUELS, G. J. Accepted *Trichoderma* names in the year 2015. **IMA Fungus**, London, v. 6, n. 2, p. 263-295, 2015.

BONONI, L.; CHIARAMONTE, J. B.; PANSA, C. C.; MOITINHO, M. A.; MELO, I. S. Phosphorus-solubilizing *Trichoderma* spp. from Amazon soils improve soybean plant growth. **Scientific Reports**, London, v. 10, p. 2858, 2020.

BUYSENS, C.; CÉSAR, V.; FERRAIS, F.; DE BOULOIS, H. D.; DECLERCK, S. Inoculation of *Medicago sativa* cover crop with *Rhizophagus irregularis* and *Trichoderma harzianum* increases the yield of subsequently-grown potato under low nutrient conditions. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 105, p. 137-143, 2016.

CARILLO, P.; WOO, S. L.; COMITE, E.; EL-NAKHEL, C.; ROUPHAEL, Y.; FUSCO, G. M.; BORZACCHIELLO, A.; LANZUISE, S.; VINALE, F. Application of *Trichoderma harzianum*, 6-pentyl-α-pyrone and plant biopolymer formulations modulate plant metabolism and fruit quality of plum tomatoes. **Plants**, Basel, v. 9, p. 771, 2020.

CARRERO-CARRÓN, I.; RUBIO, M. B.; NIÑO-SÁNCHEZ, J.; NAVAS-CORTÉS, J. A.; JIMÉNEZ-DÍAZ, R. M.; MONTE, E.; HERMOSA, R. Interactions between *Trichoderma harzianum* and defoliating *Verticillium dahliae* in resistant and susceptible wild olive clones. **Plant Pathology**, Chichester, v. 67, p. 1758-1767, 2018.

CARVALHO FILHO, M. R.; MELLO, S. C. M.; SANTOS, R. P.; MENÊZES, J. E. **Avaliação de isolados de *Trichoderma* na promoção de crescimento, produção de ácido indolacético in vitro e colonização endofítica de mudas de eucalipto**. Brasília: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 226, 2008. 13 p.

CARVALHO, D. D. C.; MELLO, S. C. M.; LOBO JÚNIOR, M.; SILVA, M. C. Controle de *Fusarium oxysporum* f.sp. *phaseoli* in vitro e em sementes, e promoção do crescimento inicial do feijoeiro comum por *Trichoderma harzianum*. **Tropical Plant Pathology**, Chichester, v. 36, n. 1, p. 028-034, 2011.

CATALDO, D. A.; MAROON, M.; SCHRADER, L. E.; YOUNGS, L. V. Rapid colorimetric determination of nitrate in plant-tissue by nitration of salicylic-acid. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 6, n. 1, p. 71-80, 1975.

CHAGAS, L. F. B.; CHAGAS JUNIOR, A. F.; SOARES, L. P.; FIDELIS, R. R. *Trichoderma* na promoção do crescimento vegetal. **Revista de Agricultura Neotropical**, Dourados, v. 4, n. 3, p. 97-102, 2017.

CHEN, D.; HOU, Q.; JIA, L.; SUN, K. Combined use of two *Trichoderma* strains to promote growth of pakchoi (*Brassica chinensis* L.). **Agronomy**, Basel, v. 11, p. 726, 2021.

CHUTIPAIJIT, S.; CHA-UM, S.; SOMPORNPAILIN, K. High contents of proline and anthocyanin increase protective response to salinity in *Oryza sativa* L. spp. indica. **Australian Journal of Crop Science,** Lismore, v. 5, p. 1191, 2011.

CONTRERAS-CORNEJO, H. A.; MACÍAS-RODRÍGUEZ, L.; CORTÉS-PANGO, C.; LÓPEZ-BUCIO, J. *Trichoderma virens*, a plant beneficial fungus, enhances biomass production and promotes lateral root growth through an auxin-dependent mechanism in Arabidopsis. **Plant Physiology**, Rockville, v. 149, n. 3, p. 1579-1592, 2009.

CONTRERAS-CORNEJO, H. A.; MACÍAS-RODRÍGUEZ, L.; DEL-VAL, E.; LARSEN, J. Ecological functions of *Trichoderma* spp. and their secondary metabolites in the rhizosphere: interactions with plants. **FEMS Microbiology Ecology**, Oxford, v. 92, 2016.

COPPOLA, M.; CASCONE, P.; CHIUSANO, M. L.; COLANTUONO, C.; LORITO, M.; PENNACCHIO, F.; RAO, R.; WOO, S. L.; GUERRIERI, E.; DIGILIO, M. C. *Trichoderma harzianum* enhances tomato indirect defense against aphids. **Insect Science**, Richmond, v. 24, p. 1025-1033, 2017.

COPPOLA, M.; DIRETTO, G.; DIGILIO, M. C.; WOO, S. L.; GIULIANO, G.; MOLISSO, D.; PENNACCHIO, F.; LORITO, M.; RAO, R. Transcriptome and metabolome reprogramming in tomato plants by *Trichoderma harzianum* strain T22 primes and enhances defense responses against aphids. **Frontiers in Physiology**, Lausanne, v. 10, p. 745, 2019.

DE PALMA, M.; SALZANO, M.; VILLANO, C.; AVERSANO, R.; LORITO, M.; RUOCCO, M.; DOCIMO, T.; PICCINELLI, A. L.; D'AGOSTINO, N.; TUCCI, M. Transcriptome reprogramming, epigenetic modifications and alternative splicing orchestrate the tomato root response to the beneficial fungus *Trichoderma harzianum*. **Horticulture Research**, London, v. 6, p. 5, 2019.

DONI, F.; FATHURRAHMAN, F.; MISPAN, M. S.; SUHAIMI, M.; YUSSOF, W. M. W.; UPHOFF, N. Transciptome profiling of rice seedlings inoculated with symbiotic fungus *Trichoderma asperellum* SL2. **Journal Plant Growth Reg.,** New York, v. 38, p. 1507–1515, 2019.

DRUZHININA, I. S.; SEIDL-SEIBOTH, V.; HERRERA-ESTRELLA, A.; HORWITZ, B. A.; KENERLEY, C. M.; MONTE, E.; MUKHERJEE, P. K.; ZEILINGER, S.; GRIGORIEV, I. V.; KUBICEK, C. P. *Trichoderma*: the genomics of opportunistic success. **Natural Reviews. Microbiology**, London, v. 9, n. 10, p. 749-759, 2011.

DRUZHININA, I. S *et al*. Massive lateral transfer of genes encoding plant cell wall-degrading enzymes to the mycoparasitic fungus *Trichoderma* from its plant-associated hosts. **PLoS Genetics**, San Francisco, v. 14, n. 4, p. e1007322, 2018.

DUBOIS, M.; GILLES, K. A.; HAMILTON, J. K.; REBERS, P. A.; SMITH, F. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. **Analytical Chemistry**, Washington, v. 28, n. 3, p. 350-356, 1956.

ESPARZA-REYNOSO, S.; RUÍZ-HERRERA, L. F.; PELAGIO-FLORES, R.; MACÍAS-RODRÍGUEZ, L. I.; MARTÍNEZ-TRUJILLO, M.; LÓPEZ-CORIA, M.; SÁNCHEZ-NIETO, S.; HERRERA-ESTRELLA, A.; LÓPEZ-BUCIO, J. *Trichoderma atroviride*-emitted volatiles improve growth of Arabidopsis seedlings through modulation of sucrose transport and metabolismo. **Plant Cell Environment**, Chichester, v. 44, p. 1961-1976, 2021.

ESTÉVEZ-GEFFRIAUD, V.; VICENTE, R.; VERGARA-DÍAZ, O.; NARVÁEZ REINALDO, J. J.; TRILLAS, M. I. Application of *Trichoderma asperellum* T34 on maize (*Zea mays*) seeds protects against drought stress. **Planta**, [*s. l.*], v. 252, p. 8, 2020.

ESTRADA-RIVERA, M.; REBOLLEDO-PRUDENCIO, O. G.; PÉREZ-ROBLES, D. A.; ROCHA-MEDINA, M.; GONZÁLEZ-LÓPEZ, M.; CASAS-FLORES, S. *Trichoderma* histone deacetylase HDA-2 modulates multiple responses in Arabidopsis. **Plant Physiology**, Rockville, v. 179, p. 1343-1361, 2019.

FAGAN, E. B.; ONO, E.O.; RODRIGUES, J. D.; SOARES, L. H.; DORADO NETO, D. **Fisiologia vegetal**: metabolismo e nutrição mineral. [*S. l.*]: Andrei, 2015. 212 p.

FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V. C.; JONES, C. A. **Growth and mineral nutrition of field crops**. Boca Raton: CRC, 2011.

FERREIRA, T. C.; BETTIOL, W. Biocontrole de patógenos de solo e promoção de crescimento vegetal promovidos por *Bacillus* spp. em milho. **Journal of Biology & Pharmacy and Agricultural Management**, [*s. l.*], v. 15, n. 4, 2019.

FONTENELLE, A. D. B.; GUZZO, S. D.; LUCON, C. M. M.; HARAKAVA, R. Growth promotion and induction of resistance in tomato plant against *Xanthomonas euvesicatoria* and *Alternaria s*olani by *Trichoderma* spp. **Crop Protection**, Amsterdam, v. 30, p. 1492-1500, 2011.

GARNICA-VERGARA, A.; BARRERA-ORTIZ, S.; MUÑOZ-PARRA, E.; RAYA-GONZÁLEZ, J.; MÉNDEZ-BRAVO, A.; MACÍAS-RODRÍGUEZ, L.; RUIZ-HERRERA, L. F.; LÓPEZ-BUCIO, J. The volatile 6-pentyl-2H-pyran-2-one from *Trichoderma atroviride* regulates *Arabidopsis thaliana* root morphogenesis via auxin signaling and ethylene insensitive 2 functioning. **New Phytologist**, Chichester, v. 209, p. 1496-1512, 2016.

GULER, N. S.; PEHLIVAN, N.; KARAOGLU, S. A.; GUZEL, S.; BOZDEVECI, A. *Trichoderma atroviride* ID20G inoculation ameliorates drought stress-induced damages by improving antioxidant defence in maize seedlings. **Acta Physiologiae Plantarum**, Heidelberg, v. 38, p. 132, 2016.

GUPTA, R.; PANDEY, S. K.; SINGH, A. K.; SINGH, M. Response of photosynthesis, chlorophyll fluorescence and yield of singer millet (*Eleusine coracana*) influenced by bio-chemical fertilizers. **The Indian Jornal of Agricultural Sciences**, New Delhi, v. 81, p. 445-449, 2011.

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

HARMAN, G. E.; DONI, F.; KHADKA, R. B.; UPHOFF, N. Endophytic strains of *Trichoderma* increase plants' photosynthetic capability. **Journal of Applied Microbiology**, Chichester, v. 130, p. 529-546, 2019.

HERMOSA, R.; CARDOZA, R. E.; RUBIO, M. B.; GUTIÉRREZ, S.; MONTE, E. Secondary metabolism and antimicrobial metabolites of *Trichoderma*. **In:** GUPTA, V. K; SCHMOLL, M.; HERRERA-ESTRELLA, A.; UPADHYAY, R. S; DRUZHININA, I.; TUOHY, M. **Biotechnology and biology of *Trichoderma***. Amsterdam: Elsevier, 2014. p. 125-137.

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

JIMÉNEZ, S. *et al*. Physiological, biochemical and molecular responses in four *Prunus* rootstocks submitted to drought stress. **Tree physiology**, Oxford, v. 33, p. 1061-1075, 2013.

JUNGES, E. *et al*. Bioproducts from *Trichoderma harzianum* as inducer of resistance to anthracnose in beans. *In:* SANTOS, A. S. **Avanços científicos e tecnológicos em bioprocessos**. Ponta Grossa: Atenas, 2018. p. 70-80.

KHOSHMANZAR, E.; ALIASGHARZAD, N.; NEYSHABOURI, M. R.; KHOSHRU, B.; ARZANLOU, M.; ASGARI LAJAYER, B. Effects of *Trichoderma* isolates on tomato growth and inducing its tolerance to water-deficit stress. **International Journal of Environmental Science and Technology**, Iran, v. 17, p. 869-878, 2020.

KLIEWER, W. M. **Grapevine physiology**: how does a grapevine make sugar? Berkeley: University of California, 1981. 13 p.

KUBICEK, C. P. *et al*. Comparative genome sequence analysis underscores mycoparasitism as the ancestral life style of *Trichoderma*. **Genome Biology**, London, v. 12, p. R40, 2011.

LI, R. X.; CAI, F.; PANG, G.; SHEN, Q. R.; LI, R.; CHEN, W. Solubilisation of phosphate and micronutrients by *Trichoderma harzianum* and its relationship with the promotion of tomato plant growth. **PLoS One**, San Francisco, v. 10, n. 6, p. e0130081, 2015.

LICHTENTHALER, H. K. Chorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. **Methods in Enzimology**, San Diego, v. 148, p. 350-382, 1987.

LOBO JUNIOR, M.; MACHADO-ROSA, T. A.; GERALDINE, A. M. Uso de *Trichoderma* na cultura do feijão-comum*. In:* MEYER, M. C. *et al*. ***Trichoderma***: uso na agricultura. Brasília, DF: Embrapa, 538p., 2019.

LOPES, R.; TSUI, S.; GONÇALVES, P. J. R. O.; QUEIROZ, M. V. A look into a multifunctional toolbox: endophytic *Bacillus* species provide broad and underexploited benefits for plants. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, Dordrecht, v. 34, n. 7, p. 94-102, 2018.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, A. S. **Avaliação do estado nutricional das plantas**: princípios e aplicações. 2. ed., Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319 p.

MARRA, R. *et al*. Application of *Trichoderma* strains and metabolites enhances soybean productivity and nutrient contente. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 67, p. 1814-1822, 2019.

MARTÍNEZ-MEDINA, A.; ALGUACIL, M. D. M.; PASCUAL, J. A.; VAN WEES, S. A. C. M. Phytohormone profiles induced by *Trichoderma* isolates correspond with their biocontrol and plant growth-promoting activity on melon plants. **Journal of Chememical Ecology,** [*s. l.*], v. 40, p. 804-815, 2014.

MASTOURI, F.; BJÖRKMAN, T.; HARMAN, G. E. *Trichoderma harzianum* enhances antioxidant defense of tomato seedlings and resistance to water deficit. **Molecular Plant-Microbe Interactions**, St. Paul, v. 25, n. 9, p. 1264-1271, 2012.

MC CULLOUGH, H. The determination of ammonia in whole blood by a direct colorimetric method. **Clinica Chimica Acta**, Amsterdam, v. 17, p. 297-304, 1967.

MEDEIROS, H. A.; ARAÚJO FILHO, J. V.; FREITAS, L. G.; CASTILLO, P.; RUBIO, M. B.; HERMOSA, R.; MONTE, E. Tomato progeny inherit resistance to the nematode *Meloidogyne javanica* linked to plant growth induced by the biocontrol fungus *Trichoderma atroviride*. **Scientific Reports**, London, v. 7, p. 40216, 2017.

MEI, L.; GUANG-SHU, M.; HUA, L.; XIAO-LIN, S.; YING, T.; WEN-KUN, H.; XILIANG, J. The effects of *Trichoderma* on preventing cucumber *Fusarium* wilt and regulating cucumber physiology. **Journal of Integrative Agriculture**, Oxford, v. 18, p. 607-617, 2019.

MENDOZA-MENDOZA, A.; ZAID, R.; LAWRY, R.; HERMOSA, R.; MONTE, E.; HORWITZ, B.; MUKHERJEE, P. K. Molecular dialogue between *Trichoderma* and roots. Role of the fungal secretome. **Fungal Biology Reviews**, London, v. 32, p. 62-85, 2018.

MEYER, M. C. *et al*. ***Trichoderma***: uso na agricultura. Brasília, DF: Embrapa, 2019. 538 p.

MILANESI, P. M. *et al*. Biocontrole de *Fusarium* spp. com *Trichoderma* spp. e promoção de crescimento em plântulas de soja. **Revista de Ciências Agrárias**, Jaboticabal, v. 36, n. 3, p. 347-356, 2013.

MITCHELL, P. J. *et al*. Drought response strategies define the relative contributions of hydraulic dysfunction and carbohydrate depletion during tree mortality. **New Phytologist**, Chichester, v. 197, p. 862-872, 2013.

MONTE, H.; BETTIOL, W.; HERMOSA, R. *Trichoderma* e seus mecanismos de ação para o controle de doenças de plantas. *In:* MEYER, M. C.; MAZARO, S. M.; SILVA, J. C. (ed.). *Trichoderma*: uso na agricultura. Brasília, DF: Embrapa, 2019. p.181-199.

MORÁN-DIEZ, E.; CARDOZA, R. E.; GUTIÉRREZ, S.; MONTE, E.; HERMOSA, R. TvDim1 of *Trichoderma virens* is involved in redox-processes and confers resistance to oxidative stresses. **Current Genetics**, Heidelberg, v. 56, p. 63-73, 2010.

MOREIRA, G. C.; ANJOS, G. L.; FERREIRA, P. M.; SILVA, J. J.; JESUS, R. S.; SILVA, F.; DIA, F. S. **Uso da matéria orgânica na síntese de pigmentos fotossintéticos e crescimento de *Salvia officinalis* inoculada com diferentes isolados de *Trichoderma* spp.** Agroecologia: métodos e técnicas para uma agricultura sustentável, 2021. v. 5. Cap. 28, p.329-339.

MUKHERJEE, P. K.; HORWITZ, B. A.; KENERLEY, C. M. Secondary metabolism in *Trichoderma* - a genomic perspective. **Microbiology**, London, v. 158, p. 35-45, 2012.

NASCIMENTO, N. F.; NASCIMENTO, L. B. B.; GONÇALVES, J. F. C. Respostas funcionais foliares de plantas jovens de *Hevea brasiliensis* submetidas a deficiência hídrica e a reidratação. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 29, n. 3, p. 1019-1032, 2019.

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. (ed.). **Manual de fitopatologia**. 5. ed. Ouro Fino: Ceres, 2018. p. 424-450.

PATIL, A. S.; PATIL, S. R.; PAIKRAO, H. M. *Trichoderma* secondary metabolites: their biochemistry and possible role in disease management. *In:* CHOUDHARY, D. K.; VARMA, A. (ed.). **Microbial-mediated induced systemic resistance in plants**. Singapore: Springer, 2016. p. 69-102.

PEDRO, E. A. S.; HARAKAVA, R.; LUCON, C. M. M.; GUZZO, S. S. Promoção do crescimento do feijoeiro e controle da antracnose por *Trichoderma* spp. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 47, n. 11, p. 1589-1595, 2012.

PEREIRA, C. S.; DELLA VILLA NETO, R.; FIORINI, I. V. A.; PONTELO, L.; SILVA, A. A. Doses de nitrogênio e níveis de irrigação em feijão mungo (*Vigna radiata* L.). **Tecno-Lógica**, [*s. l.*], v. 23, p. 63-69, 2019.

PEREIRA, F. T.; OLIVEIRA, J. B.; MUNIZ, P. H. P. C.; PEIXOTO, G. H. S.; GUIMARÃES, R. R.; CARVALHO, D. D. C. Growth promotion and productivity of lettuce using *Trichoderma* spp. commercial strains. **Horticultura Brasileira**, Recife, v. 37, p. 069-074, 2019.

PIETRO-SOUZA, W.; CAMPOS PEREIRA, F.; MELLO, I. S.; STACHACK, F. F. F.; TEREZO, A. J.; CUNHA, C. N.; WHITE, J. F.; LI, H.; SOARES, M. A. Mercury resistance and bioremediation mediated by endophytic fungi. **Chemosphere**, Oxford, v. 240, p. 1-42, 124874, 2020.

PURANIK, R. M.; SRIVASTAVA, H.S. Increase in nitrate reductase activity in the presence of sucrose in bean leaf segments. **Phytochemistry**, Oxford, v. 22, p. 2383-2387, 1983.

RAI, P. K.; SINGH, M.; ANAND, K.; SAURABH, S.; KAUR, T.; KOUR, D.; YADAY, A. N.; KUMAR, M. Role and potential applications of plant growth-promoting rhizobacteria for sustainable agriculture. *In*: GUPTA, V. **Trends of microbial biotechnology for sustainable agriculture and biomedicine systems**: diversity and functional perspectives. London: Elsevier, 2020. Cap. 4, v. 49-60.

RASO, M. J.; MUÑOZ, A.; PINEDA, M.; PIEDRAS, P. Biochemical characterisation of an allantoate-degrading enzyme from French bean (*Phaseolus vulgaris*): The requirement of phenylhydrazine. **Planta**, Heidelberg, v. 226, p. 1333-1342, 2007.

RAWATE, R.; TEWARI, L. Effect of abiotic stress on phosphate solubilization by biocontrol fungus *Trichoderma* sp. **Current Microbiology**, New York, v. 62, n. 5, p.1521-1526, 2011.

R CORE TEAM. **R**: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Estatistical Computing, Viena, Austria, 2021. URL https://www.R-project.org/.

RESENDE, M. P.; JAKOBY, I. C. M. C.; SANTOS, L. C. R.; SOARES, M. A.; PEREIRA, F. D.; SOUCHIE, E. L.; SILVA, F. G. Phosphate solubilization and phytohormone production by endophytic and rhizosphere *Trichoderma* isolates of guanandi (*Calophyllum Brasiliense* Cambess). **African Journal Microbiology Research**, Sapele, v. 8, p. 2616-2623, 2014.

RIBAS, P. P.; RICH, R.; MATSUMARA, A. T. S.; VAN DER SAND, S. T. Potencial in vitro para solubilização de fosfato por *Trichoderma* spp. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v. 14, n. 2, p. 70-75, 2016.

SANTOS, H. A. ***Trichoderma* spp. como promotores de crescimento em plantas e como antagonistas a *Fusarium oxysporum*.** 2008. 89 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Agronomia e Veterinária da Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2008.

SCUDELETTI, D.; CRUSCIOL, C. A. C.; BOSSOLANI, J. W.; MORETTI, L. G.; MOMESSO, L.; TUBAÑA, B. S.; CASTRO, S. G. Q.; OLIVEIRA, E. F.; HUNGRIA, M. *Trichoderma asperellum* Inoculation as a Tool for Attenuating Drought Stress in Sugarcane. **Frontiers in Plant Science**, Lausanne, v. 12, p. 645542, 2021.

SILVA, M. M. **Fontes e modos de aplicação de manganês na nutrição, produção e qualidade da soja, cultivada em solo de cerrado**. 2000. 174 f. Tese (Doutorado em Agronomia), Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo - USP, Piracicaba, 2000.

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, DF, v. 46, p. 1609-1618, 2011.

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

SINGH, S.; SINGH, V.; PAL, K. Importance of microorganisms in agriculture. **Retrieved May**, [*s. l.*], v. 7, p. 93-117, 2017.

STEWART, A.; HILL, R. Aplicações de *Trichoderma* na Promoção do Crescimento de Plantas. *In:* GUPTA, V. G. **Biotecnologia e Biologia de *Trichoderma.*** London: Elsevier, 2014. p. 415-425.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 858 p.

VAN HANDEL, E. Direct microdetermination of sucrose. **Analytical Biochemistry**, Philadelphia, v. 22, p. 280-283, 1968.

VARGAS, W. A.; MANDAWE, J. C.; KENERLEY, C. M. Plant-derived sucrose is a key element in the symbiotic association between *Trichoderma virens* and maize plants. **Plant Physiology**, Rockville, v. 151, p. 792-808, 2009.

VOGELS, G. D.; VAN DER DRIFT, C. Differential analyses of glyoxylate derivatives. **Analytical Biochemistry**, Philadelphia, v. 33, n. 1, p. 143-157, 1970.

YEDIDIA, I.; BENHAMOU, N.; CHET, I. Induction of Defense Responses in Cucumber Plants (*Cucumis sativus* L.) by the Biocontrol Agent *Trichoderma harzianum*. **Applied and Environmental Microbiology**, Washington, p. 1061-1070, v. 65, n..3, 1999.

YEDIDIA, I.; SRIVASTVA, A. K.; KAPULNIK, Y.; CHET, I. Effect of *Trichoderma harzianum* on microelement concentrations and increased growth of cucumber plants. **Plant Soil**, Dordrecht, v. 235, p. 235-242, 2001.

YOBO, K. S.; LAING, M. D.; HUNTER, C. H. Effects of Single and Dual Applications of Selected *Trichoderma* and *Bacillus* Isolates on Performance of Dry Bean Seedlings Grown in Composted Pine Bark Growth Medium under Shadehouse Conditions. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 32, p. 1271-1289, 2009.

XIAO, C.; CHI, R.; HE, H.; QIU, G.; WANG, D.; ZHANG, W. Isolation of phosphate-solubilizing fungi from phsphate mines and their effect on wheat seedling growth. **Applied Biochemistry and Biotechnology**, Heidelberg, v. 159, p. 330-342, 2009.

ZHANG, X.; LI, X.; XIA, L. Heterologous Expression of an Alkali and Thermotolerant Lipase from *Talaromyces thermophilus* in *Trichoderma reesei*. **Applied Biochemistry and Biotechnology**, Heidelberg, v. 176, p. 1722-1735, 2015.

ZHANG, F.; GE.; H.; ZHANG, F.; GUO, N.; WANG, Y.; CHEN, L.; JI, X.; LI, C. Biocontrol potential of *Trichoderma harzianum* isolate T-aloe against *Sclerotinia sclerotiorum* in soybean. **Plant Physiology and Biochemistry**, Issy les Moulineaux Cedex, v. 100, p. 64-74, 2016.

ZHAO, L.; LIU, Q.; ZHANG, Y.; CUI, Q.; LIANG, Y. Efect of acid phosphatase produced by *Trichoderma asperellum* Q1 on growth of Arabidopsis under salt stress. **Journal of Integrative Agriculture**, Oxford, v. 16, p. 1341-1346, 2017.

ZIN, N. A.; BADALUDDIN, N. A. Biological functions of *Trichoderma* spp. for agriculture applications. **Annals of Agricultural Sciences**, Hong Kong, v. 65, p. 168-178, 2020.