



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA**  
**INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM**  
**QUALIDADE AMBIENTAL**

**MARIA CLARA DE ANDRADE PEREIRA DA SILVA**

*Trichoderma atroviride* COMO CONDICIONADOR BIOLÓGICO EM SOLOS DE  
DIFERENTES TEXTURAS SOB SOJA E MILHO

UBERLÂNDIA – MG  
FEVEREIRO 2023

**MARIA CLARA DE ANDRADE PEREIRA DA SILVA**

***Trichoderma atroviride* COMO CONDICIONADOR BIOLÓGICO EM SOLOS  
DE DIFERENTES TEXTURAS SOB SOJA E MILHO**

Dissertação apresentada à  
Universidade Federal de  
Uberlândia, como parte das  
exigências do Programa de Pós-  
graduação em Meio Ambiente e  
Qualidade Ambiental – Mestrado,  
área de concentração em Meio  
Ambiente e Qualidade Ambiental,  
para a obtenção do título de  
“Mestre”.

Orientador

Prof. Dr. Lucas Carvalho Basílio de Azevedo

UBERLÂNDIA  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.

---

S586t  
2023 Silva, Maria Clara de Andrade Pereira da, 1997-  
*Trichoderma atroviride* como condicionador biológico em solos de diferentes texturas sob soja e milho [recurso eletrônico] / Maria Clara de Andrade Pereira da Silva. - 2023.

Orientador: Lucas Carvalho Basilio de Azevedo.  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia, Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente e Qualidade Ambiental.  
Modo de acesso: Internet.  
Disponível em: <http://doi.org/10.14393/ufu.di.2023.7055>  
Inclui bibliografia.

I. Meio ambiente. I. Azevedo, Lucas Carvalho Basilio de, (Orient.).  
II. Universidade Federal de Uberlândia. Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente e Qualidade Ambiental. III. Título.

---

CDU: 504

Glória Aparecida  
Bibliotecária Documentalista - CRB-6/2047

**MARIA CLARA DE ANDRADE PEREIRA DA SILVA**

***Trichoderma atroviride* COMO CONDICIONADOR BIOLÓGICO EM SOLOS  
DE DIFERENTES TEXTURAS SOB SOJA E MILHO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Uberlândia, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Meio Ambiente e Qualidade Ambiental – Mestrado, área de concentração em Meio Ambiente e Qualidade Ambiental, para a obtenção do título de “Mestre”.

APROVADA em 27 de fevereiro de 2023.

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Giselle Gomes Monteiro Fracetto

UFRPE-DEPA

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Tatiane Pereira Santos Assis

UFU

Prof. Dr. Lucas Carvalho Basílio de Azevedo  
ICIAG-UFU  
(Orientador)

UBERLÂNDIA  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2023



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA**  
 Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Qualidade Ambiental  
 BR 050, Km 78, Bloco 1CCG, Sala 206 - Bairro Glória, Uberlândia-MG, CEP 38400-902  
 Telefone: (34) 2512-6717 - www.ppgmq.iciag.ufu.br - ppgmq@iciag.ufu.br



### ATA DE DEFESA - PÓS-GRADUAÇÃO

Programa de Pós-Graduação em:	Qualidade Ambiental (PPGMQ)				
Defesa de:	Dissertação de Mestrado Acadêmico, 07/2023, PPGMQ				
Data:	27 de fevereiro de 2023	Hora de início	9:00	Hora de encerramento:	10:45
Matrícula da Discente:	12112MQA019				
Nome da Discente:	MARIA CLARA DE ANDRADE PEREIRA DA SILVA				
Título do Trabalho:	<i>Trichoderma atroviride</i> como condicionador biológico em solos de diferentes texturas sob soja e milho				
Área de concentração:	Meio Ambiente e Qualidade Ambiental				
Linha de pesquisa:	Processos Ambientais				
Projeto de Pesquisa de vinculação:	Isolado microbiano como condicionador biológico em solo arenoso e argiloso sob soja e milho em casa-de-vegetação				

Reuniu-se por meio de web conferência, a Banca Examinadora, designada pelo Colegiado do Programa de Pós-graduação em Qualidade Ambiental (PPGMQ), assim composta: Prof. Dr. Lucas Carvalho Basílio de Azevedo (Orientador); Prof.ª Dr.ª Giselle Gomes Monteiro Fracetto (UFRPE); e Prof.ª Dr.ª Tatiane Pereira Santos Assis (UFU).

Iniciando os trabalhos o presidente da mesa Prof. Dr. Lucas Carvalho Basílio de Azevedo apresentou a Comissão Examinadora e a candidata, agradeceu a presença do público, e concedeu a Discente a palavra para a exposição do seu trabalho. A duração da apresentação da Discente e o tempo de arguição e resposta foram conforme as normas do Programa.

A seguir o senhor presidente concedeu a palavra, pela ordem sucessivamente, às examinadoras, que passaram a arguir a candidata. Ultimada a arguição, que se desenvolveu dentro dos termos regimentais, a Banca, em sessão secreta, atribuiu o resultado final, considerando a candidata:

Aprovada.

Esta defesa faz parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre.

O competente diploma será expedido após cumprimento dos demais requisitos, conforme as normas do Programa, a legislação pertinente e a regulamentação interna da UFU.

Nada mais havendo a tratar foram encerrados os trabalhos. Foi lavrada a presente ata que após lida e achada conforme foi assinada pela Banca Examinadora.



Documento assinado eletronicamente por **Lucas Carvalho Basílio de Azevedo, Professor(a) do Magistério Superior**, em 27/02/2023, às 10:41, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Tatiane Pereira Santos Assis, Professor(a) do Magistério Superior**, em 27/02/2023, às 10:43, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Giselle Gomes Monteiro Fracetto, Usuário Externo**, em 27/02/2023, às 16:32, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://www.sei.ufu.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://www.sei.ufu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **4234573** e o código CRC **E750C2E4**.

**Referência:** Processo nº 23117.007588/2023-15

SEI nº 4234573

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço pela concessão de bolsa de estudos fornecido pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), na modalidade de MAI/DAI, por ser em conjunto com o Laboratório Biosag, que também forneceu o microrganismo de estudo assim como investimento para a pesquisa.

Agradeço a Universidade Federal de Uberlândia (UFU), a Pró-reitora de Pesquisa e Pós-Graduação (PROPP-UFU), ao Instituto de Ciências Agrárias (ICIAG) e ao Programa de Pós-graduação em Qualidade Ambiental – UFU pelo incentivo a pesquisa e ao desenvolvimento sustentável e ambiental.

Agradeço a equipe do laboratório de Microbiologia Ambiental coordenada pela Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Milla Alves Baffi e Prof. Dr. Lucas Carvalho Basílio de Azevedo. Principalmente ao meu orientador Prof. Dr. Lucas, Nathália, e a seu pai, Antônio, Patrícia e Geissiellen. Assim como também agradeço por disponibilizar o espaço, equipamentos e materiais para dar seguimentos nas análises. Agradeço ao professor Dr. Maurício Martins por disponibilizar meios para e a coleta dos solos. Ao professor Dr. Wedisson e Ms. Jéssica por disponibilizar o espaço do laboratório para secagem dos materiais, assim como ao professor Dr. Hugo Catão pelo fornecimento de sementes e espaço do laboratório para secagem de materiais.

E por fim, tão importante quanto, gostaria de agradecer a minha família e amigos pelo incentivo e apoio para cursar esta pós-graduação, assim como me ajudar na implantação, execução e coleta do experimento.

## SUMÁRIO

<b>RESUMO</b> .....	<b>iii</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>iv</b>
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>5</b>
1.1 Hipóteses.....	5
1.2 Objetivos.....	6
1.3 Justificativa.....	6
<b>2. REVISÃO DA LITERATURA</b> .....	<b>7</b>
2.1 Agricultura sustentável.....	7
2.2 Solo.....	8
2.3 Microrganismos promotores de crescimento de plantas.....	10
2.3.1 Endofitismo.....	12
2.3.2 <i>Trichoderma</i> .....	13
2.3.3 <i>Trichoderma atroviride</i> .....	15
2.3.4 Fungos Micorrízicos Arbusculares (FMA).....	16
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>17</b>
3.1 Instalação do ensaio.....	17
3.2 Temperatura e umidade.....	19
3.3 Aplicação de <i>Trichoderma atroviride</i> .....	20
3.4 Crescimento vegetal.....	20
3.5 Fertilidade do solo.....	20
3.5.1 pH em água (1:2,5).....	21
3.5.2 H <sup>+</sup> Al.....	21
3.5.3 Alumínio.....	21
3.5.4 Cálcio e magnésio.....	21
3.5.5 Enxofre.....	22
3.5.6 Fósforo e potássio.....	22
3.5.7 Boro.....	22
3.5.8 Cobre, ferro, manganês e zinco.....	22
3.5.9 Carbono orgânico total.....	23
3.6 Biologia do solo.....	23
3.6.1 Colonização por fungos micorrízicos arbusculares.....	23
3.6.2 Carbono da biomassa microbiana.....	24
3.6.3 Respirometria do solo.....	24

3.6.4 Atividade de $\beta$ -glicosidase .....	25
3.6.5 Atividade de fosfatase ácida.....	25
3.6.6 Atividade de arilsulfatase .....	26
3.6.7 Atividade da hidrólise do diacetato de fluoreceína (FDA).....	26
3.7 Análises estatísticas .....	26
<b>4. RESULTADOS.....</b>	<b>27</b>
4.1 Crescimento vegetal.....	27
4.2 Fertilidade do solo.....	28
4.3 Biologia do solo .....	33
4.3.1 Colonização por fungos micorrízicos arbusculares.....	33
4.3.2 Carbono da biomassa microbiana e respirometria do solo.....	35
4.3.4 Atividade enzimática no solo .....	37
<b>5. DISCUSSÃO.....</b>	<b>41</b>
5.1 Crescimento vegetal.....	42
5.2 Fertilidade do solo.....	42
5.3 Biologia do solo .....	44
5.3.1 Colonização por fungos micorrízicos arbusculares.....	44
5.3.2 Carbono da biomassa microbiana e respiração do solo.....	44
5.3.4 Atividade enzimática no solo .....	45
5.4 Efeitos gerais .....	46
<b>6. CONCLUSÕES .....</b>	<b>46</b>
<b>7. REFERÊNCIAS.....</b>	<b>47</b>

## RESUMO

SILVA, MARIA CLARA DE ANDRADE PEREIRA DA. *Trichoderma atroviride* como condicionador biológico em diferentes texturas de solos sob soja e milho. 2022. 57 p. Dissertação (Mestrado em Qualidade Ambiental) – Universidade Federal de Uberlândia – MG.

A agricultura sustentável visa reduzir os efeitos danosos e evitar a degradação de solos causados pelo manejo inadequado. Um método exercido no campo da pesquisa, por exemplo, corresponde aos condicionadores de solo para incrementar os potenciais de forma física, química e biológica. Nesse sentido, o estudo se propôs a avaliar o potencial do fungo *Trichoderma atroviride* ATROV14 como condicionador de solo. A hipótese do trabalho indica que o fungo *T. atroviride* ATROV14 otimiza a fertilidade e incrementa a atividade enzimática e o carbono da biomassa microbiana, bem como a colonização micorrízica arbuscular. Diante disso, a pesquisa ocorreu em casa-de-vegetação, por delineamento inteiramente casualizado e sob o formato de quatro ensaios distintos – solo argiloso com cultivar de soja; solo argiloso com cultivar de milho; solo arenoso com cultivar de soja e solo arenoso com cultivar de milho – nesse caso, cada ensaio foi disposto com dois tratamentos (com e sem inoculação de *T. atroviride* ATROV14) e oito repetições cada. O solo recebeu inoculações com água destilada para os controles (sem inoculação) e com *T. atroviride* ATROV14 para os tratamentos com fungo. Após o crescimento das plantas até o estágio de florescimento, coletou-se o solo para avaliação de fertilidade, carbono da biomassa microbiana, respirometria, atividade de  $\beta$ -glicosidade, fosfatase, arissulfatase e hidrólise do diacetato de fluoresceína, ao passo que as raízes foram coletadas para avaliar a colonização micorrízica arbuscular. Quanto aos resultados, o solo argiloso com aplicação de *T. atroviride* e cultivado com milho apresentou incremento de matéria orgânica, CTC e C-org em comparação com o controle sem aplicação microbiana; no ensaio em solo arenoso e cultivado com milho, aumentaram-se a massa das raízes e o pH do solo; e, no ensaio em solo arenoso e cultivado com soja, houve crescimento dos índices de P e Ca no solo, quando se aplicou *T. atroviride*. Por outro lado, o emprego de *T. atroviride* resultou na diminuição de algumas variáveis, tais como: atividade enzimática da  $\beta$ -glicosidase, pH, Sb, CTC e Mg no ensaio em solo argiloso e cultivado com soja; da atividade enzimática da FDA no ensaio em solo argiloso e cultivado com milho; do pH no ensaio em solo arenoso e cultivado com soja; e de Zn no ensaio em solo arenoso e cultivado com milho. Sendo assim, o *T. atroviride* ATROV14 condiciona resultados distintos, a depender da cultura e da textura do solo.

**PALAVRAS-CHAVE:** Ascomiceto, fungo promotor de crescimento vegetal, fertilidade, microrganismo do solo, agricultura sustentável.

## ABSTRACT

SILVA, MARIA CLARA DE ANDRADE PEREIRA DA. *Trichoderma atroviride* as a biological conditioner in soils with different textures under soybean and corn. 2023. 64p. Dissertation (Master in Environmental Quality) – Federal University of Uberlândia – MG.

Sustainable agriculture aims to reduce the harmful effects and prevent the degradation of soils caused by improper management. One method exercised in the field of research, for example, corresponds to soil conditioners to increase the potentials of physical, chemical and biological form. In this sense, the study proposed to evaluate the potential of the fungus *Trichoderma atroviride* ATROV14 as a soil conditioner. The hypothesis of the work indicates that the fungus *T. atroviride* ATROV14 optimizes the fertility and increases the enzymatic activity and the carbon of the microbial biomass, as well as the arbuscular mycorrhizal colonization. Therefore, the research was conducted in a greenhouse, using an entirely randomized design and in the format of four distinct trials - clay soil with soybean cultivar; clay soil with corn cultivar; sandy soil with soybean cultivar, and sandy soil with corn cultivar - in this case, each trial was arranged with two treatments (with and without inoculation of *T. atroviride* ATROV14) and eight repetitions each. The soil received inoculations with distilled water for the controls (no inoculation) and with *T. atroviride* ATROV14 for the treatments with fungus. After plant growth to the flowering stage, soil was collected for fertility, microbial biomass carbon, respirometry,  $\beta$ -glucoside activity, phosphatase, arisulfatase, and fluorescein diacetate hydrolysis, while roots were collected to evaluate arbuscular mycorrhizal colonization. As for the results, the clayey soil with *T. atroviride* application and corn cultivation showed an increase in organic matter, CTC and C-org compared to the control without microbial application; in the sandy soil and corn cultivation trial, root mass and soil pH increased; and, in the sandy soil and soybean cultivation trial, soil P and Ca indexes increased when *T. atroviride* was applied. On the other hand, the use of *T. atroviride* resulted in the decrease of some variables, such as: enzymatic activity of  $\beta$ -glucosidase, pH, Sb, CEC and Mg in the test on clay soil and soybean cultivated soil; the enzymatic activity of FDA in the test on clay soil and corn cultivated soil; pH in the test on sandy soil and soybean cultivated soil; and Zn in the test on sandy soil and corn cultivated soil. Thus, *T. atroviride* ATROV14 gives different results depending on the crop and soil texture.

**KEYWORDS:** Ascomycete, plant growth promoting fungus, fertility, soil microorganism, sustainable agriculture.

# 1. INTRODUÇÃO

Devido ao crescimento populacional, são necessárias estratégias para proporcionar elevados índices de produção em sistemas produtivos ambientalmente amigáveis e, assim, atender à demanda populacional e conservar o ambiente. Por isso, torna-se relevante a ampliação de área cultivável com a recuperação de solos degradados, com vistas a aumentar a produção e fomentar técnicas de menor impacto, o que permite maior produtividade, a exemplo da utilização de microrganismos.

Devido à escassez de recursos naturais, deve-se buscar alternativas sustentáveis, como os incorporados aos processos naturais para produção agrícola, a manutenção das funções e a recuperação dos solos. Nesse contexto, uma das estratégias para tornar agricultura mais sustentável e utilizar adequadamente os solos agricultáveis se refere ao uso de inoculantes que possuem, como princípio ativo, uma (ou várias) espécie(s) de microrganismos, sejam eles fungos ou bactérias encontrados na rizosfera ou submetidos à modificação genética. Com isso, eles obtêm papéis relevantes na produção de biofertilizantes, na promoção de crescimento vegetal, na defesa contra fitopatógenos, entre outras funcionalidades (YADAV, 2018).

Assim, empregou-se um isolado do fungo endofítico do gênero *Trichoderma*, o *T. atroviride*, cujas cepas determinadas possuem atividades de solubilização de fosfato, controle de fitopatógenos e ações contra estresse abióticos e bióticos (MACÍAS-RODRÍGUEZ et al., 2018; CONTRERAS-CORNEJO et al., 2018). Tal fungo foi inoculado nas plantas vegetais de soja e milho, grãos de maior relevância econômica e com elevados índices de exportação mundial (USDA, 2021; CONAB, 2021), em que correspondem a 80% de produção na agricultura brasileira (EMBRAPA, 2021). E em dois tipos de solos distintos, devido a possíveis variações de resposta dos microrganismos e também para atender a legislação para certificação de um condicionador de solo (Brasil, 2014; Brasil, 2020).

O presente estudo possui relevância por investigar o possível potencial de *T. atroviride* ATROV14 como condicionador de solo, o que permite uma agricultura de baixo consumo de insumo e menor impacto para o ambiente, com acréscimos no rendimento nutricional, crescimento e, conseqüentemente, produtividade.

## 1.1 Hipóteses

O isolado microbiano *Trichoderma atroviride* ATROV-14 apresenta potencial de condicionador de solo, determinado pela influência na atividade enzimática e na biomassa microbiana do solo, além de favorecer a colonização micorrízica. Dessa maneira, é possível melhorar a fertilidade em solos de diferentes texturas sob soja e milho.

## **1.2 Objetivos**

Identificar o potencial do *Trichoderma atroviride* ATROV-14 como condicionador da fertilidade do solo, biomassa microbiana, atividade biológica e colonização micorrízica em solo arenoso e argiloso sob soja e milho, para confirmar a efetividade desse isolado na produção agrícola.

## **1.3 Justificativa**

Como método, a agricultura sustentável visa manter e/ou aumentar a produtividade da cultura sem exercer atividades de controle invasivo que impactam negativamente no ambiente, sobretudo o solo (PLUMECOCQ et al., 2018); logo, é necessário otimizar o manejo da fertilidade do solo para elevar a produtividade das plantas e preservar a sustentabilidade e a segurança alimentar. A compreensão das atividades e interações entre os microrganismos, o solo e a planta é essencial para determinar metodologias cruciais ao manejo sustentável do solo, o que incrementa a eficiência na biofertilização, no biocontrole e na produção agrícola (JOHANSSON; PAUL; FINLAY, 2004).

Algumas metodologias e tecnologias têm sido sugeridas no meio acadêmico para os agricultores, como o uso de microrganismos encontrados na rizosfera, sejam eles fungos ou bactérias. Sob a forma isolada, os fungos endofíticos, epífitos e rizosféricos podem ser empregados na produção de biofertilizantes e/ou como solubilizadores de metais, promotores de crescimento, biodefensivos etc. (YADAV, 2018).

Assim, no presente estudo, visa-se investigar um isolado do fungo endofítico do gênero *Trichoderma*, o *T. atroviride*, o qual possui atividades solubilizantes de fósforos (P), controle de fitopatógenos e ações contra estresses (a)bióticos (MACÍAS-RODRÍGUEZ et al., 2018; CONTRERAS-CORNEJO et al., 2018).

## 2. REVISÃO DA LITERATURA

### 2.1 Agricultura sustentável

Os recursos naturais devem ser suficientes para atender à demanda populacional crescente para alimentos, energia, água, infraestrutura, saúde, entre outros aspectos (DICK, 1994; TILMAN et al., 2011; CARON et al., 2018; PIÑEIRO et al., 2020). Na busca e no uso de recursos, surgiram inúmeros impactos negativos para o ambiente, como poluição urbana e industrial, contaminação e desertificação dos solos, poluição dos recursos hídricos, perda da biodiversidade e mudanças climáticas (LAL, 2008).

Com as mudanças climáticas e a perda de área agricultável, tem sido necessário promover uma agricultura mais sustentável, com a respectiva aplicabilidade nos demais setores de produção. Tal processo detém maior área de solo cultivável para colheita e, assim, pode contribuir na mitigação da fome devido ao crescimento populacional (YADAV, 2019).

Ademais, modelos de baixo uso de insumos externos, que aplicam processos naturais do sistema produtivo, são fundamentais para fomentar a qualidade do solo, em comparação à agricultura convencional (PLUMECOCQ et al., 2018). Esse modelo eleva a eficiência das funções microbianas e integra simbioses com as plantas, o que otimiza sanidade e a produção da cultura (JOHANSSON; PAUL; FINLAY, 2004).

De fato, a utilização de microrganismos na agricultura – e, especificamente, na produção de crescimento vegetal e controle de pragas e doenças – trouxe oportunidades para a aplicação da biotecnologia, com vistas à agricultura sustentável (MESSA; SAVIOLI, 2021). Como exemplo, há os fungos micorrízicos arbusculares, que podem exercer combinações com (bio)fertilizantes para obter ganho cultivável e produtivo no solo pelas atividades dos fungos em biodisponibilizar nutrientes às plantas, principalmente o P (SUMAN; YADAV; VERMA, 2016; MESSA e SAVIOLI, 2021).

Estudos relativos aos fitomicrobiomas revelam as comunidades microbianas em raízes, parte aérea, interior e superfícies das plantas (CHOUHAN et al., 2021), as quais podem afetar negativa ou positivamente o vegetal, assim como variar conforme o estágio de desenvolvimento, o que indica uma relação dinâmica entre planta e microrganismos (BHATT et al., 2020). Os fitomicrobiomas possuem uma cadeia de microrganismos com potencial biotecnológico, representado por microrganismos promotores de crescimento vegetal, os quais podem contribuir para a produtividade agrícola sustentável e reduzir a utilização de fertilizantes químicos (CHOUHAN et al., 2021). No entanto, há problemas

relativos à tecnologia, como a especificidade (isolados próprios para cada cultura e tipo de solo) e o manejo adequado por parte do agricultor/empresa (CHOUHAN et al., 2021). Por isso, são necessários os estudos em laboratórios e campos para verificar o potencial de cada microrganismo passível de isolamento.

## 2.2 Solo

Os solos podem ser considerados *hotspots* de biodiversidade microbiana, o que contribui com várias atividades e serviços biológicos essenciais à vida terrestre (SCHLOTTER et al., 2018). Além disso, o manejo da qualidade do solo é de suma importância para prevalecer e propiciar com qualidade os serviços ecossistêmicos, a exemplo da fome/agricultura (SYERS, 1997; LAL, 2015).

Nesse entremeio, Schlotter et al. (2018) elencam alguns serviços biológicos disponibilizados pelo solo e que possuem Funções de Suporte à Vida (FSV), como fornecimento de solo fértil para proporcionar uma bioeconomia sustentável, preservação da biodiversidade vegetal não ameaçada, salvaguarda da água potável, proteção contra a erosão e atuação como sumidouro de dióxido de carbono atmosférico (CO<sub>2</sub>).

Entretanto, a degradação do solo possui quatro tipos com forte impacto na vida humana: física, que influencia nos aspectos estruturais e ocasiona a formação de crostas, erosão do vento e da água, compactação, escoamento superficial, flutuação de temperatura, infiltração de água e desertificação (OLDEMAN, 1994; LAL, 2015); química, que acarreta acidificação, esgotamento de nutrientes, salinização, redução na Capacidade de Troca de Cátions (CTC), lixiviação de nitrato (NO<sub>3</sub>-N) e de outros nutrientes, toxicidade de alumínio (Al) ou Manganês (Mn), assim como deficiência de cálcio (Ca) ou magnésio (Mg) e/ou contaminação por resíduos industriais (OLDEMAN, 1994; LAL, 2015); biológica, que contempla o esgotamento de carbono orgânico do solo e o aumento exacerbado de emissões de gases de efeito estufa; e ecológica, na qual se combinam as outras três degradações do solo que interrompem as funções do ecossistema – nesses termos, visa-se a um cenário ainda mais pessimista para a qualidade do solo.

Cumprido ressaltar a presença de microagregados no solo, os quais contribuem fortemente com a matéria orgânica, a disponibilidade de nutrientes e a porosidade (TOTSCHKE et al., 2018). Sabe-se que os microagregados podem estruturar o solo, o que permite uma dinâmica aos microrganismos, ao criar comunidades com diversidade

biológica; e na matéria orgânica, a presença de carbono (C) é um fator preponderante para a qualidade do solo (SYERS, 1997).

No que tange ao sequestro de carbono, Lal (2008) sugere que cientistas do solo, agrônomos, silvicultores e ecologistas devem se associar ao grupo econômico e político para definir o método comercial mais adequado aos créditos de carbono oriundos do sequestro de carbono do solo, das árvores e de pântanos para a cultura de colheita. A comercialização desse crédito pode aumentar a renda dos agricultores, o que teoricamente leva a investimentos na qualidade do solo. O sequestro de carbono pode advir também da restauração ocasionada pela conversão de solos erodidos em áreas reflorestadas e solos degradados em áreas de pastagens planejadas (LAL, 2008).

Diante disso, pode-se empregar a metodologia de identificação da atividade enzimática para verificar o comportamento de atividades relacionadas aos exsudatos liberados pelos microrganismos presentes e a biomassa do solo; e determinar as propriedades físicas e biológicas (DICK, 1994). Como exemplo, as enzimas  $\beta$ -glicosidase, fosfatase e urease são geralmente utilizadas como indicadores de qualidade do solo (ADETUNJI et al., 2017), algo frequente que ainda leva a discussões sobre as determinações relacionadas à confiabilidade, à resiliência e à precisão de tais indicadores, principalmente para atender às funções do solo (ou FSV) (SCHLOTTER et al., 2018).

Uma alternativa corresponde aos índices de qualidade do solo conhecidos em concomitância com mapas geoespaciais, com o intuito de criar uma ferramenta para visualizar as nuances e a formação dos solos (DROBNIK et al., 2018). Lu et al. (2013) explicam que a qualidade do solo está vinculada à da comunidade microbiana, o que se sujeita à dinâmica e às atividades dos microrganismos, pois eles podem interferir nas propriedades físico-químicas do solo ao comporem uma rede microbiana com espécies generalistas, ou seja, frequentes no ambiente.

Sob esse viés, os referidos autores relacionam as comunidades microbianas à sociedade humana da seguinte forma: no momento em que um indivíduo vincula diferentes membros, ele pode suscetibilizar a sociedade em um ambiente mais ordenado e estável, assim como o incentivo à sociedade pode fomentar um lugar mais vigoroso e sucedido (LU et al., 2013).

Syers (1997) ainda discute a relação entre sustentabilidade e resiliência do solo, pois, com a atuação do fator de degradação, houve mudanças biofísicas que preconizam o manejo no solo para favorecer a atividade e os processos microbianos, bem como

fomentar uma resiliência maior no solo (LAL, 2015). Centeno et al. (2017) pontuam que, quando se promove a cobertura do solo, favorece-se o aumento da matéria orgânica, algo possível até em áreas de solos arenosos, que possuem baixa matéria orgânica.

### **2.3 Microrganismos promotores de crescimento de plantas**

Novos métodos tecnológicos têm sido criados e exercidos nas plantações para proteger a cultura, aumentar a produtividade e proporcionar solo cultivável. Nesse caso, a biotecnologia possui um viés microbiológico, ao prover isolados microbianos que auxiliam nos campos da agricultura, indústria e até medicina (YADAV, 2018). Especificamente na biotecnologia microbiológica na área da agricultura, identificam-se fungos e bactérias capazes de fornecer exsudatos às plantas em uma relação simbiótica, o que leva ao crescimento da parte aérea e radicular, aumento na produtividade, biofertilização, controle de fitopatógenos, resistência e tolerância a estresses (a)bióticos (YADAV, 2018).

Trabalhos como os de Alori, Glick e Babalola (2017), que estudaram os Microrganismos Solubilizadores de Fósforos (MSF), constataram, por meio de uma revisão de literatura, as bactérias e os fungos com potencial solubilizador. Por um lado, o P é um nutriente essencial para o crescimento e a produtividade das plantas, cuja deficiência geralmente se justifica pela baixa mobilidade e por fenômenos de fixação no solo; por outro lado, a aplicação de fosfato em excesso causa danos ambientais (KANG et al., 2011). Além disso, a deposição de fertilizantes no solo nem sempre fornece o P primordial aos vegetais, o que demonstra a necessidade de microrganismos para auxiliar em sua solubilização, principalmente os inorgânicos. Há, pois, amplos benefícios na utilização de microrganismos solubilizadores de fosfato, pois, além de promoverem crescimento e desenvolvimento das plantas, alguns podem competir e inibir (antibiose) contra os fitopatógenos, o que perfaz o biocontrole destes e evita o emprego de defensivos agrícolas (CHET, 1987; TALLAPRAGADA; GUDIMI, 2011; ALORI; GLICK; BABALOLA, 2017).

A atuação de microrganismos nos estresses abióticos é frequentemente explorada na ciência devido às mudanças climáticas. Grover et al. (2010) argumentam sobre o papel dos microrganismos em estresse abióticos decorrentes das mudanças climáticas, como baixas/altas temperaturas e/ou escassez de água. Eles discutem que a simbiose de bactérias e fungos com as plantas fornece exsudatos e estimula os hormônios dos vegetais

para defesa e resistência a estresses. Em outra perspectiva, White, Sayer e Gadd (1997) analisaram a propriedade de bactérias redutoras de sulfato que solubilizam e imobilizam os metais tóxicos que contaminam água e solo, ao realizarem a bioprecipitação (quando se tornam corpos hídricos) e a biolixiviação em solos. Também notaram o potencial de quelantes fúngicos, oriundos de metabólitos microbiológicos, para a solubilização de metais.

Outro estudo verificou a capacidade do fungo endofítico *Piriformospora indica* para indução de tolerância à seca e salinidade nas plantas. Os autores constaram que *P. indica* possui um importante papel na tolerância e adaptação de vegetais submetidos a estresse hídrico e salino, o que ocasiona a formação de enzimas antioxidantes, uma melhora na taxa fotossintética e o consequente crescimento das plantas; por conseguinte, é um microrganismo de potencial comercial para favorecer a agricultura de modo sustentável, quando há temporadas de veranicos, seca e salinidade (MAIA et al., 2020).

Em relação ao estresse biótico, foi verificada a presença de Compostos Orgânicos Voláteis Microbianos (mCOVs) que liberam sinais químicos para defender o vegetal de estresses bióticos. Singh et al. (2021) avaliaram o potencial de *Trichoderma viride* BHU-V2 em inibir o crescimento do patógeno *Sclerotium solfsii* em plantas de quiabo. Eles citam que, no solo, *T. viride* libera os COVs, os quais atuaram no mecanismo de defesa da planta em uma cascata de sinalização por meio de atividades enzimáticas, o que influencia o crescimento e a biomassa vegetal, o teor de clorofila e as defesas sistêmicas das plantas, além de haver o biocontrole do fitopatógeno. Moraes, Ferraz e Chapla (2020) corroboram o estudo anterior, ao ressaltarem que a produção de COVs a partir de fungos endofíticos é comumente usada para a micofumigação, que compreende a mistura de COVs para realizar o biocontrole contra fitopatógenos resistentes ou como alternativa aos pesticidas.

Para a análise do potencial e a atividade microbiológica na rizosfera, o método reconhecido é a utilização de solo rizosférico, ou seja, que se encontra próximo às raízes. No entanto, não há consenso sobre até onde se deve coletar para obtenção do referido; porém, de acordo com os trabalhos subsequentes, esse solo é aderido nas raízes ou onde existe maior concentração de raízes no meio.

Sob esse viés, Li et al. (2018), em um experimento de replantio e esterilização de solo, aplicaram o método de Luan et al. (2009), para quem o solo rizosférico é coletado entre 0 e 4 mm do solo restante nas raízes após a leve sacudida da planta para a retirada

do excesso. Enquanto isso, Pantigoso et al. (2019), em um experimento com mirtilo, utilizaram cerca de 30 gramas de solo por planta, retiraram-na do vaso, a sacudiram levemente para retirar o solo aderido às raízes e o consideraram rizosférico. E, nesse ínterim, Carabalí et al. (2020), em um experimento com cádmio, coletaram uma grama do solo a 5 cm de profundidade do solo que restou nas raízes. Entre tais autores, identifica-se que o solo rizosférico se adere às raízes, como ressaltado por Garcia, Roldan e Hernandez (2005) e, por meio dele, é possível extrair o Ácido Desoxirribonucleico (DNA) dos microrganismos existentes para analisar a frequência e diversidade dos que compõem a comunidade microbiana em determinado solo, bem como certificar se são passíveis de solubilização de fosfato, importante nutriente para as plantas.

Quanto ao uso de inoculantes, a revisão feita por Mawarda et al. (2020) refletiu sobre o potencial dos inoculantes em incidir nas comunidades microbianas residentes, em que podem afetar, positiva ou negativamente, a composição da comunidade microbiana residente. Isso pode ocorrer devido à antibiose que consiste em secreção ou compostos químicos com potencial de eliminar os microrganismos residentes no solo; aos exsudatos, em que o microrganismo inoculado incentiva a mudança dos exsudatos liberados pelas raízes das plantas e influencia na composição da comunidade microbiana residente; ao sinergismo, no qual os microrganismos residentes sob a interferência do inoculo podem ter comunidades crescidas, assim como criar uma dependência com os inóculos ao se sujeitarem ao funcionamento inadequado ou à existência delas na ausência do inóculo; e à competição entre microrganismos em busca de recursos (MAWARDA et al., 2020). Tais autores reforçam a necessidade de avaliar a interferência dos inóculos nas comunidades existentes por meio de metagenômica e elucidar o papel desses microrganismos no solo.

### **2.3.1 Endofitismo**

A infecção por endofitismo é onipresente nas plantas terrestres e em algumas aquáticas – é assintomática e interna, mas atua como simbiontes em uma relação entre microrganismo e planta (STONE; BACON; WHITE JR., 2000). Sendo assim, os endófitos possuem maior potencial para aquisição e exploração de metabólitos secundários e enzimas atuantes em diversas funções, como aquisição e disponibilidade de nutrientes, sinalização e defesa, além de influenciar o metabolismo do hospedeiro (SALVATORE; ANDOLFI; NICOLETTI, 2020; LUDWIG-MÜLLER, 2015).

Em um estudo com bananeiras infectadas por nematoides, havia diversos tipos de fungos e bactérias endofíticas a partir das raízes contaminadas. Entretanto, foi observada maior abundância de bactérias em detrimento aos fungos, o que sugere que aquelas possuem maior potencial de biocontrole de nematoides do que estes. Nesse caso, três bactérias foram dominantes e houve uma cepa de linhagem CA para o controle biológico. Por fim, os autores indicaram a utilização de microrganismos endofíticos devido ao potencial de biocontrole para diminuir a necessidade de agrodefensivos no meio ambiente (SU et al., 2017).

Por seu turno, outra pesquisa descreveu a relação da diversidade e produtividade em gramínea festuca, com uma correlação fortemente negativa nesse contexto. Isso pode ser ocasionado, evidentemente, pela presença de fungos endofíticos que fomentam a competitividade no ecossistema microbiológico (RUDGERS; KOSLOW; CLAY, 2004).

Enquanto isso, Schulz et al. (2002) ressaltaram os metabólitos secundários produzidos por fungos endofíticos e seu potencial para regular o controle de patógenos que pode inibir algumas atividades das plantas hospedeiras como a fotossíntese. Tais fungos podem produzir enzimas para facilitar a penetração e colonização nas referidas plantas, fomentar uma associação mutualística com elas e reduzir a infecção patogênica. O equilíbrio entre o fungo endofítico, planta hospedeira e fitopatógeno é sensível às variáveis e facilmente perturbado; no entanto, os autores recomendam biótopos que podem trazer maiores índices de garantia e segurança no controle de fitopatógenos e dos demais potenciais.

### **2.3.2 *Trichoderma***

Fungos do gênero *Trichoderma* pertencem à família Hyphomycetaceae e são encontrados comumente na rizosfera – os *Trichoderma* s, em especial, são encontrados em solos florestais e agrícolas, sobretudo. Sua difícil identificação se deve às semelhanças morfológicas entre espécies do gênero supramencionado. Tal fungo é caracterizado pelo rápido crescimento, e os conídios possuem pigmento verde brilhante e são ramificados de modo repetido (ZIN; BADALUDDIN, 2020).

Alguns fungos endofíticos do gênero *Trichoderma* possuem maior potencial na fitorremediação, em biodefensivos, na resistência e/ou promoção de tolerância a estresses (a)bióticos das plantas (DRUZHININA et al., 2011; YADAV, 2018; SINGH et al., 2021). Eles são estudados para integrar a cadeia de microrganismos benéficos e serem

empregados na agricultura sustentável, para conhecer a interação entre ambiente (solo), planta e microrganismos (BUSBY et al., 2017). Ressalta-se a imprescindibilidade de entender onde estes últimos estão alocados, pois a biota pode interferir em suas atividades, assim como o solo disposto a eles.

Tal gênero tem maior importância para agricultura, cujo uso é essencial para a produtividade da colheita, em virtude de seu potencial de crescimento e da atividade de biocontrole de doenças (ZIN; BADALUDDIN, 2020). Nesse prisma, Tallapragada e Gudimi (2011) identificaram o potencial de algumas espécies de *Trichoderma* como solubilizadores de nutrientes, principalmente o P, ao fornecê-lo à planta, além do nitrogênio (N). Atrelado ao crescimento dos vegetais, o estudo com eucalipto levou ao uso de *T. asperellum* como base de um condicionador de solo para crescer de fato – como resultado do experimento, houve maiores incrementos no crescimento de diâmetro e no tamanho das plantas (SILVA et al., 2017). Salienta-se, pois, que essa promoção não é a principal finalidade de um condicionador de solo, mas uma precursora, dado que sua função inicial é influenciar nas propriedades biológicas para haver um melhor meio à cultura (SILVA et al., 2017).

No estudo de Zhang et al. (2018), demonstrou-se o potencial do *Trichoderma* como condicionador em gramíneas e pastagens, no qual concluíram que o biofertilizante (esterco de gado) e um microrganismo do gênero *Trichoderma* obtiveram maior efeito em crescimento, biomassa de gramíneas, favoreceram o microbioma e a troca de exsudatos no solo e potencializaram a solubilização de P às plantas e a atividade micoparasitária. Cumpre afirmar que a abordagem relativa ao emprego de biofertilizantes para gramíneas e pastagens é pouco elucidada na literatura.

Justifica-se o papel de micoparasitismo dos *Trichoderma*, como mencionam Inbar e Chet (1996), pelo comportamento antagônico dos microrganismos aos fungos patogênicos, mas com um papel funcional no biocontrole de fitopatógenos. Os autores buscaram estruturar e elucidar esse caminho de resposta e informaram que os fungos do gênero *Trichoderma* secretam compostos enzimáticos e adesivos para invadir a célula hospedeira, ao executarem uma função específica na cascata de resposta contra o fitopatógeno para formação de estruturas infecciosas.

Na investigação de Gómez-Rodriguez et al. (2018), compreendeu-se que, apesar da inibição da histona desacetilase e da consequente redução no crescimento e potencial de atividade de *T. atroviride*, foi identificada a atividade de micoparasitismo, ou seja,

antagônica contra o fitopatógeno *Rhizoctonia solani* e a produção de metabólitos secundários para exercer o biocontrole. Em outro estudo, quando inoculados os conídios de duas linhagens de *T. harzianum* nas folhas infectadas por um patógeno, esse microrganismo possui o potencial mitigador que produz protease, a qual consegue degradar as enzimas produzidas pelo patógeno que destrói a parede celular das plantas; por conseguinte, *T. harzianum* reduz os danos promovidos pelo patógeno, a atividade e a capacidade de infectar o vegetal (MACHADO et al., 2012).

Em se tratando dos fungos condicionares do solo, Kamal et al. (2018) asseveram que as espécies mais usadas para esse fim são *T. harzianum*, *T. viride*, *T. reesi*, *T. polysporum*, *T. koningii*, *T. harzianum* e *T. viride*, as quais serão elencadas nos próximos subtópicos.

### **2.3.3 *Trichoderma atroviride***

O fungo *Trichoderma atroviride*, de forma generalizada, evidencia atividades otimistas para a agricultura sustentável, ao atuar nas áreas de biocontrole de fitopatógenos e crescimento da cultura. Contreras-Cornejo et al. (2018) investigaram que tal fungo induz à produção de mCOVs, que, a depender das concentrações às quais as larvas do cartucho (*Spodoptera frugiperda*) eram expostas, diminuía a alimentação das folhas de milho ou até levavam à sua morte.

Em outro estudo, os autores concluíram que, nos tomates tratados com o fungo *Trichoderma atroviride*, ocorreu o crescimento das plantas e a liberação de exsudatos que inibiram as atividades do fitopatógeno *Phytophthora cinnamoni* (MACÍAS-RODRÍGUEZ et al., 2018) – no que concerne à competitividade, houve um rápido aumento na quantidade desse fungo no solo, o que ocasionou maior potencial de atividade na simbiose com a planta. E Salas-Marina et al. (2011) examinaram, na planta-modelo *Arabidopsis*, a interação de *T. atroviride* em suas raízes, visto que tal microrganismo colonizou a região e produziu fitormônios para o crescimento radicular e foliar do vegetal.

Chamme et al. (2021) sugerem uma novidade: o uso de *pallets* de madeira inoculados com *Trichoderma atroviride* SC1, que decompõe esse material e é liberado de acordo com a irrigação (o *pallet* irá absorver a água e, com o tempo, se desintegrará, ao passo que os pedaços de madeira se espalharão no solo). Além disso, favorecem-se a competitividade, a distribuição dos microrganismos e a redução de outros microrganismos, como os patógenos. Sendo assim, obtiveram-se resultados promissores quanto ao isolado

SC1, e os *pallets* de madeira são de fácil aquisição e encontrados em praticamente todos os lugares; logo, fomenta-se a entrega de espécies de *Trichoderma* para favorecer a qualidade do solo.

#### **2.3.4 Fungos Micorrízicos Arbusculares (FMA)**

Esses fungos micorrízicos simbióticos são os mais antigos e difundidos, ou seja, possuem uma relação benéfica com solo e planta, além de trocas de favores mútuos, como incentivo ao crescimento, absorção de nutrientes das plantas e maior interação com outros microrganismos solo (JOHANSSON; PAUL; FINLAY, 2004).

O termo “micorrizosfera” se origina dos fungos que se associam às raízes, o que corresponde a uma relação simbiótica com as plantas (RAMBELLI, 1973). No entanto, Johansson, Paul e Finlay (2004) contextualizaram esse conceito para a zona que contém as raízes e o fungo simbiótico, bem como acrescentaram outra expressão – “hifosfera” – para especificar somente a região com hifas fúngicas individuais. Como tais estruturas se estendem em todo o solo, ou seja, estão praticamente onipresentes na dimensão da rizosfera, os autores estendem novamente “micorrizosfera” a toda proporção de solo, não somente à localidade onde estão as raízes em simbiose com os fungos.

Wang et al. (2019), ao discorrerem acerca da importância dos FMA, citam que as plantas inoculadas com os fungos puderam atenuar o estresse salino submetido a elas por meio das disponibilizações de recursos fornecidos pelos fungos inoculados – os FMA possuem, portanto, o papel na mitigação do estresse abiótico à planta submetida. Além disso, tais fungos possuem função relevante na solubilização de nutrientes, principalmente P e N inertes e/ou disponíveis no solo, ao fornecerem, via hifas, recursos para as plantas se defenderem (ABREU et al., 2018) e para haver crescimento com ou sem inoculação (COSTA; MELLONI, 2019).

Em concordância a tais pressupostos, Romero-Arias et al. (2021) submeteram a soja a tratamentos com fertilizantes e inoculação de FMA, com o objetivo de identificar se as diferentes concentrações e a presença da micorriza acarretam diferenças morfoagronômicas nesse contexto. Aumentou-se o número de vagens nos tratamentos com inoculação de cepas de FMA, cujo uso pode reduzir o uso de fertilizantes como o NPK, mesmo que a combinação entre os dois promova maiores índices de rendimentos.

Um fator crucial para conseguir elevados rendimentos é o potencial dos FMA em serem disponibilizados na solução do solo, por possuírem maior cadeia de redes de hifas.

De acordo com Marschner e Dell (1994), as plantas hospedeiras são assistidas por três tipos de fungos micorrízicos: ectomicorrizas, ericoides e arbusculares. As hifas externas das micorrizas absorvem e fornecem nutrientes à planta, como, P, N, potássio (K), Zinco (Zn) e cobre (Cu). Além disso, fungos ectomicorrizas e ericoides podem produzir ectoenzimas, as quais permitem que as plantas hospedeiras tenham acesso às formas orgânicas de N e P (MARSCHNER; DELL, 1994).

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Instalação do ensaio

O experimento foi instalado em casa-de-vegetação no *Campus* Glória da Universidade Federal de Uberlândia (UFU), de 7 de dezembro de 2021 a 16 de fevereiro de 2022, o que corresponde ao período chuvoso no cerrado e coincide com a safra de verão.

Plantas de soja e de milho cresceram em vasos com 14 dm<sup>3</sup> de solo com os seguintes tratamentos: controle não inoculado em solos argiloso e arenoso; e aplicação do isolado fúngico *Trichoderma atroviride* ATROV 14 em ambos os solos. Sendo assim, se perfizeram quatro ensaios distintos em delineamento inteiramente casualizado com oito repetições para cada tratamento:

- Ensaio 1 – soja em solo argiloso
  - ✓ Controle, tratamento não inoculado em solo argiloso cultivado com soja;
  - ✓ *T. atroviride*, tratamento inoculado com *Trichoderma atroviride* ATROV14 em solo argiloso cultivado com soja.
- Ensaio 2 – milho em solo argiloso
  - ✓ Controle, tratamento não inoculado em solo argiloso cultivado com milho;
  - ✓ *T. atroviride*, tratamento inoculado com *Trichoderma atroviride* ATROV14 em solo argiloso cultivado com milho.
- Ensaio 3 – soja em solo arenoso
  - ✓ Controle, tratamento não inoculado em solo arenoso cultivado com soja;
  - ✓ *T. atroviride*, tratamento inoculado com *Trichoderma atroviride* ATROV14 em solo arenoso cultivado com soja.
- Ensaio 4 – milho em solo arenoso
  - ✓ Controle, tratamento não inoculado em solo arenoso cultivado com milho;

- ✓ *T. atroviride*, tratamento inoculado com *Trichoderma atroviride* ATROV14 em solo arenoso cultivado com milho.

A empresa HTM Comércio e Laboratórios de Corretivos do Solo Ltda. (Laboratório Biosag®) forneceu o isolado fúngico. O solo argiloso foi coletado em um Latossolo Vermelho Ácrico típico, sobre Cobertura Detrito-Laterítica (18°56'45.13"S e 48°12'35.20"), e o arenoso em um Latossolo Amarelo Distrófico típico psamítico, sobre arenito da Formação Marília (18°58'10.00"S e 48°12'29.53"O) (Tabela 1). Antes dos ensaios, os solos foram peneirados em malha de 4 mm. Foram adicionados 0,381 g dm<sup>-3</sup> de carbonato de cálcio no solo argiloso e 0,738 g dm<sup>-3</sup> no solo arenoso para correção de pH e fornecimento de Ca. Aplicou-se 0,667 g dm<sup>-3</sup> de fosfato natural no solo argiloso e 0,667 g dm<sup>-3</sup> no solo arenoso. Aplicou-se 1,380 g dm<sup>-3</sup> de ureia dissolvida em água destilada no solo argiloso e 1,380 g dm<sup>-3</sup> no solo arenoso antes da semeadura, e 25 e 42 dias após emergência das sementes.

**TABELA 1** –Análise química e de textura de Latossolo Vermelho Ácricotípico de textura argilosa e Latossolo Amarelo Distrófico típico psamítico de textura arenosa utilizados nos ensaios com soja e milho recebendo aplicação de *Trichoderma atroviride*.

P	Ca	Mg	K	Al	H+Al	t	T	pH	V	m	Areia	Silte	Argila
mg dm <sup>-3</sup>	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>							1:2,5	%	g kg <sup>-1</sup>			
<i>Latossolo Vermelho Ácrico típico</i>													
11,5	2,17	1,17	0,23	0,1	4,73	3,67	8,3	5,1	43	3	250	100	650
<i>Latossolo Amarelo Distrófico típico</i>													
1	1,9	0,56	0,03	0,3	4,63	2,79	7,17	5,2	35	11	700	100	200

P, fosforo; Ca, cálcio; Mg, magnésio; K, potássio; Al, alumínio; H+Al, acidez potencial; pH, potencial hidrogeniônico; t, CTC efetiva; T, CTC pH 7,0; V%, saturação por base; m%, saturação por alumínio.

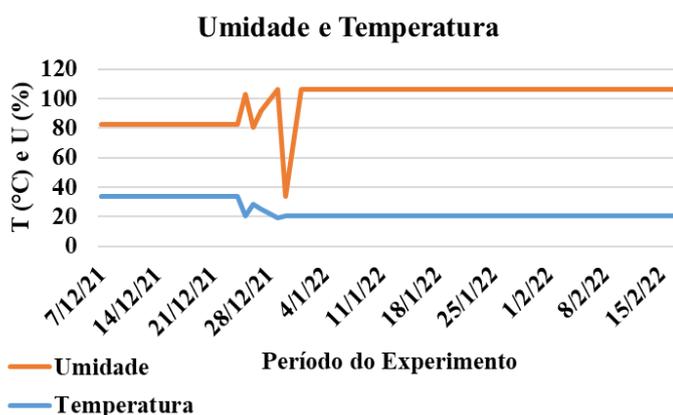
As sementes de milho foram do cultivar Pioneer 3754 PWU PowerCore Ultra (P3754PWU, combinação das tecnologias Agrisure Viptera®, VT PRO 3®, Herculex® e Roundup Ready™ Milho 2- tratadas) – safra 2019/2021, fornecidas pelo professor Maurício Martins; e as de soja se originam do cultivar 4040 FOCO (não tratadas), fornecidas pelo professor Hugo Catão, do Laboratório de Produção e Tecnologia de Sementes da UFU.

O experimento foi coletado quando se atingiu o pleno florescimento: no estágio fenológico reprodutivo R1 a R2 no milho; e R2 na soja. Foram coletados o solo, a parte aérea e as raízes. No solo rizosférico, associado às raízes, determinaram-se as atividades das enzimas fosfatase,  $\beta$ -glicosidase, arilsulfatase, hidrólise do diacetato de fluoresceína (FDA), carbono da biomassa, respirometria e a fertilidade do solo (pH, C-orgânico, N, P, S, Ca, Mg, K, Al e H+Al). Nas raízes, se determinou a colonização por fungos micorrízicos arbusculares (FMA).

### 3.2 Temperatura e umidade

A temperatura e a umidade foram mensuradas de 7 de dezembro de 2021 a 17 de fevereiro da 2022 por meio do termo-higrômetro Modelo-Prolab STH-122 no fim de tarde. O experimento sucedeu no período de chuva no cerrado; logo, notaram-se a diminuição na temperatura e o aumento da umidade no decorrer dos meses: no início do experimento, ambos estavam a  $33,8 \pm 1$  °C e 49%, respectivamente, e, ao final,  $20,6 \pm 1$  °C e 86% (Figura 1).

**FIGURA 1** – Medição da umidade e temperatura ambiente de 07 de dezembro de 2021 a 17 de fevereiro de 2022, que corresponde ao período do experimento com ensaios de milho e soja crescendo sobre solo argiloso e arenoso em casa-de-vegetação. Linha laranja corresponde a umidade (U) em porcentagem (%) e a linha azul corresponde a temperatura (T) em Celcius (°C). Sendo a umidade de 49 a 86 % e temperatura de 19,5 a  $33,8 \pm 1$  °C.



Linha laranja corresponde a umidade (U) em porcentagem (%) e a linha azul corresponde a temperatura (T) em Celcius (°C). Sendo a umidade de 49 a 86 % e temperatura de 19,5 a  $33,8 \pm 1$  °C.

Também se constatou que as temperaturas mínima e máxima durante o experimento foram de 15,7 a 17,1 ± 1 °C e 42,1 a 40,8 ± 1 °C, respectivamente; e, quanto às umidades mínima e máxima no mesmo contexto, de 49 a 86%.

### **3.3 Aplicação de *Trichoderma atroviride***

A aplicação do isolado fúngico no solo se deu em três momentos: na semeadura com aplicação sobre sementes e no sulco da semeadura, e pulverizado aos 14 dias e 28 dias após a semeadura de soja e milho. A determinação da concentração de conídios foi realizada em Câmara de Neubauer, com a dose para suspensão de 10<sup>6</sup> mL<sup>-1</sup>. Então, se padronizou uma suspensão contendo cerca de 10<sup>6</sup> conídios mL<sup>-1</sup> para aplicação do isolado fúngico.

As sementes foram previamente esterilizadas em NaClO 1% por três minutos (LOPEZ; SWORD, 2015) e, em seguida, realizou-se uma lavagem tríplice com água destilada e secagem em papel filtro ao ar livre por 30 minutos. Logo, 1 mL da suspensão de conídios foi aplicado a cada 100 sementes, para o tratamento com o isolado fúngico, e homogeneizado com o auxílio de um bastão de vidro. Para o tratamento controle, 1 mL de água destilada foi aplicado a cada 100 sementes. Depois da homogeneização, armazenaram-se as sementes em geladeira a 4° C por uma noite ou até a semeadura nos vasos.

Aplicou-se 1 mL por sulco da suspensão de esporos por meio de micropipeta no momento da semeadura. A aplicação no solo aos 14 e 28 dias após semeadura foi de 80 mL da suspensão de conídios por vaso. Para isso, os vasos do tratamento *T. atroviride* foram retirados da casa-de-vegetação para afastamento dos vasos do tratamento controle.

### **3.4 Crescimento vegetal**

Após a coleta no estágio de florescimento, a massa seca da parte aérea e das raízes foi determinada após secagem a 60 °C até atingir uma massa constante.

### **3.5 Fertilidade do solo**

O solo rizosférico foi coletado pelo desprendimento manual para determinar o pH, o potencial de acidez, os macronutrientes, os micronutrientes, e o carbono orgânico, conforme os métodos a seguir.

### **3.5.1 pH em água (1:2,5)**

Mensurou-se o pH a partir de 10 g de solo colocados em recipiente plástico, juntamente com 25 mL de água destilada (H<sub>2</sub>O). A solução foi agitada por 15 minutos a 220 rpm e, posteriormente, deixada em repouso por 45 minutos. Calibrou-se o pHmetro com soluções tampão 4,0 e 7,0; as amostras foram agitadas com um bastão, e o eletrodo, introduzido para fazer a leitura (SILVA, 2009).

### **3.5.2 H+Al**

Empregou-se o método do pH em tampão SMP para determinar o teor de H+Al. Em 10 g de solo em recipientes plásticos, foram adicionados 25 mL de solução de cloreto de cálcio (CaCl<sub>2</sub>.2H<sub>2</sub>O; 0,01M) e 5 mL de solução tampão SMP (pH 7,5). Os recipientes foram agitados por 15 minutos a 220 rpm e, depois, ficaram em repouso por 45 minutos. Após esse período, inseriu-se um eletrodo nas amostras para realizar a leitura (SILVA, 2009).

### **3.5.3 Alumínio**

Para a extração de Al, foram pesados 5 g de solo, colocados em recipiente plástico, com a adição de 50 mL de solução de cloreto de potássio (KCl; 1M). Os recipientes ficaram sob agitação por 15 minutos a 220 rpm e, depois, estiveram em repouso por 24 horas. Foram pipetados 25 mL da solução de extração de cada amostra e colocados no Frasco de Erlenmeyer, no qual se adicionaram quatro gotas de azul de bromotimol. As amostras foram tituladas com hidróxido de sódio (NaOH; 0,025M), até a solução mudar de cor (SILVA, 2009).

### **3.5.4 Cálcio e magnésio**

Para extração de Ca e Mg, foram pesados 5 g de solo e colocados em recipiente plástico juntamente com 50 mL de solução de cloreto de potássio (KCl, 1M). Agitaram-se as amostras por 15 minutos a 220 rpm e, posteriormente, foram deixadas em repouso por 24 horas. Então, pipetou-se 1 mL da solução extratora transferido para o tubo de ensaio, no qual se adicionaram 9 mL de óxido de lantânio 0,5%. A leitura das amostras foi feita em espectrofotômetro de absorção atômica (SILVA, 2009).

### 3.5.5 Enxofre

O enxofre (S) foi determinado via ICP-OES e extraído por acetato de amônio, juntamente com ácido acético da Safrar Análises Agrícolas.

### 3.5.6 Fósforo e potássio

Para as análises de P e K, foram pesados 5 g de solo, colocados em recipientes plásticos com tampa. Então, se adicionaram 50 mL de solução extratora Mellich ( $H_2SO_4$  0,025M e HCl 0,05M), agitados por 15 minutos a 220 rpm e, depois, deixados em repouso por aproximadamente 24 horas.

A análise das amostras para o cálculo de K foi feita com a leitura em fotômetro de chama; e, na análise do P, foram pipetados 5 mL da solução em béquer e adicionados 5 mL da solução complexo B (molibdato de amônio e ácido ascórbico). As amostras ficaram em repouso por 45 minutos e, em seguida, a leitura foi realizada a 725 nm em espectrofotômetro (SILVA, 2009).

### 3.5.7 Boro

Empregou-se o método de microelementos com extração Mehlich modificado para determinação da concentração de B no solo (TEIXEIRA et al., 2017). Pesaram-se 5 g de solo colocados em um tubo de Falcon de 50 mL, com a adição de 25 mL de solução extratora de Mehlich -1. Agitou-se por cinco minutos em agitador mecânico horizontal, com filtragem imediata da suspensão. Em seguida, determinou-se o micronutriente por espectrometria de absorção atômica de chama por meio de lâmpada apropriada para esse elemento e conforme este cálculo:

$$\text{microelemento}(\text{mgkg}^{-1}) = L \times 5.$$

Em que:

L é a leitura do extrato em  $\text{mg L}^{-1}$ .

Valor 5 equivale a 200/40 (200 da mudança de 5 g para 1 kg de solo e 40 da divisão de 1.000 mL para a alíquota de 25 mL).

### 3.5.8 Cobre, ferro, manganês e zinco

Nesse caso, aplicou-se o método de microelementos com extração DTPA (TEIXEIRA et al., 2017), com a pesagem de 10 g de solo colocados em uma vidraria de

50 mL. Adicionaram-se 20 mL da solução extratora DTPA agitadas por duas horas em agitador mecânico orbital a 220 rpm, com filtragem imediata da suspensão. No filtrado, determinaram-se os micronutrientes por espectrometria de absorção atômica de chama por meio de lâmpadas apropriadas para cada elemento ou por espectrometria de emissão ótica com plasma acoplado indutivamente (ICP-OES). Para tanto, realizou-se o seguinte cálculo:

$$\text{microelemento(mgkg}^{-1}\text{)} = L \times 5.$$

Em que:

L é a leitura do extrato em mg L<sup>-1</sup>.

Valor 5 equivale a 200/40 (200 da mudança de 5 g para 1 kg de solo e 40 da divisão de 1.000 mL para a alíquota de 25 mL).

### **3.5.9 Carbono orgânico total**

Nesta análise, foi pesado 1 g de cada uma das amostras de solo, colocadas em recipiente plástico com 10 mL da solução digestora sulfocrômica (Na<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>·2H<sub>2</sub>O, 4M + H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, 10M). As amostras foram agitadas por 15 minutos a 170 rpm e, posteriormente, deixadas inertes por uma hora. Após esse período, acrescentaram-se 50 mL de água destilada e os frascos ficaram em repouso por 24 horas, para haver a decantação. A leitura do resultado foi feita em espectrofotômetro a 650 nm (SILVA, 2009).

### **3.6 Biologia do solo**

Nesta verificação, consideraram-se alguns indicadores de qualidade do solo, como respirometria do solo, b-glicosidase, fosfatase, arissulfatase e FDA (TABATABAI, 1994; TAHAT et al., 2020) a partir do solo rizosférico coletado em consonância ao desprendimento do solo das raízes (GARCIA, ROLDAN; HERNANDEZ, 2005).

#### **3.6.1 Colonização por fungos micorrízicos arbusculares**

Estruturas fúngicas internas às raízes foram coradas pelo método de Vierheilig e Piché (1998). Lavaram-se as raízes em água corrente para retirada do solo, cortadas em fragmentos de 2 cm no terço superior, médio e inferior do sistema radicular e colocadas em cassetes histológicos que, na clarificação da raiz, foram imersos em KOH 10% por 16

horas (geralmente pernoite). A solução foi renovada; os cassetes, incubados a 60 °C por 10 minutos; e as raízes, lavadas e colocadas em solução de HCl a 1% para acidificação. Por fim, as estruturas fúngicas foram coradas a 90 °C por três minutos com uma solução de 5% de tinta de caneta Parker<sup>®</sup> comercial, 5% de ácido acético e 10% de lactoglicerol.

Determinou-se a porcentagem de comprimento de raiz colonizada por FMA pelo método de intersecção de linhas de grade proposto por Giovannetti e Mosse (1980) em um microscópio estereoscópio.

### **3.6.2 Carbono da biomassa microbiana**

O carbono da biomassa foi determinado pela adaptação do método de fumigação-extração descrito por Vance et al. (1987). Colocou-se uma porção de solo em béqueres, e os que possuíam triplicatas fumigadas se inseriram em dessecador forrado com papel filtro umedecido com água – no centro dele, colocou-se um recipiente com clorofórmio. Uma bomba de vácuo acoplada ao dessecador retirou todo o ar e o selou para ser posteriormente armazenado em local escuro por 24 horas.

O C foi extraído em todas as amostras (fumigadas e não fumigadas) com 40 mL de solução de sulfato de potássio ( $K_2SO_4$ ; 0,5M), sob agitação a 150 rpm durante 30 minutos – filtrou-se o extrato após a decantação. Para a quantificação do dicromato, 8 mL do extrato foram colocados em tubo de Falcon, com o acréscimo de 2 mL de dicromato de potássio ( $K_2Cr_2O_7$ ; 0,0667M) e 15 mL da mistura de ácido sulfúrico/fosfórico ( $H_2SO_4/H_3PO_4$ ; 2:1). Essa solução foi colocada em banho-maria a 100 °C por 30 minutos.

Após esfriar, transferiu-se a solução para tubos de Falcon de 50 mL, e 20 mL de água destilada foram adicionados até completar 45 ml de solução. Acrescentaram-se sete gotas do indicador ferroína, e a titulação ocorreu com sulfato ferroso amoniacal até a solução atingir uma coloração vermelha intensa.

### **3.6.3 Respirometria do solo**

A respirometria foi calculada pela quantidade de  $CO_2$  liberado pelo solo, de acordo com a metodologia descrita por Stotzky (1965). Colocou-se uma porção de 100 g de solo em frascos herméticos, cuja umidade foi ajustada para 60% da capacidade de retenção de água, fecharam-se os frascos e os armazenaram em local escuro durante seis dias para a microbiota se aclimatar de fato. No sétimo dia, copos descartáveis com 10 mL de

hidróxido de sódio (NaOH; 1M) foram colocados em cada frasco, para o NaOH reagir com as moléculas CO<sub>2</sub> liberadas.

A primeira leitura ocorreu após 24 horas, com a retirada dos copos plásticos dos frascos e a adição de 5 mL de cloreto de bário (BaCl<sub>2</sub>.2H<sub>2</sub>O; 1M), juntamente com três gotas de fenolftaleína (1%). O NaOH residual foi estipulado pela titulação com ácido clorídrico (HCl; 0,5M), e a determinação do CO<sub>2</sub> por esse procedimento aconteceu às 24h, 84h, 11, 21, 28, 35, 42 e 49 dias depois da incubação.

#### **3.6.4 Atividade de β-glicosidase**

A atividade da β -glicosidase foi determinada de acordo com o método descrito por Tabatabai (1994), ao colocar 1 g de solo em tubos Falcon e adicionar 0,25 mL de tolueno, 4 mL de tampão modificado universal (TMU) pH 6 e 1 mL de p-nitrofenol-β-D-glicopiranosídeo (PNPG, 0,05M, Sigma). Os frascos foram agitados rapidamente, tampados e colocados em banho-maria por uma hora a 37 °C; em seguida, retiraram-se as tampas para adicionar 1 mL de cloreto de cálcio (CaCl<sub>2</sub>; 0,5M) e 4 mL do tampão tris (hidroximetil) aminometano (THAM, 0,1M, pH12). Por fim, os frascos foram agitados, e a suspensão do solo, centrifugada.

Para os controles, adicionou-se 1 mL do PNPG após o acréscimo de 1 mL de CaCl<sub>2</sub> e 4 mL de THAM antes da centrifugação. A leitura ocorreu em espectrofotômetro a 410 nm, baseada em uma curva padrão de p-nitrofenol.

#### **3.6.5 Atividade de fosfatase ácida**

A atividade de fosfatase ácida também foi determinada de acordo com a metodologia de Tabatabai (1994). Para a análise, acrescentaram-se 1 g de solo, 0,2 mL de tolueno, 4 mL de tampão acetato (0,5M, pH 5,8) e 1 mL de solução padrão de p-nitrofenol fosfato (PNP, 0,05M, Sigma) em tubo Falcon. Depois, os tubos foram agitados rapidamente, tampados e incubados por uma hora a 37 °C.

Depois de uma hora, adicionaram-se 1 mL de cloreto de cálcio (CaCl<sub>2</sub>; 0,5M) e 4 mL de hidróxido de sódio (NaOH; 0,5M) em todos os tubos agitados, e a suspensão foi filtrada. Para os controles, se adicionaram 1 ml de CaCl<sub>2</sub>, 4 ml de THAM e 1 mL de PNP antes da centrifugação. A leitura em espectrofotômetro foi a 410 nm e se fundamentou em uma curva padrão de p-nitrofenol.

### 3.6.6 Atividade de arilsulfatase

Analisou-se esse tipo de atividade conforme o método descrito por Tabatabai (1994). Para isso, colocaram-se 1 g de solo, 0,25 mL de tolueno, 4 mL de tampão acetato (0,5M, pH 5,8) e 1 mL da solução padrão de p-nitrofenol sulfato (PNS, 0,05M, Sigma) nos tubos Falcon, os quais foram agitados rapidamente, tampados e colocados em banho-maria por uma hora a 37 °C.

Subsequentemente, retiraram-se as tampas e se adicionaram 1 mL de cloreto de cálcio (CaCl<sub>2</sub>; 0,5M) e 4 mL de hidróxido de sódio (NaOH; 0,5M) para agitar os frascos foram e filtrar a suspensão. Para os controles, adicionaram-se 1 mL de CaCl<sub>2</sub>, 4 mL de THAM e 1 mL do PNS antes da filtração. As amostras foram lidas em espectrofotômetro a 410 nm, de acordo com uma curva padrão de p-nitrofenol.

### 3.6.7 Atividade da hidrólise do diacetato de fluoresceína (FDA)

A hidrólise do Diacetato de Fluoresceína (FDA) foi determinada pelo método proposto por Adam e Duncan (2001), com a pesagem de 2 g de solo colocados em tubo Falcon (50 mL) e a adição de 15 mL de tampão fosfato de potássio (pH 7,6), 0,2 mL da solução de FDA (Sigma) nas amostras e 0,2 mL de acetona nos controles. A solução foi levada ao banho-maria por uma hora a 30 °C e, após esse intervalo, acrescentaram-se 15 mL de solução de extração clorofórmio/metanol (2:1) em todos os tubos, os quais foram agitados e colocados novamente em banho-maria por mais 10 minutos a 30 °C. Prepararam-se microtubos com capacidade de 2 mL, com 1 mL da solução de diluição tampão/metanol (3:1) – aqui se adicionaram 1 mL da solução retirada do banho-maria. Os microtubos foram centrifugados por cinco minutos a 10.000 rpm, e as amostras, lidas a 490 nm em espectrofotômetro, segundo a curva padrão de fluoresceína de sódio.

### 3.7 Análises estatísticas

Os quatro ensaios foram dispostos em delineamento inteiramente casualizado com ou sem inoculação do *Trichoderma atroviride* e oito repetições para os dois tipos de textura de solo (arenoso e argiloso). Submeteram-se os dados ao programa ACTION 2.9, o qual usa a estatística R, e a ocorrência de *outliers* foi testada em gráficos *boxplot*.

Após isso, testou-se a homogeneidade das variâncias dos tratamentos (teste de Levene,  $p > 0,05$ ) e, quando se verificou a heterogeneidade, foi empregado o teste de

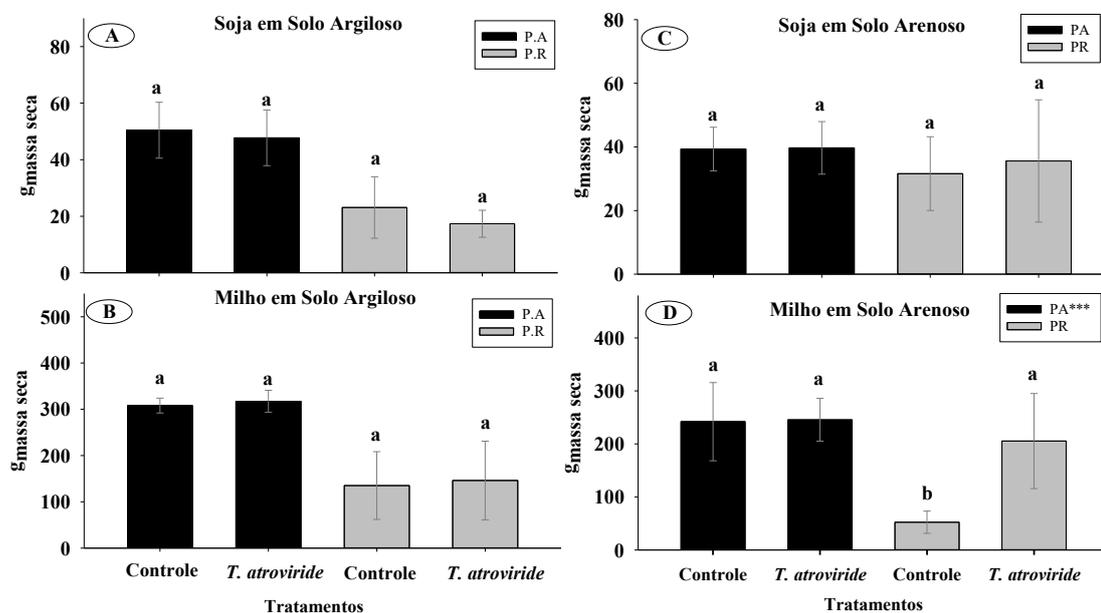
Welch – com a ocorrência de dados homogêneos, realizou-se o teste ANOVA para avaliar os pressupostos de aditividade, normalidade e independência. Os dados paramétricos foram submetidos ao teste de médias Tukey ( $p < 0,05$ ), ao passo que as variáveis não paramétricas passaram pelo teste de Kruskal-Wallis ( $p < 0,05$ ), seguidas da comparação múltipla das médias pelo teste de Dun. Para os gráficos, empregou-se o programa SigmaPlot 14.0.

## 4. RESULTADOS

### 4.1 Crescimento vegetal

Nos ensaios em solo argiloso cultivados com soja ou milho e naqueles realizados no arenoso cultivado com soja, os tratamentos não apresentaram diferenças entre si para a massa seca da parte aérea (FIGURAS 2A, B e C, barras pretas) e das raízes (barras cinzas). Por outro lado, no ensaio em solo arenoso cultivado com milho, a aplicação de *T. atroviride* resultou em um incremento de 292,61% na parte radicular, em comparação ao controle (FIGURA 2D, barra cinza).

**FIGURA 2** – Crescimento vegetal, composto por massa seca da parte aérea e raízes de plantas não inoculadas e inoculadas com *Trichoderma atroviride* em dois tipos de solos e plantas. A, soja em solo argiloso. B, milho em solo argiloso. C, soja em solo arenoso. D, milho em solo arenoso.



P.A, parte aérea (colunas da esquerda). P.R, raiz (colunas da direita). Controle, tratamento não inoculado (barras da esquerda preta e cinza, respectivamente). *T. atroviride*, tratamento inoculado com *T. atroviride* ATROV14 (barras da direita preta e cinza, respectivamente). Médias seguidas de mesma letra não se diferem entre si (p-valor < 0,05, há diferença entre os tratamentos). Dados não paramétricos: \*\*\*Submetidos a log, significância 0,05

## 4.2 Fertilidade do solo

Nos ensaios cultivados com soja, os tratamentos de *T. atroviride* resultaram pH do solo mais baixo (4,88 no solo argiloso e 4,75 no solo arenoso) que o dos controles (5,32 no solo argiloso e 4,83 no solo arenoso) (TABELA 2). A soma de bases e a CTC foi menor no tratamento *T. atroviride* no ensaio em solo argiloso cultivado com soja.

Por outro lado, a aplicação de *T. atroviride* resultou em melhorias nos ensaios com milho. Houve aumento de matéria orgânica e CTC potencial no solo argiloso sob milho que recebeu aplicação do isolado fúngico (TABELA 2). Em solo arenoso sob milho, a aplicação do *T. atroviride* resultou em aumento do pH e diminuição de Al em comparação com os tratamentos controle.

**TABELA 2** – Fertilidade do solo nos ensaios em solo arenoso ou argiloso cultivado com milho ou soja.

<b>FERTILIDADE DO SOLO</b>						
<b>Parâmetro</b>	<b>pH H<sub>2</sub>O</b>	<b>V</b>	<b>m</b>	<b>H+Al</b>	<b>T</b>	<b>Al</b>
<b>Unidade</b>	<b>1:2,5</b>	<b>%</b>		<b>cmolc dm<sup>-3</sup></b>		
<b>Tratamento</b>						
<b>SOJA EM SOLO ARGILOSO</b>						
<b>Controle</b>	5,20±0,25a	47,00±2,05a	10,8±3,23a	4,82±0,55a	9,37±0,76a	0,53±0,17a
<b><i>T. atroviride</i></b>	4,88±0,25b	47,57±2,05a	11,5±3,23a	4,56±0,55a	8,52±0,76b	0,51±0,17a
<b>SOJA EM SOLO ARENOSO</b>						
<b>Controle</b>	5,10±0,14 a <sup>1</sup>	40,38±7,66 a <sup>2</sup>	10,43±4,70a	4,09±0,64a	6,84±0,68a	0,26±0,18a
<b><i>T. atroviride</i></b>	5,00±0,14 b <sup>1</sup>	46,63±7,66 a <sup>2</sup>	9,13±4,70a	3,83±0,64a	7,15±0,68a	0,35±0,18a
<b>MILHO EM SOLO ARGILOSO</b>						
<b>Controle</b>	4,83±0,19a	39,25±4,31 a <sup>3</sup>	15,63±3,96 a <sup>3</sup>	5,25±0,49a	8,49±0,46b	0,61±0,15a
<b><i>T. atroviride</i></b>	4,75±0,19a	39,25±4,31 a <sup>3</sup>	15,00±3,96 a <sup>3</sup>	5,53±0,49a	9,12±0,46a	0,63±0,15a
<b>MILHO EM SOLO ARENOSO</b>						
<b>Controle</b>	5,05±0,16b	39,00±7,62a	13,67±5,86a	4,24±0,40a <sup>2</sup>	7,02±0,95a	0,38±0,13a <sup>2</sup>
<b><i>T. atroviride</i></b>	5,24±0,16a	38,33±7,62a	8,33±5,86a	3,87±0,40a <sup>2</sup>	6,56±0,95a	0,20±0,13b <sub>2</sub>

Controle são os tratamentos não inoculado. *T. atroviride* são os tratamentos inoculado com *T. atroviride* ATROV14. MO, matéria orgânica; V, saturação da CTC potencial por bases; m, saturação da CTC efetiva por alumínio; H+Al, potencial de acidez; SB, soma de bases; T, CTC a pH 7,0; Al, alumínio. Médias e medianas seguidas de mesma letra não se diferem entre si). <sup>1</sup>Dados não paramétricos, submetidos a Kruskal Wallis (p < 0,05), significância 0,05. <sup>2</sup>Dados não paramétricos, submetidos a Teste de Welch (p < 0,05) <sup>3</sup>Dados normalizados por transformação de log.

Quanto aos nutrientes, no ensaio em solo argiloso cultivado com soja, o controle obteve pequeno incremento de Mg em relação ao tratamento *T. atroviride* – nos outros parâmetros, não houve diferença significativa (TABELA 3 e 4). Quanto ao ensaio em solo argiloso cultivado com milho, não se verificou diferença entre os tratamentos (TABELA 3 e 4). Por outro lado, o ensaio em solo arenoso cultivado com soja obteve

maior quantidade de Ca nos tratamentos *T. atroviride*, sem diferença significativa nos outros parâmetros (TABELA 3).

Ensaio em solo argiloso cultivado com soja/milho e em solo arenoso cultivado com soja não apresentaram diferença entre os tratamentos em relação aos micronutrientes (TABELA 4). Entretanto, no ensaio em solo arenoso cultivado com milho, obteve menor teor de Zn no solo com o tratamento *T. atroviride*, em comparação ao controle (TABELA 4)

**TABELA 3** – Fertilidade do solo, macronutrientes nos ensaios em solo arenoso ou argiloso cultivado com milho ou soja.

Parâmetros Unidades	MACRONUTRIENTES				
	K mg dm <sup>-3</sup>	Ca	Mg cmolc dm <sup>-3</sup>	S	B mg dm <sup>-3</sup>
Tratamento					
<b>SOJA EM SOLO ARGILOSO</b>					
Controle	0,36±0,07a <sup>3</sup>	3,4±0,3a	0,58±0,05a	278±72a	0,26±0,02a <sup>1</sup>
<i>T. atroviride</i>	0,33±0,07a <sup>3</sup>	3,1±0,3a	0,51±0,05b	258±72a	0,23±0,02a <sup>1</sup>
<b>MILHO EM SOLO ARGILOSO</b>					
Controle	0,21±0,04a	2,8±0,4a <sup>1</sup>	0,33±0,06a	188±29a	0,21±0,03a
<i>T. atroviride</i>	0,22±0,04a	2,9±0,4a <sup>1</sup>	0,31±0,06a	185±29a	0,19±0,03a
<b>SOJA EM SOLO ARENOSO</b>					
Controle	0,21±0,05a	2,4±0,6b	0,16±0,04a	243±47a	0,18±0,04a
<i>T. atroviride</i>	0,19±0,05a	3,0±0,6a	0,16±0,04a	282±47a	0,15±0,04a
<b>MILHO EM SOLO ARENOSO</b>					
Controle	0,29±0,10a	2,37±0,8a <sup>3</sup>	0,12±0,05a	203±65a	0,15±0,02a <sup>2</sup>
<i>T. atroviride</i>	0,39±0,10a	2,02±0,8a <sup>3</sup>	0,14±0,05a	232±65a	0,18±0,02a <sup>2</sup>

Ca, cálcio; Mg, magnésio; S, enxofre; K, potássio; B, boro. Dados submetidos a significância 0,05. Médias e medianas seguidas de mesma letra não se diferem entre si (p-valor < 0,05, há diferença entre os tratamentos). <sup>1</sup>Dados não paramétricos, submetidos a Kruskal Wallis, significância 0,05. <sup>2</sup>Dados não paramétricos, submetidos a Teste de Welch, significância 0,05. <sup>3</sup>Dados não paramétricos, submetidos a log, significância 0,05.

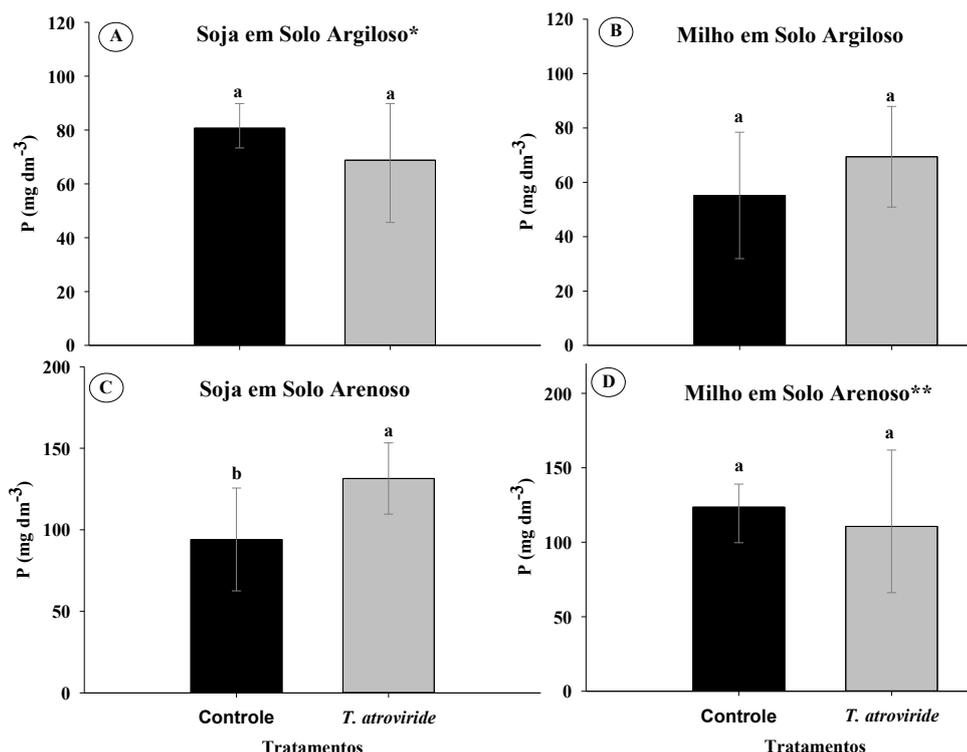
**TABELA 4** – Fertilidade do solo, micronutrientes nos ensaios em solo arenoso ou argiloso cultivado com milho ou soja.

<b>MICRONUTRIENTES</b>				
<b>Parâmetros</b>	<b>Cu</b>	<b>Fe</b>	<b>Mn</b>	<b>Zn</b>
<b>Unidades</b>	<b>mg dm<sup>-3</sup></b>			
<b>Tratamento</b>				
<b>SOJA EM SOLO ARGILOSO</b>				
<b>Controle</b>	0,64±0,06a	86,29±4,12a	3,18±0,33a	1,68±0,13a
<b><i>T. atroviride</i></b>	0,59±0,06a	85,29±4,12a	3,08±0,33a	1,57±0,13a
<b>MILHO EM SOJO ARGILOSO</b>				
<b>Controle</b>	0,55±0,03a	82,25±10,33a	2,76±0,32a <sup>2</sup>	1,42±0,11a
<b><i>T. atroviride</i></b>	0,58±0,03a	81,23±10,33a	2,59±0,32a <sup>2</sup>	1,48±0,11a
<b>SOJA EM SOLO ARENOSO</b>				
<b>Controle</b>	0,61±0,05a	38,5±18,03a	1,8±0,71a <sup>3</sup>	0,24±0,06a
<b><i>T. atroviride</i></b>	0,61±0,05a	24,88±18,03a	1,84±0,71a <sup>3</sup>	0,25±0,06a
<b>MILHO EM SOLO ARENOSO</b>				
<b>Controle</b>	0,53±0,05a	20,4±14,42a	1,57±0,07a	0,29±0,09a
<b><i>T. atroviride</i></b>	0,5±0,05a	29±14,42a	1,08±0,07a	0,17±0,09b

Cu, cobre; Fe, ferro; Mn, manganês; Zn, zinco. Dados submetidos a significância 0,05. Médias e medianas seguidas de mesma letra não se diferem entre si (p-valor < 0,05, há diferença entre os tratamentos). <sup>1</sup>Dados não paramétricos, submetidos a Kruskal Wallis, significância 0,05. <sup>2</sup>Dados não paramétricos, submetidos a Teste de Welch, significância 0,05. <sup>3</sup>Dados não paramétricos, submetidos a log, significância 0,05.

O tratamento *T. atroviride* incrementou a concentração de P no solo arenoso cultivado com soja (FIGURA 3C).

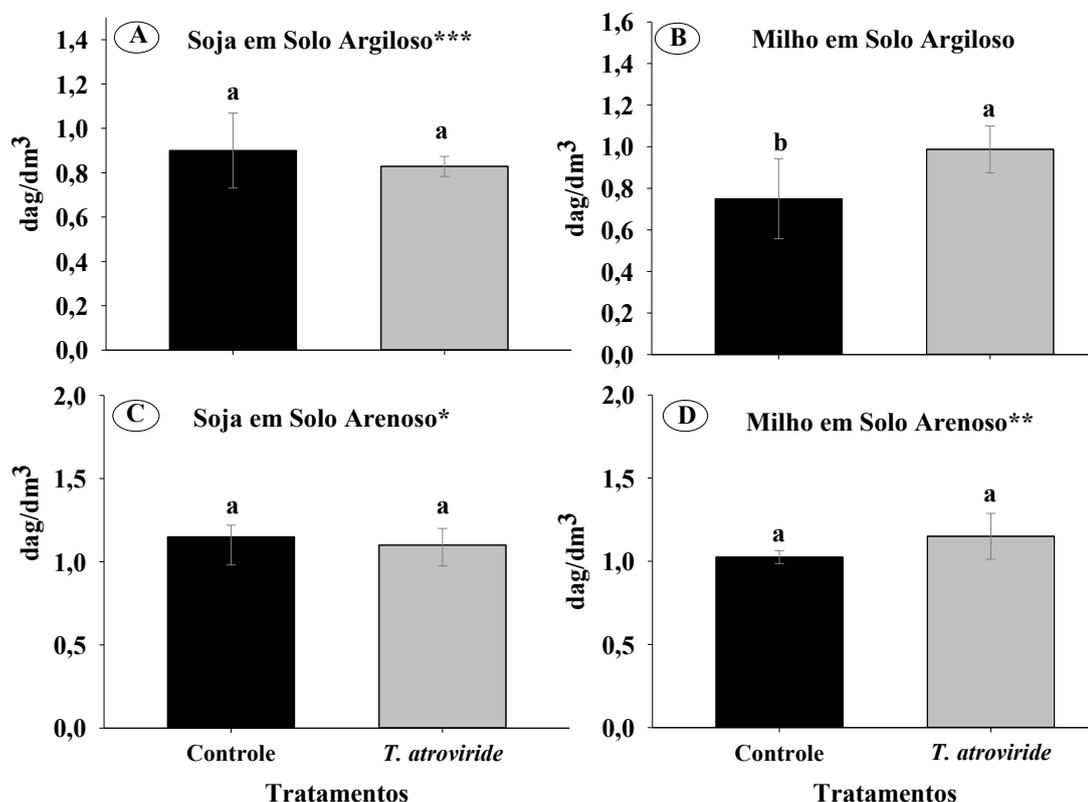
**FIGURA 3** – Fósforo de solos não inoculados e inoculados com *Trichoderma atroviride* em dois tipos de solos e plantas. A, soja em solo argiloso. B, milho em solo argiloso. C, soja em solo arenoso. D, milho em solo arenoso.



Controle, tratamento não inoculado (barra preta). *T. atroviride*, tratamento inoculado com *T. atroviride* ATROV14 (barra cinza). Médias e medianas seguidas de mesma letra não se diferem entre si (p-valor < 0,05, há diferença entre os tratamentos). Significância de 0,05. Dados não paramétricos: \*Submetidos a Kruskal Wallis, \*\*Submetidos ao teste de Welch, todos à significância de 0,05.

O ensaio em solo argiloso/arenoso cultivado com soja e os ensaios em solo arenoso cultivado com milho não apresentaram diferença significativa de teor de carbono orgânico entre os tratamentos (FIGURAS 4A, C e D). Em contrapartida, no ensaio em solo argiloso cultivado com milho, semelhantemente ao ensaio em solo arenoso cultivado com milho, a aplicação de *T. atroviride* resultou em maior quantidade de carbono orgânico no solo (FIGURA 4B).

**FIGURA 4** – Carbono orgânico de solos não inoculados e inoculados com *Trichoderma atroviride* em dois tipos de solos e plantas. A, soja em solo argiloso. B, milho em solo argiloso. C, soja em solo arenoso. D, milho em solo arenoso.



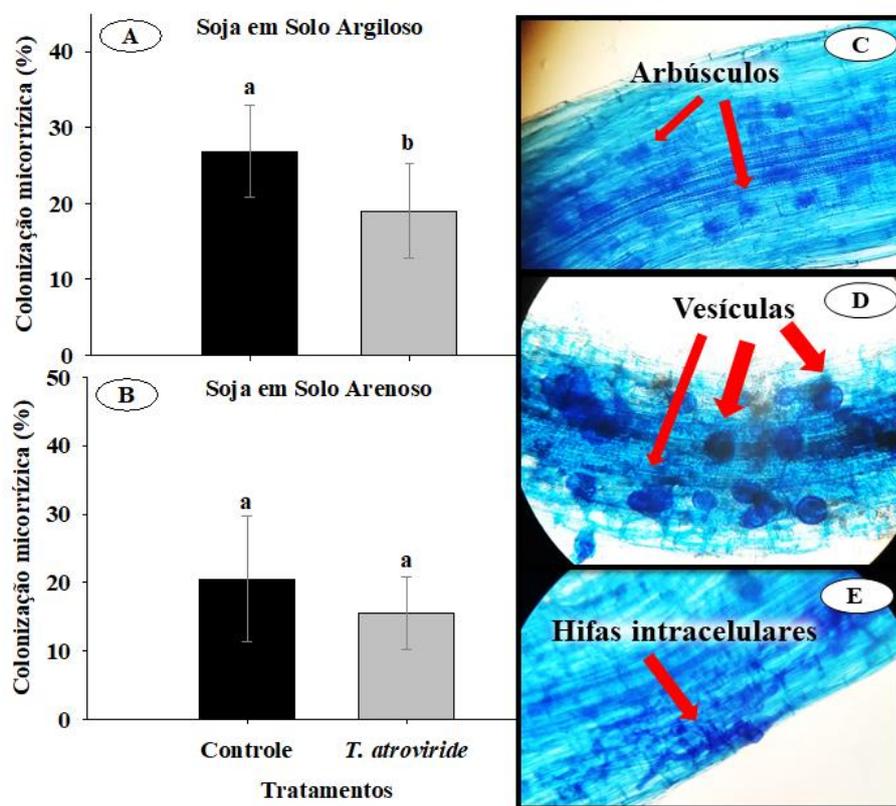
Controle, tratamento não inoculado (barra preta). *T. atroviride*, tratamento inoculado com *T. atroviride* ATROV14 (barra cinza). Médias e medianas seguidas de mesma letra não se diferem entre si (p-valor < 0,05, há diferença entre os tratamentos). Significância de 0,05. Dados não paramétricos: \*Submetidos a Kruskal Wallis, \*\*Submetidos ao teste de Welch, \*\*\*Submetidos a log, todos à significância de 0,05.

### 4.3 Biologia do solo

#### 4.3.1 Colonização por fungos micorrízicos arbusculares

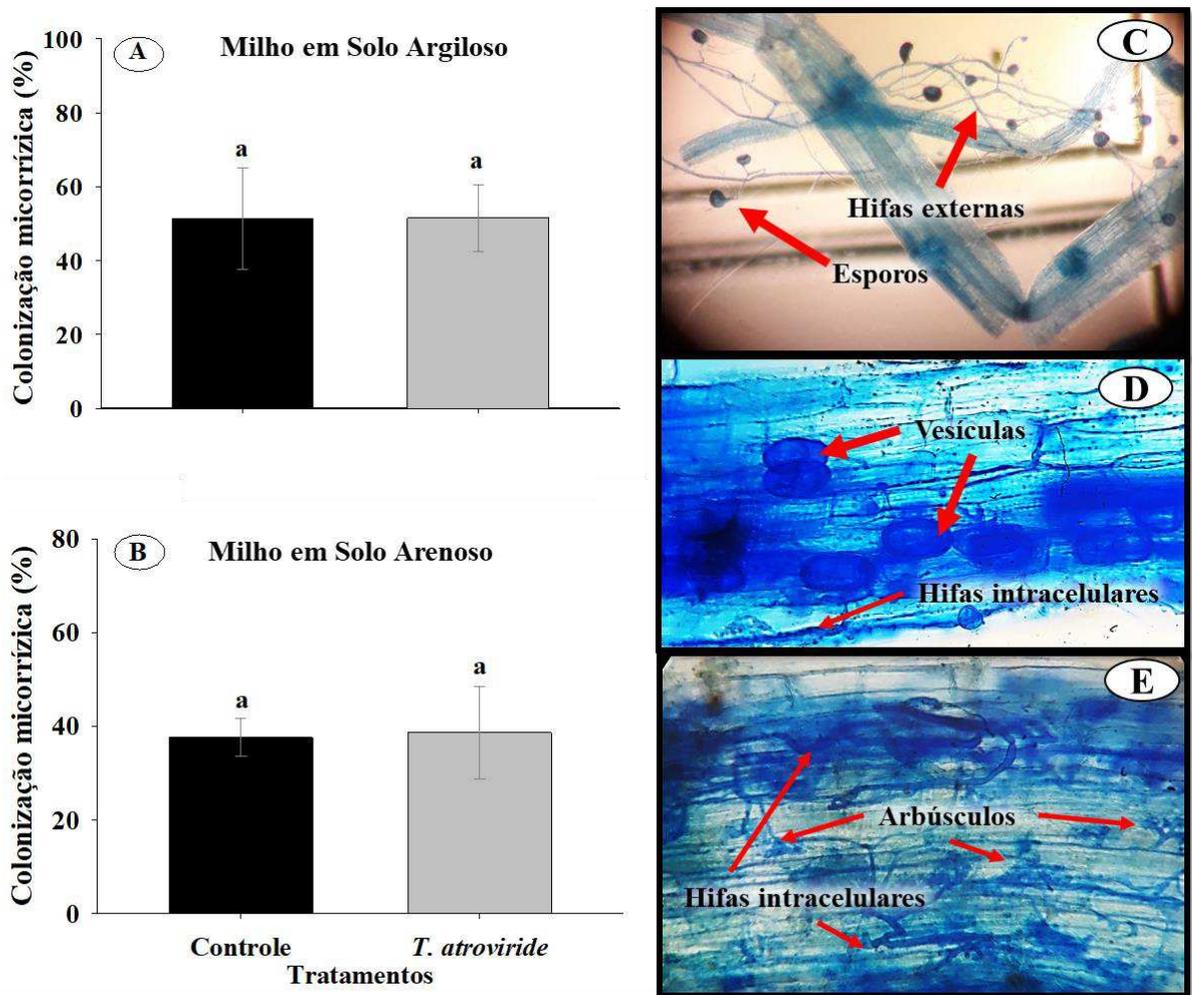
No solo argiloso sob a cultura de soja, decresceu-se a colonização micorrízica no tratamento inoculado com *T. atroviride* (FIGURA 5A). Por outro lado, na aplicação do *T. atroviride* ATROV14 no solo, não se notaram diferenças significativas na colonização micorrízica, seja nos ensaios em solo argiloso para a cultura de milho ou nos ensaios em solo arenoso para as de milho e soja (FIGURAS 5B e 6A e B).

**FIGURA 5** – Colonização micorrízica em soja cultivado em solo argiloso (A) e em solo arenoso (B) inoculado com *Trichoderma atroviride*.



C, arbúsculos. D, vesículas intracelulares na raiz. E, hifas intracelulares na raiz. Controle, tratamento não inoculado (barra preta). *T. atroviride*, tratamento inoculado com *T. atroviride* ATROV14 (barra cinza). Médias seguidas de mesma letra não se diferem entre si (p-valor < 0,05, há diferença entre os tratamentos). Significância de 0,05.

**FIGURA 6** – Colonização micorrízica em milho cultivado em solo argiloso (A) e em solo arenoso (B) inoculado com *Trichoderma atroviride*.

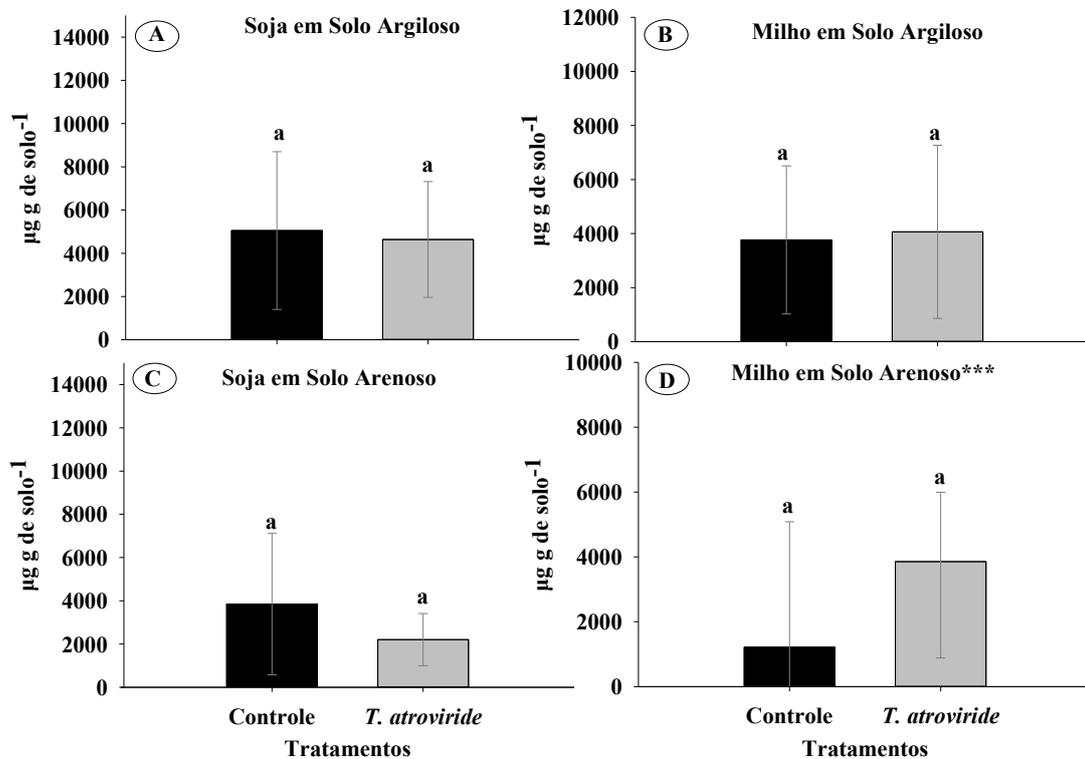


C, hifas externas a raiz. D, vesículas intracelulares na raiz. E, micorrízicas arbusculares e hifas intracelulares na raiz. Controle, tratamento não inoculado (barra preta). *T. atroviride*, tratamento inoculado com *T. atroviride* ATROV14 (barra cinza). Médias seguidas de mesma letra não se diferem entre si ( $p$ -valor < 0,05, há diferença entre os tratamentos). Significância de 0,05.

#### 4.3.2 Carbono da biomassa microbiana e respirometria do solo

Quanto ao carbono da biomassa microbiana, não houve diferença entre os tratamentos em cada ensaio (FIGURA 7).

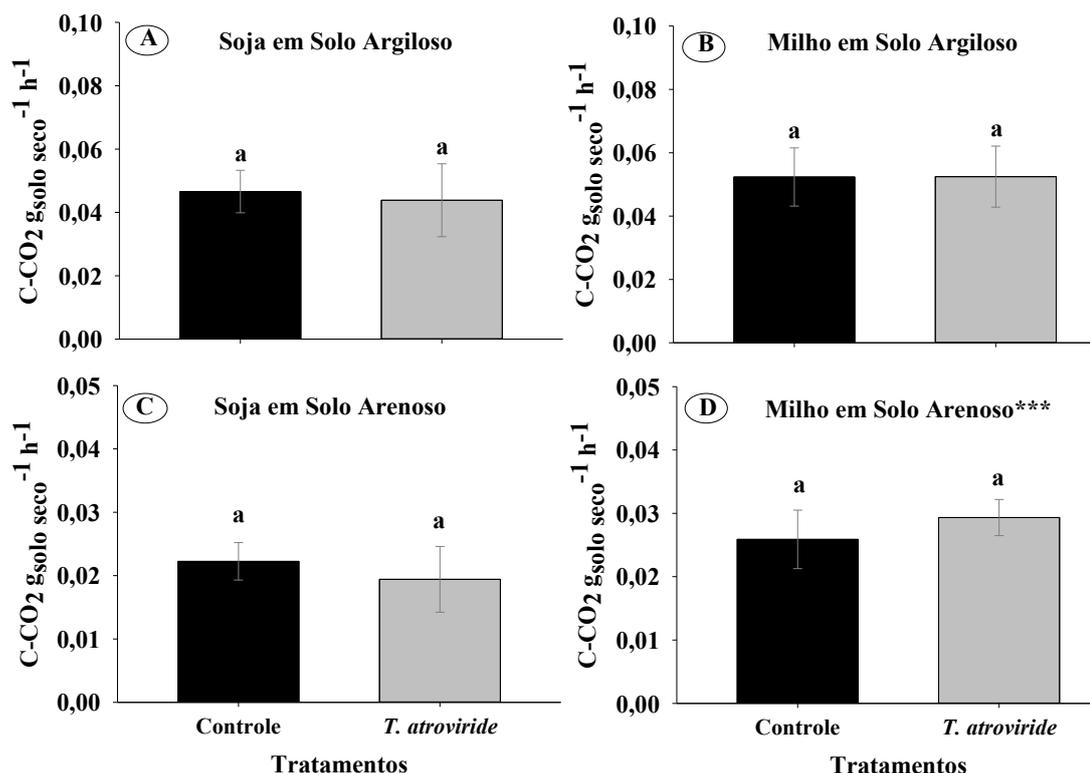
**FIGURA 7** – Carbono da biomassa microbiana de solos não inoculados e inoculados com *Trichoderma atroviride* em dois tipos de solos e plantas. A, soja em solo argiloso. B, milho em solo argiloso. C, soja em solo arenoso. D, milho em solo arenoso.



Controle, tratamento não inoculado (barra preta). *T. atroviride*, tratamento inoculado com *T. atroviride* ATROV14 (barra cinza). Médias seguidas de mesma letra não se diferem entre si (p-valor < 0,05, há diferença entre os tratamentos). Significância de 0,05. Dados não paramétricos: \*\*\*Submetidos a log, à significância de 0,05.

Nenhum dos ensaios apresentou diferença significativa entre os tratamentos (FIGURA 8).

**FIGURA 8** – Respiração basal de solos não inoculados e inoculados com *Trichoderma atroviride* em dois tipos de solos e plantas. A, soja em solo argiloso. B, milho em solo argiloso. C, soja em solo arenoso. D, milho em solo arenoso.

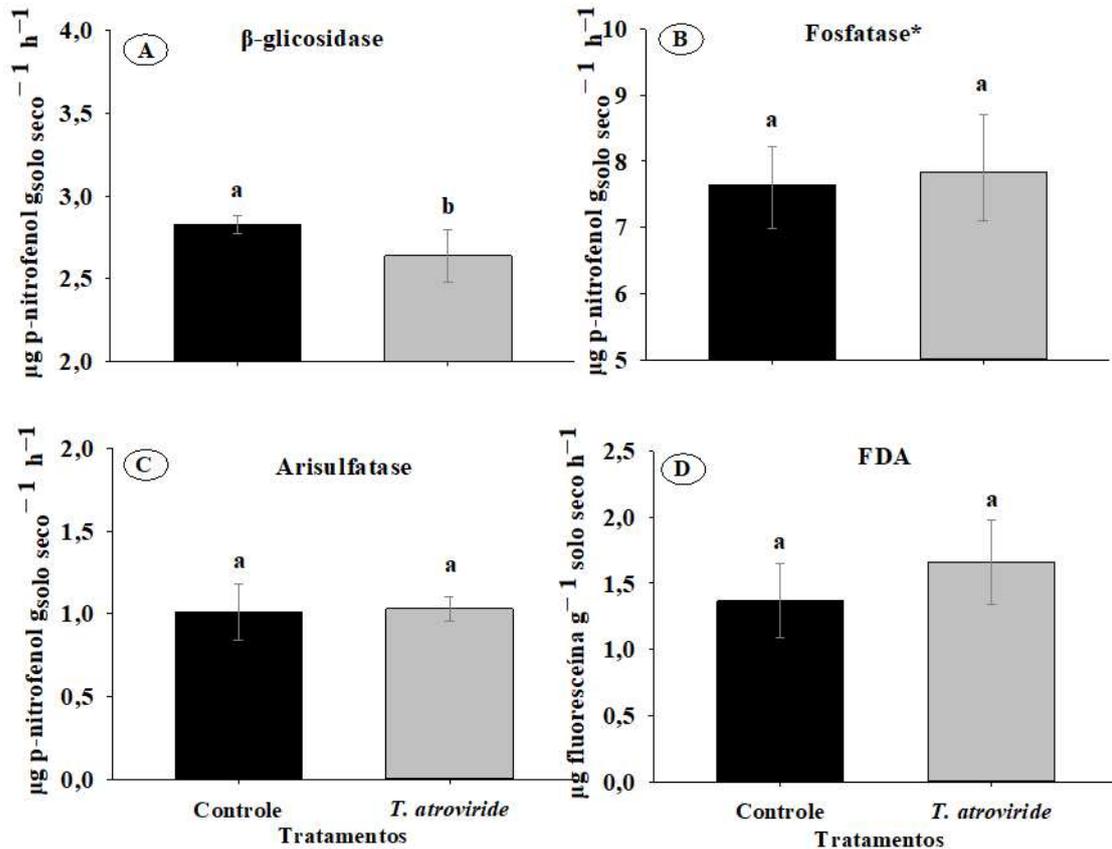


Controle, tratamento não inoculado (barra preta). *T. atroviride*, tratamento inoculado com *T. atroviride* ATROV14 (barra cinza). Médias seguidas de mesma letra não se diferem entre si (p-valor < 0,05, há diferença entre os tratamentos). Significância de 0,05. Dados não paramétricos: \*\*\*Submetidos a log, à significância de 0,05.

#### 4.3.4 Atividade enzimática no solo

No ensaio em solo argiloso cultivado com soja, a aplicação de *T. atroviride* resultou em menor atividade de β-glicosidase em comparação ao controle, enquanto a fosfatase, a arissulfatase e a FDA não apresentaram diferença entre os tratamentos (FIGURA 9).

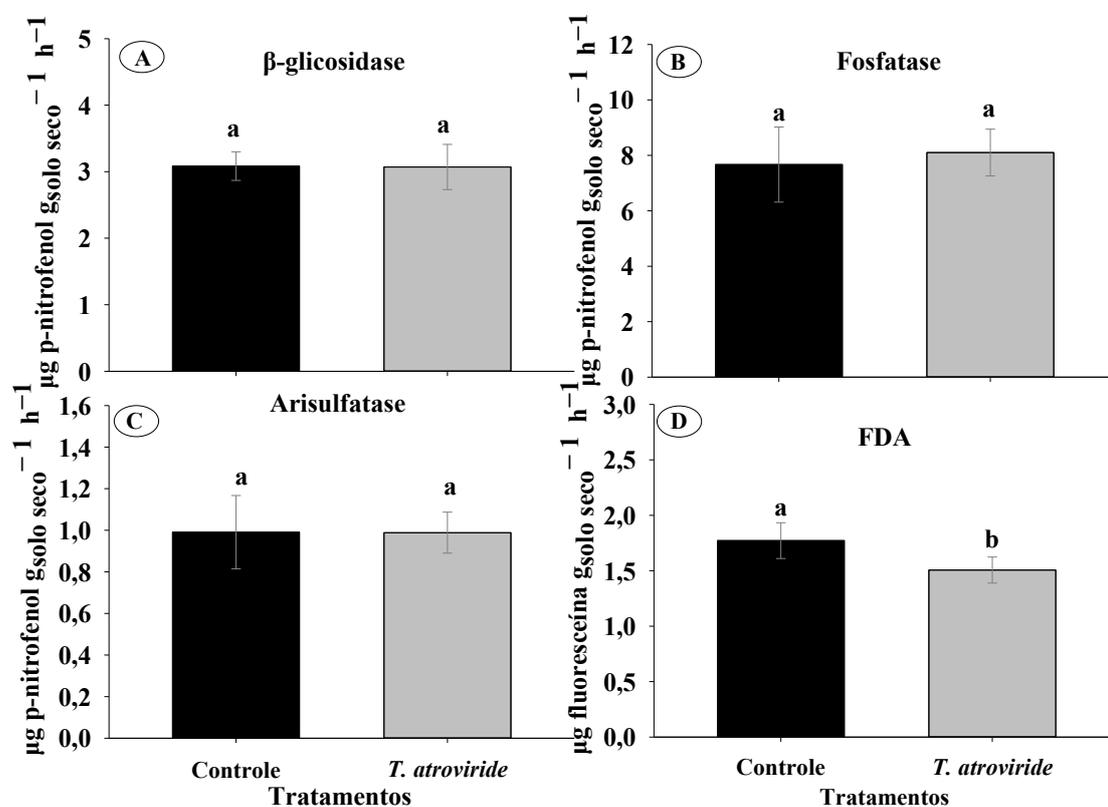
**FIGURA 9** – Atividade enzimática no ensaio com solo argiloso cultivado com soja composto pelos tratamentos não inoculado (barra preta) e inoculado com *T. atroviride* (barra cinza). A,  $\beta$ -glicosidase; B, fosfatase; C, arisulfatase; D, hidrólise do diacetatado de fluoresceína (FDA).



Médias e medianas seguidas de mesma letra não se diferem entre si ( $p$ -valor  $< 0,05$ , há diferença entre os tratamentos). Significância de 0,05. Dados não paramétricos: \*Submetidos a Kruskal Wallis, significância 0,05.

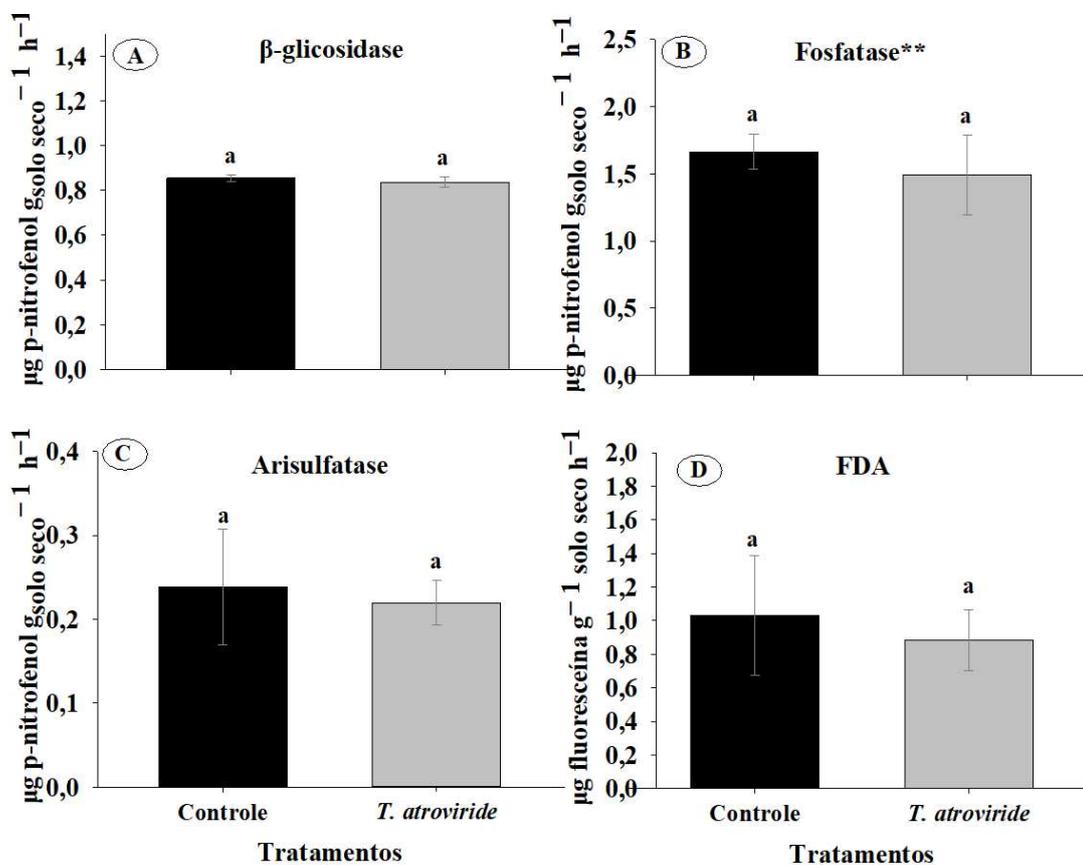
No ensaio em solo argiloso cultivado com milho, a FDA apresentou menor atividade no tratamento com aplicação de *T. atroviride* (FIGURA 10D), ao ser comparada com o controle, enquanto  $\beta$ -glicosidase, fosfatase e arisulfatase não indicaram diferença entre os tratamentos (FIGURAS 10A, B e C). Ensaio em solo arenoso cultivado com soja ou milho não exibiram nenhuma diferença entre seus tratamentos (FIGURAS 11 e 12).

**FIGURA 10** – Atividade enzimática do ensaio com solo argiloso e cultivado com milho composto pelos tratamentos não inoculado (barra preta) e inoculado com *T. atroviride* ATROV14 (barra cinza). A,  $\beta$ -glicosidase; B, fosfatase; C, arisulfatase; D, hidrólise do diacetato de fluoresceína (FDA).



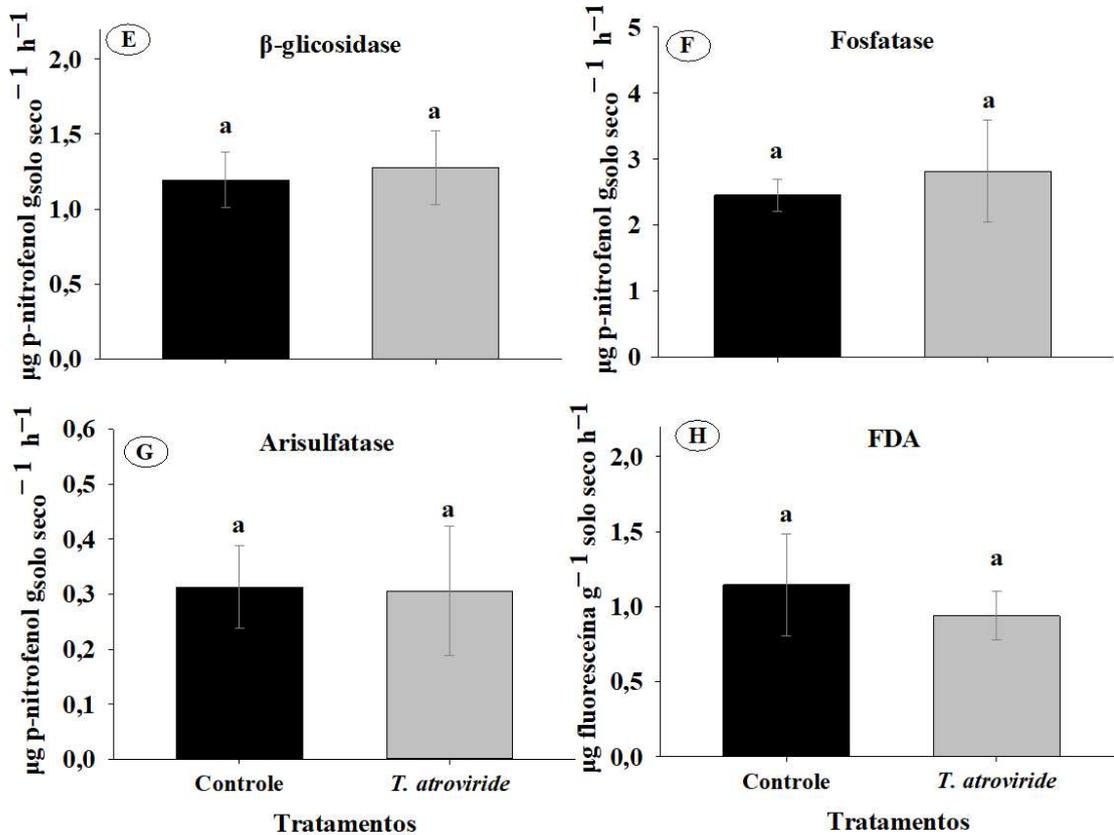
Médias e medianas seguidas de mesma letra não se diferem entre si (p-valor < 0,05, há diferença entre os tratamentos). Significância de 0,05.

**FIGURA 11** – Atividade enzimática no ensaio com solo arenoso e cultivado com soja composto pelos tratamentos não inoculado (barra preta) e inoculado com *T. atroviride* (barra cinza). A,  $\beta$ -glicosidase; B, fosfatase; C, arisulfatase; D, hidrólise do diacetatado de fluoresceína (FDA).



Médias seguidas de mesma letra não se diferem entre si (p-valor < 0,05, há diferença entre os tratamentos). Significância de 0,05. Dados não paramétricos: \*\*Submetidos a teste de Welch, significância 0,05.

**FIGURA 12** – Atividade enzimática no ensaio com solo arenoso e cultivado com milho composto pelos tratamentos não inoculado (barra preta) e inoculado com *T. atroviride* (barra cinza). A,  $\beta$ -glicosidase; B, fosfatase; C, arisulfatase; D, hidrólise do diacetatado de fluoresceína (FDA).



Médias seguidas de mesma letra não se diferem entre si (p-valor < 0,05, há diferença entre os tratamentos). Significância de 0,05. Dados não paramétricos: \*\*Submetidos a teste de Welch, significância 0,05.

## 5. DISCUSSÃO

A aplicação do isolado de *T. atroviride* resultou em comportamentos diferentes de acordo com a espécie vegetal e a classe de solo. Em milho, o tratamento com *T. atroviride* aumentou a massa seca de raízes, o pH, e diminuiu a concentração de Al e Zn em solo arenoso. Sobre solo argiloso, a aplicação de *T. atroviride* aumentou o teor de carbono orgânico e a CTC potencial, e diminuiu a atividade de FDA do solo sob o milho.

Em soja, a aplicação do isolado fúngico resultou em diminuição do pH, CTC potencial, concentração de Mg, colonização micorrízica e atividade de  $\beta$ -glicosidase em solo argiloso. Entretanto, em solo arenoso, o tratamento fúngico resultou em diminuição do pH, mas em aumento da concentração de Ca e P.

Reunindo os resultados, dentre uma vasta gama de variáveis, encontraram-se efeitos benéficos distintos para cada tipo de solo: (1) sob crescimento do milho, relacionados à pH e diminuição de Al em solo arenoso, e à matéria orgânica que confere mais cargas negativas (CTC) no solo argiloso, e (2) sob crescimento da soja, a concentração de macronutrientes (Ca e P) em solo arenoso.

### **5.1 Crescimento vegetal**

O incremento nas raízes do milho crescido em solo arenoso pode ocorrer devido à promoção de crescimento radicular do *T. atroviride* ATROV14 (Rao et al. (2022); Chen et al. (2021)). Esse fenômeno pode estar relacionado à atuação de COVs e fitohormônios como visto no crescimento em tomate sob aplicação da cepa *T. atroviride* LZ42 (Rao et al. (2022)). Além de fitohormônios como o AIA, a ação de sideróforos pode estar associada ao crescimento vegetal, como observado por Chen et al. (2021) na aplicação de *T. atroviride* LX-7 sobre a couve Pak-Choi.

Por outro lado, ensaios com algumas espécies vegetais e linhagens de *Trichoderma* não trazem o potencial de promoção de crescimento vegetal (López-Bucio, Pelagio-Flores e Herrera-Estrella (2015)). Essa variação de efeitos se deve ao fato de haver interações específicas nos sistemas solo-planta-*Trichoderma* que afetam a atuação do microrganismo.

### **5.2 Fertilidade do solo**

Propriedades químicas são importantes para o funcionamento adequado do solo, ao suprirem as necessidades biológicas e fisiológicas da biota do solo e, conseqüentemente, as das plantas. Assim como os microrganismos influenciam na matéria orgânica e os ciclos dos nutrientes (TAJIK; AYOUBI; LORENZ, 2020), por exemplo, o *Trichoderma* spp. possui potencial em promover maior disponibilidade de nutrientes para os vegetais, através da exsudação de substâncias (ex: sideróforos) ou através da modulação da arquitetura radicular (SANI et al., 2020), assim como, a comunidade microbiana e as propriedades físicas químicas (ex: MO, partículas como silte e argila, pH, etc) podem interferir no crescimento de *Trichoderma* spp. como observado por MAYO-PRIETO et al. (2021).

A aplicação de *T. atroviride* em ensaios sob soja resultou em diminuição do pH, tanto em solo arenoso como argiloso, com reflexo na soma de bases e na CTC mais baixa

para o solo argiloso, o que afeta negativamente na fertilidade (SILVA, 2018). O pH mais ácido pode ser justificado pela mineralização da matéria orgânica, em que há liberação de ácidos orgânicos, CO<sub>2</sub> e de amônia oriunda, liberando íons H<sup>+</sup> devido a hidrólise na diluição de ácidos carbonatos e no processo de nitrificação (GIULIANI, 2015; HALIFU et al., 2019).

O pH é relevante para a qualidade do solo, pois também está relacionado à disponibilidade de nutrientes para ele e a planta. Na maioria das plantas, o pH ideal é 6,0 (FAGERIA; ZIMMERMANN, 1998), e a acidez elevada representa um aspecto prejudicial para o desenvolvimento do vegetal, por limitar a troca de cátions e o crescimento da planta (SILVA, 2018).

Por outro lado, os casos que o *Trichoderma* aumenta o pH poderiam ser explicados pela promoção do crescimento das plantas, com a consequente diminuição da respiração das plantas (HALIFU et al., 2019). Isso pode ser corroborado pelo incremento do pH no tratamento *T. atroviride* do ensaio em solo arenoso cultivado com milho, devido à ampliação da biomassa radicular observada no mesmo tratamento. Porém, houve acréscimo na CTC do ensaio em solo argiloso cultivado com milho, com respaldo no aumento de matéria orgânica no solo que, igualmente, foi maior que o não inoculado no mesmo ensaio. A matéria orgânica possui alta concentração de cargas negativas comparada com os minerais (SILVA, 2018; GIULIANI, 2015), sendo que este incremento de carbono orgânico pode vir da maior exsudação das raízes (HALIFU et al., 2019).

Como salientado anteriormente, o *Trichoderma* spp. possui um papel importante na ciclagem dos nutrientes no solo, em que podem degradar os nutrientes oriundos da fotossíntese para a planta investir no crescimento vegetal, assim como gerir o ciclo dos nutrientes e o fluxo de energia do solo devido à eficiência do processo de degradação de nutrientes macromoleculares do solo (HALIFU et al., 2019).

Em solo arenoso sob soja e com aplicação do isolado fúngico, a maior disponibilidade de Ca e P pode vir da atividade de solubilização de minerais ou de mineralização do *T. atroviride* ou de populações estimuladas por ele (TANDON et al., 2020).

Evidentemente, *T. atroviride* ATROV 14 pode contribuir com a disponibilidade dos macronutrientes P e Ca, para o solo arenoso cultivado com soja. Para o solo arenoso cultivado com milho, o teor menor de alumínio é explicado pelo pH mais alto com

aplicação do isolado fúngico. Esse efeito é importante em solos em climas tropicais úmidos ou equatoriais, onde a acidificação é acentuada, e o Al trocável pode tornar o solo impróprio para a agricultura (SHETTY, 2021).

### **5.3 Biologia do solo**

#### **5.3.1 Colonização por fungos micorrízicos arbusculares**

A colonização micorrízica é um indicador de qualidade do solo, pois a presença desse tipo de fungo favorece o crescimento vegetal e das defesas contra fatores (a)bióticos (READ & SMITH, 2010; DOWARAH, GILL & AGARWALA, 2021; DIAGNE et al., 2020). Estudos anteriores indicaram o efeito de outra espécie do mesmo gênero, o *Trichoderma asperellum*, aumentando a colonização micorrízica por FMA em feijoeiro (ALVES et al., 2021) e em milho e soja crescendo sobre solo arenoso e argiloso (BARBOSA et al. (2022). Em Barbosa et al. (2022), isso foi correlacionado com se a nutrição da planta (K, P, S e Cu em milho) e a atividade enzimática (como a FDA em soja).

No entanto, a aplicação do *T. atroviride* não resultou em estímulo da colonização das raízes por FMA, e reduziu a porcentagem em raízes de soja em solo argiloso. Este resultado pode ser ocasionado pela natureza do *Trichoderma*, ou seja, é um fungo competitivo e antibiótico. Em alguns estudos, a colonização micorrízica e por *Trichoderma* podem atuar negativa ou positivamente no efeito de ambos. Válquez et al. (2000) explicitam que a colonização micorrízica cortou o efeito positivo do *Trichoderma*; no entanto, o *Trichoderma* não foi agressivo o suficiente para inibir a ação da micorríza. No entanto, a inoculação no conjunto de FMA e *Trichoderma harzianum* agiu de modo positivo no efeito de ambos, com ampla colonização e estímulo ao crescimento e desenvolvimento da planta a partir do diálogo molecular entre os dois microrganismos (Poveda et al., 2019). A interação no hospedeiro *Arabsopsis thaliana* afetou significativamente as vias dos fitormônios, como os ácidos salicílico e jasmônico.

#### **5.3.2 Carbono da biomassa microbiana e respiração do solo**

A ausência de efeitos dos tratamentos sobre o carbono da biomassa também foi relatado por Silva et al. (2021), de forma semelhante aos resultados de carbono da biomassa apresentados. No entanto, Anshu et al. (2022) observaram que um mix de *Trichoderma* tolerantes a salinidade (*T. koningiopsis* NBRI-PR5 (PR5) e *T. asperellum*

NBRI-K14 (K14) podem potencializar a quantidade de carbono da biomassa microbiana nos arrozais. Neste sentido, os efeitos sobre a biomassa microbiana são dependentes da espécie de *Trichoderma* aplicada e da interação com solo e hospedeiro vegetal.

A emissão de CO<sub>2</sub> a partir da incubação dos solos também não se alterou pelos tratamentos, assim como observado Barbosa et al. (2022) na aplicação de *Trichoderma asperellum*.

#### 5.3.4 Atividade enzimática no solo

A atividade das enzimas são bons indicadores da atividade biológica do solo (LEE et al., 2020). A  $\beta$ -glicosidase é uma enzima responsável pela ciclagem de carbono com degradação de cadeia de carboidratos de menor peso molecular. Na degradação da celulose, por exemplo, corresponde a uma fonte de energia para incrementar e manter a comunidade microbiana.

Por sua vez, a fosfatase é dividida em ácida, oriunda das atividades das plantas e dos microrganismos; e alcalina, advinda da atividade microbiana (OBERSON, 1996). Ademais, tal enzima está relacionada com a mineralização do P no solo e os nutrientes para a planta (TABATABAI, 1994).

A arissulfatase foi a primeira das sulfatases detectadas na natureza, cuja função no solo é auxiliar na mineralização de S e participar do ciclo do S e do consequente crescimento da planta. Ela está correlacionada com a matéria orgânica, em que sua atividade diminui com o decorrer do aprofundamento do perfil do solo (TABATABAI, 1994).

Enzimas responsáveis pela hidrólise do diacetato de fluoresceína são abundantes no solo, como esterases, proteases e algumas lipases. Elas estão envolvidas no processo de decomposição de proteínas, lipídios e outros tipos de tecidos (DICK, 1997; ADAM; DUNCAN, 2001).

Em um estudo com *Pinus sylvestris*, verificou-se o aumento da atividade enzimática, como urease, catalase, sacarase, fosfatase ácida nas plantas inoculadas com *Trichoderma virens* e *T. harzianum* (HALIFU et al., 2019). Em contrapartida, não houve dados semelhantes nesta pesquisa, e sim a redução da atividade enzimática da  $\beta$ -glicosidase e FDA em solos de textura argilosa. Isso pode estar relacionado ao baixo pH (EMMERT et al., 2021), assim como a competitividade entre as comunidades microbianas devido ao potencial de antibiose do *Trichoderma* (MAWARDA et al., 2020).

#### 5.4 Efeitos gerais

Por fim, os achados indicam que os efeitos da aplicação do isolado *T. atroviride* ATROV14 são dependentes da interação da planta cultivada e do solo. Em geral, os efeitos benéficos se pronunciaram quando se aplicou o isolado fúngico nas duas classes de solo sob milho, e no solo arenoso sob soja. É necessário destacar que algumas variáveis benéficas tiveram valores reduzidos no solo argiloso sob soja. de acordo com os dados apresentados, o pH pode ter interferido na resposta e interação do *T. atroviride* ATROV14 no solo-planta. No entanto, foram apresentados dados que podem contribuir para a validação do *T. atroviride* ATROV 14 como condicionador biológico.

### 6. CONCLUSÕES

Os efeitos no solo e na planta da aplicação de *Trichoderma atroviride* dependem da interação solo-planta-isolado fúngico. Em suma, os efeitos positivos observados foram:

- (1) O incremento das raízes e do pH e diminuição da concentração de Al do solo arenoso sob crescimento do milho;
- (2) O aumento dos teores de C-orgânico e CTC em solo argiloso sob milho; e
- (3) O acréscimo das concentrações de P e Ca no solo arenoso sob crescimento de soja.

Efeitos negativos relacionados à atividade enzimática ocorreram na enzima  $\beta$ -glicosidase para o tratamento de soja cultivada no solo argiloso e a hidrólise da FDA no tratamento de milho cultivado em solo argiloso. Quanto aos parâmetros químicos, houve efeito negativo no pH tanto do tratamento com soja cultivada em solo argiloso como em solo arenoso; redução de SB, T e Mg no tratamento de soja cultivada em solo argiloso e Zn no tratamento de milho cultivado em solo arenoso.

Destarte, apesar dos efeitos distintos para cada cultura e solo, pode-se concluir que *Trichoderma atroviride* ATROV 14 pode ser utilizado como condicionador biológico do solo, principalmente para a cultura de milho nas duas classes de solo, e de soja sob solo arenoso.

## 7. REFERÊNCIAS

- ABREU, G. M. et al. Crescimento inicial e absorção de fósforo e nitrogênio de *Enterolobium contortisiliquum* inoculada com fungos micorrízicos arbusculares. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 41, n. 1, p. 156-164, 2018. <https://doi.org/10.19084/RCA17138>
- ADAM, G. & DUNCAN, H. Development of a sensitive and rapid method for the measurement of total microbial activity using fluorescein diacetate (FDA) in a range of soils. **Soil biology and biochemistry**, v. 33, n. 7-8, p. 943-951, 2001. [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(00\)00244-3](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(00)00244-3)
- ADETUNJI, A. T. et al. The biological activities of  $\beta$ -glucosidase, phosphatase and urease as soil quality indicators: a review. **Journal of soil science and plant nutrition**, v. 17, n. 3, p. 794-807, 2017. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-95162017000300018>
- ALORI, E. T.; GLICK, B. R.; BABALOLA, O. O. Microbial phosphorus solubilization and its potential for use in sustainable agriculture. **Frontiers in microbiology**, v. eight, p. 971, 2017. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.00971>
- ALVES, G. S. et al. Fungal endophytes inoculation improves soil nutrient availability, arbuscular mycorrhizal colonization and common bean growth. **Rhizosphere**, v. 18, p. 100330, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.rhisph.2021.100330>
- ANSHU, Anshu et al. Synergistic action of *Trichoderma koningiopsis* and *T. asperellum* mitigates salt stress in paddy. **Physiology and Molecular Biology of Plants**, v. 28, n. 5, p. 987-1004, 2022. <https://doi.org/10.1007/s12298-022-01192-6>
- ASGHAR, W.; KATAOKA, R. Effect of co-application of *Trichoderma* spp. with organic composts on plant growth enhancement, soil enzymes and fungal community in soil. **Archives of Microbiology**, v. 203, n. 7, p. 4281-4291, 2021. <https://doi.org/10.1007/s00203-021-02413-4>
- BAHIA FILHO, A. F. C. et al. Nutrição e adubação do milho. **Embrapa Milho e Sorgo- Documentos (INFOTECA-E)**, 1983. <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/476104/4/doc3.pdf>
- BARBOSA, B. B. et al. Ascomycetous isolates promote soil biological and nutritional attributes in corn and soybeans in sandy and clayey soils. **Rhizosphere**, p. 100625, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.rhisph.2022.100625>
- BEZDICEK, D.; SMITH, S.; TABATABAI, A. (ed.) Methods of Soil Analysis. Part 2: **Microbiological and Biochemical Properties**. Soil Science Society of America, p.778-833, 1994
- BHATT, P. et al. Understanding phytomicrobiome: a potential reservoir for better crop management. **Sustainability**, v. 12, n. 13, p. 5446, 2020. **Biology and Biochemistry**, Elsevier, Amsterdam, v.19, n.6, p.703-707, 1987. <https://doi.org/10.3390/su12135446>

BRASIL. O Ministro De Estado Da Agricultura, Pecuária E Abastecimento. Instrução Normativa nº 3, de 29 de dezembro de 2014. 2014.

BRASIL. O Ministro De Estado Da Agricultura, Pecuária E Abastecimento. Instrução Normativa MAPA A nº 03 de 15 de janeiro de 2020. 2020.

BUSBY, P. E. et al. Research priorities for harnessing plant microbiomes in sustainable agriculture. **PLoS biology**, v. 15, n. 3, p. e2001793, 2017.  
<https://doi.org/10.1371/journal.pbio.2001793>

CARABALÍ, M. M. S. et al. Effect of Cadmium contamination on the rhizosphere bacterial diversity of *Echinocactus platyacanthus*. **Rhizosphere**, v. 13, p. 100187, 2020.  
<https://doi.org/10.1016/j.rhisph.2020.100187>

CARD, S. D. et al. Beneficial entophytic microorganisms of *Brassica*—A review. **Biological Control**, v. 90, p. 102-112, 2015.  
<https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2015.06.001>

CARON, P. et al. Food systems for sustainable development: proposals for a profound four-part transformation. **Agronomy for sustainable development**, v. 38, n. 4, p. 1-12, 2018. <https://doi.org/10.1007/s13593-018-0519-1>

CENTENO, L. N. et al. Textura do solo: Conceitos e aplicações em solos arenosos. **Revista Brasileira de Engenharia e Sustentabilidade**, v. 4, n. 1, p. 31-37, 2017.  
<https://doi.org/10.15210/rbes.v4i1.11576>

CHAMMEM, H. et al. Effect of a Wood-Based Carrier of *Trichoderma atroviride* SC1 on the Microorganisms of the Soil. **Journal of Fungi**, v. 7, n. 9, p. 751, 2021.  
<https://doi.org/10.3390/jof7090751>

CHEN, D. et al. Combined use of two *Trichoderma* strains to promote growth of pakchoi (*Brassica chinensis* L.). **Agronomy**, v. 11, n. 4, p. 726, 2021.  
<https://doi.org/10.3390/agronomy11040726>

CHET, I. *Trichoderma* application, mode of action, and potential as a biocontrol agent of soilborne plant pathogenic fungi. In: Chet I. ed. **Innovative approaches to plant disease control**. Wiley & Sons, New York, NY: Wiley; pp. 137-160. 1987.  
[https://doi.org/10.1016/S0922-338X\(99\)80020-8](https://doi.org/10.1016/S0922-338X(99)80020-8)

CHOUHAN, G. K. et al. Phytomicrobiome for promoting sustainable agriculture and food security: Opportunities, challenges, and solutions. **Microbiological Research**, v. 248, p. 126763, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2021.126763>

COELHO, A. M. et al. Fertilidade de solos: nutrição e adubação do milho. **Embrapa Milho e Sorgo-Capítulo em livro científico (ALICE)**, 2008.  
<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/490410/1/Circ78.pdf>

CONAB - 7º Levantamento da Safra 2020/21 – Companhia Nacional de Abastecimento.

- CONTRERAS-CORNEJO, H. A. et al. The root entophytic fungus *Trichoderma atroviride* induces foliar herbivory resistance in maize plants. **Applied Soil Ecology**, v.124, p. 45-53, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2017.10.004>
- COSTA, S. M. L.; MELLONI, R. Relação de fungos micorrízicos arbusculares e rizobactérias no crescimento de mudas de oliveira (*Olea europaea*). **Ciência Florestal**, v. 29, p. 169-180, 2019. <https://doi.org/10.5902/1980509829936>
- DIAGNE, N. et al. Roles of arbuscular mycorrhizal fungi on plant growth and performance: Importance in biotic and abiotic stressed regulation. **Diversity**, v. 12, n. 10, p. 370, 2020. <https://www.mdpi.com/1424-2818/12/10/370#>
- DICK, R. P. Soil enzyme activities as indicators of soil quality. In: Doran, J. W., Coleman, D. C., Bezdicek, D. F. & Stewart, B. A. **Defining Soil Quality For A Sustainable Environment**, v. 35, p. 107-124, 1994. <https://doi.org/10.2136/sssaspecpub35.c7>
- DOWARAH, B.; GILL, S. S.; AGARWALA, N.. Arbuscular mycorrhizal fungi in conferring tolerance to biotic stresses in plants. **Journal of Plant Growth Regulation**, p. 1-16, 2021. <https://doi.org/10.1007/s00344-021-10392-5>
- DROBNIK, T. et al. Soil quality indicators–From soil functions to ecosystem services. **Ecological indicators**, v. 94, p. 151-169, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.06.052>
- DRUZHININA, I. S. et al. *Trichoderma* : the genomics of opportunistic success. **Nature Reviews Microbiology**, v. 9, n. 10, p. 749-759, 2011. <https://doi.org/10.1038/nrmicro2637>
- EMBRAPA – Empresa Brasileira Agropecuária. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agrossilvipastoril/sitio-tecnologico/trilha-tecnologica/tecnologias/plantas/soja>> Acesso em: 28/04/21
- ERBAUGH, J. et al. Toward sustainable agriculture in the tropics. **World Development**, v. 121, p. 158-162, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2019.05.002>
- FAGERIA, N.K.; ZIMMERMANN, F.J.P. Influence of pH on growth and nutrient uptake by crop species in an Oxisol. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.29, n.17, p.2675- 2682, 1998. <https://doi.org/10.1080/00103629809370142>
- GARCIA, C.; ROLDAN, A.; HERNANDEZ, T. Ability of different plant species to promote microbiological processes in semiarid soil. **Geoderma**, v. 124, n. 1-2, p. 193-202, 2005. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2004.04.013>
- GEE, G. W.; OR, D. 2.4 Particle-size analysis. **Methods of soil analysis**. Part, v. 4, n. 598, p. 255-293, 2002. <https://doi.org/10.2136/sssabookser5.4.c12>
- GIULIANI, A. F. **Determinação da acidez potencial de solos pela titulação direta**. 2015. 55 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Santa

Maria, Santa Maria, 2015. [https://bdtd.ibict.br/vufind/Record/UFSM-20\\_31b5a4745283185038f4f1bccd4c458d](https://bdtd.ibict.br/vufind/Record/UFSM-20_31b5a4745283185038f4f1bccd4c458d)

GÓMEZ-RODRÍGUEZ, E. Y. et al. Histone acetyltransferase TGF-1 regulates *Trichoderma atroviride* secondary metabolism and mycoparasitism. **PLoS One**, v. 13, n. 4, p. e0193872, 2018. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0193872>

GROVER, M. et al. Role of microorganisms in adaptation of agriculture crops to abiotic stresses. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, v. 27, n. 5, p. 1231-1240, 2011. <https://doi.org/10.1007/s11274-010-0572-7>

HALIFU, S. et al. Effects of two *Trichoderma* strains on plant growth, rhizosphere soil nutrients, and fungal community of *Pinus sylvestris* var. mongolica annual seedlings. **Forests**, v. 10, n. 9, p. 758, 2019. <https://doi.org/10.3390/f10090758>

INBAR, J.; CHET, I. The role of lectins in recognition and adhesion of the mycoparasitic fungus *Trichoderma* spp. to its host. **Toward Anti-Adhesion Therapy for Microbial Diseases**, p. 229-231, 1996. [https://doi.org/10.1007/978-1-4613-0415-9\\_27](https://doi.org/10.1007/978-1-4613-0415-9_27)

JOHANSSON, J. F.; PAUL, L. R.; FINLAY, R. D. Microbial interactions in the mycorrhizosphere and their significance for sustainable agriculture. **FEMS microbiology ecology**, v. 48, n. 1, p. 1-13, 2004. <https://doi.org/10.1016/j.femsec.2003.11.012>

KAKABOUKI, I. et al. Effect of colonization of *Trichoderma harzianum* on growth development and CBD content of hemp (*Cannabis sativa* L.). **Microorganisms**, v. 9, n. 3, p. 518, 2021. <https://doi.org/10.3390/microorganisms9030518>

KAMAL, R. K. et al. *Trichoderma* : a Most Common Biofertilizer with Multiple Roles in Agriculture. **Biomed J Sci & Tech Res**, v. 4, n. 5, p. 1-3, 2018. <https://www.academia.edu/download/76348064/BJSTR.MS.ID.001107.pdf>

KANG, J. et al. Phosphorus leaching in a sandy soil as affected by organic and inorganic fertilizer sources. **Geoderma**, v. 161, n. 3-4, p. 194-201, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2010.12.019>

KJELDAHL, C. A new method for the determination of nitrogen in organic matter. **Z Anal Chem**, v. 22, p. 366, 1883. <https://cir.nii.ac.jp/crid/1572543024017599360>

LAL, R. Soils and sustainable agriculture. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 28, n. 1, p. 57-64, 2008. <https://doi.org/10.1051/agro:2007025>

LAL, R. Restoring soil quality to mitigate soil degradation. **Sustainability**, v. 7, n. 5, p. 5875-5895, 2015. <https://doi.org/10.3390/su7055875>

LEE, S. et al. Use of soil enzymes as indicators for contaminated soil monitoring and sustainable management. **Sustainability**, v. 12, n. 19, p. 8209, 2020. <https://doi.org/10.3390/su12198209>

LI, K. et al. Soil sterilization leads to re-colonization of a healthier rhizosphere microbiome. **Rhizosphere**, v. 12, p. 100176, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.rhisph.2019.100176>

LOPEZ, D. C.; SWORD, G. A. The endophytic fungal entomopathogens *Beauveria bassiana* and *Purpureocillium lilacinum* enhance the growth of cultivated cotton (*Gossypium hirsutum*) and negatively affect survival of the cotton bollworm (*Helicoverpa zea*). **Biological Control**, v. 89, p. 53-60, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2015.03.010>

LÓPEZ-BUCIO, J.; PELAGIO-FLORES, R.; HERRERA-ESTRELLA, A. *Trichoderma* as biostimulant: exploiting the multilevel properties of a plant beneficial fungus. **Scientia horticulturae**, v. 196, p. 109-123, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.08.043>

LUDWIG-MÜLLER, J. Plants and endophytes: equal partners in secondary metabolite production?. **Biotechnology letters**, v. 37, p. 1325-1334, 2015. <https://doi.org/10.1007/s10529-015-1814-4>

MACHADO, D. F. M. et al. *Trichoderma* no Brasil: o fungo e o bioagente. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 35, n. 1, p. 274-288, 2012. <https://scielo.pt/pdf/rca/v35n1/v35n1a26.pdf>

MACÍAS-RODRÍGUEZ, L. et al. *Trichoderma atroviride* promotes tomato development and alters the root exudation of carbohydrates, which stimulates fungal growth and the biocontrol of the phytopathogen *Phytophthora cinnamomi* in a tripartite interaction system. **FEMS microbiology ecology**, v. 94, n. 9, p. f137, 2018.

MAIA, V. R. O. et al. Fungos endofíticos como promotores de resistência a estresse hídrico e salino: o caso do *Piriformospora indica*. **Brazilian Applied Science Review**, v. 4, n. 2, p. 621-633, 2020. <https://doi.org/10.1093/femsec/fiy137>

MAWARDA, P. C. et al. Deliberate introduction of invisible invaders: a critical appraisal of the impact of microbial inoculants on soil microbial communities. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 148, p. 107874, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2020.107874>

MAYO-PRIETO, S. et al. Influence of Physicochemical Characteristics of Bean Crop Soil in *Trichoderma spp.* Development. **Agronomy**, v. 11, n. 2, p. 274, 2021. <https://doi.org/10.3390/agronomy11020274>

MESSA, V. R.; SAVIOLI, M. R. Improving sustainable agriculture with arbuscular mycorrhizae. **Rhizosphere**, v. 19, p. 100412, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.rhisph.2021.100412>

MORAES, G. K. A.; FERRAZ, L. F.; CHAPLA, V. M. Compostos orgânicos voláteis de fungos endofíticos e suas aplicações biotecnológicas. **Revista Virtual de Química**, v. 12, n. 6, 2020. <http://static.sites.sbgq.org.br/rvq.sbgq.org.br/pdf/RVq290920-a1.pdf>

MUKHOPADHYAY, R.; KUMAR, D. *Trichoderma* : a beneficial antifungal agent and insights into its mechanism of biocontrol potential. **Egyptian Journal of Biological Pest Control**, v. 30, n. 1, p. 1-8, 2020. <https://doi.org/10.1186/s41938-020-00333-x>

OBERSON, A., BESSON, J.M., MAIRE, N., e STICHER, H. Microbiological processes in soil organic phosphorus transformations in conventional and biological cropping systems **Biol-fertil-soils.**, 21:138-148, 1996. <https://doi.org/10.1007/BF00335925>

OLDEMAN, L. R. The global extent of soil degradation. In **Soil resilience and sustainable land use** (ed. D. J. Greenland & I. Szabolcs), pp. 99–118. Wallingford, UK: CAB International. 1994. <https://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/fulltext/299739>

PANTIGOSO, H. A.; MANTER, D. K.; VIVANCO, J. M. Phosphorus addition shifts the microbial community in the rhizosphere of blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.). **Rhizosphere**, v. 7, p. 1-7, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.rhisph.2018.06.008>

PIÑEIRO, V. et al. A scoping review on incentives for adoption of sustainable agricultural practices and their outcomes. **Nature Sustainability**, v. 3, n. 10, p. 809-820, 2020. <https://doi.org/10.1038/s41893-020-00617-y>

PLUMECOCQ, G. et al. The plurality of values in sustainable agriculture models. **Ecology and Society**, v. 23, n. 1, 2018. <https://www.jstor.org/stable/26799066>

POVEDA, J. et al. *Trichoderma harzianum* favours the access of arbuscular mycorrhizal fungi to non-host Brassicaceae roots and increases plant productivity. **Scientific reports**, v. 9, n. 1, p. 1-11, 2019. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-48269-z>

RAIJ, B. van, et al. **Análise Química para Avaliação da Fertilidade de Solos Tropicais**. Campinas: Instituto Agrônômico, 2001

RAMBELLI, A. The Rhizosphere of Mycorrhizae. In: MARKS, Gerald S.; KOSLOWSKI, Theodore Thomas. *Ectomycorrhizae: their ecology and physiology*. Nova York: **Acedemic Press**, p. 299 - 343, 1973. [https://www.iac.sp.gov.br/publicacoes/publicacoes/Raij\\_et\\_al\\_2001\\_Metod\\_Anal\\_IAC.pdf](https://www.iac.sp.gov.br/publicacoes/publicacoes/Raij_et_al_2001_Metod_Anal_IAC.pdf)

RAO, Y. et al. *Trichoderma atroviride* LZ42 releases volatile organic compounds promoting plant growth and suppressing Fusarium wilt disease in tomato seedlings. **BMC microbiology**, v. 22, n. 1, p. 1-12, 2022. <https://doi.org/10.1186/s12866-022-02511-3>

ROMERO-ARIAS, A. et al. Effect of the application of mycorrhizal strains on the morphoagronomic development of *Glycine max* L. **Pastos y Forrajes**, v. 44, n. 1, p. NA-NA, 2021. <https://go.gale.com/ps/i.do?id=GALE%7CA663350164&sid=googleScholar&v=2.1&it=r&linkaccess=abs&issn=08640394&p=IFME&sw=w>

ROSA, A.; CAPONI, L. H.; JÚNIOR, L. A. Z.. Disponibilidade de fósforo em um Latossolo Vermelho em função do pH do solo. **Acta Iguazu**, v. 5, n. 5, p. 108-115, 2016. <https://doi.org/10.48075/actaiguaz.v5i5.15975>

RUDGERS, J. A.; KOSLOW, J. M.; CLAY, K. Endophytic fungi alter relationships between diversity and ecosystem properties. **Ecology Letters**, v. 7, n. 1, p. 42-51, 2004. <https://doi.org/10.1046/j.1461-0248.2003.00543.x>

SALAS-MARINA, M. A. et al. Colonization of *Arabidopsis* roots by *Trichoderma atroviride* promotes growth and enhances systemic disease resistance through jasmonic acid/ethylene and salicylic acid pathways. **European Journal of Plant Pathology**, v. 131, n. 1, p. 15-26, 2011. <https://doi.org/10.1007/s10658-011-9782-6>

SALVATORE, M.; ANDOLFI, A.; NICOLETTI, R. The thin line between pathogenicity and endophytism: The case of *Lasiodiplodia theobromae*. **Agriculture**, v. 10, n. 10, p. 488, 2020. <https://doi.org/10.3390/agriculture10100488>

SANI, M. N. H. et al. Impact of application of *Trichoderma* and biochar on growth, productivity and nutritional quality of tomato under reduced NPK fertilization. **Annals of Agricultural Sciences**, v. 65, n. 1, p. 107-115, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.aogas.2020.06.003>

SCHLOTTER, M. et al. Microbial indicators for soil quality. **Biology and Fertility of Soils**, v. 54, n. 1, p. 1-10, 2018. <https://doi.org/10.1007/s00374-017-1248-3>

SCHULZ, B. et al. Endophytic fungi: a source of novel biologically active secondary metabolites. **Mycological research**, v. 106, n. 9, p. 996-1004, 2002. <https://doi.org/10.1017/S0953756202006342>

SHARMA, S. B. et al. Phosphate solubilizing microbes: sustainable approach for managing phosphorus deficiency in agricultural soils. **SpringerPlus**, v. 2, n. 1, p. 1-14, 2013. <https://doi.org/10.1186/2193-1801-2-587>

SHETTY, R. et al. Aluminum toxicity in plants and its possible mitigation in acid soils by biochar: A review. **Science of the Total Environment**, v. 765, p. 142744, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142744>

SILVA, B. O. T. **ATRIBUTOS QUÍMICOS E DISPONIBILIDADE DE NUTRIENTES EM LATOSSOLO SOB DIFERENTES COBERTURAS**. 2018. <https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/123456789/12688>

SILVA, F. A. et al. Influence of the biocontrol agents *Trichoderma* spp. on the structure and functionality of the edaphic microbial community in common bean cultivars (*Phaseolus vulgaris* L.) inoculated with *Sclerotinia sclerotiorum* (Lib.) de Bary. **Applied Soil Ecology**, v. 168, p. 104190, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2021.104190>

SILVA, F. C. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. In: Embrapa Informação Tecnológica, Brasília, Distrito Federal, 2009. <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/330496>

SILVA, F. et al. Influence of the biocontrol agents *Trichoderma* spp. on the structure and functionality of the edaphic microbial community in common bean cultivars (*Phaseolus*

*vulgaris* L.) inoculated with *Sclerotinia sclerotiorum* (Lib.) de Bary. **Applied Soil Ecology**, v. 168, p. 104190, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2021.104190>

SILVA, L. L. et al. Aumentar as competências dos agricultores para a prática de uma agricultura sustentável. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 43, n. 2, p. 240-252, 2020. <https://doi.org/10.19084/rca.19942>

SILVA, M A. et al. Utilização de um Condicionador de Solo a Base de *Trichoderma asperellum* Visando à Redução da Adubação Nitrogenada e a Promoção de Crescimento de Clones de Eucalipto. **Revista Agroveterinária, Negócios e Tecnologias**, v. 2, n. 2, p. 130-142, 2017. <https://pdfs.semanticscholar.org/7ce6/57169b5172d39359da250e013cb060557ab6.pdf>

SINGH, J. et al. Belowground fungal volatiles perception in okra (*Abelmoschus esculentus*) facilitates plant growth under biotic stress. **Microbiological Research**, v. 246, p. 126721, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2021.126721>

SMITH, S. E.; READ, D. J. **Mycorrhizal symbiosis**. Academic press, 2010.

STONE, Jeffrey K.; BACON, Charles W.; WHITE JR, James F. An overview of endophytic microbes: endophytism defined. **Microbial endophytes**, p. 17-44, 2000.

STOTZKY, G. Microbial respiration. *Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties*, Soil Science Society of America, Madison, p.1550-1572, 1965. <https://doi.org/10.2134/agronmonogr9.2.c62>

SUMAN, A.; YADAV, A. N.; VERMA, P.. Endophytic microbes in crops: diversity and beneficial impact for sustainable agriculture. In: **Microbial inoculants in sustainable agricultural productivity**. Springer, New Delhi, 2016. p. 117-143 [https://doi.org/10.1007/978-81-322-2647-5\\_7](https://doi.org/10.1007/978-81-322-2647-5_7)

SYERS, J. K. Managing soils for long-term productivity. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences**, v. 352, n. 1356, p. 1011-1021, 1997. <https://doi.org/10.1098/rstb.1997.0079>

TABATABAI, M. A. Soil enzymes. **Methods of soil analysis: Part 2 Microbiological and biochemical properties**, v. 5, p. 775-833, 1994. <https://doi.org/10.2136/sssabookser5.2.c37>

TAJIK, S.; AYOUBI, S.; LORENZ, N. Soil microbial communities affected by vegetation, topography and soil properties in a forest ecosystem. **Appl. Soil Ecol.** 149, 103514. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2020.103514>

TALLAPRAGADA, P.; GUDIMI, M.. Phosphate solubility and biocontrol activity of *Trichoderma harzianum*. **Turkish journal of Biology**, v. 35, n. 5, p. 593-600, 2011. <https://doi.org/10.3906/biy-0911-4>

TAN, X., CHANG, S.X. & KABZEMS, R. Soil compaction and forest floor removal reduced microbial biomass and enzyme activities in a boreal aspen forest soil. **Biology**

**and Fertility of Soils**, 44(3), pp.471-479. 2008. <https://doi.org/10.1007/s00374-007-0229-3>

TANDON, A. et al. Phosphate solubilization by *Trichoderma koningiopsis* (NBRI-PR5) under abiotic stress conditions. **Journal of King Saud University-Science**, v. 32, n. 1, p. 791-798, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2019.02.001>

TEIXEIRA, P. C. et al. Manual de métodos de análise de solo. **Rio de Janeiro, Embrapa**. 573p, 2017. <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/330592>

TILMAN, D. et al. Global food demand and the sustainable intensification of agriculture. **Proceedings of the national academy of sciences**, v. 108, n. 50, p. 20260-20264, 2011. <https://doi.org/10.1073/pnas.1116437108>

TOTSCHKE, K. U. et al. Microaggregates in soils. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 181, n. 1, p. 104-136, 2018. <https://doi.org/10.1002/jpln.201600451>

USDA – GRAINS AND OILSEEDS OUTLOOK FOR 2021 - United States Department Agriculture. <https://www.ers.usda.gov/webdocs/outlooks/104714/ocs-22i.pdf?v=6282.7>

VANCE, Eric D.; BROOKES, Peter C.; JENKINSON, David S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. **Soil biology and Biochemistry**, v. 19, n. 6, p. 703-707, 1987. [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(87\)90052-6](https://doi.org/10.1016/0038-0717(87)90052-6)

VIERHEILIG, H.; PICHÉ, Y. A modified procedure for staining arbuscular mycorrhizal fungi in roots. **Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde**, v. 161, n. 5, p. 601-602, 1998. <https://doi.org/10.1002/jpln.1998.3581610515>

WANG, J. et al. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi on growth, photosynthesis, and nutrient uptake of *Zelkova serrata* (Thunb.) Makino seedlings under salt stress. **Forests**, v. 10, n. 2, p. 186, 2019. <https://doi.org/10.3390/f10020186>

WHITE, C.; SAYER, J. A.; GADD, G. M. Microbial solubilization and immobilization of toxic metals: key biogeochemical processes for treatment of contamination. **FEMS microbiology reviews**, v. 20, n. 3-4, p. 503-516, 1997. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6976.1997.tb00333.x>

YADAV, A. N. Biodiversity and biotechnological applications of host-specific endophytic fungi for sustainable agriculture and allied sectors. **Acta Sci Microbiol**, v. 1, p. 01-05, 2018. <https://doi.org/10.1016/B978-0-443-19150-3.00003-5>

ZHANG, F. et al. *Trichoderma* biofertilizer links to altered soil chemistry, altered microbial communities, and improved grassland biomass. **Frontiers in microbiology**, v. 9, p. 848, 2018. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.00848>

ZIN, N. A.; BADALUDDIN, N. A. Biological functions of *Trichoderma* spp. for agriculture applications. **Annals of Agricultural Sciences**, v. 65, n. 2, p. 168-178, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.aos.2020.09.003>