

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

**PROPRIEDADES BIOLÓGICAS E QUÍMICAS DE SOLOS ARENOSO E  
ARGILOSO TRATADOS COM ISOLADOS FÚNGICOS SOB SOJA E MILHO  
EM CASA-DE-VEGETAÇÃO**

**BRUNO BORGES BARBOSA**

**UBERLÂNDIA-MG**

**2021**

BRUNO BORGES BARBOSA

**PROPRIEDADES BIOLÓGICAS E QUÍMICAS DE SOLOS ARENOSO E  
ARGILOSO TRATADOS COM ISOLADOS FÚNGICOS SOB SOJA E MILHO  
EM CASA-DE-VEGETAÇÃO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Uberlândia, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Qualidade Ambiental – Mestrado, e 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-MG

2021



**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, 4/2021, PPGMQ				
Data:	26 de julho de 2021	Hora de início:	9:10	Hora de encerramento:	12:00
Matrícula do Discente:	11912MQA006				
Nome do Discente:	BRUNO BORGES BARBOSA				
Título do Trabalho:	PROPRIEDADES BIOLÓGICAS E QUÍMICAS DE SOLOS ARENOSO E ARGILOSO TRATADOS COM ISOLADOS FÚNGICOS SOB SOJA E MILHO EM CASA-DE-VEGETAÇÃO				
Área de concentração:	Meio Ambiente e Qualidade Ambiental				
Linha de pesquisa:	Processos Ambientais				
Projeto de Pesquisa de vinculação:	CONDICIONAMENTO BIOLÓGICO E DA FERTILIDADE DE SOLO ARENOSO E ARGILOSO TRATADOS COM ISOLADOS FÚNGICOS SOB SOJA E MILHO EM CASA-DE-VEGETAÇÃO				
Novo título sugerido pela Banca:					

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 do candidato), Beno Wendling (UFU), Eder da Costa dos Santos (UTFPR).

Iniciando os trabalhos o presidente da mesa Prof. Dr. Lucas Carvalho Basílio de Azevedo apresentou a Comissão Examinadora e o candidato, agradeceu a presença do público, e concedeu ao Discente a palavra para a exposição do seu trabalho. A duração da apresentação do 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, aos examinadores, que passaram a arguir o candidato. Ultimada a arguição, que se desenvolveu dentro dos termos regimentais, a Banca, em sessão secreta, atribuiu o resultado final, considerando o candidato:

Aprovado.

Esta defesa faz parte dos requisitos necessários à obtenção do título descrito na tabela acima. 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 26/07/2021, às 14:29, 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 **Eder da Costa dos Santos, Usuário Externo**, em 27/07/2021, às 08:58, 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 **Beno Wendling, Professor(a) do Magistério Superior**, em 27/07/2021, às 13:23, 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 **2882120** e o código CRC **F8C73FEC**.

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

---

- B238p  
2021
- Barbosa, Bruno Borges, 1991-  
Propriedades biológicas e químicas de solos arenoso e argiloso tratados com isolados fúngicos sob soja e milho em casa-de-vegetação [recurso eletrônico] / Bruno Borges Barbosa. - 2021.
- Orientador: Lucas Carvalho Basílio de Azevedo.  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia.  
Programa de Pós-Graduação em Qualidade Ambiental.  
Modo de acesso: Internet.  
Disponível em: <http://doi.org/10.14393/ufu.di.2021.5558>  
Inclui bibliografia.  
Inclui ilustrações.
1. Qualidade ambiental. I. Azevedo, Lucas Carvalho Basílio de, 1980-, (Orient.). II. Universidade Federal de Uberlândia. Programa de Pós-Graduação em Qualidade Ambiental. III. Título.

---

CDU:574

Glória Aparecida  
Bibliotecária - CRB-6/2047

***Dedico** esse trabalho aos meus pais,  
Eduardo e Fabiana, que sempre acreditaram em  
meu potencial, essa conquista é nossa.*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a empresa BIOSAG® pelo financiamento de toda a pesquisa, que sem ela não teria sido possível a realização desse estudo, estando sempre presente com o fornecimento de recursos técnicos e financeiros.

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 ao meu orientador, Dr. Lucas Carvalho Basílio de Azevedo, pelos ensinamentos, paciência, toda ajuda durante o desenvolvimento da pesquisa, apoio e preocupação com o bem-estar.

Ao meu colega de mestrado Jayder Pereira pela ajuda em toda a pesquisa e a discente de graduação em Engenharia Ambiental Nathalia Rodovalho.

Ao professor Ednaldo Carvalho Guimarães e à Pós-Doutoranda Simone Braga, pelo auxílio na parte estatística, com inúmeras orientações que contribuíram muito para o desenvolvimento da pesquisa.

Aos responsáveis pela Fazenda Experimental do Glória pela permissão de coleta de solo. À Fazenda Experimental Capim Branco pela doação das sementes de soja e ao professor Césio Humberto de Brito pela doação das sementes de milho.

À Professora Dra. Milla Alves Baffi, pelo zelo com os discentes quanto ao uso do Laboratório de Microbiologia - LAMIC e auxílios na etapa experimental.

Às técnicas Beatriz e Luciana Alves pelas orientações nas atividades realizadas no LAMIC.

E por fim a todos os professores do programa da Pós-Graduação em Qualidade Ambiental, que me ensinaram muito durante todo curso.

## SUMÁRIO

<b>RESUMO</b> .....	<b>12</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>13</b>
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>14</b>
<b>2. REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>15</b>
2.1. Fungos Promotores do Crescimento Vegetal.....	15
2.1.1. Beauveria bassiana.....	16
2.1.2. Metarhizium anisopliae.....	17
2.1.3. Trichoderma asperellum.....	18
2.1.4. Purpureocillium lilacinum.....	18
2.1.5. Pochonia chlamydosporia.....	19
2.2. Colonização micorrízica arbuscular.....	20
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>21</b>
3.1. Preparo do experimento.....	21
3.2. Preparo do inóculo dos fungos.....	22
3.3. Preparo e inoculação de sementes.....	23
3.4. Inoculação no solo.....	23
3.5. Condução do ensaio.....	24
3.6. Massa seca.....	25
3.7. Fertilidade do solo.....	25
3.8. Carbono da Biomassa Microbiana.....	25
3.9. Respiração basal microbiana.....	26
3.10. Colonização de raízes por fungos micorrízicos arbusculares.....	26
3.11. Atividade enzimática.....	29
3.12. Análise estatística.....	30
<b>4. RESULTADOS</b> .....	<b>31</b>
4.1. Massa seca.....	31
4.2. Fertilidade do solo.....	32
4.3. Carbono da biomassa microbiana.....	37
4.4. Respiração basal microbiana.....	37
4.5. Colonização de raízes por fungos micorrízicos arbusculares.....	38
4.6. Atividade enzimática.....	40
<b>5. DISCUSSÃO</b> .....	<b>45</b>
5.1. Colonização Micorrízica Arbuscular.....	45

5.2. Crescimento vegetal.....	48
5.3. Fertilidade do solo.....	48
5.4. Carbono da biomassa microbiana e Respiração basal do solo .....	49
5.5. Atividade enzimática.....	50
<b>6. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>50</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>52</b>

## LISTA DE FIGURAS

<b>FIGURA 1-</b> Monitoramento interno da temperatura da casa de vegetação.....	24
<b>FIGURA 2-</b> Raízes colonizadas por fungos micorrízicos arbusculares (FMA) em raízes de soja e milho crescidas sob aplicação de isolados fúngicos. As estruturas de FMA apresentam-se coradas em azul.....	28
<b>FIGURA 3 -</b> Estruturas do fungo micorrízico arbuscular em raízes de milho cultivado em casa de vegetação.....	29
<b>FIGURA 4 -</b> Porcentagem do comprimento da raiz colonizada por fungos micorrízicos arbusculares. ....	39
<b>FIGURA 5 -</b> Atividade enzimática em solo arenoso sob milho cultivado em casa de vegetação submetido a aplicações de fungos.....	41
<b>FIGURA 6 -</b> Atividade enzimática em solo argiloso sob milho cultivado em casa de vegetação submetido a aplicações de fungos.....	42
<b>FIGURA 7 -</b> Atividade enzimática em solo arenoso sob soja cultivado em casa de vegetação submetido a aplicações de fungos.....	43
<b>FIGURA 8 -</b> Atividade enzimática em solo argiloso sob soja cultivado em casa de vegetação submetido a aplicações de fungos.....	44

## LISTA DE TABELAS

<b>TABELA 1 -</b> Análise química do solo de distintas texturas, solo argiloso e arenoso, antes do início do experimento, ausente de correção de acidez, adubação e inoculação de isolados fúngicos, para posterior uso como substrato nos ensaios de milho e soja. Uberlândia, 2019.....	22
<b>TABELA 2 -</b> Concentrações de esporos de cada isolado fúngico e o volume das suspensões aplicadas na parte aérea do milho e soja após 14 e 28 dias de emergência das plantas .....	24
<b>TABELA 3 -</b> Fertilidade do solo arenoso para desenvolvimento de milho. comparando os tratamentos de aplicação de isolados fúngicos.....	33
<b>TABELA 4 -</b> Fertilidade do solo argiloso utilizado para desenvolvimento de milho. comparando os tratamentos de aplicação de isolados fúngicos.....	34
<b>TABELA 5 -</b> Fertilidade do solo arenoso utilizado para desenvolvimento de soja. comparando os tratamentos de aplicação de isolados fúngicos.....	35
<b>TABELA 6 -</b> Fertilidade do solo argiloso utilizado para desenvolvimento de soja. comparando os tratamentos de aplicação de isolados fúngicos.....	36

## LISTA DE SÍMBOLOS

FPCV	Fungos promotores do crescimento vegetal;
FMA	Fungos Micorrízicos arbuscular
AIA	Ácido indolacético
AJ	Ácido jasmônico
ET	Etileno
AS	Ácido salicílico
DIC	Delineamento Inteiramente Casualizado
FNR	Fosfato natural reativo OCP
CaCO <sub>3</sub>	Carbonato de cálcio
NaClO	Hipoclorito de sódio
KOH	Hidróxido de cálcio
HCl	Ácido clorídrico
NaCl	Cloreto de sódio
FDA	Diacetato de Fluoreceína
MSPA	Massa seca da parte aérea
MSR	Massa seca da raiz
C org.	Carbono orgânico;
H+Al	Acidez potencial
V%	Saturação por bases
T	Capacidade de troca de cátions
CBM	Carbono da Biomassa Microbiana
PNG	P-Nitrophenyl-B-D-glucosidase
THAM	Trometamol; tris-hydroxymethyl aminomethane
MUB	Tampão universal modificada
PNS	P-nitrofenil sulfato

## RESUMO

BARBOSA, BRUNO BORGES. **Propriedades biológicas e químicas de solos arenoso e argiloso tratados com isolados fúngicos sob soja e milho em casa-de-vegetação** 2021, 69p. Dissertação (Mestrado em Qualidade Ambiental) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.

Com o crescente aumento populacional, há a preocupação em se aumentar a produção de alimentos de maneira a garantir a sustentabilidade e a conservação ambiental. Muitas práticas do manejo agrícola convencional têm impactado negativamente propriedades físicas, químicas e bioquímicas do solo, o que leva a perdas de funcionalidade e, portanto, de qualidade ambiental. Dessa forma, torna-se importante desenvolver práticas que contribuam para a sustentabilidade dos sistemas, reduzindo os impactos observados no uso dos solos agrícolas, tais como microrganismos benéficos. Os fungos promotores de crescimento vegetal (FPCV) podem melhorar a saúde das plantas e o controle de pragas, e apresentar um potencial efeito sobre variáveis do solo. Nesse contexto, o presente estudo tem como objetivo principal identificar os efeitos de cinco isolados fúngicos (*Beauveria bassiana*, *Trichoderma asperellum*, *Metarhizium anisopliae*, *Purpureocillium lilacinum*, *Pochonia chlamydosporia*) no condicionamento das variáveis da química e da biologia de solo argiloso e arenoso sob soja e milho. Para tanto, um experimento foi instalado com milho e soja sobre solos argiloso e arenoso em casa-de-vegetação. Cada cultivar em cada solo recebeu 6 tratamentos de aplicação de isolados fúngicos, perfazendo 4 ensaios. Assim, os seguintes tratamentos foram aplicados em cada ensaio: 1 – Controle não inoculado; 2 – *Beauveria bassiana*; 3 – *Metarhizium anisopliae*; 4 – *Pochonia chlamydosporia*; 5 – *Purpureocillium lilacinum*; e 6 – *Trichoderma asperellum*. Foram analisados a colonização micorrízica arbuscular, fertilidade do solo, atividade enzimática, respiração basal microbiana, carbono da biomassa do solo e massa seca vegetal. Os ensaios foram em delineamento inteiramente casualizados. Alguns dos isolados fúngicos aplicados influenciaram na fertilidade do solo, nos parâmetros como pH, acidez potencial, magnésio e saturação por bases. A aplicação de qualquer um dos fungos condicionou maior colonização de raízes por fungos micorrízicos arbusculares, variando entre: 48,6% a 56,2% para os tratamentos inoculados e 32,5% para o controle no ensaio de milho sobre solo arenoso; 59,5% a 66,8% para os tratamentos inoculados e 46,3% para o controle no ensaio de milho sobre solo argiloso; 47,2% a 58,3% para os tratamentos inoculados e 29,9% para o controle no ensaio de soja sobre solo arenoso; 60,8% a 68,9% para os tratamentos inoculados e 33,6% para o controle no ensaio de soja sobre solo argiloso. Os parâmetros de fertilidade e atividade enzimática do solo, apresentaram alterações em variáveis em determinados tratamentos, sendo inconsistentes nos dois solos e duas culturas, mas indicando efeitos de interação solo-planta-microrganismo específicas. O crescimento vegetal, respiração basal microbiana e o carbono da biomassa microbiana não foram influenciados pelos isolados fúngicos.

**Palavras-Chave:** colonização micorrízica arbuscular, fungos promotores do crescimento vegetal; fertilidade do solo; microbiologia do solo.

## ABSTRACT

BARBOSA, BRUNO BORGES. **Biological and chemical properties applied to sandy and clayey soils granted with concession of fungi under soybean and corn in a greenhouse** 2021, 69p. Dissertation (Masters in Environmental Quality) – Federal University of Uberlândia, Uberlândia.

With the increase of the growing population, the urge to develop the food production in order to ensure sustainability and environmental conservation intensified. Many practices of conventional agricultural management have impacted negatively physical, chemical and biochemical properties of the soil, leading to losses on functionality and environmental quality. In this way, it becomes important to develop practices that contribute to the systems sustainability, reducing observed impacts on agricultural land use, such as beneficial microorganisms. Plant growth promoting fungi (PGPF) can improve plants' health, pest control, and have a potential effect on soil variables. In this context, this study aims to identify the effects of five isolated fungi (*Beauveria bassiana*, *Trichoderma asperellum*, *Metarhizium anisopliae*, *Purpureocillium lilacinum*, *Pochonia chlamydosporia*) conditioning chemical and biological variables of clayey and sandy soil under soybean and corn plantation. Therefore, an experiment was performed with corn and soybeans on clayey and sandy soils in a vegetation house. Each sample received 6 treatments of fungal isolated application, totaling 4 attempts for each treatment. Thus, the following treatments were applied in each experiment: 1 – Uninoculated control; 2 – *Beauveria bassiana*; 3 – *Metarhizium anisopliae*; 4 – *Pochonia chlamydosporia*; 5 – *Purpureocillium lilacinum*; and 6 – *Trichoderma asperellum*. The arbuscular mycorrhizal colonization, soil fertility, enzyme activity, microbial basal respiration, carbon from soil biomass and plant dry mass were analyzed. The experiments were fully randomised. Portions of the applied isolated fungi influenced the fertility of the soil, in parameters such as pH, potential acidity, magnesium, and base saturation. The application of any fungi conditioned greater colonization of roots by arbuscular mycorrhizal fungi, ranging from: 48.6% to 56.2% for inoculated treatments and 32.5% for the application in the corn test on sandy soil; from 59.5% to 66.8% for inoculated treatments and 46.3% in the experiment of corn on clayey soil; from 47.2% to 58.3% for inoculated treatments and 29.9% for the application in the soybean test on sandy soil; from 60.8% to 68.9% for inoculated treatments and 33.6% for the application in the soybean test on clayey soil. The parameters of soil fertility and enzymatic activity, presented changes in variables in certain treatments, being inconsistent in the two soils and two crops, but indicating specific soil-plant-microorganism interaction effects. The plant growth, microbial basal respiration and microbial biomass carbon were not influenced by the isolated fungi.

**Key words:** arbuscular mycorrhizal colonization, plant growth promoted by fungi; soil fertility; soil microbiology.

## 1. INTRODUÇÃO

A população do planeta deve atingir a marca de 11,2 bilhões de habitantes em 2100, com a preocupação não somente em se produzir alimentos, mas que ela seja realizada de maneira a garantir a sustentabilidade e a conservação ambiental (BONGAARTS, 2016). A agricultura é uma importante atividade econômica, onde muitas de suas práticas de manejo, como operações de preparo do solo, semeadura das culturas, aplicação de pesticidas e fertilizantes minerais, e monocultura têm impactado negativamente atributos físicos, químicos e bioquímicos do solo (LIMA *et al.*; YU *et al.*, 2016). Adicionalmente, alterações no uso e cobertura da terra proporcionam diretamente modificações na composição do habitat, na biodiversidade e no funcionamento do ecossistema, o que leva a alterações da qualidade ambiental (GARCÍA-MOZO; OTEROS; GALÁN, 2016). Além disso, a aplicação de fertilizantes minerais aumentou em todo o mundo a partir da metade do século 20 devido a expansão agrícola (PRETTY *et al.*, 2018; SUN *et al.*, 2018); ou seja, há indicativos que as práticas agrícolas não conservacionistas ainda estão em expansão.

Desse modo, torna-se importante desenvolver práticas de manejo do solo conservacionistas, que contribuam para a sustentabilidade dos sistemas e reduzam os impactos observados no uso dos solos agrícolas. Entre as opções encontram-se o uso de microrganismos benéficos às plantas.

Os fungos promotores de crescimento vegetal (FPCV) podem melhorar a saúde das plantas, aumentando a disponibilidade de nutrientes via mineralização da matéria orgânica e solubilização de minerais, elevando a absorção de nutrientes e crescimento vegetal via regulação hormonal da planta (RASHID; CHUNG, 2017; CHEN *et al.*, 2016). Também há o potencial de controle de pragas, patógenos e nematoides parasitas (LACEY *et al.*, 2015). Além disso, os FPCV podem estimular tanto a biomassa do solo como a matéria orgânica do solo (ABHILASH *et al.*, 2016).

O efeito da aplicação dos FPCV pode ser influenciado por diversas condições do solo; entre elas a textura, que influencia várias funções no solo, como infiltração e retenção de água e fertilidade (LI *et al.*, 2017). Além disso, solos distintos podem apresentar diferença tanto na composição como na diversidade funcional das comunidades microbianas do solo (JU *et al.*, 2016).

Os efeitos de microrganismos benéficos também podem variar de acordo com a espécie e fisiologia vegetal. Portanto, a aplicação de fungos endofíticos em plantas

hospedeiras diferentes é importante para se testar a constância do efeito benéfico de isolados no condicionamento do solo (KHAN *et al.*, 2017; TONG *et al.*, 2017)

Nesse contexto, o presente estudo teve como objetivo identificar os efeitos de cinco isolados fúngicos (*Beauveria bassiana*, *Trichoderma asperellum*, *Metarhizium anisopliae*, *Purpureocillium lilacinum*, *Pochonia chlamydosporia*) no condicionamento das variáveis da química e da biologia de solo argiloso e arenoso sob soja e milho. A hipótese geral é que os fungos aplicados atuam na dinâmica de carbono da rizosfera, com alteração de atributos da química e da biologia de solo, além de estimular a colonização micorrízica arbuscular, independente do solo (arenoso e argiloso) e da cultura (milho e soja).

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1. Fungos Promotores do Crescimento Vegetal

Fungos promotores do crescimento vegetal (FPCV) são microrganismos saprófitos, que contribuem na manutenção da fertilidade do solo que, conseqüentemente, melhoram o crescimento vegetal e auxiliam na defesa de infecções por patógenos (NAZIYA *et al.*, 2019). Os FPCV podem ser endofíticos (BARON *et al.*, 2020), entomopatogênicos (TALL *et al.*, 2018) e ou rizosféricos (SILVA *et al.*, 2018).

Os fungos endofíticos vivem durante todo ou parte do seu ciclo de vida de maneira assintomática dentro de tecidos vegetais saudáveis, sem acarretar patogenicidade (GREENFIELD *et al.*, 2016). Os endofíticos promotores de crescimento vegetal facilitam a atividade enzimática, troca de nutrientes, mobilização do fósforo insolúvel e resistência aos estressores abióticos (DARA, 2019; HASSAN *et al.*, 2017). Foi relatado que diferentes espécies de endofíticos fúngicos podem estar presentes no caule, folha ou raiz, da planta hospedeira (BAMISILE *et al.*, 2018), sendo encontrados em espécies como milho (*Zea mays*) (BING *et al.*, 1991), soja (*Glycine max*) (RUSSO *et al.*, 2014) e café (*Coffea spp.*) (POSADA *et al.*, 2007).

Os fungos entomopatogênicos são mais conhecidos por seu potencial biopesticida, minimizando os danos ambientais causados pela utilização de pesticidas químicos (OLIVEIRA *et al.*, 2016). Esses organismos ganharam maior relevância devido à sua capacidade de se estabelecerem como endofíticos de plantas e, com isso, atuarem na melhora da resistência sistêmica induzida contra estresses bióticos, do crescimento

vegetal, nutrição e desenvolvimento da raiz, além de maior proteção à estresses abióticos (GREENFIELD *et al.*, 2016; RAYA-DÍAZ *et al.*, 2017)

Entre os microrganismos que colonizam a rizosfera, alguns fungos promovem o crescimento vegetal com potencial de auxiliar no funcionamento do ecossistema e a sustentabilidade ambiental por participarem da solubilização e mineralização de nutrientes e de proteção contra pragas e doenças (PATTNAIK *et al.*, 2019; ZHU *et al.*, 2020).

Devido aos efeitos dos FPCV, a sua utilização pode contribuir para a redução dos riscos ou probabilidades de poluição por pesticidas, do escoamento de fósforo e nitrogênio provenientes de fertilizantes, e que podem causar eutrofização de corpos d'água, e das emissões de gases, como o N<sub>2</sub>O (ABHILASH *et al.*, 2016). Nesse sentido, os microrganismos vêm recebendo atenção de pesquisadores devido aos resultados promissores para sua aplicação na agricultura (BARON *et al.*, 2020).

### **2.1.1. Beauveria bassiana**

O fungo entomopatogénico *Beauveria bassiana* (Balsamo) Vuillemin (Hypocreales: Cordycipitaceae), cosmopolita, infecta insetos de diversas ordens, e é a espécie mais comum na produção de biopesticidas, contudo existem poucos relatos sobre sua dinâmica no solo (LEE *et al.*, 2017; BLOND *et al.*, 2018).

Na entomopatogênese, o processo de infecção se inicia quando os esporos do fungo aderem ao tegumento do inseto, germinam, desenvolvem as estruturas de infecção, denominadas apressórios, e produzem enzimas extracelulares, como lipases, proteases e quitinases, que rompem o tegumento, permitindo que o fungo invada, cresça no interior do inseto, provocando sua morte em poucos dias, e por fim, sob condições climáticas favoráveis, o fungo emerge com as hifas envolvendo a superfície do hospedeiro (ROBERTI *et al.*, 2017; TOOPAANG *et al.*, 2017).

No Brasil é utilizado para o controle de pragas de cultivares importantes como a broca-da-bananeira *Cosmopolites sordidus* Germar (Coleoptera: Curculionidae) e a broca-do-cafeeiro *Hypothenemus hampei* Ferrari (Coleoptera: Scolytidae), sendo um fungo que resiste no solo por mais de dois anos seguidos da aplicação de conídios no solo ou quando pulverizados nas copas das culturas (MWAURA *et al.*, 2017; OLIVEIRA *et al.*, 2016). *B. bassiana* foi descoberto naturalmente como endofíticos em diversas espécies de plantas, sendo aplicado em estudos em várias culturas, como em cultivares de café (POSADA *et al.*, 2007), algodão (GURULINGAPPA *et al.*, 2010), milho

(BING *et al.*, 1991), tamareira (GÓMEZ-VIDAL *et al.*, 2006), banana (AKELLO *et al.*, 2008), tomate (OWNLEY *et al.*, 2008) e o feijão comum (PARSA *et al.*, 2013), melhorando o crescimento vegetal e rendimento (CANASSA *et al.*, 2019; GREENFIELD *et al.*, 2016). O trabalho de Alves *et al.* (2021), relatou um aumento na colonização micorrízica arbuscular, na massa seca de raízes e na massa total acumulada dos nutrientes P, Mn, Zn e B na parte aérea de *Phaseolus vulgaris* L. com a aplicação de *B. Bassiana*.

### 2.1.2. *Metarhizium anisopliae*

*Metarhizium anisopliae* (Metschnikoff) Sorokin (Hypocreales: Clavicipitaceae) é um fungo entomopatogênico, amplamente utilizado na agricultura devido à capacidade de se adequar a ambientes heterogêneos. Essa espécie pode infectar uma diversa variedade de insetos devido principalmente à evolução de genes que provocam a degradação da cutícula do hospedeiro, desintoxicação e biossíntese de toxinas (DORIN *et al.*, 2015; RIBEIRO *et al.*, 2017). O fungo *M. anisopliae* ganhou atenção dos pesquisadores brasileiros ao ser notado sua ocorrência epizoótica sobre a espécie *Mahanarva posticata* (Stal) (Hemiptera: Cercopidae), conhecida popularmente como a cigarrinha da folha da cana-de-açúcar (OLIVEIRA *et al.*, 2016).

Os fungos entomopatogênicos do gênero *Metarhizium* são tidos como colonizadores frequentes da rizosfera em diversos ecossistemas, sugerindo-se sua permanência no solo mesmo na ausência de insetos e cultivares no campo (CASTRO *et al.*, 2016; GREENFIELD *et al.*, 2016).

Embora as espécies de *Metarhizium* sejam menos conhecidas como endofíticos, elas já foram aplicadas com êxito em culturas de feijão (BEHIE *et al.*, 2015), tomate (GARCIA *et al.*, 2011), fava (AKELLO *et al.*, 2012) e colza (BATTA *et al.*, 2013). Fungos desse gênero têm sido estudados quanto ao potencial de prover o crescimento vegetal. Aplicações de *M. Anisopliae* elevaram a colonização micorrízica arbuscular, a massa seca da raiz e a massa de Fe e B acumulada na parte aérea do feijoeiro (Alves *et al.*, 2021). Outro estudo demonstrou que o revestimento de sementes de milho com conídios de *M. anisopliae* reduziu a lesão das plântulas por larva-aramé, influenciando no aumento de produtividade, além de melhorar o desenvolvimento de pelos radiculares em plantas jovens e elevar a biomassa das culturas (CLIFTON *et al.*, 2018).

### 2.1.3. *Trichoderma asperellum*

O fungo *Trichoderma asperellum* (Samuels, Lieckf. & Nirenberg, Sydowia), frequentemente isolado do solo, tecidos de plantas, raízes e biomassa fúngica, atua no controle biológico de patógenos fúngicos, agindo por micoparasitismo, competição por nutrientes e espaço, e inibindo o crescimento ou reprodução da outra espécie pela liberação de substâncias tóxicas (SINGH *et al.*, 2016; TRIANA *et al.*, 2017).

O processo de infecção do gênero *Trichoderma* em diversos fungos patogênicos, como o *Rhizoctonia solani* e *Monilinia fructicola*, se inicia pelo reconhecimento da parede celular do hospedeiro, envolvimento do seu micélio, onde são desenvolvidas apressórios, com posterior secreção de enzimas degradantes da parede celular, como quitinases, proteases e  $\beta$ -1,3-glucanases para hidrólise dos principais componentes da parede celular do hospedeiro (CHAGAS *et al.*, 2017; GABARDO *et al.*, 2020; QIU *et al.*, 2017).

*Trichoderma* não apenas infecta outros fungos patogênicos, mas também promove o crescimento vegetal, onde sua inoculação induz tolerância ao estresse em plantas hospedeiras pelo melhor desenvolvimento da raiz e do caule, estímulo da resistência sistêmica induzida, solubilização e sequestro de nutrientes inorgânicos (SINGH *et al.*, 2016; WANG *et al.*, 2020). O potencial como promotor do crescimento vegetal do fungo *Trichoderma asperellum* foi constatado na soja em condições de clima e solo de cerrado (CHAGAS *et al.*, 2017) e em feijoeiro, em que se verificou aumento na colonização micorrízica arbuscular, na massa seca da raiz do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*), nas massas de Cu e B acumulado na parte aérea, e no carbono orgânico do solo da rizosfera com a aplicação de *T. asperellum* (Alves *et al.*, 2021).

### 2.1.4. *Purpureocillium lilacinum*

Anteriormente conhecido como *Paecilomyces lilacinus*, o *Purpureocillium lilacinum* (Thom. Bull.) Bur. é um dos fungos filamentosos endofíticos mais empregados como agente de controle biológico de nematoides das galhas como *Meloidogyne incognita*, de espécies como *Radopholus similis*, *Globodeera spp* e *Heterodera spp* (LOPEZ *et al.*, 2014; XIE *et al.*, 2016). Além de atuar no controle biológico de alguns insetos tais como o pulgão-do-algodoeiro (*Aphis gossypii*) e a mosca branca de estufa (*Trialeurodes vaporariorum*) (WANG *et al.*, 2016).

*P. lilacinum* possui distribuição cosmopolita, frequentemente isolado em grande parte dos solos agrícolas, no material vegetal em decomposição, em nematoides e insetos

(MEDEIROS *et al.*, 2018). O fungo é capaz de produzir vários tipos de enzimas proteolíticas e hidrolases de carboidratos, tais como serina proteases e quitinases, que podem hidrolisar as camadas lipídica e quitina da casca de ovo de nematoide (XIE *et al.*, 2016). A eficiência de controle contra *Meloidogyne javanica* e *Globodera pallida* pela aplicação de *P. lilacinum* no solo, pode alcançar valores maiores de 70% (HAJJI *et al.*, 2016).

Além de sua patogenicidade para os insetos e atividades antifúngicas, como a produção de amônia e enzimas hidrolíticas capazes de degradar as paredes celulares de fungos fitopatogênicos, o *P. lilacinum* também apresenta a capacidade de promover o crescimento vegetal provavelmente devido à produção do fitohormônio ácido indolacético (AIA, uma auxina) (CAVELLO *et al.*, 2015; HU *et al.*, 2019). Foram observados aumentos da colonização micorrízica arbuscular, da massa seca vegetal e da massa de N, P, Mn, Cu, Zn e B acumulados na parte aérea do feijoeiro, além de elevação do pH e das concentrações de Mg e de matéria orgânica do solo rizosférico com a aplicação de *P. lilacinum* no trabalho de Alves *et al.*, 2021. O mesmo fungo promoveu o crescimento vegetal de espécies tais como a *Avena sativa* (aveia) (HÉRNANDEZ *et al.*, 2016), *Oryza sativa* (arroz asiático) (SEENIVASAN *et al.*, 2011), *Solanum lycopersicum* (tomate) (CAVELLO *et al.*, 2015) e *Solanum melongena* (berinjela) (LAN *et al.*, 2017).

### **2.1.5. Pochonia chlamydosporia**

O fungo nematófago *Pochonia chlamydosporia* (Goddard) Zare & W. Gams é um parasita facultativo de ovos de nematoides predominantemente de nódulos radiculares e nematoides de cistos, com potencial como agente de biocontrole, sendo presente em solos naturalmente supressores de nematoides parasitas de plantas (ESCUADERO *et al.*, 2016) (ZAVALA-GONZALEZ *et al.*, 2016).

*P. chlamydosporia* possui um estilo de vida multitrófico, que consiste no saprotifismo no solo, endofitismo das raízes das plantas e parasitismo de ovos de nematoides, sugerindo ser capaz de se adaptar a diversas condições e ambientes (LIN *et al.*, 2018). Essas características são almejadas em um agente de controle biológico, pois possibilitam que o fungo sobreviva no solo, mesmo na inexistência do nematoide, além de serem produtores de clamidosporos, que operam como estruturas de sobrevivência (NASU *et al.*, 2018).

Pesquisas mostraram que *P. chlamydosporia* coloniza as raízes endofiticamente, favorecendo diretamente as plantas, pela via de sinalização do jasmonato, diminuindo o período de floração, estimulando o crescimento das plantas e melhorando tanto produção de sementes como suas defesas (EBADI *et al.*, 2018; LIN *et al.*, 2018). Foi observado que *P. chlamydosporia* consegue colonizar raízes endofiticamente de tomate (BORDALLO *et al.*, 2002), batata (MANZANILLA-LÓPEZ *et al.*, 2011) e cevada (MONFORT *et al.*, 2005). Alves *et al.* (2021) observaram aumentos da massa seca da raiz do feijoeiro, da colonização micorrízica arbuscular, na massa acumulada de Mn, Cu e Zn na parte aérea, além de aumento no pH e na concentração de cálcio e fósforo no solo devido à aplicação desse fungo.

## **2.2. Colonização micorrízica arbuscular**

As micorrizas associações simbióticas mutualistas entre alguns fungos do solo e raízes. As micorrizas são divididas em endomicorrizas, ectomicorrizas e ectoendomicorrizas. Nas ectomicorrizas, o fungo simbionte cresce na raiz, promove espessamento externo via manto fúngico, mas as hifas não penetram nas células do hospedeiro vegetal. Nas endomicorrizas, as hifas do fungo parceiro eventualmente entram nas células corticais da raiz. As ectoendomicorrizas apresentam o manto fúngico ao redor das raízes, mas as hifas também penetram eventualmente as células do vegetal. As micorrizas arbusculares (MA) são endomicorrizas, e consideradas uma das simbioses mutualísticas mais abundantes e antigas do planeta, envolvendo fungos biotróficos obrigatórios do filo Glomeromycota e as raízes de plantas vasculares (LEKBERG *et al.*, 2014; SMITH, READ, 2008).

O início da associação ocorre com a germinação dos esporos, desenvolvimento das hifas fúngicas, de maneira assimbiótica, e comunicação molecular entre os parceiros. Com a regulação fisiológica dada pela comunicação celular, as hifas fúngicas penetram e colonizam intercelularmente e, eventualmente, intracelularmente as células corticais das raízes das plantas hospedeiras, onde se diferenciam em estruturas conhecidas como arbúsculos (KIRIACHEK *et al.*, 2009; TOMAZELLI *et al.*, 2019). Essas estruturas consistem em uma intensa ramificação dicotômica da hifa intracelular localizada entre a parede celular e a membrana plasmática da célula (KIRIACHEK *et al.*, 2009; SMITH, READ, 2008). Concomitantemente, as hifas crescem no solo e absorvem água e nutrientes que são repassados para a planta hospedeira. Os arbúsculos são os prováveis órgãos responsáveis pela troca de nutrientes e fotoassimilados entre plantas hospedeiras

e os fungos micorrízicos arbusculares (FMA) (NAGATA *et al.*, 2015). Posteriormente, o fungo produz esporos no solo como forma de propágulos resistentes às condições ambientais.

Nessa relação simbiótica, os FMA recebem das plantas hospedeiras carboidratos e lipídios para manutenção de seu ciclo de vida e, em troca, fornecem água e nutrientes, principalmente nitrogênio e fósforo, resultando em maior crescimento e tolerância a estresses abióticos e patógenos (CHEN *et al.*, 2016; SMITH, READ, 2008). Além disso, os FMA auxiliam na melhora da qualidade edáfica devido a produção de hifas e glomalina que elevam a agregação de partículas, a estabilidade de agregados do solo e o estoque de carbono, que estimula o crescimento microbiano no solo (MEDDAD-HAMZA *et al.*, 2017).

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1. Preparo do experimento

Os ensaios foram realizados em casa-de-vegetação, em vasos contendo 10 dm<sup>3</sup> de solo. Cada um dos 4 ensaios distintos se constituiu de uma espécie vegetal (milho, variedade híbrida Pioneer® - P3754PWU ou soja, variedade Intacta RR2 PRO – NS69061PRO), crescendo sobre um tipo de solo (argiloso ou arenoso).

Os solos utilizados foram coletados a uma profundidade de 30 cm em um Latossolo Vermelho distrófico textura argilosa [Argila (475g kg<sup>-1</sup>), Silte (125g kg<sup>-1</sup>) Areia (400g kg<sup>-1</sup>)], sob *Urochloa brizantha* (18°57'32,98"S e 48°12'15,07"W), e em um Latossolo Amarelo distrófico típico textura arenosa [Argila (200g kg<sup>-1</sup>), Silte (75g kg<sup>-1</sup>) Areia (725g kg<sup>-1</sup>)], sob vegetação de Cerrado stricto sensu em recuperação (18°58'16,40"S e 48°12'28.29"O).

Os solos foram peneirados em malha de 2 mm, homogeneizados e uma amostra de cada solo foi separada para análise química do solo e de parâmetros de fertilidade em laboratório. Foram obtidos os seguintes parâmetros: pH em H<sub>2</sub>O, pH em CaCl<sub>2</sub>, carbono orgânico, fósforo, magnésio, potássio, cálcio, alumínio, acidez potencial (H + Al), capacidade de troca de cátions (T) e saturação por bases(V%) (Tabela 1).

**TABELA 1-** Análise química do solo de distintas texturas, solo argiloso e arenoso, antes do início do experimento, antes de correção de acidez, adubação e inoculação de isolados fúngicos, para posterior uso como substrato nos ensaios de milho e soja. Uberlândia, 2019.

pH H <sub>2</sub> O	pH CaCl <sub>2</sub>	C Org. dag kg <sup>-1</sup>	P meh mg dm <sup>-3</sup>	Mg	K	Ca	Al	H+Al	T	V
						cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>			%	
<b>Latossolo Vermelho distrófico textura argilosa</b>										
5,2	4,6	1,4	2,2	0,4	0,08	0,9	0,2	4	5,35	25
<b>Latossolo Amarelo distrófico típico textura arenosa</b>										
5,0	4,4	0,55	0,9	0,2	0,05	0,3	1,60	4,2	4,68	10

Análise realizada após padronização em peneiras com malha de 2mm. Carbono orgânico (Org. C); Magnésio (Mg); Potássio (K); Cálcio (Ca); Alumínio (Al); Fósforo Mehlich (PMEH); Acidez potencial (H+Al); Capacidade de troca de cátions (T) e Saturação por bases (V%).

A correção do pH foi realizada pela aplicação de CaCO<sub>3</sub> P.A. (0,954 g/dm<sup>3</sup> para argiloso e 1,08 g/dm<sup>3</sup> para arenoso) e MgCO<sub>3</sub> P.A. (0,225 g/dm<sup>3</sup> para argiloso e 0,26 g/dm<sup>3</sup> para arenoso), onde foram irrigados até atingir o ponto de saturação. Após duas semanas da aplicação dos carbonatos, foi misturado aos solos o KCl (0,174 g/dm<sup>3</sup> para argiloso e 0,167 g/dm<sup>3</sup> para arenoso). A fosfatagem corretiva foi realizada de acordo com Novais (1999), com 667 mg dm<sup>-3</sup> de fosfato natural reativo OCP (FNR), 7 semanas após a aplicação dos carbonatos de Ca e Mg. Nos vasos contendo milho foram adicionados 8g de ureia dissolvida em água de irrigação divididos em duas parcelas, sendo aplicados após 5 e 32 dias da semeadura.

Cada ensaio recebeu 6 tratamentos: controle, *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae*, *Pochonia chlamydosporia*, *Purpureocillium lilacinum* e *Trichoderma asperellum*. O delineamento para cada um dos 4 ensaios foi o inteiramente casualizado com 4 repetições. A fonte de esporos foi fornecida pela empresa Biosag®, em frascos contendo meio de cultura com isolados crescidos dos cinco fungos: *Beauveria bassiana* (Bals. Criv.) Vui, *Metarhizium anisopliae* (Metsch) Sorokin, *Pochonia chlamydosporia* (Goddard) Zare & W. Gams), *Purpureocillium lilacinum* (Thom. Bull.) Bur. e *Trichoderma asperellum* (Samuels, Lieckfeldt & Nirenberg).

### 3.2. Preparo do inóculo dos fungos

Em um liquidificador foram homogeneizados os esporos de cada isolado de fungo com 500 mL de água destilada por um período de 5 segundos. Após a homogeneização,

as suspensões foram alocadas em béqueres no qual foi coletada 0,1 mm<sup>3</sup> para a contagem de esporos em câmara de Neubauer.

Diluições foram feitas para se atingir suspensões com concentrações de 10<sup>5</sup> mL<sup>-1</sup> esporos para cada isolado fúngico. A suspensão para o tratamento controle foi preparada com a utilização do meio de cultura BDA (Agar Batata Dextrose).

### **3.3. Preparo e inoculação de sementes**

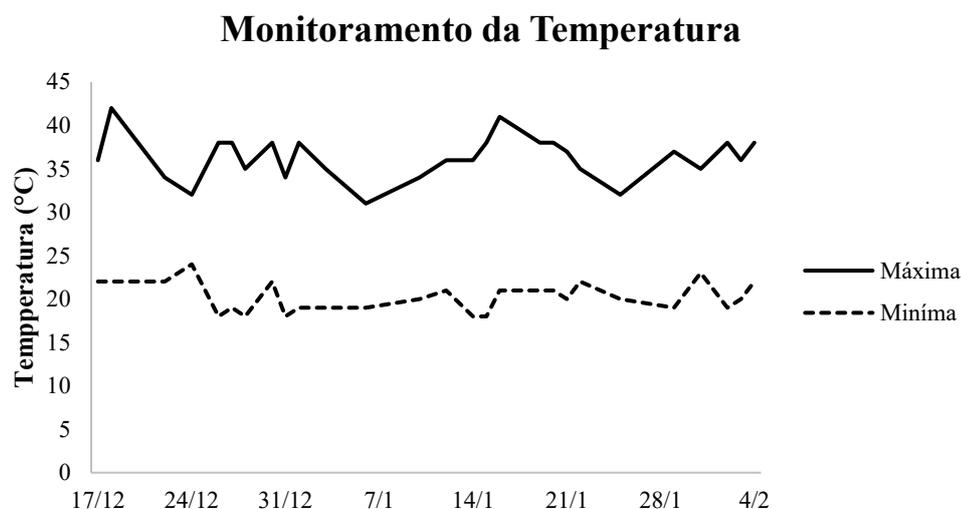
Foram separadas para os 4 ensaios 600 sementes tanto para soja como para o milho, sendo 100 sementes para cada tratamento. Posteriormente, 1 mL das determinadas suspensões de esporos foram aplicados a cada 100 sementes, exceto o controle que recebeu a suspensão com BDA autoclavada. As sementes foram misturadas com ajuda de um bastão de vidro em béqueres até a secagem da suspensão de esporos. Em cada 100 sementes de soja, foram adicionados 96 mg do inoculante turfoso Bioma Brady Soja diluído com água destilada, foram agitadas com bastão de vidro e deixadas para secarem em temperatura ambiente. As sementes permaneceram refrigeradas a 6°C por 17 horas até a semeadura nos vasos. Todos os preparos tanto das sementes como dos isolados fúngicos foram iguais para todos os ensaios.

### **3.4. Inoculação no solo**

Na casa-de-vegetação, foram feitas no solo dos vasos 9 covas com profundidade de 3 cm nos ensaios que receberam milho e 6 covas com profundidade de 1 cm nos ensaios que receberam soja. Posteriormente, para todos os ensaios uma semente foi colocada em cada orifício, juntamente com 1 mL da suspensão de esporos, sendo o mesmo tampado com solo. De maneira a evitar contaminações cruzadas o material foi exclusivo para cada tratamento. Os vasos, liquidificador e pulverizadores foram esterilizados previamente com uma solução de hipoclorito de sódio (NaClO) 1%.

A temperatura na casa-de-vegetação foi monitorada durante o ensaio no período de 17/12/19 a 04/02/2020, apresentando média de 28,35°C (Figura 1).

**FIGURA 1-** Monitoramento interno da temperatura da casa de vegetação.



### 3.5. Condução do ensaio

Após 14 e 28 dias de emergência das plantas, foram aplicados 100 mL de suspensão com os esporos em cada vaso por meio de pulverizadores manuais, com as concentrações demonstradas na Tabela 2. A parte aérea do milho e da soja de cada ensaio foi retirada mediante corte no colo da planta, ocorrendo aos 78 dias após semeadura do milho quando se deu início ao pendoamento (estádio VT) e aos 101 dias após a semeadura da soja quando todas apresentavam ao menos uma inflorescência (estádio R1)

**TABELA 2-** Concentrações de esporos de cada isolado fúngico e o volume das suspensões aplicadas na parte aérea do milho e soja após 14 e 28 dias de emergência das plantas.

<b>Tratamento</b>	<b>Concentração final de esporos (mL<sup>-1</sup>)</b>	<b>Volume final da suspensão (mL)</b>	<b>Volume aplicado por vaso (mL)</b>
Controle	-	800	100
<i>B. bassiana</i>	10 <sup>5</sup>	800	100
<i>M. anisopliae</i>	10 <sup>5</sup>	800	100
<i>P. chlamydosporia</i>	10 <sup>5</sup>	800	100
<i>P. lilacinum</i>	10 <sup>5</sup>	800	100
<i>T. asperellum</i>	10 <sup>5</sup>	800	100

### **3.6. Massa seca**

O sistema radicular de cada exemplar foi separado do solo em peneira de 2 mm, com posterior limpeza em água corrente, com uso de papel toalha para absorção da umidade externa. A massa seca da parte aérea e das raízes foi determinada após secagem em estufa à 60°C por 72 horas, período suficiente para a massa estabilizar.

### **3.7. Fertilidade do solo**

O solo que permaneceu preso às raízes após uma leve agitação foi considerado solo rizosférico (LI *et al.*, 2019; PANTIGOSO *et al.*, 2018). Este solo rizosférico foi então separado das raízes manualmente. As variáveis pH do solo, e as concentrações de carbono orgânico, H+Al, P, K, Ca, Mg, foram determinadas de acordo com Teixeira *et al.* (2017). A capacidade de troca catiônica foi calculada como a soma de Mg, Ca, K e H+Al.

### **3.8. Carbono da Biomassa Microbiana**

Para a quantificação do carbono da biomassa microbiana (CBM) foi utilizado o método proposto por Vance *et al.* (1987). Foram separados em frascos plásticos com tampa de 100 mL, duplicatas de 20 g de solo seco ao ar de cada amostra, onde metade foram submetidas a fumigação.

As amostras a serem fumigadas foram colocadas em um dessecador forrado com papel filtro umedecido com água destilada, sendo que os frascos foram destampados para livre circulação de ar para dentro do solo. No centro do dessecador foi colocado um béquer com aproximadamente 30 mL clorofórmio. Foi utilizado uma bomba de vácuo para diminuir a pressão do ar dentro do dessecador até que o clorofórmio entrasse em ebulição, ficando ligada mais 2 minutos após o início da ebulição. As amostras ficaram no dessecador por um período de aproximadamente 24 horas, em ambiente com baixa presença de luminosidade.

Após a fumigação das amostras foram adicionados 40 mL de solução de sulfato de potássio (K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>; 0,5M) em cada frasco de solo fumigado e solo não fumigado. Os 3 brancos consistiram em apenas 40 mL de sulfato de potássio (K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>; 0,5M), sem adição de solo. As amostras foram submetidas a uma agitação de 150 rpm durante 30 minutos.

Após a decantação, o sobrenadante de cada frasco foi filtrado em papel de filtro faixa azul em tubo falcon, no qual foram coletados 8 mL do extrato filtrado. Acrescentaram-se 2 mL de dicromato de potássio (K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>; 0,0667M) e 15 mL da

mistura de ácido sulfúrico/fosfórico ( $\text{H}_2\text{SO}_4/\text{H}_3\text{PO}_4$ ; 2:1). Todos os tubos foram incubados em banho-maria por 30 minutos a  $100^\circ\text{C}$ . Após esfriar, foram adicionados 20 mL de água destilada, chegando a um volume final de 45 mL por amostra.

Foram adicionadas 7 gotas do indicador ferroína [composto por O-fenantrolina (0,075 mol/L) e sulfato ferroso (0,041 mol/L)]. As amostras foram tituladas com sulfato ferroso amoniacal 0,0333M [ $(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4) \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ] diluído em ácido sulfúrico 0,4M .

A padronização do sulfato ferroso amoniacal 0,0333M foi preparada pipetando 3mL da solução de dicromato de potássio 0,06667M (0,4N) em erlenmeyer de 125 mL. Em seguida foram acrescentados 50 mL de água destilada, 15mL de ácido sulfúrico e 4 gotas do indicador ferroína. Por fim, titulou-se com o sulfato ferroso amoniacal e foi determinado a normalidade real (NR).

A quantidade de CBM foi calculada pela diferença entre o carbono orgânico extraído de amostra de solo fumigadas pela respectiva amostra não fumigada, utilizando o fator de correção (Kc) igual a 0,33, preconizado por Sparling & West (1988).

### **3.9. Respiração basal microbiana**

A respiração basal microbiana foi determinada por medição do  $\text{CO}_2$  liberado, segundo Stotzky (1965). Foram colocados 100 g de solo em frascos herméticos, com a umidade destes solos ajustada para 60%. Os frascos foram mantidos fechados e acondicionados em local escuro pelo período seis dias a fim de que a microbiota se aclimatasse, acompanhados de frascos sem solo que constituíram os brancos. No sétimo dia, recipientes plásticos de 40 ml contendo 10 ml de hidróxido de sódio (NaOH; 1M) foram colocados no interior de cada um dos frascos para que o NaOH reagisse com as moléculas de  $\text{CO}_2$  liberadas. A primeira leitura foi realizada após 24 horas, sendo retirados os recipientes dos frascos e adicionados 5 ml de cloreto de bário ( $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ; 1M), juntamente com 3 gotas de fenolftaleína (1%) e o NaOH residual sendo determinado pela titulação com ácido clorídrico (HCl; 0,5M). A determinação do  $\text{CO}_2$  por meio deste procedimento foi realizada às 24, 48, 72 horas, 7, 14, 28, 56 dias de incubação, sendo realizada a soma geral dos resultados de todos os dias de incubação para análise estatística.

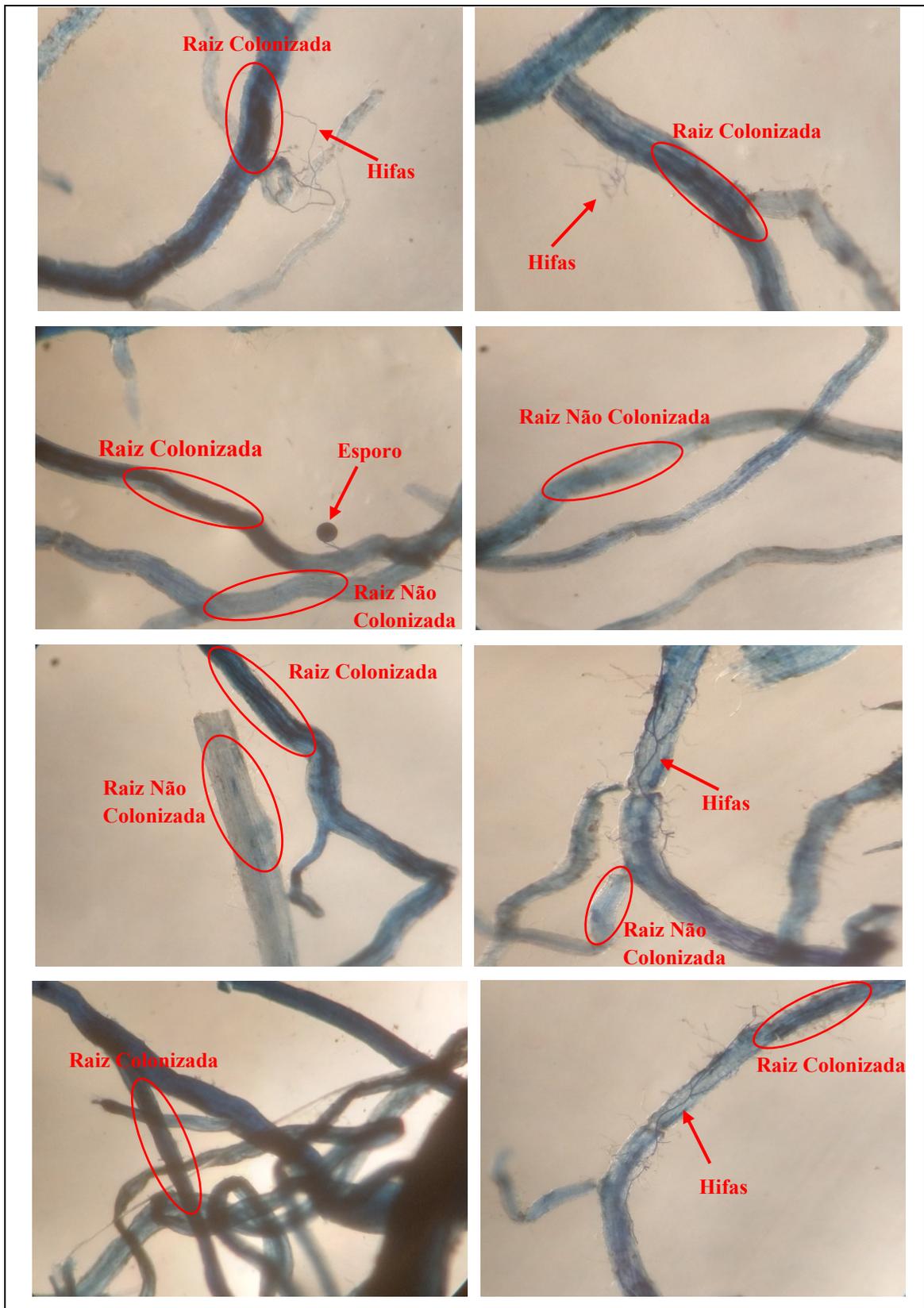
### **3.10. Colonização de raízes por fungos micorrízicos arbusculares**

Para a análise da colonização de raízes por fungos micorrízicos arbusculares, amostras de raízes frescas foram coletadas em fragmentos de aproximadamente 2 cm com

tesoura de forma representativa no terço superior, médio e inferior do sistema de raízes de cada amostra. As raízes foram acondicionadas em cassetes histológicos para a clarificação com imersão em KOH 10% por um período de 16 h em temperatura ambiente. A solução foi renovada e os cassetes foram incubados novamente em KOH 10% por 10 minutos a 60 °C. Logo após, os cassetes foram lavados em água corrente e imergidos em solução de HCl 1% por 5 minutos para acidificação das raízes. Os cassetes foram então imersos em solução de coloração (5% de tinta caneta Parker® comercial, 5% de ácido acético e 10% de lactoglicerol) (Vierheilig et al., 1998) a 90 °C por 3 minutos. As raízes foram preservadas em solução de lactoglicerol até a avaliação da colonização micorrízica (1:1:1, água destilada: ácido láctico: glicerol).

A porcentagem de raízes com colonização micorrízica foi determinada usando o método de placa de Petri reticulada sob microscópio estereoscópio com base no método Giovannetti e Mosse (1980), como observado na Figura 2. Na Figura 3 estão demonstradas as estruturas da micorriza arbuscular sob microscópio biológico.

**FIGURA 2-** Raízes colonizadas por fungos micorrízicos arbusculares (FMA) em raízes de soja e milho crescidas sob aplicação de isolados fúngicos. As estruturas de FMA apresentam-se coradas em azul.



**FIGURA 3** - Estruturas do fungo micorrízico arbuscular em raízes de milho cultivado em casa de vegetação.



### 3.11. Atividade enzimática

A atividade da hidrólise do Diacetato de Fluoreceína (FDA) foi determinada segundo Green et al., (2006). As atividades das enzimas  $\beta$ -glicosidase, fosfatase ácida e arilsulfatase foram determinadas segundo Tabatabai (1994).

#### *FDA*

Para análise da FDA foram separados em tubos 2 g do solo fresco, sendo adicionado 15 mL da solução tampão fosfato de potássio (pH 7,6). Em seguida adicionou-se 200  $\mu$ L da solução diacetato de fluoresceína (FDA) nas amostras e 200  $\mu$ L de acetona nos brancos. Todas as amostras foram submetidas em banho maria por 1 h a 30°C, sendo acrescido posteriormente 15 mL de solução extratora clorofórmio-metanol. Os tubos foram agitados e incubados novamente por 10 minutos em banho maria a 30°C. Transferiu-se para tubos eppendorf 1 mL da solução resultante juntamente com 1 mL da solução de diluição (Tampão/Metanol, 3:1), onde foram centrifugados por 5' A 10000 rpm. A leitura da intensidade de desenvolvimento da cor foi realizada com um espectrofotômetro a 490 nm.

#### *$\beta$ -glicosidase*

Foram colocados 1 g de solo de cada amostra em frascos Erlenmeyer de 50 mL, adicionando-se 0,25 mL de tolueno certificado, 4 mL MUB (tampão universal modificado) pH 6,0 e 1 mL de solução PNG (P-Nitrophenyl-B-D-glicosidase). Depois

de agitados por alguns segundos os frascos foram tampados e colocados em uma incubadora a 37°C, sendo mantidos por 1 hora, no qual foram acrescentados 1 mL de CaCl<sub>2</sub> (0,5M) e 4 mL de tampão THAM (trometamol; tris-hydroxymethyl aminomethane). Transferiu-se 1mL para tubos eppendorf para centrifugação por 5' a 10000 rpm. A leitura da intensidade de desenvolvimento da cor foi realizada com um espectrofotômetro a 410 nm.

O preparo dos brancos foi realizado seguindo os mesmos procedimentos diferindo apenas na adição de 1 mL de solução PNG após as adições de 1 mL de CaCl<sub>2</sub> (0,5 M) e 4 mL de tampão THAM (0,1 M pH 12) e imediatamente antes da filtragem da suspensão de solo.

#### *Fosfatase*

Em um frasco Erlenmeyer de 50 mL foram acrescentado 2 g do solo, 0,2 mL de tolueno, 4mL de MUB (pH 6,5 para análise de fosfatase ácida), 1 mL de solução PNP (P-nitrofenil fosfato), sendo o frasco agitado por alguns segundos, tampado e levado para a incubadora a 37° C. Após 1 h foram adicionados 1 mL de CaCl<sub>2</sub> (0,5 M) e 4 mL de NaOH (0,5 M), agitados por alguns segundos e transferido 1mL para o tubo eppendorf para centrifugação por 5' a 10000 rpm. A intensidade de desenvolvimento da cor amarela do filtrado foi lida com um espectrofotômetro a 410 nm.

#### *Arilsulfatase*

Foram adicionados em um frasco Erlenmeyer de 50 mL 1 g de solo, 0,25 mL de tolueno, 4 mL de tampão de acetato, 1 mL de solução PNS (p-nitrofenil sulfato), seguido de agitação por alguns segundos. Os frascos tampados, foram alocados na incubadora a 37°C por 1 h. Posteriormente acrescidos de 1 mL de CaCl<sub>2</sub> (0,5 M) e 4 mL de NaOH (0,5 M), agitados por alguns segundos e transferido 1mL para o tubo eppendorf, onde foram centrifugados por 5' a 10000 rpm. A intensidade de desenvolvimento da cor amarela do filtrado foi lida com um espectrofotômetro a 410 nm.

### **3.12. Análise estatística**

O programa *Action*® foi utilizado na análise de ocorrência de outliers e verificação as pressuposições de maneira a atender os pressupostos estatísticos essenciais em uma análise de variância. Desse modo, os dados foram submetidos aos testes de suposições sendo os pressupostos avaliados: normalidade dos resíduos, pela verificação

do gráfico de resíduos da análise de variância, aditividade por análise de histograma de resíduos, homocedasticidade por teste de *Levene* ( $p < 0,05$ ) e independência dos resíduos por meio de análise gráfica de Resíduos e Ordem de coleta. Após a validação de todas as suposições foi realizado análise de variância e o teste Scott- Knott ( $p < 0,05$ ) no programa Sisvar®. Todas as análises foram elaboradas com auxílio do programa *Action*®. Nas variáveis que não atenderam os pressupostos estatísticos utilizou-se o teste de *Kruskall-Wallis* ( $p < 0,05$ ) por meio do programa *Action*®.

Os resultados gerais das análises de cada tratamento foram apresentados em forma de média e desvio padrão, para os dados paramétricos. Para os dados não paramétricos foram apresentados a mediana e amplitude interquartil, sendo aplicado para os resultados do C org. e fosfatase ácida no ensaio de milho sobre solo arenoso; Ca, RBM e arilsulfatase no ensaio de milho sobre solo argiloso; pH ( $\text{CaCl}_2$ ) e CBM no ensaio de soja sobre solo arenoso; CBM e arilsulfatase no ensaio de soja sobre solo argiloso.

## 4. RESULTADOS

### 4.1. Massa seca

#### *Milho Arenoso*

Não houve diferença estatística entre os tratamentos no que se refere a massa seca tanta da parte aérea como das raízes ( $p < 0,05$ ; teste de Scott-Knott), sendo a média geral do ensaio de 19,64 g e 15,98 g, respectivamente.

#### *Milho Argiloso*

O milho não apresentou diferença estatística de massa seca da parte área e das raízes para nenhum dos tratamentos ( $p < 0,05$ ; teste de Scott-Knott), sendo a média geral de 30,39 g e 21,74 g, respectivamente

#### *Soja Arenoso*

A soja não apresentou diferença estatística de massa seca da parte área e das raízes para nenhum dos tratamentos ( $p < 0,05$ ; teste de Scott-Knott), sendo a média geral de 4,21 g e 2,39 g, respectivamente.

#### *Soja Argiloso*

Esse ensaio não apresentou diferença estatística para nenhum dos tratamentos nas análises da massa seca da parte área ( $p < 0,05$ ; teste de Scott-Knott), com média de 7,78g, e massa seca das raízes ( $p < 0,05$ ; teste de Scott-Knott) com média de 3,25g.

#### **4.2. Fertilidade do solo**

##### *Milho Arenoso*

A aplicação do isolado fúngico *P. lilacinum* no milho em solo arenoso aumentou o pH em H<sub>2</sub>O e o pH em CaCl<sub>2</sub> ( $p < 0,05$ ; teste de Scott-Knott), enquanto a utilização dos isolados fúngicos *B. bassiana* e *P. chlamydosporia* reduziram a concentração de fósforo no solo ( $p < 0,05$ ; teste de Scott-Knott) (Tabela 3). As médias das demais variáveis não se diferenciaram estatisticamente entre os tratamentos.

##### *Milho Argiloso*

O milho em solo argiloso apresentou aumento na acidez potencial ( $p < 0,05$ ; teste de Scott-Knott) e redução na saturação por bases ( $p < 0,05$ ; teste de Scott-Knott) nos tratamentos com *B. bassiana*, *M. anisopliae* e *T. asperellum*. (Tabela 4).

##### *Soja Arenoso*

A soja sobre solo arenoso apresentou um aumento nas variáveis pH (CaCl<sub>2</sub>) com a aplicação do fungo *T. asperellum* ( $p < 0,05$ ; Kruskal Wallis), e na acidez potencial com a utilização de *B. bassiana* e *P. lilacinum* ( $p < 0,05$ ; teste de Scott-Knott). enquanto a saturação por bases foi reduzida por esses mesmos isolados fúngicos ( $p < 0,05$ ; teste de Scott-Knott) (Tabela 5).

##### *Soja Argiloso*

A variável magnésio foi maior no tratamento com o *T. asperellum* com solo argiloso se comparada aos outros tratamentos ( $p < 0,05$ ; teste de Scott-Knott) (Tabela 6).

**TABELA 3** - Fertilidade do solo arenoso para desenvolvimento de milho. comparando os tratamentos de aplicação de isolados fúngicos.

	Controle	<i>B. bassiana</i>	<i>M. anisopliae</i>	<i>P. chlamydosporia</i>	<i>P. lilacinum</i>	<i>T. asperellum</i>
pH (H <sub>2</sub> O)*	5.23±0.13b	4.98±0.13b	5.1±0.22b	5.16±0.13b	<b>5.63±0.15a</b>	5.13±0.15b
pH (CaCl <sub>2</sub> )*	4.75±0.06b	4.58±0.15b	4.65±0.24b	4.78±0.15b	<b>5.18±0.05a</b>	4.73±0.17b
H+Al cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> *	1.89±0.08a	1,86±0.02a	1.9±0.22a	1.83±0.11a	1.86±0.14a	1.76±0.15a
Ca cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> *	1.08±0.10a	1.10±0.12a	1.06±0.17a	1.05±0.12a	1.2±0.14a	1.0±0.12a
Mg cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> *	0.20±0.03a	0.24±0.03a	0.25±0.03a	0.21±0.03a	0.27±0.04a	0.20±0.06a
K cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> *	0.12±0.02a	0.14±0.03a	0.13±0.02a	0.14±0.01a	0.14±0.03a	0.11±0.02a
T cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> *	3.31±0.21a	3.31±0.19a	3.34±0.08a	3.22±0.19a	3.16±0.05a	3.16±0.31a
C org dag.dm <sup>-3</sup> **	0.89±0.01a	0.84±0.06a	0.89±0.03a	0.92±0.15a	0.89±0.01a	0.95±0.01a
V %*	42.5±2.87a	44.25±3.1a	43.25±5.56a	43.5±3.70a	46.5±5.45a	42.5±2.08a
P mg dm <sup>-3</sup> *	<b>43.48±18a</b>	13.68±8.99b	<b>69.63±39.4a</b>	21.6±5.30b	<b>37.95±18.84a</b>	<b>48.93±2.08a</b>

\*Médias ± (desvio padrão) (n = 4), dados paramétricos sendo realizado teste de Scott-Knott. \*\* Mediana ± (amplitude interquartil) (n = 4), dados não paramétricos sendo realizado teste de Kruskal Wallis. Ambos os testes com nível de significância de 5% (p < 0.05), onde as letras minúsculas (destacadas em negrito) mostram diferenças entre os tratamentos. H+Al, acidez potencial; Ca, cálcio; Mg, magnésio; K, potássio; T, capacidade de troca de cátions; C org, carbono orgânico; V%, saturação por bases; P, fósforo.

**TABELA 4** - Fertilidade do solo argiloso utilizado para desenvolvimento de milho comparando os tratamentos de aplicação de isolados fúngicos.

	Controle	<i>B. bassiana</i>	<i>M. anisopliae</i>	<i>P. chlamydosporia</i>	<i>P. lilacinum</i>	<i>T. asperellum</i>
pH (H <sub>2</sub> O)*	4.88±0.15a	5.03±0.15a	4.95±0.13a	5±0a	5.23±0.26a	4.9±0.22a
pH (CaCl <sub>2</sub> ) *	4.53±0.15a	4.55±0.1a	4.55±0.13a	4.65±0.06a	4.8±0.2a	4.53±0.15a
H+Al cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> *	2.63±0.31b	<b>3.05±0.28a</b>	<b>2.95±0.38a</b>	2.42±0.15b	2.5±0.26b	<b>2.9±0.41a</b>
Ca cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3**</sup>	1.32±0.06a	1.26±0.01a	1.25±0.01a	1.35±0.03a	1.31±0.03a	1.27±0.12a
Mg cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3*</sup>	0.46±0.04a	0.41±0.02a	0.41±0.01a	0.49±0.05a	0.42±0.06a	0.48±0.08a
K cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3*</sup>	0.17±0.02a	0.18±0.02a	0.16±0.03a	0.15±0.05a	0.17±0.02a	0.16±0.01a
T cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3*</sup>	4.99±0.25a	5.2±0.33a	5.1±0.32a	4.91±0.32a	4.79±0.28a	4.98±0.09a
C org dag.dm <sup>-3*</sup>	2.08±0.13a	2.32±0.05a	2.35±0.25a	2.25±0.1a	2.05±0.37a	2±0.18a
V %*	<b>47.5±3.79a</b>	41.75±1.7b	42.25±3.86b	<b>50.5±0.58a</b>	<b>48±3.16a</b>	42±7.53b
P mg dm <sup>-3*</sup>	31.43±9.7a	37.93±26.33a	39.75±6.65a	23.55±9.11a	42.43±3.21a	32.7±9.64a

\*Médias ± (desvio padrão) (n = 4), dados paramétricos sendo realizado teste de Scott-Knott. \*\* Mediana ± (amplitude interquartil) (n = 4), dados não paramétricos sendo realizado teste de Kruskal Wallis. Ambos os testes com nível de significância de 5% (p < 0.05), onde as letras minúsculas (destacadas em negrito) mostram diferenças entre os tratamentos. H+Al, acidez potencial; Ca, cálcio; Mg, magnésio; K, potássio; T, capacidade de troca de cátions; C org, carbono orgânico; V%, saturação por bases; P, fósforo.

**TABELA 5** - Fertilidade do solo arenoso utilizado para desenvolvimento de soja comparando os tratamentos de aplicação de isolados fúngicos.

	Controle	<i>B. bassiana</i>	<i>M. anisopliae</i>	<i>P. chlamydosporia</i>	<i>P. lilacinum</i>	<i>T. asperellum</i>
pH (H <sub>2</sub> O)*	5.85±0.19a	5.75±0.17a	5.78±0.1a	5.65±0.13a	5.58±0.22a	5.83±0.21a
pH (CaCl <sub>2</sub> ) **	5.35±0.06b	5.25±0.1b	5.3b	5.23±0.1b	5.13±0.1b	<b>5.4±0.12a</b>
H+Al cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> *	1.33±0.03b	<b>1.43±0.15a</b>	1.29±0.12b	1.29±0.08b	<b>1.53±0.08a</b>	1.34±0.05b
Ca cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> *	1.13±0.11a	0.98±0.06a	1.07±0.05a	1.09±0.17a	1.04±0.13a	1.07±0.17a
Mg cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> *	0.22±0.01a	0.21±0.04a	0.24±0.01a	0.24±0.03a	0.22±0.01a	0.21±0.04a
K cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> *	0.08±0.01a	0.08±0.02a	0.08±0.01a	0.09±0.02a	0.08±0.03a	0.09±0.02a
T cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> *	2.75±0.10a	2.69±0.17a	2.68±0.14a	2.71±0.21a	2.86±0.15a	2.65±0.11a
C org dag.dm <sup>-3</sup> *	0.7±0.08a	0.83±0.13a	0.73±0.05a	0.78±0.05a	0.75±0.06a	0.65±0.1a
V %*	<b>51.75±2.22a</b>	47±3.37b	<b>52±2.16a</b>	<b>52.25±4.11a</b>	46.25±3.77b	49.5±3.42b
P mg dm <sup>-3</sup> *	56.15±14.12a	46.18±14.63a	31.08±5.57a	50.1±9.73a	68.55±63.68a	37.23±7.92a

\*Médias ± (desvio padrão) (n = 4), dados paramétricos sendo realizado teste de Scott-Knott. \*\* Mediana ± (amplitude interquartil) (n = 4), dados não paramétricos sendo realizado teste de Kruskal Wallis. Ambos os testes com nível de significância de 5% (p < 0.05), onde as letras minúsculas (destacadas em negrito) mostram diferenças entre os tratamentos. H+Al, acidez potencial; Ca, cálcio; Mg, magnésio; K, potássio; T, capacidade de troca de cátions; C org, carbono orgânico; V%, saturação por bases; P, fósforo.

**TABELA 6** - Fertilidade do solo argiloso utilizado para desenvolvimento de soja. comparando os tratamentos de aplicação de isolados fúngicos.

	Controle	<i>B. bassiana</i>	<i>M. anisopliae</i>	<i>P. chlamydosporia</i>	<i>P. lilacinum</i>	<i>T. asperellum</i>
pH (H <sub>2</sub> O)	5.58±0.05a	5.5±0.18a	5.55±0.18a	5.63±0.1a	5.7±0.12a	5.73±0.13a
pH (CaCl <sub>2</sub> )	5.13±0.05a	5.05±0.1a	5.15±0.06a	5.18±0.13a	5.23±0.1a	5.3±0.08a
H+Al cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	2.14±0.13a	2.12±0.18a	2.09±0.27a	2.17±0.2a	2±0.07a	1.97±0.18a
Ca cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	1.76±0.11a	1.63±0.07a	1.8±0.08a	1.78±0.1a	1.79±0.14a	1.96±0.12a
Mg cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	0.53±0.07b	0.55±0.04b	0.56±0.03b	0.55±0.05b	0.56±0.04b	<b>0.63±0.02a</b>
K cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	0.15±0.01a	0.15±0.04a	0.13±0.01a	0.13±0.01a	0.15±0.02a	0.15±0.03a
T cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	4.59±0.15a	4.45±0.19a	4.57±0.15a	4.62±0.11a	4.49±0.2a	4.71±0.16a
C org dag.dm <sup>-3</sup>	2.28±0.15a	1.9±0.14a	2.23±0.39a	2.13±0.19a	2.2±0.14a	2.05±0.13a
V %	53.25±2.75a	52.5±2.38a	54.5±4.36a	53±3.56a	55.5±1.29a	58.25±2.63a
P mg dm <sup>-3</sup>	39.8±8.49a	26.28±4.9a	35.85±7.71a	40.2±13.89a	31.6±11.19a	32.43±5.56a

Médias ± (desvio padrão) (n = 4), dados paramétricos sendo realizado teste de Scott-Knott. Teste com nível de significância de 5% (p < 0.05), onde as letras minúsculas (destacadas em negrito) mostram diferenças entre os tratamentos. H+Al, acidez potencial; Ca, cálcio; Mg, magnésio; K, potássio; T, capacidade de troca de cátions; C org, carbono orgânico; V%, saturação por bases; P, fósforo.

### **4.3. Carbono da biomassa microbiana**

#### *Milho Arenoso*

Não houve diferença estatística nas médias de teor de carbono da biomassa microbiana entre os tratamentos ( $p < 0,05$ ; teste de Scott-Knott), sendo a média geral de  $253,29 \mu\text{g g}^{-1}$ .

#### *Milho Argiloso*

Não houve diferença estatística no que se refere ao carbono da biomassa microbiana entre os tratamentos ( $p < 0,05$ ; teste de Scott-Knott), sendo a média geral de  $987,77 \mu\text{g g}^{-1}$ .

#### *Soja Arenoso*

Não houve diferença estatística no que se refere ao carbono da biomassa microbiana entre os tratamentos ( $p < 0,05$ ; Kruskal Wallis), sendo a mediana das amostras de  $1121,09 \mu\text{g g}^{-1}$ .

#### *Soja Argiloso*

Não houve diferença estatística no que se refere ao carbono da biomassa microbiana entre os tratamentos ( $p < 0,05$ ; Kruskal Wallis), sendo a mediana das amostras do ensaio de  $1758,77 \mu\text{g g}^{-1}$ .

### **4.4. Respiração basal microbiana**

#### *Milho Arenoso*

Não foi identificado diferença estatística nas médias da respiração basal microbiana entre os tratamentos ( $p < 0,05$ ; teste de Scott-Knott), no qual a média geral foi de  $0,26 \mu\text{g g}^{-1} \text{h}^{-1}$ .

#### *Milho Argiloso*

Não foi identificado diferença estatística no que se refere a respiração basal microbiana entre os tratamentos ( $p < 0,05$ ; Kruskal Wallis), sendo a mediana geral de  $0,28 \mu\text{g g}^{-1} \text{h}^{-1}$ .

#### *Soja Arenoso*

Não foi identificado diferença estatística potencial no que se refere a respiração basal microbiana entre os tratamentos ( $p < 0,05$ ; teste de Scott-Knott), onde a média geral foi de  $0,21 \mu\text{g g}^{-1} \text{h}^{-1}$ .

#### *Soja Argiloso*

Não foi identificado diferença estatística no que se refere a respiração basal microbiana entre os tratamentos ( $p < 0,05$ ; teste de Scott-Knott), com uma média geral das amostras do ensaio de  $0,18 \mu\text{g g}^{-1} \text{h}^{-1}$ .

### **4.5. Colonização de raízes por fungos micorrízicos arbusculares**

#### *Milho Arenoso*

A colonização da raiz por FMA atingiu 32,5% no tratamento controle e variou de 48,6% a 56,2% nos tratamentos com aplicação de isolados fúngicos (Figura 4A). A colonização da raiz por FMA foi significativamente maior em todos os tratamentos inoculados em relação ao controle ( $p < 0,05$ ; teste de Scott-Knott).

#### *Milho Argiloso*

A colonização da raiz por FMA atingiu 46,3% no tratamento controle e variou de 59,5% a 66,8% nos tratamentos com aplicação de isolados fúngicos (Figura 4B). A colonização da raiz por FMA foi significativamente maior em todos os tratamentos inoculados em relação ao controle ( $p < 0,05$ ; teste de Scott-Knott).

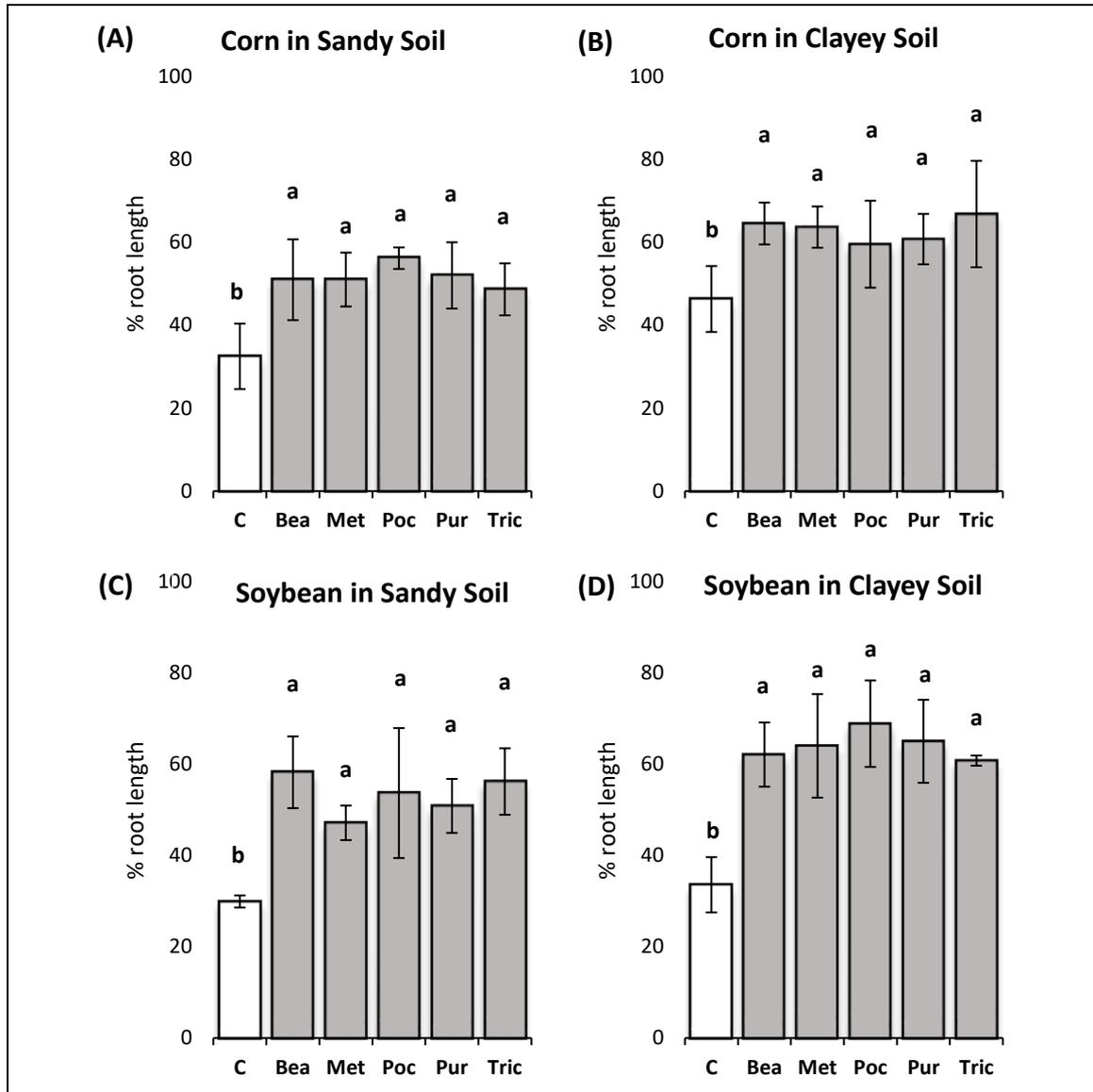
#### *Soja Arenoso*

A colonização da raiz por FMA atingiu 29,9% no tratamento controle e variou de 47,2% a 58,3% nos tratamentos com aplicação de isolados fúngicos (Figura 4C). A colonização da raiz por FMA foi significativamente maior em todos os tratamentos inoculados em relação ao controle ( $p < 0,05$ ; teste de Scott-Knott).

#### *Soja Argiloso*

A colonização da raiz por FMA atingiu 33,6% no tratamento controle e variou de 60,8% a 68,9% nos tratamentos com aplicação de isolados fúngicos (Figura 4D). A colonização da raiz por FMA foi significativamente maior em todos os tratamentos inoculados em relação ao controle ( $p < 0,05$ ; teste de Scott-Knott).

**FIGURA 4** - Porcentagem do comprimento da raiz colonizada por fungos micorrízicos arbusculares.



Porcentagem do comprimento da raiz colonizada por fungos micorrízicos arbusculares, segundo o método de Giovannetti e Mosse (1980). C – controle, Bea – *Beauveria bassiana*, Met – *Metarhizium anisopliae*, Poc – *Pochonia chlamydosporia*, Pur – *Purpureocillium lilacinum*, Tric – *Trichoderma asperellum*. Letras minúsculas diferentes indicam diferenças entre os tratamentos (teste de Kruskal Wallis,  $p < 0.05$ ). Barras de erro representam o desvio padrão ( $n = 4$ ).

#### 4.6. Atividade enzimática

##### *Milho Arenoso*

O milho sobre solo arenoso apresentou diferença estatística na atividade enzimática para a enzima fosfatase com valores menores para o tratamento com o isolado fúngico *P.lilacinum*. ( $p < 0,05$ ; Kruskal Wallis) (Figura 5).

##### *Milho Argiloso*

Não foi apresentado diferença estatística na atividade enzimática entre os tratamentos, onde a média geral foi de  $44,47 \mu\text{g g}^{-1}$  para  $\beta$ -glicosidae ( $p < 0,05$ ; teste de Scott-Knott);  $479,2 \mu\text{g g}^{-1}$  para Fosfatase ( $p < 0,05$ ; teste de Scott-Knott);  $90,55 \mu\text{g g}^{-1}$  para FDA ( $p < 0,05$ ; teste de Scott-Knott); e mediana ( $p < 0,05$ ; Kruskal Wallis) de  $49,3 \mu\text{g g}^{-1}$  para Arilsulfatase (Figura 6).

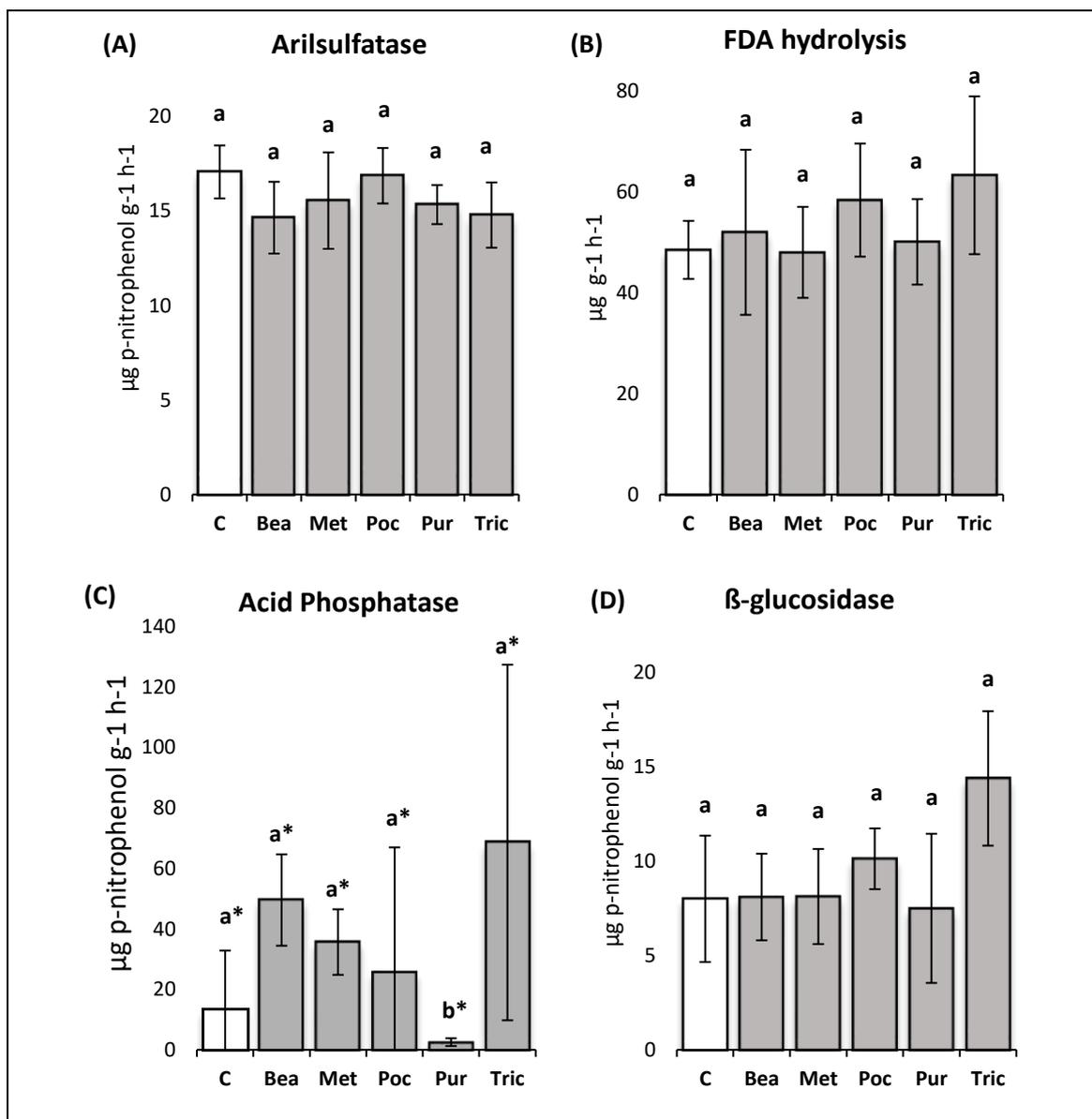
##### *Soja Arenoso*

Não foi apresentado diferença estatística na atividade enzimática entre os tratamentos ( $p < 0,05$ ; teste de Scott-Knott), onde a média geral foi de  $15,99 \mu\text{g g}^{-1}$  para  $\beta$ -glicosidade;  $23,63 \mu\text{g g}^{-1}$  para Fosfatase;  $74,74 \mu\text{g g}^{-1}$  para FDA; e  $18,45 \mu\text{g g}^{-1}$  para Arilsulfatase (Figura 7).

##### *Soja Argiloso*

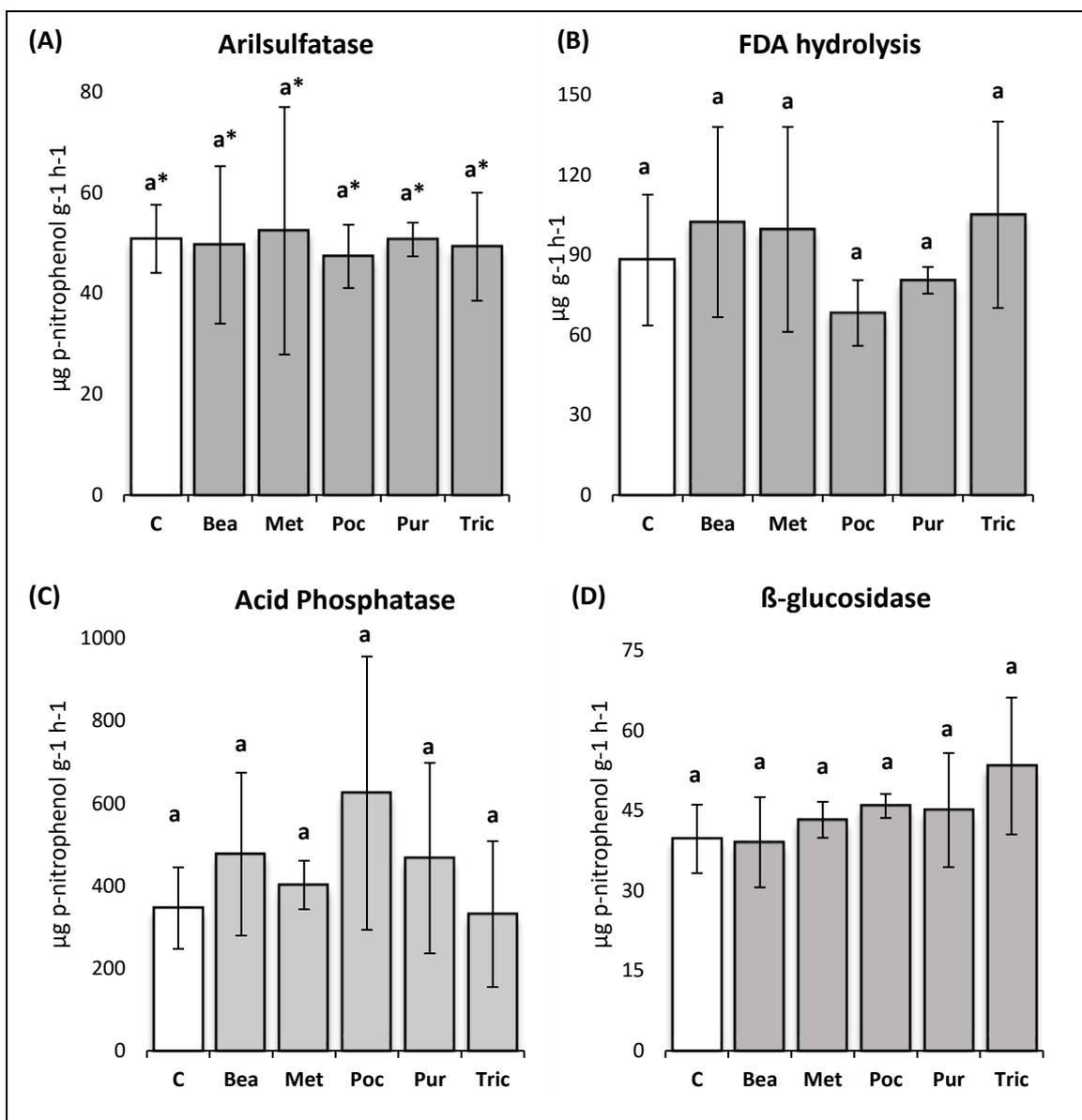
A atividade enzimática da FDA na soja sob solo argiloso foi maior no tratamento com aplicação de *T. asperellum* ( $p < 0,05$ ; teste de Scott-Knott), seguido pelo tratamento com *P. chlamydosporia*, sendo maiores que os demais tratamentos ( $p < 0,05$ ; teste de Scott-Knott) (Figura 8).

**FIGURA 5** - Atividade enzimática em solo arenoso sob milho cultivado em casa de vegetação submetido a aplicações de fungos



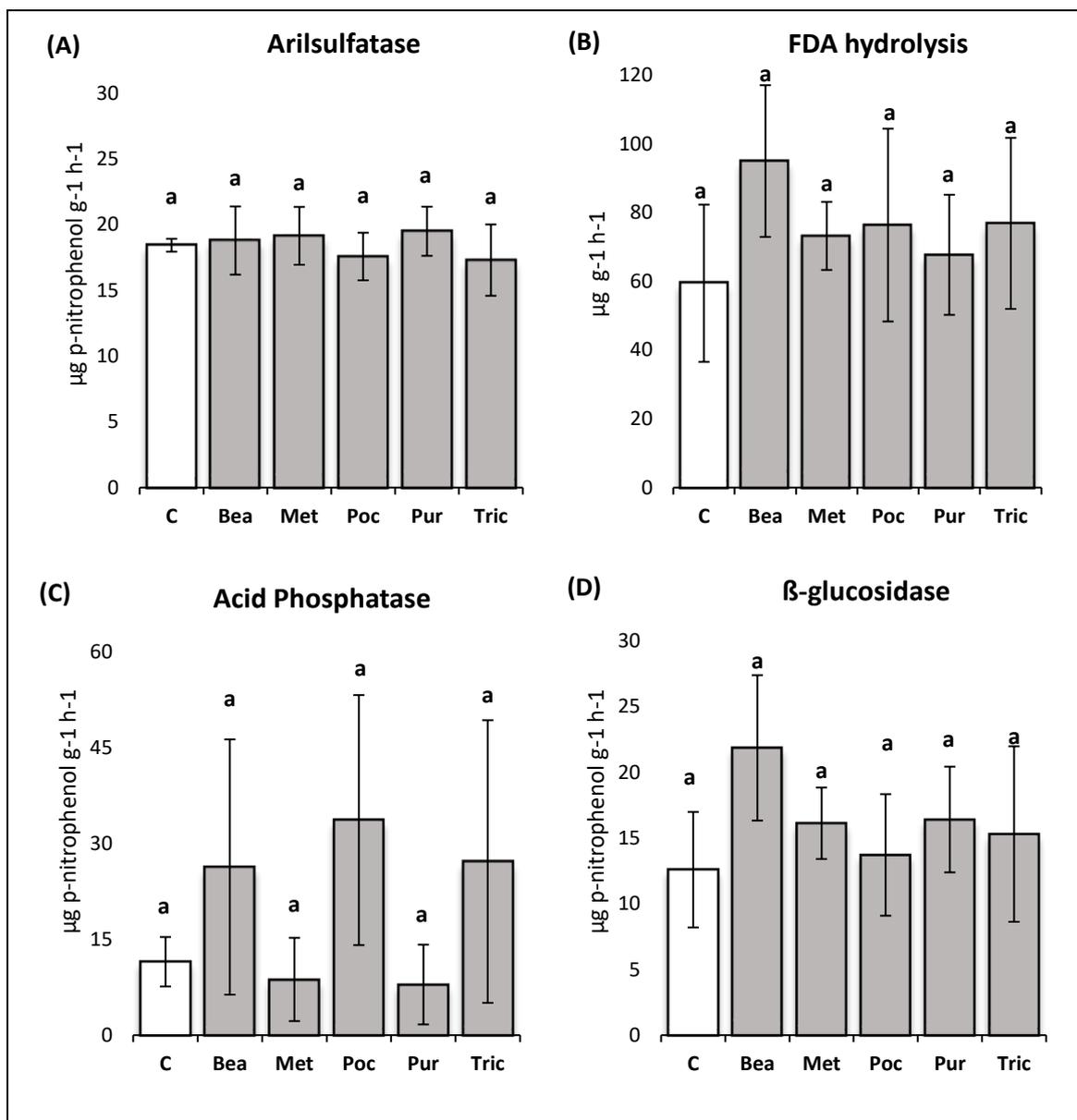
Barras de erros representam o desvio padrão e \*amplitude interquartil ( $n = 6$ ). A – arilsulfatase; B – hidrólise de FDA; C – fosfatase ácida; D –  $\beta$ -glicosidase. C – controle, Bea – *Beauveria bassiana*, Met – *Metarhizium anisopliae*, Poc – *Pochonia chlamydosporia*, Pur – *Purpureocillium lilacinum*, Tric – *Trichoderma asperellum*. Letras minúsculas diferentes indicam diferenças entre os tratamentos (teste Scott-Knott,  $p < 0.05$ ) (\*teste de Kruskal Wallis,  $p < 0.05$ ).

**FIGURA 6** - Atividade enzimática em solo argiloso sob milho cultivado em casa de vegetação submetido a aplicações de fungos.



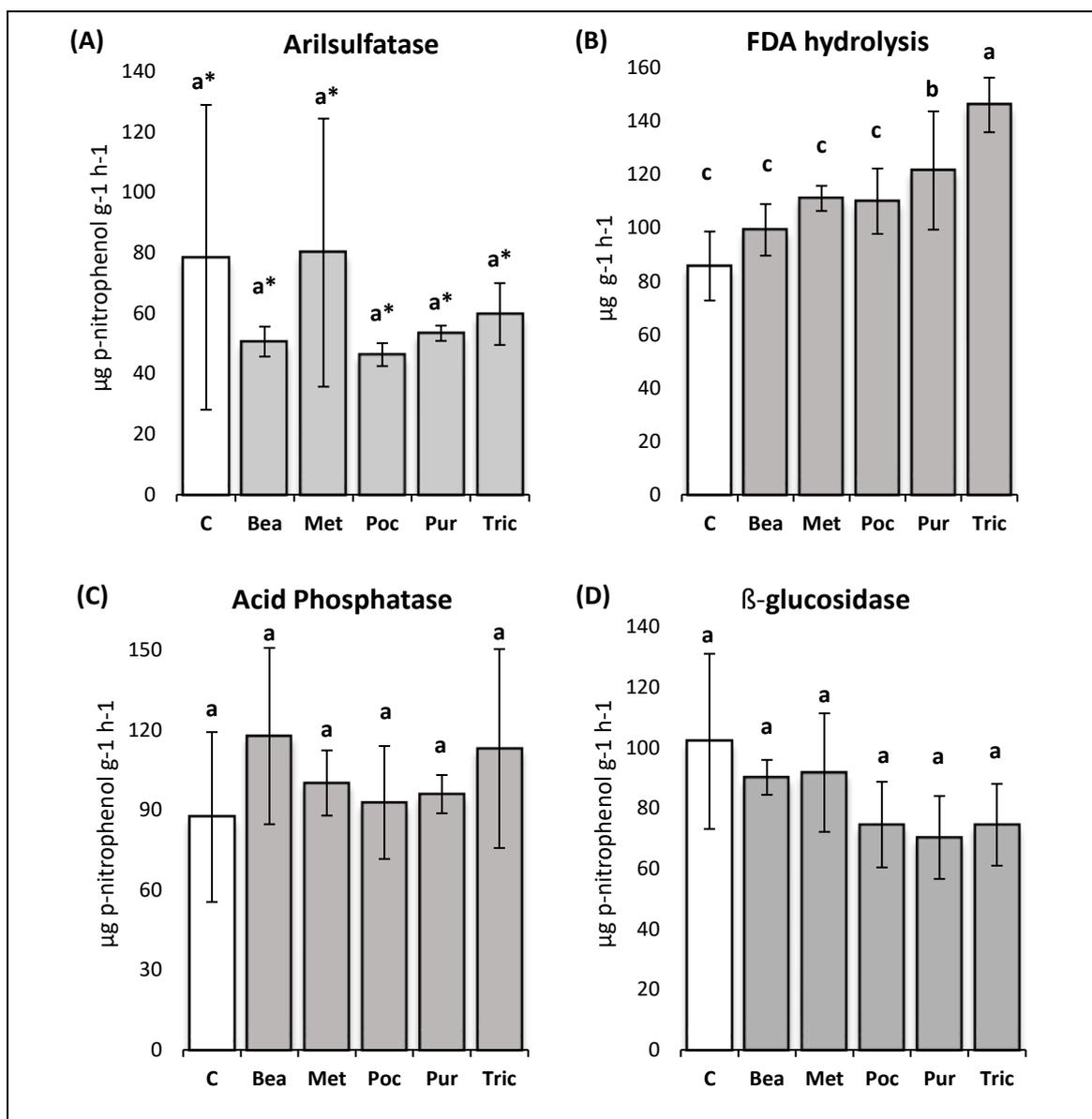
Barras de erros representam o desvio padrão e \*amplitude interquartil (n = 6). A – arilsulfatase; B – hidrólise de FDA; C – Fosfatase ácida; D – β-glicosidase. C – controle, Bea – *Beauveria bassiana*, Met – *Metarhizium anisopliae*, Poc – *Pochonia chlamydosporia*, Pur – *Purpureocillium lilacinum*, Tric – *Trichoderma asperellum*. Letras minúsculas diferentes indicam diferenças entre os tratamentos (teste Scott-Knott, p < 0.05) (\*teste de Kruskal Wallis, p < 0.05).

**FIGURA 7** - Atividade enzimática em solo arenoso sob soja cultivado em casa de vegetação submetido a aplicações de fungos.



Barras de erros representam o desvio padrão (n = 6). A – arilsulfatase; B – hidrólise de FDA; C – Fosfatase ácida; D –  $\beta$ -glicosidase. C – controle, Bea – *Beauveria bassiana*, Met – *Metarhizium anisopliae*, Poc – *Pochonia chlamydosporia*, Pur – *Purpureocillium lilacinum*, Tric – *Trichoderma asperellum*. Letras minúsculas diferentes indicam diferenças entre os tratamentos (teste Scott-Knott,  $p < 0.05$ ) (\*teste de Kruskal Wallis,  $p < 0.05$ ).

**FIGURA 8** - Atividade enzimática em solo argiloso sob soja cultivado em casa de vegetação submetido a aplicações de fungos.



Barras de erros representam o desvio padrão e \*amplitude interquartil. A – arilsulfatase; B – hidrólise de FDA; C – Fosfatase ácida; D – β-glicosidase. C – controle, Bea – *Beauveria bassiana*, Met – *Metarhizium anisopliae*, Poc – *Pochonia chlamydosporia*, Pur – *Purpureocillium lilacinum*, Tric – *Trichoderma asperellum*. Letras minúsculas diferentes indicam diferenças entre os tratamentos (teste Scott-Knott,  $p < 0.05$ ) (\*teste de Kruskal Wallis,  $p < 0.05$ ).

## 5. DISCUSSÃO

A hipótese de que a aplicação dos fungos resultaria no aumento da colonização de raízes por fungos micorrízicos arbusculares foi confirmada para as duas culturas, nos dois solos. Por outro lado, atributos da fertilidade, atividade biológica, biomassa microbiana e respiração do solo apresentaram respostas em alguns tratamentos, mas nenhuma dessas variáveis foi significativamente alterada de forma consistente nos dois solos sob as duas culturas

### 5.1. Colonização Micorrízica Arbuscular

A taxa de colonização micorrízica arbuscular mede a extensão das raízes colonizadas por fungos que tem seu ciclo de vida, incluindo grande extensão de micélio e produção de propágulos, no solo (SMITH, READ, 2010). Portanto, considerando que é uma característica que é presente e dependente das condições desse ambiente, a colonização micorrízica é um atributo da biologia do solo que foi estimulada pelos tratamentos fúngicos aplicados.

A micorriza arbuscular é formada por fungos do solo do filo Glomeromycota que crescem dentro das raízes e no solo, aumentando o volume de recursos explorados pela planta hospedeira, principalmente P e água (CHOI *et al.*, 2018; KIRIACHEK *et al.*, 2009; SMITH, READ, 2008). Esses fungos micorrízicos arbusculares (FMA) agem para aumentar absorção de nutrientes, notadamente P e N, e água, melhorando o estado geral das plantas. As hifas dos FMA também conectam raízes de plantas diferentes, possibilitando troca de nutrientes e de sinais moleculares (OELMÜLLER, 2019; SONG *et al.*, 2010). Além disso, as hifas do solo são um dos principais agentes para agregação do solo e se constituem em importante estoque de carbono (MORRIS *et al.*, 2019; WILSON *et al.*, 2009). Por essas razões, a micorriza arbuscular é considerada um dos mais importantes atributos da biologia do solo (SMITH, SMITH, 2011).

A colonização micorrízica arbuscular estimulada pelos cinco fungos aplicados tem implicações para a absorção de nutrientes, para o maior vigor e crescimento vegetal. É provável que dentre o intervalo possível de comprimento de raiz colonizado (de 0 a 100%), haja um crescente nos benefícios para a planta até atingir um platô e, então, uma diminuição dos efeitos para a planta (GANGE; AYRES 1999).

Em uma meta-análise de experimentos de laboratório e de campo em que a colonização micorrízica foi diretamente alterada em comparação com controles não

tratados, Treseder (2013) indica que à medida que a colonização micorrízica por FMA aumenta, o crescimento vegetal e a absorção de P frequentemente aumentam, apesar da variabilidade considerável entre os experimentos. O mecanismo sugerido pelo autor para esse fenômeno é o aumento da transferência de P e outros nutrientes pelas estruturas micorrízicas mais prevalentes nas raízes mais colonizadas (TRESEDER, 2013). Além disso, Hart e Reader (2002) avaliaram o efeito de FMA pertencentes a diferentes famílias sobre o crescimento vegetal, e mostraram que os resultados suportam a hipótese de que a maior quantidade de micélio interno às raízes confere maior benefício à planta hospedeira porque em 75% dos hospedeiros, a família com maior colonização (Glomaceae) apresentaram os maiores efeitos na biomassa vegetal.

Os mesmos isolados fúngicos desse trabalho, aplicados tanto em consórcio como isolados em feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*) resultou em condicionamento biológico do solo pelo aumento da colonização micorrízica arbuscular, e quimicamente pela maior disponibilidade de magnésio no solo (ALVES *et al.*, 2021). Além disso, a aplicação do consórcio dos mesmos 5 fungos mostrou aumento no crescimento de raízes de soja e milho e aumento na colonização micorrízica arbuscular em cana-de-açúcar (FARIAS *et al.*, 2018).

Além disso, trabalhos com aplicação combinada de FMA e *Trichoderma* mostraram efeitos positivos nos parâmetros nutricionais em espécies de plantas como melão, pepino, tomate e calêndula, além de produzir um aumento significativo nas taxas de colonização do *Trichoderma* e beneficiar a ocupação de FMA em raízes de *Brassicaceae* (POVEDA *et al.*, 2019).

Em outro exemplo, plantas de *Medicago truncatula* colonizadas apresentaram maior biomassa e P total absorvido em relação em relação a plantas não micorrizadas (THONAR *et al.*, 2011). Embora não houve correlação determinada, a maior colonização micorrízica por *Glomus intraradices* (85% do comprimento de raízes) resultou em maior absorção de P por *Medicago truncatula* quando comparada à colonização por *Glomus claroideum* (41% do comprimento de raízes) e *Gigaspora margarita* (54% do comprimento de raízes) (THONAR *et al.*, 2011), indicando uma relação entre comprimento de raízes colonizadas e benefícios ao vegetal.

Outro efeito da colonização micorrízica foi observado quanto à resistência da planta contra o ataque de pragas. A colonização de raízes de tomateiro por *Funneliformis mosseae* resultou em uma reprogramação metabólica do vegetal sob herbivoria de *Spodoptera exigua*, que levou a um acúmulo estimulado de compostos de defesa

(RIVERO *et al.*, 2021). Além disso, a maior colonização dentro das raízes também tem o possível benefício de aumentar a abundância de micélio FMA no solo, o que pode resultar em maior poder de infecção de culturas subsequentes (BARCELÓ *et al.*, 2020).

O aumento da colonização de fungos micorrízicos arbusculares pode ter relação com a regulação e síntese de fitormônios pelos fungos ou pelas plantas, uma vez que fitormônios regulatórios como ácido jasmônico (AJ), etileno (ET) e ácido salicílico (AS), exercem uma função essencial durante o processo de colonização dos FMA na raiz (GUTJAHR *et al.*, 2015; LIU *et al.*, 2018; POVEDA *et al.*, 2019). O AS possui a capacidade de induzir resistência sistêmica adquirida a diferentes patógenos em plantas, coordenando a defesa da planta contra patógenos biotróficos, onde trabalhos anteriores apontam um aumento de curta duração nos níveis de AS durante os estágios iniciais da colonização por MA, afetando a taxa de colonização (POVEDA *et al.*, 2019; QUIROGA *et al.*, 2018).

Visto que os FPCV estão relacionados com reguladores que deprimem (AS) ou estimulam (ABA e AJ) a colonização micorrízica, é possível que esses fungos atuem no ajuste para um balanço de fitohormônios que acabe por favorecer a colonização micorrízica (KHAN *et al.*, 2015; NAIR *et al.*, 2015; TAKEDA *et al.*, 2014; SCHMIDT *et al.*, 2017). O trabalho realizado por Ruiz-Lozano *et al.* (2015) mostrou que a relação simbiótica alterou os perfis hormonais de culturas de tomate e alface, reduzindo os efeitos negativos do estresse hídrico, além de evidenciar comportamento diferenciado do ABA dependendo da ausência ou presença da simbiose MA. Entretanto, poucos trabalhos buscaram compreender quais os mecanismos diretos que levam ao estímulo à colonização micorrízica pela utilização dos cinco isolados fúngicos aplicados no solo, tendo apenas até o momento os trabalhos de Farias *et al.* (2018), Alves *et al.* (2021), e de Poveda *et al.* (2019) para *Trichoderma*.

Portanto, em razão da função da colonização micorrízica para a absorção de nutrientes, o crescimento e a defesa vegetal, a maior colonização micorrízica arbuscular representa melhora das condições biológicas no solo quando se aplicam os isolados de *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae*, *Pochonia chlamydosporia*, *Purpureocillium lilacinum* e *Trichoderma asperellum*.

## 5.2. Crescimento vegetal

Não foram identificadas diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos para o parâmetro crescimento vegetal nos ensaios realizados. O trabalho realizado por Baron *et al.* (2020) não observou diferenças significativas no crescimento vegetal em feijoeiro nos tratamentos que receberam o isolado fungico *Purpureocillium lilacinum*. Nos experimentos realizados por Tefera *et al.* (2009) com a inoculação de *B. bassiana* em sorgo não foram observados diferenças significativas no crescimento vegetal.

Em contrapartida, o trabalho realizado por Alves *et al.* (2021) com feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*) mostrou aumento da massa seca da raiz com a aplicação de *B. bassiana*, *T. asperellum*, *M. anisopliae* e *P. chlamydosporia*, e do peso seco da parte aérea com aplicação de *P. lilacinum*. Moreno-Salazar *et al.* (2020) notou um aumento tanto no peso seco como no peso fresco da parte aérea de *Capsicum chinense* com aplicação de conídios de *Purpureocillium lilacinum*. A inoculação de *P. chlamydosporia* no trabalho de Maciá-Vicente *et al.* (2009) apontou um efeito de promoção do crescimento do broto, na parte aérea e no peso da massa fresca das raízes na cevada. Canassa *et al.* (2019) observou aumento significativo nos valores médios de massa fresca e seca de raízes e parte aérea em todas as plantas de feijoeiro tratadas com fungo *B. bassiana*. O trabalho realizado por Singh *et al.* (2016) demonstrou aumento significativo no crescimento vegetal de pimenta, tomate, berinjela, quiabo, cabaça e guar com a inoculação de *T. asperellum*. A inoculação de *Metarhizium anisopliae* em soja na pesquisa de Khan *et al.* (2011) apresentou efeito de crescimento significativo da parte aérea da planta.

## 5.3. Fertilidade do solo

Nos ensaios com solo arenoso foi verificado aumento no pH do solo em CaCl<sub>2</sub> com aplicação do isolado fúngico *P. lilacinum* no milho e *T. asperellum* na soja. O fato de esse efeito ser apenas no solo arenoso pode ser devido ao fato que os solos arenosos apresentam capacidade tampão menor se comparados aos solos argilosos, ou seja, possuem menor resistência de alteração de pH (CENTENO *et al.*, 2017). Por outro lado, são escassas as pesquisas que mostram efeito da aplicação desses 5 fungos sobre o pH do solo. Um exemplo é o trabalho realizado por Su *et al.* (2017), que de forma contrária ao presente estudo mostrou que a inoculação no solo com clamidósporos de *T. asperellum* foi responsável pela diminuição do pH em Cambissolos e Argissolos. No início dos experimentos de Hernández *et al.* (2016), o pH do solo natural e o autoclavado era forte

e moderadamente ácido, respectivamente, sendo observado ao final do estudo uma tendência de aumento em todos os tratamentos, sem apresentar diferenças significativas, devido a aplicação de *P. lilacinum*.

No ensaio soja em solo argiloso a concentração de magnésio no solo foi mais elevada no tratamento com o *T. asperellum*. O trabalho de Alves *et al.* (2021) mostrou o aumento da concentração de magnésio no solo argiloso sob feijoeiro para todos os mesmos isolados fúngicos avaliados nesse estudo.

A utilização dos isolados fúngicos *B. bassiana* e *P. chlamydosporia* no ensaio de milho em solo arenoso apresentou uma redução na concentração de fósforo no solo. É possível que mais P tenha sido absorvido pelas plantas sob esses tratamentos; no entanto, os dados de absorção de nutrientes não demonstram isso (dados não mostrados). Contrariamente, Tacuri (2014) verificou aumento na concentração de nutrientes no solo, como o fósforo, com a aplicação de microrganismos, entre eles o *B. bassiana*.

O milho em solo argiloso apresentou aumento na acidez potencial e redução na saturação por bases nos tratamentos com *B. bassiana*, *M. anisopliae* e *T. asperellum*. O ensaio de soja em solo arenoso apresentou aumento da acidez potencial com a utilização de *B. bassiana* e *P. lilacinum*, enquanto a saturação por bases foi reduzida por esses mesmos isolados fúngicos. Esse efeito pode vir da produção de ácidos orgânicos por esses fungos, como o ácido cítrico que pode ser produzido pelo fungo *T. asperellum* (AL-ASKAR *et al.*, 2021), além de terem sido identificados cristais de oxalato em cadáveres de insetos infectados por fungos, incluindo *B. bassiana* (MOINO JUNIOR *et al.*, 2002). Nesse contexto, pelo melhor que sabemos, não há muitos estudos publicados demonstrando a influência desses isolados fúngicos aqui avaliados na fertilidade do solo.

#### **5.4. Carbono da biomassa microbiana e Respiração basal do solo**

A inoculação dos isolados fúngicos não afetou o CBM nem a respiração basal em quaisquer dos solos sob soja e milho, provavelmente pelo fato de os tratamentos não afetarem a concentração de carbono orgânico no solo. Por outro lado, outros estudos demonstram efeitos sobre o CBM. O trabalho realizado por Moraes *et al.* (2018) mostrou aumento na biomassa microbiana de solos arenosos cultivados com alface com a inoculação de *Trichoderma sp.* Com o objetivo de avaliar a eficiência de produtos biológicos à base de, entre eles, *T. asperellum* e *P. lilacinum*, combinado com fertilização biológica para o controle de *P. brachyurus* na cultura da soja, Oliveira *et al.* (2019) observou que todos os tratamentos elevaram o CBM do solo aos 120 dias após a

semeadura. Alves *et al.* (2021) mostrou em seu estudo com feijoeiro comum em solo argiloso que a respiração basal foi maior no tratamento com o consórcio dos mesmos cinco isolados fúngicos desse trabalho e quando combinados *T. asperellum* / *P. lilacinum*, além disso nenhum dos seus tratamentos apresentou diferença estatística significativa para o CBM.

### 5.5. Atividade enzimática

As aplicações dos isolados fúngicos não resultaram em alterações consistentes das atividades enzimáticas quando se mudam o tipo de solo e a cultura ao longo dos 4 ensaios. A atividade de fosfatase no solo foi menor no tratamento com o isolado fúngico *P.lilacinum* no ensaio de milho sobre solo arenoso. Segundo os resultados observados por Gatiboni *et al.* (2008) e Raghothama *et al.* (2005), quanto maior a concentração de P solúvel no solo, menor é a atividade da enzima fosfatase ácida, sendo a mesma liberada pelas plantas e microrganismos quando apresentada pouca disponibilidade de P solúvel no solo.

No ensaio de soja sobre solo argiloso a hidrólise do FDA no solo aumentou nos tratamentos que foram aplicados os isolados fúngicos *T. asperellum* e *P. lilacinum*, significando um aumento na atividade microbiana do solo. O FDA é frequentemente utilizado para medir a atividade microbiana do solo, podendo ser hidrolisado por diversas enzimas, como esterases, lipases e proteases, liberados por microrganismos para produzir fluoresceína (SCHNÜRER, ROSSWALL, 1982; SCHUMACHER *et al.*, 2015). O trabalho de Alves *et al.* (2021) verificou esse mesmo resultado para os tratamentos com *B. bassiana*/*M. anisopliae* e com o consórcio dos mesmos cinco fungos desse estudo. O aumento da atividade microbiana pode ser o resultado do estímulo da atividade microbiana na rizosfera. A inoculação de *T. asperellum* no trabalho de Zhang *et al.* (2020) reduziu a diversidade fúngica, aumentou a diversidade bacteriana e elevou a abundância relativa de rizobactérias promotoras de crescimento vegetal.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A aplicação de qualquer um dos fungos condiciona maior colonização de raízes por fungos micorrízicos arbusculares, tanto em soja como em milho crescendo sobre solo argiloso e arenoso.

Os parâmetros de fertilidade e atividade enzimática do solo apresentaram alterações em variáveis em determinados tratamentos, não sendo consistentes nos dois solos e duas culturas, mas indicando efeitos de interação solo-planta-microrganismo específicas. As variáveis de fertilidade alteradas foram pH sob aplicação de *P. lilacinum* em milho e *T. asperellum* na soja sobre solo arenoso, acidez potencial sob aplicação de *B. bassiana*, *M. anisopliae* e *T. asperellum* em milho sobre solo argiloso e *B. bassiana* e *P. lilacinum* em soja sobre solo arenoso, concentração de magnésio sob aplicação de *T. asperellum* em soja sobre solo argiloso, saturação por bases sob aplicação de *B. bassiana*, *M. anisopliae* e *T. asperellum* em milho sobre solo argiloso e *B. bassiana*, *P. lilacinum* e *T. asperellum* soja sobre solo arenoso. As atividades enzimáticas alteradas foram a menor atividade de fosfatases sob aplicação de *P. lilacinum* em milho sobre solo arenoso, e maior hidrólise de FDA sob aplicação de *T. asperellum* e *P. lilacinum* em soja sobre solo argiloso.

A respiração basal microbiana, carbono da biomassa microbiana e crescimento vegetal não foram influenciados pelos isolados fúngicos.

Os cinco fungos aplicados têm efeito benéfico para o condicionamento biológico do solo por estimular a colonização micorrízica arbuscular de forma consistente: em duas culturas (soja e milho) e em dois solos diferentes (Latosolo Vermelho distrófico típico argiloso e Latossolo Amarelo distrófico típico arenoso). Considerando os reconhecidos efeitos da micorriza arbuscular, as implicações do estímulo da colonização radicular a médio e longo prazo é a melhoria da eficiência de absorção de nutrientes e água, da agregação do solo e, possivelmente, a produtividade vegetal.

## REFERÊNCIAS

ABHILASH, P. C. *et al.* Plant growth-promoting microorganisms for environmental sustainability. **Trends in Biotechnology**, Amsterdam, v. 34, n. 11, p. 847-850, Nov. 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.tibtech.2016.05.005>. Disponível em: [https://www.cell.com/trends/biotechnology/fulltext/S0167-7799\(16\)30051-8?\\_returnURL=https%3A%2F%2Flinkinghub.elsevier.com%2Fretrieve%2Fpii%2FS0167779916300518%3Fshowall%3Dtrue](https://www.cell.com/trends/biotechnology/fulltext/S0167-7799(16)30051-8?_returnURL=https%3A%2F%2Flinkinghub.elsevier.com%2Fretrieve%2Fpii%2FS0167779916300518%3Fshowall%3Dtrue). Acesso em: 20 ago. 2020.

AKELLO, J. *et al.* Effect of endophytic *Beauveria bassiana* on populations of the banana weevil, *Cosmopolites sordidus*, and their damage in tissue-cultured banana plants. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, Dordrecht, v. 129, n. 2, p. 157-165, Nov. 2008. DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1570-7458.2008.00759.x>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1570-7458.2008.00759.x>. Acesso em: 15 dez. 2019

AKELLO, J. *et al.* Systemic acropedal influence of endophyte seed treatment on *Acyrtosiphon pisum* and *Aphis fabae* offspring development and reproductive fitness. **Biological Control**, Orlando, v. 61, n. 3, p. 215-221, June 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biocontrol.2012.02.007>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1049964412000412?via%3Dihub>. Acesso em: 15 maio 2019.

AL-ASKAR, A. *et al.* Crude citric acid of *Trichoderma asperellum*: tomato growth promotor and suppressor of fusarium oxysporum f. sp. lycopersici. **Plants**, Sydney, v. 10, n. 2, 24 Jan. 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/plants10020222>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2223-7747/10/2/222>. Acesso em: 19 dez. 2019.

ALVES, G. S. *et al.* Fungal endophytes inoculation improves soil nutrient availability, arbuscular mycorrhizal colonization and common bean growth. **Rhizosphere**, [s. l.], v. 18, 100330, June 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rhisph.2021.100330>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2452219821000264?via%3Dihub>. Acesso em: 5 set. 2019.

BAMISILE, B. S. *et al.* Prospects of endophytic fungal entomopathogens as biocontrol and plant growth promoting agents: an insight on how artificial inoculation methods affect endophytic colonization of host plants. **Microbiological Research**, Jena, v. 217, p. 34-50, Dec. 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.micres.2018.08.016>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0944501318303288?via%3Dihub>. Acesso em: 11 jan. 2020.

BARCELÓ, Milagros *et al.* The abundance of arbuscular mycorrhiza in soils is linked to the total length of roots colonized at ecosystem level. **Plos One**, San Francisco, v. 15, n. 9, 11 Sept. 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0237256>. Disponível em: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0237256>. Acesso em: 15 jan. 2021.

BARON, N. C. *et al.* *Purpureocillium lilacinum* and *Metarhizium marquandii* as plant growth-promoting fungi. **Peerj**, Corte Madeira, v. 8, 27 May 2020. DOI:

<http://dx.doi.org/10.7717/peerj.9005>. Disponível em: <https://peerj.com/articles/9005/>. Acesso em: 19 ago 2020.

BATTA, Y. A. *et al.* Efficacy of endophytic and applied *Metarhizium anisopliae* (Metch.) Sorokin (Ascomycota: Hypocreales) against larvae of *Plutella xylostella* L. (Yponomeutidae: Lepidoptera) infesting *Brassica napus* plants. **Crop Protection**, Guildford, v. 44, p. 128-134, Feb. 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cropro.2012.11.001>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0261219412003043?via%3Dihub>. Acesso em: 8 ago 2020.

BEHIE, S. W. *et al.* Plant tissue localization of the endophytic insect pathogenic fungi *Metarhizium* and *Beauveria*. **Fungal Ecology**, Oxford, v. 13, p. 112-119, Feb. 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.funeco.2014.08.001>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1754504814001019?via%3Dihub>. Acesso em: 13 out. 2020.

BERG, G. *et al.* The plant microbiome explored: implications for experimental botany. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 67, n. 4, p. 995-1002, 7 Nov. 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1093/jxb/erv466>. Disponível em: <https://academic.oup.com/jxb/article/67/4/995/2884932>. Acesso em: 14 nov 2020.

BING, L. A. *et al.* Suppression of *Ostrinia nubilalis* (Hübner) (Lepidoptera: pyralidae) by endophytic *Beauveria bassiana* (balsamo) vuillemin. **Environmental Entomology**, College Park, v. 20, n. 4, p. 1207-1211, 1 Aug. 1991. DOI: <http://dx.doi.org/10.1093/ee/20.4.1207>. Disponível em: <https://academic.oup.com/ee/article-abstract/20/4/1207/2394539?redirectedFrom=fulltext>. Acesso em: 11 maio 2020.

BLOND, C. L. *et al.* Non-host larvae negatively impact persistence of the entomopathogen *Beauveria bassiana* in soil. **Journal of Invertebrate Pathology**, San Diego, v. 156, p. 19-28, July 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jip.2018.07.001>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0022201117304160?via%3Dihub>. Acesso em: 17 out. 2020.

BONGAARTS, J. Development: slow down population growth. **Nature**, London, v. 530, n. 7591, p.409-412, Feb. 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1038/530409a>. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/530409a>. Acesso em: 19 fev 2020.

BORDALLO, J. J. *et al.* Colonization of plant roots by egg-parasitic and nematode-trapping fungi. **New Phytologist**, Cambridge, v. 154, n. 2, p. 491-499, 30 Apr. 2002. DOI: <http://dx.doi.org/10.1046/j.1469-8137.2002.00399.x>. Disponível em: <https://nph.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1046/j.1469-8137.2002.00399.x>. Acesso em: 16 out. 2020.

CANASSA, F. *et al.* Effects of bean seed treatment by the entomopathogenic fungi *Metarhizium robertsii* and *Beauveria bassiana* on plant growth, spider mite populations and behavior of predatory mites. **Biological Control**, Orlando, v. 132, p. 199-208, May 2019. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biocontrol.2019.02.003>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0022201117304160?via%3Dihub>. Acesso em: 12 jun. 2020.

CASTRO, T. *et al.* Persistence of Brazilian isolates of the entomopathogenic fungi *Metarhizium anisopliae* and *M. robertsii* in strawberry crop soil after soil drench application. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 233, p. 361-369, Oct. 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2016.09.031>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0167880916304820?via%3Dihub>. Acesso em: 1 jul. 2020.

CAVELLO, I. A. *et al.* Plant growth promotion activity of keratinolytic fungi growing on a recalcitrant waste known as “hair waste”. **Biotechnology Research International**, London, v. 2015, 30 Nov. 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1155/2015/952921>. Disponível em: <https://www.hindawi.com/journals/btri/2015/952921/>. Acesso em: 12 maio 2020.

CENTENO, L. N. *et al.* Textura do solo: conceitos e aplicações em solos arenosos. **Revista Brasileira de Engenharia e Sustentabilidade**, Pelotas, v. 4, n. 1, p. 31-37, 30 Oct. 2017. Universidade Federal de Pelotas. DOI: <http://dx.doi.org/10.15210/rbes.v4i1.11576>. Disponível em: <https://periodicos.ufpel.edu.br/ojs2/index.php/RBES/article/view/11576>. Acesso em: 17 out. 2020.

CHAGAS, L. F. *et al.* *Trichoderma asperellum* efficiency in soybean yield components. **Comunicata Scientiae**, Bom Jesus, v. 8, n. 1, p. 165-169, 6 Apr. 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.14295/cs.v8i1.1754>. Disponível em: <https://www.comunicatascientiae.com.br/comunicata/article/view/1754>. Acesso em: 5 set. 2020.

CHEN, L. *et al.* Effects of *Trichoderma harzianum* T83 on *Suaeda salsa* L. in coastal saline soil. **Ecological Engineering**, Oxford, v. 91, p.58-64, June 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.01.007>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0925857416300076?via%3Dihub>. Acesso em: 6 jan 2020.

CHEN, X. *et al.* Evidences of inhibited arbuscular mycorrhizal fungal development and colonization in multiple lines of Bt cotton. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 230, p. 169-176, Aug. 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2016.05.008>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0167880916302547?via%3Dihub>. Acesso em: 15 fev 2020.

CHOI, J.; SUMMERS, W.; PASZKOWSKI, U. Mechanisms underlying establishment of arbuscular mycorrhizal symbioses. **Annual Review of Phytopathology**, Palo Alto, v. 56, p. 135-160, 25 Aug 2018. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-080516-035521>. Disponível em: <https://www.annualreviews.org/doi/abs/10.1146/annurev-phyto-080516-035521>. Acesso em: 17 out. 2020.

CLIFTON, E. H. *et al.* Effects of endophytic entomopathogenic fungi on soybean aphid and identification of *Metarhizium* isolates from agricultural fields. **Plos One**, San Francisco, v. 13, n. 3, e0194815, 22 Mar. 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0194815>. Disponível em: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0194815>. Acesso em: 12 jan 2021.

DARA, S. K. Non-entomopathogenic roles of entomopathogenic fungi in promoting plant health and growth. **Insects**, Basel, v. 10, n. 9, p. 277-308, 1 Sept. 2019. DOI: <https://doi.org/10.3390/insects10090277>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2075-4450/10/9/277>. Acesso em: 14 out. 2019.

DORIN, J. *et al.* *Metarhizium anisopliae*: à propos d'un cas rare de kératite fongique invasive. **Journal de Mycologie Médicale**, Paris, v. 25, n. 3, p. 238-248, Sept. 2015. DOI <http://dx.doi.org/10.1016/j.mycmed.2015.06.050>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1156523315001572?via%3Dihub>. Acesso em: 17 out. 2020.

EBADI, M. *et al.* Biocontrol potential of *Pochonia chlamydosporia* var. *chlamydosporia* isolates against *Meloidogyne javanica* on pistachio. **Egyptian Journal of Biological Pest Control**, [s. l.], v. 28, n. 45, 15 May 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.1186/s41938-018-0047-y>. Disponível em: <https://ejbpc.springeropen.com/articles/10.1186/s41938-018-0047-y>. Acesso em: 19 jul. 2020.

ESCUADERO, N. *et al.* Chitosan enhances parasitism of *Meloidogyne javanica* eggs by the nematophagous fungus *Pochonia chlamydosporia*. **Fungal Biology**, Oxford, v. 120, n. 4, p. 572-585, Apr. 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.funbio.2015.12.005>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1878614615002445?via%3Dihub>. Acesso em: 1 out. 2020.

ESCUADERO, N. *et al.* Chitosan increases tomato root colonization by *Pochonia chlamydosporia* and their combination reduces root-knot nematode damage. **Frontiers In Plant Science**, San Diego, v. 8, n. 1415, 1 Sept. 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.3389/fpls.2017.01415>. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2017.01415/full>. Acesso em: 15 jun 2020.

FARIAS, C. P. *et al.* Consortium of five fungal isolates conditioning root growth and arbuscular mycorrhiza in soybean, corn, and sugarcane. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, v. 90, n. 4, p. 3649-3660, Dec. 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0001-3765201820180161>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/aabc/a/VJWSMZdjGGyPFWjnKCndvss/?lang=en>. Acesso em: 12 fev 2020.

FARIAS, C. P. *et al.* A consortium of fungal isolates and biochar improved the phytoremediation potential of *Jacaranda mimosifolia* D. Don and reduced copper, manganese, and zinc leaching. **Journal of Soils and Sediments**, Landsberg, v. 20, n. 1, p. 260-271, 7 Aug. 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s11368-019-02414-3>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs11368-019-02414-3>. Acesso em: 17 dez. 2020.

FARIAS, C. P. **Fungos promotores do crescimento vegetal e da fitorremediação de metais pesados em combinação com biochar**. 2018. 87 f. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal Uberlândia, Uberlândia, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.14393/ufu.di.2018.713>. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/21212>. Acesso em: 15 jun. 2019.

GABARDO, G. *et al.* *Trichoderma asperellum* e *Bacillus subtilis* como antagonistas no crescimento de fungos fitopatogênicos in vitro. **Brazilian Journal of Development**, São José dos Pinhais v. 6, n. 8, p. 55870-55885, Aug. 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.34117/bjdv6n8-123>. Disponível em: <https://www.brazilianjournals.com/index.php/BRJD/article/view/14663/12145>. Acesso em: 12 ago 2020.

GANGE, A. C.; AYRES, R. L. On the relation between arbuscular mycorrhizal colonization and plant benefit. **Oikos**, Copenhagen, v. 87, n. 3, p. 615-621, 1999. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/3546829>. Acesso em: 12 out. 2019.

GARCIA, J. E. *et al.* *Metarhizium anisopliae* (Metschnikoff) Sorokin promotes growth and has endophytic activity in tomato plants. **Advances in Biological Regulation**, Oxford, v. 5, n. 1, p. 22-27, 2011. Disponível em: [https://www.idosi.org/abr/5\(1\)/3.pdf](https://www.idosi.org/abr/5(1)/3.pdf). Acesso em: 7 jul. 2020.

GATIBONI, L. C. *et al.* Fósforo da biomassa microbiana e atividade de fosfatases ácidas durante a diminuição do fósforo disponível no solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Rio de Janeiro, v. 43, n. 8, p. 1085-1091, Aug. 2008. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-204x2008000800019>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pab/a/TMPzMwvLPmngN7NVcTFKCLs/?lang=pt>. Acesso em: 12 out 2020.

GARCÍA-MOZO, H.; OTEROS, J. A.; GALÁN, C. Impact of land cover changes and climate on the main airborne pollen types in Southern Spain. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 548-549, p. 221-228, Apr. 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.01.005>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969716300109?via%3Dihub>. Acesso em: 17 fev 2020.

GIOVANNETTI, M.; MOSSE, B. an Evaluation of Techniques for Measuring Vesicular Arbuscular Mycorrhizal Infection in Roots. **New Phytologist**, Cambridge, v. 84, n. 3, p. 489-500, Mar. 1980. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/2432123>. Acesso em: 12 maio 2020.

GÓMEZ-VIDAL, S. *et al.* Endophytic colonization of date palm (*Phoenix dactylifera* L.) leaves by entomopathogenic fungi. **Micron**, New York, v. 37, n. 7, p. 624-632, Oct. 2006. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.micron.2006.02.003>. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0968432806000187>. Acesso em: 11 out. 2019.

GREEN, V. S.; STOTT, D. E.; DIACK, M. Assay for fluorescein diacetate hydrolytic activity: Optimization for soil samples. **Soil biology and biochemistry**, Elmsford, v. 38, n. 4, p. 693 - 701. Apr. 2006. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2005.06.020>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0038071705002786?via%3Dihub>. Acesso em: 30 jan. 2020.

GREENFIELD, M. *et al.* *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae* endophytically colonize cassava roots following soil drench inoculation. **Biological Control**, Orlando, v. 95, p. 40-48, Apr. 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biocontrol.2016.01.002>. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1049964416300020?via%3Dihub>. Acesso em: 5 fev. 2020.

GURULINGAPPA, P. *et al.* Colonization of crop plants by fungal entomopathogens and their effects on two insect pests when in planta. **Biological Control**, Orlando, v. 55, n. 1, p. 34-41, Oct. 2010. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biocontrol.2010.06.011>.

Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1049964410001337?via%3Dihub>. Acesso em: 17 fev. 2020.

GUTJAHR, C. *et al.* Full establishment of arbuscular mycorrhizal symbiosis in rice occurs independently of enzymatic jasmonate biosynthesis. **Plos One**, San Francisco, v. 10, n. 4, 10 Apr. 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0123422>.

Disponível em:

<https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0123422>. Acesso em: 5 jun. 2020.

HAJJI, L. *et al.* Biocontrol potential of verticillium *Leptobacrum* and *Purpureocillium lilacinum* against *Meloidogyne javanica* and *Globodera pallida* on potato (*Solanum tuberosum*). **American Journal of Potato Research**, Orono, v. 94, n. 2, p. 178-183, 23 Dec. 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s12230-016-9554-0>. Disponível em:

<https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs12230-016-9554-0>. Acesso em: 12 ago. 2020.

HART, M. M.; READER, R. J. Host plant benefit from association with arbuscular mycorrhizal fungi: variation due to differences in size of mycelium. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v.36, n. 5, p. 357-366, Nov. 2002. DOI:

<https://doi.org/10.1007/s00374-002-0539-4>. Disponível em:

<https://link.springer.com/article/10.1007/s00374-002-0539-4>. Acesso em: 13 ago. 2019.

HASSAN, S. *et al.* Plant growth-promoting activities for bacterial and fungal endophytes isolated from medicinal plant of *Teucrium polium* L. **Journal of Advanced Research**, Giza, v. 8, n. 6, p. 687-695, Nov. 2017. DOI:

<http://dx.doi.org/10.1016/j.jare.2017.09.001>. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2090123217301017?via%3Dihub>. Acesso em: 2 fev. 2020.

HEIJDEN, G. *et al.* Filling the gap in Ca input-output budgets in base-poor forest ecosystems: the contribution of non-crystalline phases evidenced by stable isotopic dilution. **Geochimica et Cosmochimica acta**, London, v. 209, p. 135-148, July. 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.gca.2017.04.018>. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0016703717302338?via%3Dihub>. Acesso em: 7 set. 2020.

HÉRNANDEZ, T. *et al.* Effect of the application of nematophagous fungus *Purpureocillium lilacinum* over nutrients availability on agricultural soil and yield of *Avena sativa*. **Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias**, Mendoza, v. 48, p. 01-12, Jan. 2016. Disponível em:

[https://www.researchgate.net/publication/309241639\\_Effect\\_of\\_the\\_application\\_of\\_nematophagous\\_fungus\\_Purpureocillium\\_lilacinum\\_over\\_nutrients\\_availability\\_on\\_agricultural\\_soil\\_and\\_yield\\_of\\_Avena\\_sativa](https://www.researchgate.net/publication/309241639_Effect_of_the_application_of_nematophagous_fungus_Purpureocillium_lilacinum_over_nutrients_availability_on_agricultural_soil_and_yield_of_Avena_sativa). Acesso em: 17 fev. 2020.

HU, J. *et al.* The better suppression of pepper *Phytophthora blight* by arbuscular mycorrhizal (AM) fungus than *Purpureocillium lilacinum* alone or combined with AM fungus. **Journal of Soils and Sediments**, Landsberg, v. 20, n. 2, p. 792-800, 4 Sept. 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s11368-019-02438-9>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs11368-019-02438-9>. Acesso em: 26 nov. 2020.

JU, C. *et al.* Effects of myclobutanil on soil microbial biomass, respiration, and soil nitrogen transformations. **Environmental Pollution**, Barking, v. 208, p. 811-820, Jan. 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2015.11.003>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0269749115301639?via%3Dihub>. Acesso em: 2 fev. 2020.

KHAN, A. L. *et al.* Pure culture of *Metarhizium anisopliae* LHL07 reprograms soybean to higher growth and mitigates salt stress. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, Oxford, v. 28, n. 4, p. 1483-1494, 22 Nov. 2011. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s11274-011-0950-9>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs11274-011-0950-9>. Acesso em: 12 jun. 2020.

KHAN, A. R. *et al.* Host plant growth promotion and cadmium detoxification in *Solanum nigrum*, mediated by endophytic fungi. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, New York, v. 136, p.180-188, Feb. 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoenv.2016.03.014>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0147651316300744?via%3Dihub>. Acesso em: 12 jun. 2020.

KHAN, A. R. *et al.* Plant growth-promoting potential of endophytic fungi isolated from *Solanum nigrum* leaves. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, Oxford, v. 31, n. 9, p. 1461-1466, 17 June 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s11274-015-1888-0>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs11274-015-1888-0>. Acesso em: 26 ago. 2020.

KIRIACHEK, S. G. *et al.* Regulação do desenvolvimento de micorrizas arbusculares. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 1, Feb. 2009. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-06832009000100001>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/4cCSSVPnmNMJgMxtHL3Jjxd/?lang=pt>. Acesso em: 04 abr. 2020.

LACEY, L. A. *et al.* Insect pathogens as biological control agents: Back to the future. **Journal of Invertebrate Pathology**, San Diego, v. 132, p.1-41, Nov. 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jip.2015.07.009>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0022201115001342?via%3Dihub>. Acesso em: 12 jun. 2020.

LAN, X. *et al.* Evaluation of the biocontrol potential of *Purpureocillium lilacinum* QLP12 against *Verticillium dahliae* in eggplant. **Biomed Research International**, [s. l.], v. 2017, Feb. 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1155/2017/4101357>. Disponível em: <https://www.hindawi.com/journals/bmri/2017/4101357/>. Acesso em: 23 maio 2020.

LEE, S. J. *et al.* Entomopathogenic *Beauveria bassiana* granules to control soil-dwelling stage of western flower thrips, *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: thripidae). **Biocontrol**, Dordrecht, v. 62, n. 5, p. 639-648, 25 May 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s10526-017-9818-8>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10526-017-9818-8>. Acesso em: 16 maio 2020.

LEKBERG, Y. *et al.* The fungal perspective of arbuscular mycorrhizal colonization in 'nonmycorrhizal' plants. **New Phytologist**, Cambridge, v. 205, n. 4, p. 1399-1403, 8 Oct. 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/nph.13118>. Disponível em: <https://nph.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/nph.13118>. Acesso em: 2 jun. 2020.

LI, A. *et al.* Impacts of terrain attributes and human activities on soil texture class variations in hilly areas, south-west China. **Environmental Monitoring and Assessment**, Switzerland, n. 281, p. 189-281, June 2017. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10661-017-5997-0>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10661-017-5997-0>. Acesso em: 25 abr. 2020.

LI, K. *et al.* Soil sterilization leads to re-colonization of a healthier rhizosphere microbiome. **Rhizosphere**, Amsterdam, v. 12, e100176, Dec. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rhisph.2019.100176>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2452219819301259>. Acesso em: 27 jan. 2020.

LIMA, L. C. *et al.* Práticas de manejo e conservação do solo: percepção de agricultores da região semiárida pernambucana. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Pombal, v. 11, n. 4, p. 148-153, 30 Dec. 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.18378/rvads.v11i4.4164>. Disponível em: <https://www.gvaa.com.br/revista/index.php/RVADS/article/view/4164>. Acesso em: 29 jun. 2020.

LIN, R. *et al.* Genome and secretome analysis of *Pochonia chlamydosporia* provide new insight into egg-parasitic mechanisms. **Scientific Reports**, London, v. 8, n. 1, 18 Jan. 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.1038/s41598-018-19169-5>. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41598-018-19169-5>. Acesso em: 17 dez. 2019.

LIU, C. *et al.* Mycorrhiza-induced change in root hair growth is associated with IAA accumulation and expression of EXPs in trifoliolate orange under two P levels. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 234, p. 227-235, Apr. 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2018.02.052>. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0304423818301274>. Acesso em: 19 maio 2020.

LOPEZ, D. C. *et al.* The entomopathogenic fungal endophytes *Purpureocillium lilacinum* (formerly *Paecilomyces lilacinus*) and *Beauveria bassiana* negatively affect cotton aphid reproduction under both greenhouse and field conditions. **Plos One**, San Francisco, v. 9, n. 8, 5 Aug. 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0103891>. Disponível em: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0103891>. Acesso em: 16 jul. 2020.

MACIÁ-VICENTE, J.G. *et al.* Colonisation of barley roots by endophytic *Fusarium equiseti* and *Pochonia chlamydosporia*: effects on plant growth and disease. **Annals of Applied Biology**, Warwick, v. 155, n. 3, p. 391-401, 23 Sept. 2009. DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1744-7348.2009.00352.x>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1744-7348.2009.00352.x>. Acesso em: 6 set. 2020.

MANZANILLA-LÓPEZ, R.H. *et al.* Effects of crop plants on abundance of *Pochonia chlamydosporia* and other fungal parasites of root-knot and potato cyst nematodes. **Annals of Applied Biology**, Warwick, v. 159, n. 1, p. 118-129, 5 June 2011. DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1744-7348.2011.00479.x>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1744-7348.2011.00479.x>. Acesso em: 12 mar. 2020.

MCKINNON, A. C. *et al.* Detection of the entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana* in the rhizosphere of wound-stressed *Zea mays* plants. *Frontiers in Microbiology*. v. 9, 11 June 2018 DOI: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.01161>. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmicb.2018.01161/full>. Acesso em: 26 out 2020.

MEDDAD-HAMZA, A. *et al.* Spatiotemporal variation of arbuscular mycorrhizal fungal colonization in olive (*Olea europaea* L.) roots across a broad mesic-xeric climatic gradient in North Africa. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 583, p. 176-189, Apr. 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.01.049>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969717300499?via%3Dihub>. Acesso em: 11 jun. 2020.

MEDEIROS, F. R. *et al.* Occurrence of *Purpureocillium lilacinum* in citrus black fly nymphs. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Cruz das Almas, v. 40, n. 2, 14 May 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0100-29452018237>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbf/a/G853v5h6SFzYkjqGWdsj9mn/?lang=en>. Acesso em: 12 jun. 2020.

MO, C. *et al.* Genome-wide identification and characterization of the cyclophilin gene family in the nematophagous fungus *Purpureocillium lilacinum*. **International Journal of Molecular Sciences**, [s. l.], v. 20, n. 12, 18 June 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/ijms20122978>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1422-0067/20/12/2978>. Acesso em: 15 dec 2020.

MOINO JUNIOR, A. *et al.* External development of the entomopathogenic fungi *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae* in the subterranean termite *Heterotermes tenuis*. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 59, n. 2, p. 267-273, June 2002. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/s0103-90162002000200010>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/sa/a/LhSKHRNDfWc7H3WMLN9pJHv/?lang=en>. Acesso em: 26 ago. 2020.

MONFORT, E. *et al.* Colonisation of seminal roots of wheat and barley by egg-parasitic nematophagous fungi and their effects on *Gaeumannomyces graminis* var. *tritici* and development of root-rot. **Soil Biology and Biochemistry**, [s. l.], v. 37, n. 7, p. 1229-

1235, July 2005. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.soilbio.2004.11.019>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0038071704004493?via%3Dihub>. Acesso em: 7 fev. 2020.

MORAES, M. C. H. *et al.* Microbial biomass and enzymatic activities in sandy soil cultivated with lettuce inoculated with plant growth promoters. **Revista Caatinga**, [s. l.], v. 31, n. 4, p. 860-870, Dec. 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1983-21252018v31n408rc>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rcaat/a/3ZymWRgFcbXTRK7dXzhR8VD/?lang=en>. Acesso em: 13 maio 2020.

MORENO-SALAZAR, R. *et al.* Plant growth, foliar nutritional content and fruit yield of *Capsicum chinense* biofertilized with *Purpureocillium lilacinum* under greenhouse conditions. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 261, 108950, Feb. 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108950>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304423819308362?via%3Dihub>. Acesso em: 26 ago. 2020.

MORRIS, E. K., *et al.* Visualizing the dynamics of soil aggregation as affected by arbuscular mycorrhizal fungi. **The ISME Journal**, [s. l.], v. 13, n. 7, p. 1639-1646, Jan. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41396-019-0369-0>. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41396-019-0369-0>. Acesso em: 13 maio 2020.

MWAURA, P.; NIERE, B.; VIDAL, S. Application of an entomopathogenic fungus (*Beauveria bassiana*) increases potato nematodes reproduction and potato tubers damage caused by *Ditylenchus destructor* and *D. dipsaci*. **Biological Control**, Orlando, v. 115, p.23-29, Dec. 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biocontrol.2017.08.012>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1049964417301755?via%3Dihub>. Acesso em: 2 jul. 2020.

NAGATA, M. *et al.* Red/Far red light controls arbuscular mycorrhizal colonization via jasmonic acid and strigolactone signaling. **Plant and Cell Physiology**, Kyoto, v. 56, n. 11, p. 2100-2109, 26 Sept. 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1093/pcp/pcv135>. Disponível em: <https://academic.oup.com/pcp/article/56/11/2100/2755922>. Acesso em: 14 dez. 2019.

NAIR, A. *et al.* Role of methyl jasmonate in the expression of mycorrhizal induced resistance against *Fusarium oxysporum* in tomato plants. **Physiological and Molecular Plant Pathology**, London, v. 92, p. 139-145, Oct. 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.pmpp.2015.10.002>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S088557651530031X?via%3Dihub>. Acesso em: 3 mar. 2020.

NASU, E. G. C. *et al.* *Pochonia chlamydosporia* applied via seed treatment for nematode control in two soil types. **Crop Protection**, Guildford, v. 114, p. 106-112, Dec. 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cropro.2018.08.010>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S026121941830214X?via%3Dihub>. Acesso em: 19 ago. 2020.

- NAZIYA, B. *et al.* Plant growth-promoting fungi (pgpf) instigate plant growth and induce disease resistance in capsicum annuum l. upon infection with *Colletotrichum capsici* (syd.) butler & bisby. **Biomolecules**, Basil, v. 10, n. 1, p. 41-59, 26 Dec. 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/biom10010041>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2218-273X/10/1/41>. Acesso em: 30 mar. 2020.
- NOVAIS, R.F.; SMYTH, T.J. Fósforo em solo e planta em condições tropicais. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 1999. 300p. Disponível em: <https://www.scienceopen.com/document?vid=55948dff-578d-49a2-95d7-15a3f190fbdb>. Acesso em: 13 jul. 2019.
- OELMÜLLER, R. Interplant communication via hyphal networks. **Plant Physiology Reports**, [s. l.], v. 24, n. 4, p. 463-473, Dec. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40502-019-00491-7>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s40502-019-00491-7>. Acesso em: 26 ago 2020.
- OLIVEIRA, M. T. de *et al.* Sensibilidade de isolados de fungos entomopatogênicos às radiações solar, ultravioleta e à temperatura. **Arquivos do Instituto Biológico**, São Paulo, v. 83, Dec. 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1808-1657000042014>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/aib/a/GXvkXp4dPXjvpfW5w6q9mR/?lang=pt>. Acesso em: 15 jun. 2020.
- OLIVEIRA, K. C. L. *et al.* Biological management of *Pratylenchus brachyurus* in soybean crops. **Revista Caatinga**, [s. l.], v. 32, n. 1, p. 41-51, Mar. 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1983-21252019v32n105rc>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rcaat/a/LMW4HMM9xvfwVfCWZDXqzBy/?lang=en>. Acesso em: 14 fev. 2020.
- OWNLEY, B. H. *et al.* *Beauveria bassiana*: endophytic colonization and plant disease control. **Journal of Invertebrate Pathology**, San Diego, v. 98, n. 3, p. 267-270, July 2008. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jip.2008.01.010>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0022201108000700?via%3Dihub>. Acesso em: 14 nov. 2019.
- PANTIGOSO, H.A., MANTER, D.K., VIVANCO, J.M. Phosphorus addition shifts the microbial community in the rhizosphere of blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.). **Rhizosphere**, [s. l.], v. 7, p. 1–7 Sept. 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rhisph.2018.06.008>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2452219818300624?via%3Dihub>. Acesso em: 1 june 2020.
- PARSA, S. *et al.* Establishing fungal entomopathogens as endophytes: towards endophytic biological control. **Journal of Visualized Experiments**, Boston, n. 74, 11 Apr. 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.3791/50360>. Disponível em: <https://www.jove.com/t/50360/establishing-fungal-entomopathogens-as-endophytes-towards-endophytic>. Acesso em: 17 dez. 2020.
- PATTNAIK, S. S. *et al.* Rhizospheric fungi: diversity and potential biotechnological applications. **Recent Advancement in White Biotechnology Through Fungi**, Basingstok, v. 1, p. 63-84, Mar. 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-030-10480->

1\_2. Disponível em: [https://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-3-030-10480-1\\_2](https://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-3-030-10480-1_2). Acesso em: 15 ago. 2020.

POSADA, F. *et al.* Inoculation of coffee plants with the fungal entomopathogen *Beauveria bassiana* (Ascomycota: hypocreales). **Mycological Research**, Cambridge, v. 111, n. 6, p. 748-757, June 2007. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.mycres.2007.03.006>. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S095375620700072X>. Acesso em: 26 set. 2020.

POVEDA, J. *et al.* *Trichoderma harzianum* favours the access of arbuscular mycorrhizal fungi to non-host Brassicaceae roots and increases plant productivity. **Scientific Reports**, [s. l.], v. 9, n. 1, 12 Ago. 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.1038/s41598-019-48269-z>. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41598-019-48269-z>. Acesso em: 5 jan. 2020.

PRETTY, J. *et al.* Intensification for redesigned and sustainable agricultural systems. **Science**, [s. l.], v. 362, n. 6417, 22 Nov. 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.1126/science.aav0294>. Disponível em: <https://www.science.org/lookup/doi/10.1126/science.aav0294>. Acesso em: 19 jul. 2020.

QUIROGA, G. *et al.* Arbuscular mycorrhizal symbiosis and salicylic acid regulate aquaporins and root hydraulic properties in maize plants subjected to drought. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 202, p. 271-284, Apr. 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2017.12.012>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378377417304043?via%3Dihub>. Acesso em: 26 maio 2020.

QIU, Z. *et al.* High temperature enhances the ability of *Trichoderma asperellum* to infect *Pleurotus ostreatus* mycelia. **Plos One**, San Francisco, v. 12, n. 10, p. 1-17, 26 Oct. 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0187055>. Disponível em: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0187055>. Acesso em: 11 fev. 2020.

RAGHOTHAMA, K. G. *et al.* Phosphate Acquisition. **Plant And Soil**, The Hague, v. 274, n. 1-2, p. 37-49, July 2005. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s11104-004-2005-6>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs11104-004-2005-6>. Acesso em: 2 maio 2020.

RASHID, M. H.; CHUNG, Y. R. Induction of systemic resistance against insect herbivores in plants by beneficial soil microbes. **Frontiers in Plant Science**, [s. l.], v. 8, 20 Oct. 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.3389/fpls.2017.01816>. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2017.01816/full>. Acesso em: 16 dez. 2020.

RAYA-DÍAZ, S. *et al.* Redefining the dose of the entomopathogenic fungus *Metarhizium brunneum* (Ascomycota, Hypocreales) to increase Fe bioavailability and promote plant growth in calcareous and sandy soils. **Plant And Soil**, The Hague, v. 418, n. 1-2, p. 387-404, 13 June 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s11104-017-3303-0>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs11104-017-3303-0>. Acesso em: 7 set. 2020.

RAYA-DÍAZ, S. *et al.* Entomopathogenic fungi-based mechanisms for improved Fe nutrition in sorghum plants grown on calcareous substrates. **Plos One**, San Francisco, v. 12, n. 10, p. 1-10, 5 Oct. 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0185903>. Disponível em: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0185903>. Acesso em: 28 dez. 2019.

RIBEIRO, L. F. C. *et al.* Infection of silkworm larvae by the entomopathogenic fungus *Metarhizium anisopliae*. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 47, n. 4, p. 1-5, Jan. 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0103-8478cr20151485>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cr/a/HDmcvTyvRB7yK5ZnyY83LCs/?lang=en> Acesso em: 11 fev. 2020.

RIVERO, J. *et al.* Mycorrhizal symbiosis primes the accumulation of antiherbivore compounds and enhances herbivore mortality in tomato. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 72, n. 13, p. 5038-5050, 22 Apr. 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.1093/jxb/erab171>. Disponível em: <https://academic.oup.com/jxb/article/72/13/5038/6245089>. Acesso em: 19 maio 2021.

ROBERTI, R. *et al.* Compatibility of *Beauveria bassiana* with fungicides in vitro and on zucchini plants infested with *Trialeurodes vaporariorum*. **Biological Control**, Orlando, v. 113, p. 39-44, Oct. 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biocontrol.2017.06.006>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1049964417301299?via%3Dihub>. Acesso em: 9 set. 2020.

ROESE, A. D. *et al.* Agrosilvopastoral system enhances suppressiveness to soybean damping-off caused by *Rhizoctonia solani* and alters Fusarium and Trichoderma population density. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 40, n. 1, p.35-75, 9 Feb. 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.4025/actasciagron.v40i1.35075>. Disponível em: <https://periodicos.uem.br/ojs/index.php/ActaSciAgron/article/view/35075>. Acesso em: 23 jun. 2020.

RUIZ-LOZANO, J. M. *et al.* Arbuscular mycorrhizal symbiosis induces strigolactone biosynthesis under drought and improves drought tolerance in lettuce and tomato. **Plant, Cell & Environment**, [s. l.], v. 39, n. 2, p. 441-452, 16 Oct. 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/pce.12631>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/pce.12631>. Acesso em: 15 fev. 2020.

RUSSO, M. L. *et al.* Endophytic colonisation of tobacco, corn, wheat and soybeans by the fungal entomopathogen *Beauveria bassiana* (Ascomycota, Hypocreales). **Biocontrol Science and Technology**, Oxford, v. 25, n. 4, p. 475-480, 18 Dec. 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/09583157.2014.982511>. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/09583157.2014.982511>. Acesso em: 11 ago. 2020.

SAUZE, J. *et al.* The interaction of soil phototrophs and fungi with pH and their impact on soil CO<sub>2</sub>, CO<sub>18</sub>O and OCS exchange. **Soil Biology and Biochemistry**, Elmsford, v. 115, p. 371-382, Dec. 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.soilbio.2017.09.009>. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038071717305746?via%3Dihub>. Acesso em: 29 nov. 2020.

SCHMIDT, C. S. *et al.* Combined effects of fungal inoculants and the cytokinin-like growth regulator thidiazuron on growth, phytohormone contents and endophytic root fungi in *Miscanthus × giganteus*. **Plant Physiology and Biochemistry**, Paris, v. 120, p. 120-131, Nov. 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.plaphy.2017.09.016>. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0981942817303078>. Acesso em: 15 maio 2020.

SCHNÜRER, J., ROSSWALL, T. Fluorescein diacetate hydrolysis as a measure of total microbial activity in soil and litter. *Applied and Environmental Microbiology*, Washington, v. 43, p. 1256–1261, June 1982. DOI: <https://doi.org/10.1128/aem.43.6.1256-1261.1982>. Disponível em: <https://journals.asm.org/doi/10.1128/aem.43.6.1256-1261.1982>. Acesso em: 19 jul. 2020.

SCHUMACHER, T. E. *et al.* Rapid cost-effective analysis of microbial activity in soils using modified fluorescein diacetate method. **Environmental Science and Pollution Research**, [s. l.], v. 22, n. 6, p. 4759-4762, 4 Dec. 2014. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-014-3922-4>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-014-3922-4>. Acesso em: 11 fev. 2020.

SCHWENDENMANN, L. *et al.* Soil CO<sub>2</sub> efflux in an old-growth southern conifer forest (*Agathis australis*) – magnitude, components and controls. **Soil**, Gottingen, v. 2, n. 3, p. 403-419, 12 Aug. 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.5194/soil-2-403-2016>. Disponível em: <https://soil.copernicus.org/articles/2/403/2016/>. Acesso em: 21 dez. 2020.

SEENIVASAN, N. *et al.* Efficacy of *Pseudomonas fluorescens* and *Paecilomyces lilacinus* against *Meloidogyne graminicola* infecting rice under system of rice intensification. **Archives of Phytopathology and Plant Protection**, London, v. 44, n. 15, p. 1467-1482, Sept. 2011. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/03235408.2010.505788>. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/03235408.2010.505788>. Acesso em: 16 ago. 2019.

SILVA, C. F. *et al.* Multifunctional potential of endophytic and rhizospheric microbial isolates associated with *Butia purpurascens* roots for promoting plant growth. **Antonie van Leeuwenhoek**, Amsterdam, v. 111, n. 11, p. 2157-2174, 30 May 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s10482-018-1108-7>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs10482-018-1108-7>. Acesso em: 28 dez. 2019.

SINGH, V. *et al.* *Trichoderma asperellum* spore dose depended modulation of plant growth in vegetable crops. **Microbiological Research**, Jena, v. 193, p. 74-86, Dec. 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.micres.2016.09.002>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S094450131630218X?via%3Dihub>. Acesso em: 26 abr. 2020.

- SMITH, S. E.; READ, D. J. *Mycorrhizal Symbiosis*. 3th ed. New York: Academic Press, 2008. Disponível em: <https://www.elsevier.com/books/mycorrhizal-symbiosis/smith/978-0-12-370526-6>. Acesso em: 11 ago. 2019.
- SMITH, F. A.; SMITH, S. E. What is the significance of the arbuscular mycorrhizal colonisation of many economically important crop plants?. **Plant and Soil**, The Hague, v. 348, n. 1, p. 63-79, 06 July 2011. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11104-011-0865-0>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11104-011-0865-0>. Acesso em: 25 maio 2020.
- SONG, Y. *et al.* Interplant communication of tomato plants through underground common mycorrhizal networks. **Plos One**, San Francisco, v. 5, n. 10, e13324, 13 Oct. 2010. DOI: <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0013324>. Disponível em: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0013324>. Acesso em: 18 dez. 2020.
- SPARLING, G. P.; West, A.W. A direct extraction method to estimate soil microbial C: Calibration in situ using microbial respiration and 14C labelled cells. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 20, n. 3, p. 337-343, 1988. DOI: [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(88\)90014-4](https://doi.org/10.1016/0038-0717(88)90014-4). Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0038071788900144>. Acesso em: 14 nov. 2019.
- SPOHN, M. *et al.* Soil microbial carbon use efficiency and biomass turnover in a long-term fertilization experiment in a temperate grassland. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 97, p. 168-175, Jun. 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.soilbio.2016.03.008>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0038071716300165?via%3Dihub>. Acesso em: 2 dez. 2020.
- STRACHEL, R. *et al.* An Evaluation of the effectiveness of sorbents in the remediation of soil contaminated with zinc. **Water, Air, & Soil Pollution**, [s. l.], v. 229, n. 7, p. 229-235, July 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s11270-018-3882-2>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs11270-018-3882-2>. Acesso em: 7 ago 2020.
- STOTZKY, G. Microbial respiration. In: BLACK, C. A. (ed.), **Methods of soil analysis**. Madison: American Society of Agronomy, 1965. v. 2, p. 1551-1572. Disponível em: <https://acess.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2134/agronmonogr9.2.c62>. Acesso em: 14 fev. 2020.
- SU, S. *et al.* Inoculating chlamydospores of *Trichoderma asperellum* SM-12F1 changes arsenic availability and enzyme activity in soils and improves water spinach growth. **Chemosphere**, Oxford, v. 175, p. 497-504, May 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.02.048>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0045653517302266?via%3Dihub>. Acesso em: 12 ago. 2020.
- SUN, C. *et al.* National-scale evaluation of phosphorus emissions and the related water-quality risk hotspots accompanied by increased agricultural production. **Agriculture**,

**Ecosystems & Environment**, [s. l.], v. 267, p.33-41, Nov. 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2018.08.004>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0167880918303372?via%3Dihub>. Acesso em: 26 abr. 2020.

TABATABAI, M. A. Soil Enzymes. In: WEAVER, R. W.; ANGLE, J. S.; BOTTOMLEY, P. S. (ed.). **Methods of soil analysis: microbiological and biochemical properties**. Madison: Soil Science Society of America, 1994, p. 775 -833. Disponível em: <https://www.wiley.com/en-ad/Methods+of+Soil+Analysis%2C+Part+2%3A+Microbiological+and+Biochemical+Properties-p-9780891188650>. Acesso em: 19 ago. 2019.

TACURI, L. B. C. **Determinar la compatibilidad y el tiempo de sobrevivencia de cuatro microorganismos benéficos de uso agrícola: *Trichoderma harzianum*, *Metarhizium anisopliae*, *Beauveria bassiana* y *Paecilomyces lilacinus*** en bioles. 2014. 98 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agroecología y Ambiente, Universidad Técnica de Ambato, Ambato, 2014. Disponível em: <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/7876>Acesso em: 19 abr. 2020.

TAKEDA, N. *et al.* Gibberellins interfere with symbiosis signaling and gene expression and alter colonization by arbuscular mycorrhizal fungi in *Lotus japonicus*. **Plant Physiology**, Oxford, v. 167, n. 2, p. 545-557, 19 Dec. 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.1104/pp.114.247700>. Disponível em: <https://academic.oup.com/plphys/article/167/2/545/6113619>. Acesso em: 11 oct 2020.

TALL, S. *et al.* Probiotics for plants? Growth promotion by the entomopathogenic fungus ***Beauveria bassiana*** depends on nutrient availability. **Microbial Ecology**, New York, v. 76, n. 4, p. 1002-1008, 28 Mar. 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s00248-018-1180-6>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs00248-018-1180-6>. Acesso em: 12 dez. 2020.

TEFERA, T. *et al.* Effect of inoculation method and plant growth medium on endophytic colonization of sorghum by the entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana*. **Biocontrol**, Dordrecht, v. 54, n. 5, p. 663-669, 24 Mar. 2009. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s10526-009-9216-y>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs10526-009-9216-y>. Acesso em: 18 maio 2020.

TEIXEIRA, P. C *et al.* Manual de métodos de análise de solo, 3. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2017. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/1085209>. Acesso em: 15 abr. 2019.

THONAR, C. *et al.* Traits related to differences in function among three arbuscular mycorrhizal fungi. **Plant and Soil**, The Hagu, v. 339, n. 1, p. 231-245, Feb. 2011. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11104-010-0571-3>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11104-010-0571-3>. Acesso em: 26 abr. 2020.

TIECHER, T. *et al.* Soil fertility and nutrient budget after 23-years of different soil tillage systems and winter cover crops in a subtropical Oxisol. **Geoderma**, Amsterdam, v. 308, p. 78-85, Dec. 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.08.028>. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0016706117305530?via%3Dihub>. Acesso em: 14 dez. 2020.

TOMAZELLI, D. **Resposta de mudas de erva-mate a inoculação com fungos micorrízicos arbusculares**. 2019. 76 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2019. Disponível em: [https://www.udesc.br/arquivos/cav/id\\_cpmenu/1470/Disserta\\_o\\_Daniela\\_Tomazelli\\_FINAL\\_15693552985549\\_1470.pdf](https://www.udesc.br/arquivos/cav/id_cpmenu/1470/Disserta_o_Daniela_Tomazelli_FINAL_15693552985549_1470.pdf). Acesso em: 26 abr. 2020.

TONG, J. *et al.* Endophytic fungi and soil microbial community characteristics over different years of phytoremediation in a copper tailings dam of Shanxi, China. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 574, p. 881-888, Jan. 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.09.161>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969716320915?via%3Dihub>. Acesso em: 6 maio 2020.

TOOPAANG, W. *et al.* Targeted disruption of the polyketide synthase gene pks15 affects virulence against insects and phagocytic survival in the fungus *Beauveria bassiana*. **Fungal Biology**, Oxford, v. 121, n. 8, p. 664-675, Ago. 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.funbio.2017.04.007>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1878614617300491?via%3Dihub>. Acesso em: 16 abr. 2020.

TRESEDER, K. K. The extent of mycorrhizal colonization of roots and its influence on plant growth and phosphorus content. **Plant and Soil**, The Hagu, v. 371, n. 1, p. 1-13, Mar. 2013. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11104-013-1681-5>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11104-013-1681-5>. Acesso em: 12 nov. 2020.

TRIANA, A. C. *et al.* Evaluation of antifungal activity of *Trichoderma asperellum* Samuels against fungal pathogens that affect soybean (*Glycine max* L.) crop. **Cultivos Tropicales**, La Habana, v. 38, n. 4, p. 15-21, 2017. Disponível em: <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20183148251>. Acesso em: 26 abr. 2020.

VANCE, E. D.; BROOKES, P. C.; JENKINSON, D. S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v. 19, n. 6, p. 703-707, 1987. DOI: [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(87\)90052-6](https://doi.org/10.1016/0038-0717(87)90052-6). Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0038071787900526>. Acesso em: 12 nov 2020.

VIERHEILIG, H. *et al.* Ink and Vinegar, a simple staining technique for arbuscular-mycorrhizal fungi. **Applied and Environmental Microbiology**, [s. l.], v. 64, n. 12, p. 5004-5007, 1998. DOI: <https://doi.org/10.1128/AEM.64.12.5004-5007.1998>. Disponível em: <https://journals.asm.org/doi/10.1128/AEM.64.12.5004-5007.1998>. Acesso em: 11 ago 2020.

WANG, G. *et al.* Biosynthesis of antibiotic leucinostatins in bio-control fungus *purpureocillium lilacinum* and their inhibition on *phytophthora* revealed by genome mining. **Plos Pathogens**, San Francisco, v. 12, n. 7, 14 July 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1371/journal.ppat.1005685>. Disponível em: <https://journals.plos.org/plospathogens/article?id=10.1371/journal.ppat.1005685>. Acesso em: 12 mar. 2020.

WANG, Y. *et al.* Auxin response factor 1 acts as a positive regulator in the response of poplar to *Trichoderma asperellum* inoculation in overexpressing plants. **Plants**, Brasília, v. 9, n. 2, 19 Feb. 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/plants9020272>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2223-7747/9/2/272>. Acesso em: 17 nov. 2020.

WILSON, G. W. *et al.* Soil aggregation and carbon sequestration are tightly correlated with the abundance of arbuscular mycorrhizal fungi: results from long-term field experiments. **Ecology Letters**, Oxford, v. 12, n. 5, p. 452-46, Apr. 2009. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2009.01303.x>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1461-0248.2009.01303.x>. Acesso em: 9 fev. 2020.

XIE, J *et al.* Genome and transcriptome sequences reveal the specific parasitism of the nematophagous *Purpureocillium lilacinum* 36-1. **Frontiers In Microbiology**, Lausanne, v. 7, p. 1-17, 19 July 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.3389/fmicb.2016.01084>. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmicb.2016.01084/full>. Acesso em: 21 ago. 2020.

XU, G. *et al.* Labile, recalcitrant, microbial carbon and nitrogen and the microbial community composition at two *Abies faxoniana* forest elevations under elevated temperatures. **Soil Biology and Biochemistry**, Elmsford, v. 91, p. 1-13, Dec. 2015. <http://dx.doi.org/10.1016/j.soilbio.2015.08.016>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0038071715002941?via%3Dihub> Acesso em: 4 jun. 2020.

YU, H. *et al.* The spatial relationship between human activities and C, N, P, S in soil based on landscape geochemical interpretation. **Environ Geochem Health**, Holanda, v. 38, p.381-398, Abr. 2016. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10653-015-9725-9>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs10653-015-9725-9>. Acesso em: 14 fev. 2020.

ZAVALA-GONZALEZ, E. A. *et al.* *Arabidopsis thaliana* root colonization by the nematophagous fungus *Pochonia chlamydosporia* is modulated by jasmonate signaling and leads to accelerated flowering and improved yield. **New Phytologist**, Cambridge, v. 213, n. 1, p. 351-364, 26 July 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/nph.14106>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs10653-015-9725-9>. Acesso em: 6 abr. 2020.

ZHANG, Y. *et al.* Soil inoculation of *Trichoderma asperellum* M45a regulates rhizosphere microbes and triggers watermelon resistance to *Fusarium* wilt. **Amb Express**, Heidelberg, v. 10, n. 1, 23 Oct. 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.1186/s13568-020-01126-z>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S094450131630218X?via%3Dihub>. Acesso em: 5 jan. 2021.

ZHU, B. *et al.* Diversity of rhizosphere and endophytic fungi in *Atractylodes macrocephala* during continuous cropping. **PeerJ**, Corte Madera, v. 8, p. 1-7, 6 Apr. 2020. PeerJ. DOI: <http://dx.doi.org/10.7717/peerj.8905>. Disponível em: <https://peerj.com/articles/8905/>. Acesso em: 30 nov. 2020.