

2023

Desempenho de fungicida químico e biológico no desenvolvimento da soja e colonização micorrízica

Antonucci, Bruno do Valle

Universidade Estadual do Norte do Paraná

ANTONUCCI, Bruno do Valle. Desempenho de fungicida químico e biológico no desenvolvimento da soja e colonização micorrízica. Orientador: Rodrigo de Souza Poletto. 2023. 36 f. Dissertação Mestrado em Agronomia - Centro de Ciências Agrárias, Campus Luiz Meneghel, Universidade Estadual do Norte do Paraná, Bandeirantes, 2023.

<https://repositorio.uenp.edu.br/handle/123456789/954>

Baixado de Repositório Institucional UENP



UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE DO PARANÁ
CAMPUS LUIZ MENEGHEL
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

BRUNO DO VALLE ANTONUCCI

**DESEMPENHO DE FUNGICIDA QUÍMICO E BIOLÓGICO NO
DESENVOLVIMENTO DA SOJA E COLONIZAÇÃO MICORRÍZICA**

BANDEIRANTES-PR

2023

DESEMPENHO DE FUNGICIDA QUÍMICO E BIOLÓGICO NO DESENVOLVIMENTO DA SOJA E COLONIZAÇÃO MICORRÍZICA

Dissertação apresentada ao Programa de
Mestrado em Agronomia, da
Universidade Estadual do Norte do
Paraná, *Campus* Luiz Meneghel

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo de Souza
Poletto

Coorientador: Prof. Dr. Leopoldo
Sussumu Matsumoto

Ficha catalográfica elaborada por Lidia Orlandini Feriato Andrade, CRB 9/1556, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UENP

A635d Antonucci, Bruno do Valle
Desempenho de fungicida químico e biológico no desenvolvimento da soja e colonização micorrízica / Bruno do Valle Antonucci; orientador Rodrigo de Souza Poletto - Bandeirantes, 2023.
37 p. :il.

Dissertação (Mestrado Acadêmico Agronomia) - Universidade Estadual do Norte do Paraná, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, 2023.

1. Soja - Cultivo. 2. Fungicida químico e biológico. 3. Fungos micorrízicos arbusculares. 4. Glycine max. 5. Desenvolvimento de plantas . I. Poletto, Rodrigo de Souza, orient. II. Título.

CDD: 633.4

BRUNO DO VALLE ANTONUCCI

DESEMPENHO DE FUNGICIDA QUÍMICO E BIOLÓGICO NO DESENVOLVIMENTO DA SOJA E COLONIZAÇÃO MICORRÍZICA

Dissertação apresentada ao Programa de
Mestrado em Agronomia da Universidade
Estadual do Norte do Paraná, *Campus*
Luiz Meneghel.

Aprovada em: 06/07/2023

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof. Dr. Leopoldo Sussumu Matsumoto

Prof. Dr. Luis Eduardo Azevedo Marques Lescano

Prof. Dr. Danilo Miralha Franco

Prof. Dr. Diego Resende Rodrigues

Prof. Dr. Ulisses Brigatto Albino

Prof. Dr. Rodrigo de Souza Poletto
Orientador

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Croqui da área experimental.	17
Figura 2: Fragmentos de raiz de <i>Glycine max</i> , coloridos e dispostos em lâmina interseccionada.	19
Figura 3: Imagem de microscopia óptica com aumento de 100x: Fragmento de raiz de <i>Glycine max</i> colonizado por fungos micorrízicos arbusculares.	19
Figura 4: Médias de comprimentos de partes aéreas de soja submetida a diferentes tratamentos de revestimento de sementes.....	20
Figura 5: Médias de massas secas das partes aéreas de soja submetida a diferentes tratamentos de revestimento de sementes.....	20
Figura 6: Médias dos volumes de raízes de soja submetida a diferentes tratamentos de revestimento de sementes.....	22
Figura 7: Médias de massas secas de raízes de soja submetida a diferentes tratamentos de revestimento de sementes.....	22
Figura 8: Médias das massas secas de nódulos de soja submetida a diferentes tratamentos de revestimento de sementes.....	24
Figura 9: Médias percentuais de micorrização de raízes de soja submetida a diferentes tratamentos de revestimento de sementes.....	26

SUMÁRIO

RESUMO	7
ABSTRACT	8
1 INTRODUÇÃO	9
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	11
2.1 Cultura da soja.....	11
2.2 Fungos micorrízicos arbusculares	11
2.3 Influência dos defensivos químicos no estabelecimento da Micorriza arbuscular	13
2.4 Aplicabilidade do <i>Trichoderma harzianum</i> e sua interação com microrganismos do rizoplane	14
3 MATERIAL E MÉTODOS	16
3.1 Caracterização da área experimental.....	16
3.2 Delineamento experimental	17
3.3 Avaliação de amostras em laboratório	18
3.4 Análise Estatística	20
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	20
4.1 Parte aérea	20
4.2 Raiz	22
4.3 Nodulação	24
4.4 Colonização micorrízica.....	25
5 CONCLUSÃO	27
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	27
7 REFERÊNCIAS	27

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer aos meus pais, Miguel Cesar Antonucci e Lucilene de Fátima do Valle Antonucci, por estarem sempre presentes em cada etapa da minha vida e tornarem possível a realização dos meus sonhos.

Gostaria de agradecer também ao professor Dr. Leopoldo Sussumu Matsumoto, ao professor Dr. Luis Eduardo Azevedo Marques Lescano, e ao meu professor orientador Dr. Rodrigo de Souza Poletto, por todo o apoio e dedicação durante este árduo período de capacitação.

Agradeço também à instituição de fomento CAPES, pelo amparo financeiro concedido por meio das bolsas de pesquisa, tornando possível não somente a realização do meu trabalho, mas a de diversos outros que representam avanços científicos extremamente significativos.

Por fim, gostaria de agradecer às instituições UENP/CLM e Caltech Agro, pelo apoio e credibilidade ao decorrer de minha trajetória.

ANTONUCCI, Bruno do Valle. **Desempenho de fungicida químico e biológico no desenvolvimento da soja e colonização micorrízica**. 2023. Dissertação de mestrado em agronomia - Universidade estadual do norte do paraná, *campus* Luiz Meneghel, Bandeirantes, 2023.

RESUMO

A micorriza arbuscular é um tipo de associação presente em diversos ecossistemas terrestres e, além ter um papel importantíssimo na nutrição, desenvolvimento e resistência de plantas, é capaz de servir como parâmetro é bioindicação de qualidade ecológica, juntamente aos outros microrganismos presentes no rizoplane, como o *Trichoderma harzianum* e o *Bradyrhizobium japonicum*. Sabe-se que a implementação de tecnologias de origem biológica na agricultura, tem reduzido muitos impactos ambientais e colaborado para a diminuição do uso de produtos químicos prejudiciais à microbiota do solo. Este trabalho teve como objetivo avaliar a influência do fungicida químico (FQ) e fungicida biológico (*T. harzianum*) no desenvolvimento de plantas e colonização micorrízica, pelo tratamento de sementes de *Glycine max*. A  rea experimental foi de 80 m² e o delineamento em blocos casualizados. Avaliou-se massa seca de parte  erea e de raiz, altura de parte  erea, volume de raiz, massa seca de nódulos e porcentagem de colonização micorrízica. A utilização isolada de FQ apresentou índices baixos de massa seca de parte  erea e de raiz, além de baixos valores de altura de parte  erea e volume de raiz. Da mesma forma, as porcentagens de micorrização foram baixas, o que não ocorreu com a massa seca de nódulos, que se apresentou alta nos tratamentos com adição do FQ. De maneira geral, o *T. harzianum* demonstrou atuar com sinergismo   colonização micorrízica, favorecendo acréscimos nos parâmetros de desenvolvimento das plantas, mesmo quando presente o FQ.

Palavras-chave: Fungos Micorrízicos Arbusculares; *Glycine max*; *Trichoderma harzianum*.

ANTONUCCI, Bruno do Valle. **Performance of chemical and biological fungicide on soybean development and mycorrhizal colonization.** 2023. Master's dissertation in agronomy - State University of Northern Paraná, Luiz Meneghel Campus, Bandeirantes, 2023.

ABSTRACT

Arbuscular mycorrhiza is a type of association present in several terrestrial ecosystems and, in addition to having a very important role in the nutrition, development and resistance of plants, it is capable of serving as a parameter for the bioindication of ecological quality, together with other microorganisms present in the rhizoplane, such as *Trichoderma harzianum* and *Bradyrhizobium japonicum*. It is known that the implementation of technologies of biological origin in agriculture has reduced many environmental impacts and collaborated to reduce the use of chemical products harmful to the soil microbiota. This work aimed to evaluate the influence of chemical fungicide (FQ) and biological fungicide (*T. harzianum*) on plant development and mycorrhizal colonization, by treating *Glycine max*. The experimental area was 80 m² and the design was in randomized blocks. Shoot and root dry mass, shoot height, root volume, dry mass of nodules and percentage of mycorrhizal colonization were evaluated. The isolated use of FQ showed low rates of shoot and root dry mass, in addition to low values of shoot height and root volume. Likewise, the percentages of mycorrhization were low, which did not occur with the dry mass of nodules, which was high in the treatments with the addition of FQ. In general, *T. harzianum* has shown to act synergistically with mycorrhizal colonization, favoring increases in plant development parameters, even when FQ is present.

Keywords: Arbuscular Mycorrhizal Fungi; *Glycine max*; *Trichoderma harzianum*.

1 INTRODUÇÃO

Apesar do Brasil ainda ocupar o posto de maior consumidor mundial de agroquímicos, a eficiência de microrganismos no controle biológico vem se tornando uma das principais razões para diminuição do uso destes produtos (DOMENICO, 2019). Há uma crescente utilização isolada e combinada de microrganismos do solo como promotores de crescimento de plantas e, conseqüentemente, do aumento da produtividade, fator esse que vêm ganhando espaço no enriquecimento da agricultura sustentável, por não causarem impactos negativos ao meio ambiente e serem promissores ao sistema de cultivo (SILVA et al., 2020).

Há muitos microrganismos que desempenham papéis fundamentais na qualidade dos ecossistemas agrícolas, com influência direta no desenvolvimento e produtividade das culturas (COLODETE et al., 2014). Dentre eles, destaca-se o fungo micorrízico arbuscular (FMA), como integrante edáfico de diversos ecossistemas (FONSECA et al., 2019). Sendo organismos biotróficos obrigatórios, os FMAs dependem do carbono fornecido pela planta, para sua sobrevivência e desenvolvimento (BERBARA; SOUZA; FONSECA, 2006). Isso ocorre por meio da formação da simbiose micorríza arbuscular (MA), em que as hifas do fungo, com suas estruturas integradas às raízes, também transferem nutrientes do solo, como fósforo e nitrogênio, diretamente para a planta (PEREIRA et al., 2012).

Em ecossistemas agrícolas, quando o manejo empregado favorece a atividade dos FMAs, estes atuam como uma ferramenta biotecnológica, sendo muito importantes à produção sustentável (BIZOS et al., 2020). Desse modo, a ocorrência e diversidade de FMAs, podem ser diretamente afetadas pelas práticas adotadas no campo, tanto positivamente quanto negativamente. Da mesma forma, a condição do solo também é um fator de influência para a estabilidade entre os organismos edáficos (PEREIRA; GIONGO; LIMA, 2021).

Estudos têm demonstrado que, embora grande parte das aplicações químicas de fungicidas e inseticidas não interfira significativamente na colonização radicular da planta pelo FMA, alguns dos fungicidas químicos podem comprometer o estabelecimento da micorriza arbuscular, principalmente quando estes produtos estão presentes na fase pré-simbiótica (JIN; GERMIDA; WALLEY, 2013; CAMERON et al., 2017a).

Práticas agrícolas conservacionistas com manejos que permitem a diminuição do uso de agroquímicos, podem proporcionar melhorias significativas na qualidade do solo e beneficiar os FMAs, visto que sua comunidade tende a ser mais numerosa em tais condições (SILVA; GIONGO; LIMA, 2021). Isso porque o nível de conservação de suas estruturas, bem como seu potencial de infectividade e colonização, dependem diretamente da integridade de seus propágulos no solo (REIS et al., 2012; BRITO et al., 2019; SILVA; GIONGO; LIMA, 2021).

Alguns microrganismos de importância agrícola, como o *Trichoderma harzianum*, apresentam uma relação de compatibilidade com os FMAs, onde ambos os organismos garantem benefícios mútuos um ao outro, além de promoverem o desenvolvimento vegetal (TITUAÑA, 2020). Da mesma forma, existe uma considerável relação de sinergismo entre bactérias fixadoras de nitrogênio e os FMAs (MAIA, 2019), o que torna o manejo biológico uma alternativa vantajosa à produção agrícola sustentável (JUNIOR et al., 2018).

O *T. harzianum* (TH) é um fungo do solo que, além de apresentar propriedades promotoras de crescimento vegetal, tem se destacado como um importante biocontrolador de patógenos fúngicos em culturas agrícolas. Sua aplicação tem sido amplamente explorada em diversas culturas, incluindo tomate, milho, arroz, soja e outras (MAYER; MAZARO; SILVA, 2019). Além de ser uma alternativa para a biorremediação de solos contaminados (LIAQUAT et al., 2020).

Por possuírem um papel fundamental nos ecossistemas terrestres e sofrerem diretamente com danos ambientais, os FMA podem servir como bioindicadores de qualidade de condições ecológicas (MARCOLINO et al., 2020), demonstrando resultados positivos em colonização de raízes, na presença de TH (MEDINA et al., 2011). Sendo assim, o presente trabalho teve como objetivo, avaliar a influência de fungicida químico e de TH (fungicida biológico) no desenvolvimento de *Glycine max* e colonização micorrízica de raízes.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Cultura da soja

A soja (*Glycine max*) é uma das plantas mais cultivadas do mundo, sendo o Brasil o segundo maior produtor de grãos. Apesar do rendimento das culturas serem muito dependente de fatores climáticos, sua capacidade genética também é algo determinante no cenário agrícola atual, visto que o aspecto de maior relevância na produtividade da cultura, é a lucratividade obtida, com novas perspectivas para a produção sustentável (CAVALCANTE et al., 2020).

A soja é globalmente utilizada para produção de ração animal, geração de bioenergia e, até mesmo, para alimentação humana. Sua comercialização superou US\$ 55 bilhões no ano de 2019, com uma tendência crescente a cada ano, atendendo cada vez mais a questões que compõem os princípios do desenvolvimento sustentável (FONTES; BARBOSA, 2020).

Em decorrência das diversas pragas e patógenos que podem prejudicar a cultura da soja, desde a pré-emergência até a colheita, a utilização de agroquímicos se tornou algo frequente, principalmente por sua ação imediata sobre organismos alvos (BUENO et al., 2017). No entanto, com o uso indiscriminado destas substâncias, existem consequências consideráveis à biodiversidade benéfica dos ecossistemas agrícolas, o que ressalta a necessidade de um manejo adequado, com utilização de insumos químicos que apresentem compatibilidade com microrganismos de importância agrícola, como o *Bradyrhizobium* spp., disponibilizado às plantas por tratamento de sementes (BUENO et al., 2022).

A soja apresenta uma alta exigência de nitrogênio durante seu desenvolvimento, disponibilizado à planta, principalmente, através da fixação biológica realizada por *Bradyrhizobium japonicum*. Esse microrganismo é amplamente recomendado como inoculante para a cultura da soja, gerando respostas mais pronunciadas que a adubação química, tanto no crescimento vegetal, quanto no rendimento de grãos (ZUFFO et al., 2018).

2.2 Fungos micorrízicos arbusculares

O fungo micorrízico arbuscular (FMA), é um dos microrganismos mais antigos a se relacionar com as plantas e, também, um dos mais importantes para os

ecossistemas em geral. Sua diversidade e abundância estão diretamente ligados à nutrição e adaptação dos organismos vegetais aos ambientes, especialmente os que apresentam condições que promovem estresses bióticos e abióticos (FERREIRA; CARNEIRO; JUNIOR, 2012). Sua capacidade de estabelecer associações mutualísticas com plantas terrestres alcança 80 % (GENRE et al., 2020). Esse estabelecimento ocorre através da micorriza arbuscular (MA), que é uma relação simbiótica entre o fungo e as raízes das plantas, que permite a troca de nutrientes entre os organismos por intermédio de estruturas fúngicas altamente ramificadas, denominadas arbúsculos (CAMPOS, 2020; VILA et al., 2021).

De maneira geral, são denominadas micorrizas as relações simbióticas entre fungos e raízes de plantas. Contudo, a MA é a interação de maior importância agrônômica, já que além de promover benefícios nutricionais, é capaz de ativar mecanismos de defesa em plantas, provocar mudanças nos padrões de exsudação radicular e, conseqüentemente, influenciar na comunidade microbiana da rizosfera (VILA et al., 2021).

FMAs, assim como rizobactérias promotoras de crescimento, se tornaram uma excelente alternativa como ferramenta de gestão ambiental, pois estes são microrganismos do solo que desempenham um papel fundamental na natureza, através da colonização radicular das plantas e formação de suas estruturas, agindo como uma extensão de raiz, capaz de melhorar a absorção de água e nutrientes como o fósforo, além de garantir à planta uma maior tolerância a estresses abióticos, bem como resistência a doenças e pragas (COSTA; MELLONI, 2019).

A colonização micorrízica em plantas é um requisito obrigatório para que o FMA complete seu ciclo de vida, já que, são dependentes do C fotoassimilado e disponibilizado pelas raízes hospedeiras, na forma de carboidratos (LARA; CORREIA; SILVA, 2020). Além disso, grande parte das agregações do solo é garantida pela presença de glomalina, proteína presente na parede celular das hifas de FMA, sendo incorporada no solo através do processo de decomposição dessas estruturas por intermédio de organismos edáficos (SANTOS et al., 2018). Isso garante a ocorrência de outros processos de importância ecológica, inclusive a da mineralização dos nutrientes (DRESCH; LANA; MACIEL, 2019).

Somados aos benefícios nutricionais, plantas com MA podem aumentar sua produção enzimática a partir dos tecidos radiculares, via sinalização fenólica desencadeada, inclusive, pelo próprio fungo na presença de radicais livres, o que

garante uma resposta de defesa mais efetiva (ZHANG et al., 2013). Portanto, o estabelecimento da MA pode promover tolerância e resistência às plantas, quando estas se tornam alvo de estresse oxidativo por fatores ambientais ou por agentes fitopatogênicos (PEREIRA et al., 2012).

Além da ação isolada da colonização micorrízica, existem também, os efeitos promovidos pela formação de redes micorrízicas compartilhadas entre plantas. Este fenômeno pode garantir benefício mútuo às plantas, que interatuam por meio de sinalizadores alelopáticos, transferidos sem que haja absorção desses compostos em solo, diferente do que ocorre na sinalização clássica, sem influência da MA (BARTO et al., 2012; MUNEEER et al., 2020). Sendo transferidos via rede micorrízica comum (RMC), estes compostos alelopáticos são capazes de estimular algumas funções metabólicas nas plantas vizinhas, atribuindo-as resistência para lidar com doenças causadas por outros organismos. Isto ocorre quando uma ou mais plantas são infectadas ou infestadas, emitindo sinais às plantas vizinhas via RMC, o que pode gerar uma resposta através da ativação de seus genes de defesa (SONG et al., 2013; BABIKOVA et al., 2013; SIMARD, 2018).

Estudos têm relatado a ocorrência de interações ecológicas entre FMAs e outros microrganismos do solo, favorecidas pelos padrões de liberação de exsudatos pelas hifas ou pelas próprias raízes na presença do FMA, o que pode influenciar no aumento do vigor, fitossanidade, crescimento, e taxa de sobrevivência de plantas hospedeiras (LOPES et al., 2019).

2.3 Influência dos defensivos químicos no estabelecimento da Micorriza arbuscular

O aumento da utilização de agroquímicos no Brasil levou o país a ser considerado um dos maiores consumidores mundiais destes produtos (IBAMA, 2020). Dentre os tais, estão: inseticidas de contato, ingestão, sistêmicos e fumigantes; fungicidas de proteção e de contato, e herbicidas (VIEIRA, 2022).

Os impactos por agroquímicos na ação dos FMAs é relativo às condições de aplicação, formulação do produto, e seu modo de ação (AHMED; ROSNER; STEINKELLNER, 2019). Contudo, o manejo com químicos pode prejudicar as interações bióticas presentes no ambiente edáfico, impactando negativamente a

colonização radicular por FMAs e dificultando a recuperação de ecossistemas degradados (ALBA; ESQUIVEL; FRUTIS, 2019).

O estabelecimento da micorriza arbuscular (MA) é favorável à eficiência agronômica das culturas de importância econômica, através da melhoria na absorção de nutrientes, crescimento vegetativo, aumento da biomassa e melhoramento dos mecanismos fisiológicos envolvidos na fotossíntese. Contudo, declínios na fertilidade do solo e na atividade dos microrganismos, têm relação direta com a adoção de técnicas de manejo que consistem no uso indiscriminado de insumos químicos (RODRÍGUEZ et al., 2020).

Em um parecer técnico de 2017, que inclui organismos não alvos diretamente impactados por insumos, a European Food Safety Authority (EFSA) apontou os FMAs como bioindicadores dos efeitos das substâncias químicas utilizadas na agricultura, com o objetivo de garantir análises mais direcionadas do solo e dos riscos envolvidos na aplicação de produtos fitofarmacêuticos (PFF) (SWEENEY et al., 2022).

Apesar da existência de incógnitas sobre o efeito de fungicidas químicos no estabelecimento da MA, alguns resultados obtidos por meio de modelos de ecossistemas terrestres, demonstram que o número de esporos e o comprimento total das hifas extra-radulares podem ser afetados negativamente por estes PFF (MALLMAN, 2020). Da mesma forma, as próprias alterações metabólicas e fisiológicas provocadas em plantas pelo uso de agroquímicos, podem ser um fator de interferência para o estabelecimento de interações simbióticas com os microrganismos do solo (AHMED; ROSNER; STEINKELLNER, 2019).

Sendo assim, bem como já expresso em outros trabalhos, os fungicidas sistêmicos e de contato possuem um efeito supressor no desenvolvimento de FMAs, sendo a preservação da diversidade de suas espécies, um importante fator a se considerar como alternativa, para conservação de características de resistência a qualquer efeito potencial de fungicidas químicos (CAMERON et al., 2017b).

2.4 Aplicabilidade do *Trichoderma harzianum* e sua interação com microrganismos do rizoplano

Os fungos do gênero *Trichoderma* são organismos que se desenvolvem em diferentes ambientes e, justamente por isso, podem ser produzidos massivamente e

utilizados como bioestimulantes do crescimento vegetal, através da liberação de fitormônios e solubilização de nutrientes do solo (MACHADO et al., 2012).

A espécie *T. harzianum* é capaz de diminuir as necessidades do uso de fertilizantes convencionais NPK, não somente por sua capacidade de solubilizar o fosfato e melhorar a absorção de micronutrientes pela planta, mas também, por acelerar a quebra de moléculas orgânicas presentes no solo (PANI; KUMAR; SHARMA, 2021). Além disso, apresentam mecanismos fisiológicos que atuam no biocontrole de patógenos, e podem ser uma alternativa para a substituição de sistemas de manejo danosos, com utilização de produtos provenientes de formulações químicas (BLANCO; MENDONÇA; GRAICHEN, 2022).

Através da ativação de seu metabolismo secundário, o *T. harzianum* (TH), é capaz de sintetizar peptídeos antimicrobianos que atuam diretamente no antagonismo de outros microrganismos do solo, principalmente de fungos fitopatogênicos, sendo vantajoso, inclusive, como agente decompositor de matéria orgânica e biorremediador (MEDEIROS et al., 2021).

Para uma estratégia de controle mais eficiente, muitas vezes se faz necessária a utilização de manejos que incluem produtos químicos. Juntamente ao controle químico, a adição de agentes de controle biológico, demonstram ser muito úteis, principalmente por, além de realizarem o controle de patógenos, evitarem que estes adquiram resistência (TAPWAL et al., 2015).

Apesar de existirem estudos *in vivo* que relatam a inibição da atividade de outros fungos por TH, efeitos positivos têm sido observados a partir de sua associação com FMA em plantas, o que também sugere que a colonização micorrízica de raízes pode servir como via de entrada para o *Trichoderma*, indicando uma possível influência do micotrofismo dos FMAs na evolução da atividade endofítica do TH (MONTE et al., 2019).

Além disso, a coinoculação de *Trichoderma* spp. com bactérias fixadoras de nitrogênio, tem alcançado resultados promissores em campo, com uma compatibilidade sinérgica entre esses organismos (DAS et al., 2017). Da mesma forma, combinações de inóculos de *Bradyrhizobium* e FMAs são capazes de promover diferenças significativas em parâmetros do desenvolvimento vegetal (LINO et al., 2022).

A multifuncionalidade da microbiota do solo associada aos FMAs, evidencia a existência de uma complexa rede de interações entre estes microrganismos, sendo

algumas destas, mais íntimas, porém, pouco investigadas, considerando a existência de inúmeras combinações possíveis que poderiam ser extremamente úteis em agroecossistemas sustentáveis (AGNOLUCCI et al., 2015).

Estudos mostram que microrganismos que compõem a micorrizosfera, presentes em raízes colonizadas, hifas ou em esporos de FMA, demonstraram-se capazes de aumentar a germinação de esporos, o crescimento vegetativo e a própria colonização do sistema radicular pelo fungo (TURRINI et al., 2018).

Diversos autores propõem que a indução de resistência promovida por FMAs é um fator cumulativo, resultado da soma do processo de estabelecimento da micorriza arbuscular e respostas imunes provocadas indiretamente pela ação de outros microrganismos presentes na micorrizosfera, o que revela a complexidade de interações bióticas e químicas presentes nesse micro ecossistema (CAMERON et al., 2013).

Tanto o TH quanto o *Bradyrhizobium japonicum*, são importantes microrganismos do solo, que atuam na promoção de crescimento. Estudos com a coinoculação de ambos estes microrganismos, têm demonstrado que, além dos benefícios ao biocontrole, contribuem para o aumento do teor de nitrogênio no solo, assim como a coinoculação de *Bradyrhizobium* com FMAs é capaz de elevar a biomassa vegetal (ITURRALDE et al., 2020).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização da área experimental

O experimento foi realizado a campo, em uma área de 80 m², no lote número 15 da Fazenda Penha, localizada em Yguazú, Paraguai (Latitude -25.563333, Longitude -55.169444). Esta área apresenta solos do tipo Argissolo e clima subtropical, com temperaturas mínimas que variaram em torno de 27 °C, e máximas em torno de 35 °C, com precipitação total de 140,9 mm e umidade média de 78%, durante o período experimental (29/11/2022 – 27/01/2023).

O manejo biológico nesta área, com inclusão de tecnologias compostas por microrganismos promotores de crescimento, vem ocorrendo todos os anos, há pelo menos 9 anos, principalmente na cultura da soja. Desse modo, é indispensável a ação de inoculantes a base de *B. japonicum*, que é o principal simbiote dessa

cultura, promovendo a nodulação e o aporte de nitrogênio necessário ao desenvolvimento das plantas.

3.2 Delineamento experimental

Em todos os tratamentos, foi realizada a inoculação de *B. japonicum* nos grãos de soja antes da semeadura no campo. Da mesma forma, a aplicação dos fungicidas químico e biológico comerciais, foi via tratamento de sementes, conforme descrito abaixo. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com quatro tratamentos (T): T1 – Testemunha; T2 – Presença de fungicida químico; T3 – Presença de *T. harzianum* (Fungicida biológico); T4 – Presença de fungicida químico e *T. harzianum*.

Cada tratamento contou com 4 blocos (repetições), com áreas de 2,00 x 2,00 m cada parcela (4 m²) (Figura 1). As sementes tratadas foram de *Glycine max*, cultivar M5947 IPRO, sendo semeadas a 2 cm de profundidade, com 15 plantas por metro linear e espaçamento entre linhas de 0,45 m.

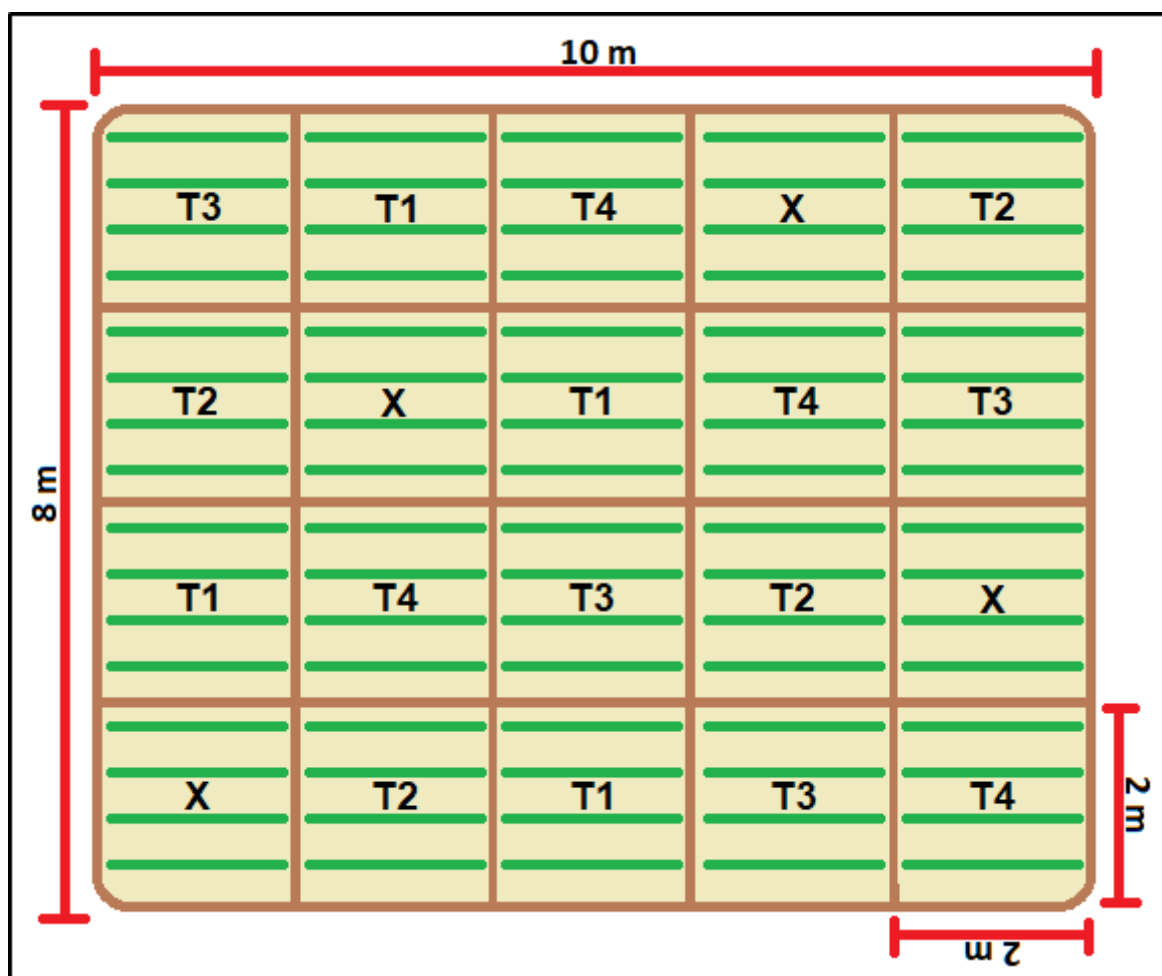


Figura 1: Croqui da área experimental.

Os inoculantes utilizados no tratamento de sementes foram todos de formulação líquida e as dosagens aplicadas por kg de sementes foram as seguintes: Fungicida químico – Fludixonil 10% e Metalaxil-M 15% – 3 mL kg⁻¹ de sementes; *B. japonicum* (1 x 10¹⁰ UFC mL⁻¹) – 2 mL kg⁻¹ de sementes; *T. harzianum* (3,5 x 10⁷ UFC mL⁻¹) – 2 mL kg⁻¹ de sementes.

O tratamento de sementes foi realizado com a utilização do método de mistura manual com sacos plásticos de 3 litros, onde cada produto foi aplicado no fundo dos sacos, com adição de água. Posteriormente, foi realizado o espalhamento da calda pela superfície interna do recipiente e adicionado 1 Kg de sementes em cada um deles. A partir disso, as sementes foram agitadas até a adesão completa e homogênea da calda em sua superfície (OLIVEIRA et al., 2015).

Para a secagem das sementes, os sacos plásticos foram mantidos abertos em temperatura ambiente, pelo período de 24 horas.

O experimento foi mantido pelo período de 59 dias (29/11/2022 – 27/01/2023) e, a retirada das plantas para avaliações, ocorreu 52 dias após a emergência, sendo coletadas quatro plantas das duas linhas centrais de cada bloco.

As plantas coletadas foram selecionadas aleatoriamente e retiradas com a utilização de picareta e pá, por meio de escavação e molhamento do solo ao redor das raízes, a fim de evitar rompimentos severos em suas estruturas primárias e secundárias.

Cada uma dessas plantas foi embalada individualmente em pacotes de papel kraft, os quais foram etiquetados e encaminhados para as avaliações, no mesmo dia.

3.3 Avaliação de amostras em laboratório

Com um total de 16 plantas coletadas por tratamento, cada uma destas foi avaliada quanto aos parâmetros: volume de raiz (cm³); altura da parte aérea (cm); massa seca de raiz (g); massa seca de parte aérea (g); massa seca de nódulos de rizóbio (g) e porcentagem de colonização micorrízica.

Para quantificar volume de raiz, as plantas tiveram suas raízes separadas e submersas em água, utilizando proveta de 1.000 mililitros (mL) para medir o deslocamento da água em mL, posteriormente convertido para centímetros cúbicos.

O comprimento de parte aérea foi medido com utilização de uma régua e, tanto as massas seca de raízes, como as de nódulos e de partes aéreas, foram mensuradas a partir de pesagem em balança semi-analítica, antes e após as estruturas terem sido submetidas a uma temperatura de 65 °C em estufa de circulação forçada, durante 72 horas.

As análises de colonização micorrízica foram realizadas a partir de amostras de raízes frescas. Estas foram coletadas cuidadosamente e submetidas à técnica de clarificação e coloração de Phillips e Hayman (1970), que permite a determinação dos percentuais de micorrização a partir da leitura em lâminas interseccionadas (GIOVANNETTI; MOSSE, 1980) (Figuras 2 e 3).



Figura 2: Fragmentos de raiz de *Glycine max*, coloridos e dispostos em lâmina interseccionada.

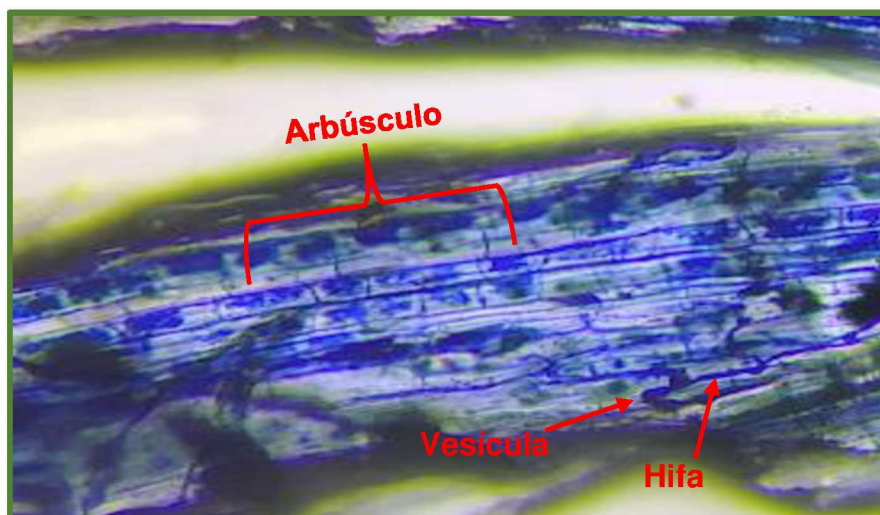


Figura 3: Imagem de microscopia óptica com aumento de 100x: Fragmento de raiz de *Glycine max* colonizado por fungos micorrízicos arbusculares.

3.4 Análise Estatística

Os dados foram submetidos ao teste de normalidade (Teste de Shapiro-Wilk) e ao teste de homoscedasticidade de Levene (para testar a homogeneidade das variâncias), ambos realizados no Software PAST. Após a confirmação de normalidade e homoscedasticidade, foi utilizada uma análise de variância (ANOVA), seguida da aplicação do teste a posteriori de Tukey (5% de probabilidade), para comparação entre as médias obtidas. A análise foi realizada no software SISVAR.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Parte aérea

O comprimento de parte aérea foi um parâmetro que não apresentou diferença significativa entre T1, T3 e T4, sendo T2, o único que apresentou uma média estatisticamente baixa em relação a T1 e T4 (Figura 4).

Em contrapartida, T1 e T3 demonstraram médias consideravelmente elevadas em relação a massa seca de parte aérea, enquanto, T2, apresentou a média mais baixa dentro deste quadro analítico, e T3, demonstrou ser significativamente superior às médias de T4 e T2 (Figura 5).

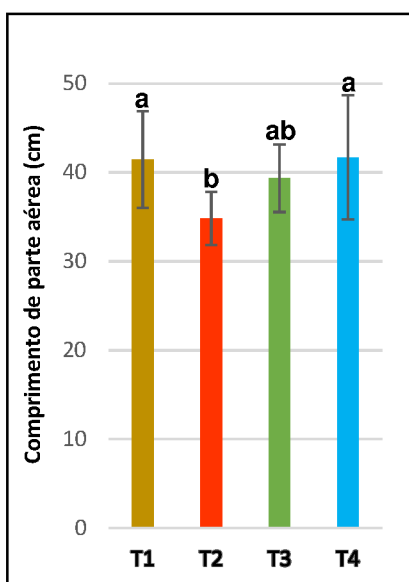


Figura 4: Médias de comprimentos de partes aéreas de soja submetida a diferentes tratamentos de revestimento de sementes.

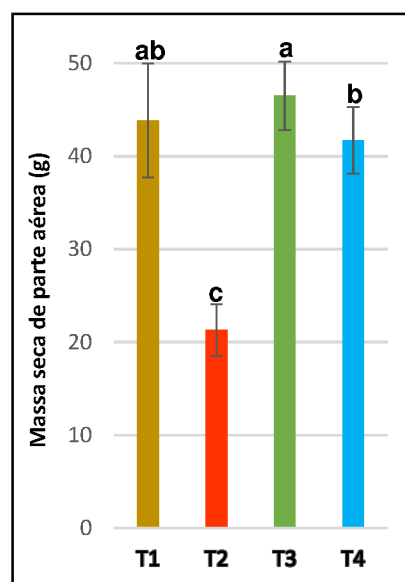


Figura 5: Médias de massas secas das partes aéreas de soja submetida a diferentes tratamentos de revestimento de sementes.

Dados: Presença de *B. japonicum* via tratamento de sementes (T1); Presença de fungicida químico e *B. japonicum* via tratamento de sementes (T2); Presença de *T. harzianum* e *B. japonicum* via tratamento de sementes (T3); Presença de fungicida químico, *T. harzianum* e *B. japonicum* via tratamento de sementes (T4). Médias seguidas de mesma letra não apresentam diferença significativa entre si, conforme o teste Tukey a 5% de significância.

A influência do *Bradyrhizobium* spp. no desenvolvimento da soja, possui um papel fundamental em alterações fisiológicas e nutricionais que favorecem aumentos pronunciados, tanto na altura de plantas, quanto em sua massa seca total (BOSSOLANI et al., 2018).

Investigações de Guareschi et al. (2012), utilizando *Trichoderma* spp. via tratamento de sementes, evidenciaram um efeito de promoção de crescimento expressivo, em raízes e parte aérea de soja, logo nos primeiros 10 dias de desenvolvimento das plantas. Isso ocorre porque a presença do fungo proporciona uma maior ramificação das raízes, resultando em uma ampliação da superfície radicular e da absorção de nutrientes do solo (BORTOLIN et al., 2019).

Cadore et al. (2018), demonstraram uma considerável tendência de acréscimo na biomassa seca de partes aéreas de soja submetida ao tratamento de sementes com *Trichoderma* spp. Da mesma forma, aumentos significativos no comprimento de parte aérea foi um parâmetro favorecido pelo tempo de contato das plantas com este microrganismo.

No presente trabalho, as plantas apresentaram um desenvolvimento de parte aérea mais pronunciado quando em contato com fatores promovidos por *T. harzianum* (TH) e *B. japonicum* (BJ). O tratamento que contou com a utilização de fungicida químico (FQ) no tratamento de sementes, foi o único que não apresentou bons resultados no desenvolvimento da parte aérea das plantas. Tal fato pode estar ligado a ação deletéria dos fungicidas químicos na microbiota do solo, influenciando de maneira negativa o desenvolvimento da planta (ALVES et al., 2021).

A mistura de TH e FQ demonstra compatibilidade, visto que, o *Trichoderma* tende a permanecer capaz de agir na promoção de crescimento de plantas, mesmo em tais condições (ZANDONÁ et al., 2019), enquanto a utilização isolada de grande parte dos insumos químicos, em tratamento de sementes, pode afetar a qualidade fisiológica do desenvolvimento da soja (FELICETI et al., 2020).

4.2 Raiz

Em relação às médias de volume de raiz, T3 foi o que apresentou o resultado mais elevado, se diferenciando significativamente de T1 e T4 que, em segundo plano, superaram o valor de T2 (Figura 6).

Se tratando de médias de massa seca de raiz (MSR), T1, T3 e T4 não se diferenciaram significativamente entre si, superando igualmente, a média de T2 (Figura 7).

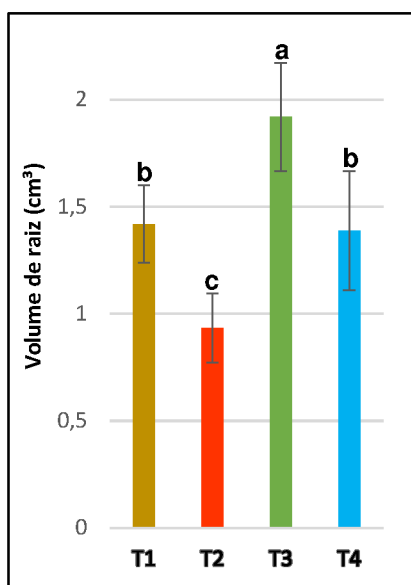


Figura 6: Médias dos volumes de raízes de soja submetida a diferentes tratamentos de revestimento de sementes.

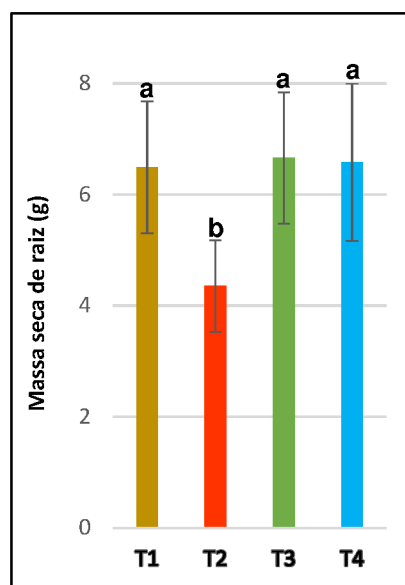


Figura 7: Médias de massas secas de raízes de soja submetida a diferentes tratamentos de revestimento de sementes.

Dados: Presença de *B. japonicum* via tratamento de sementes (T1); Presença de fungicida químico e *B. japonicum* via tratamento de sementes (T2); Presença de *T. harzianum* e *B. japonicum* via tratamento de sementes (T3); Presença de fungicida químico, *T. harzianum* e *B. japonicum* via tratamento de sementes (T4). Médias seguidas de mesma letra não apresentam diferença significativa entre si, conforme o teste Tukey a 5% de significância.

A inoculação de TH no tratamento de sementes (T3), promoveu uma média elevada de volume de raiz. Porém, na presença do FQ (T4), o TH não favoreceu diferenças significativas nesse parâmetro avaliativo, em relação ao tratamento controle (T1).

Conforme observado por Chagas et al. (2022), a utilização de *Trichoderma* spp. no tratamento de sementes, tende a garantir acréscimos significativos em diversos aspectos do desenvolvimento de plantas sob influência deste

microrganismo, o qual é capaz de promover aumentos consideráveis em volumes de raízes. Isso se deve à capacidade das linhagens de *Trichoderma* em produzir fitormônios do crescimento vegetal, além de realizarem o controle de outros microrganismos do solo por antagonismo (LIMA et al., 2023).

Da mesma forma, a capacidade de fixação biológica de nitrogênio por BJ, é uma característica que favorece o aumento do volume radicular em soja (SORDI et al., 2020). Contudo, no tratamento com a utilização de FQ, apesar da presença do BJ, os volumes de raízes foram, consideravelmente mais baixos que os apresentados pelos demais tratamentos (Figura 6).

A média de massa seca de raiz apresentada pelo tratamento com FQ, também foi significativamente mais baixa que as apresentadas pelos demais tratamentos. Enquanto, nos tratamentos com a presença de TH (T3), TH + FQ (T4) e, testemunha (T1), as MSR foram as mais elevadas, não se diferenciando estatisticamente entre si (Figura 5).

Em um trabalho desenvolvido por Junior et al. (2022), foi revelada uma expressiva tendência de aumento de massa seca de raiz em soja, a partir da utilização de *Trichoderma* spp., indicando um considerável acúmulo de biomassa radicular pela planta hospedeira na presença desse microrganismo, além da promoção do biocontrole de possíveis fitopatógenos e do crescimento vegetal.

Grande parte dos FQs não apresenta ação inibitória sobre o desenvolvimento de BJ (GOMES et al., 2021), mas também não proporciona ganhos significativos às plantas durante seu desenvolvimento (DALGALO; BORSOI; SLOVINSKI, 2019), além de poder causar perdas consideráveis à biodiversidade microbiana de ecossistemas agrícolas (BUENO et al., 2022).

4.3 Nodulação

As maiores médias de massa seca de nódulos foram expressas por T2 e T4, os quais não se diferiram significativamente entre si e, se diferiram igualmente das médias de T1 e T3, sendo estas, estatisticamente iguais entre si (Figura 8).

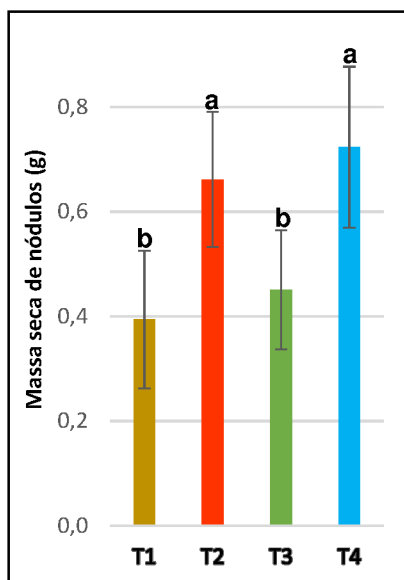


Figura 8: Médias das massas secas de nódulos de soja submetida a diferentes tratamentos de revestimento de sementes.

Dados: Presença de *B. japonicum* via tratamento de sementes (T1); Presença de fungicida químico e *B. japonicum* via tratamento de sementes (T2); Presença de *T. harzianum* e *B. japonicum* via tratamento de sementes (T3); Presença de fungicida químico, *T. harzianum* e *B. japonicum* via tratamento de sementes (T4). Médias seguidas de mesma letra não apresentam diferença significativa entre si, conforme o teste Tukey a 5% de significância.

A ocorrência de uma maior nodulação por parte das plantas que contaram com a adição de FQ (T2) e, adição de FQ mais inóculo de TH (T4), pode ter ocorrido devido ao fato de que, a taxa de sobrevivência das células de *Bradyrhizobium* perante a utilização de fungicidas, pode ser elevada, dependendo da compatibilidade entre a molécula química e o microrganismo (GOMES et al., 2021).

Sabe-se que a utilização de insumos químicos, como fungicidas e herbicidas, pode causar modificações na comunidade microbiana do solo, impactando negativamente no equilíbrio e qualidade de ecossistemas agrícolas (SILVA et al., 2002). Contudo, a utilização de fungicidas químicos no tratamento de sementes, independente das concentrações, pode permitir a sobrevivência das células de BJ,

mesmo que as sementes passem por períodos de armazenamento (GOMES et al., 2020).

Sendo assim, pode-se considerar que as elevadas taxas de nodulação apresentadas pelas plantas tratadas com FQ, possivelmente ocorreram devido a desequilíbrios entre populações de outros microrganismos do rizoplane, o que permitiu que a população de BJ se sobressaísse na colonização radicular.

Outro ponto a ser considerado, é a dificuldade de coleta de raiz intacta em ensaios a campo, pela fragilidade das raízes em atrito com o solo, ocasionando a perda de fragmentos e nódulos.

4.4 Colonização micorrízica

Examinando as médias percentuais de colonização micorrízica de raízes, observa-se uma superioridade significativa por parte de T1, T3 e T4, enquanto que, T2, apresentou o valor médio mais baixo, se diferenciando significativamente das demais médias (Figura 9). Isso pode ter ocorrido devido ao potencial simbiótico entre populações de FMA e *Bradyrhizobium* presentes (PRASAD, 2021). Por outro lado, a presença do fungicida pode prejudicar o estabelecimento da micorriza arbuscular, mesmo não afetando outros parâmetros de desenvolvimento da planta ou, outros microrganismos presentes (RODRÍGUEZ et al., 2023).

A maior média de micorrização foi promovida pela inoculação de TH no tratamento de sementes (T3), não se diferenciando significativamente do tratamento que contou com a adição de FQ além deste microrganismo (T4) e, tampouco, do tratamento controle (T1). Esse efeito sobre a micorrização pode ser devido ao fato de que, o *Trichoderma*, apesar de ser um fungo, pode apresentar resistência a grande parte dos ingredientes ativos de fungicidas utilizados na agricultura, além de poder atuar de maneira associativa com a micorriza (BETTIOL et al., 2019).

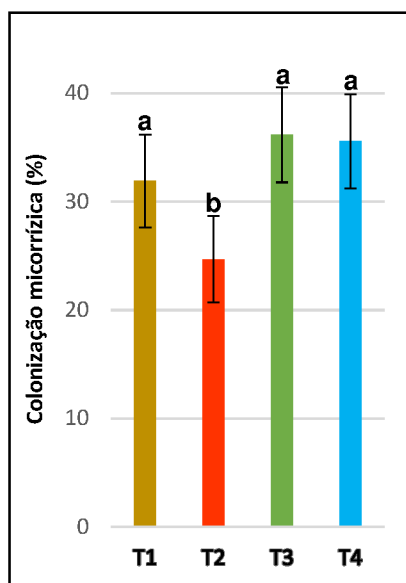


Figura 9: Médias percentuais de micorrização de raízes de soja submetida a diferentes tratamentos de revestimento de sementes.

Dados: Presença de *B. japonicum* via tratamento de sementes (T1); Presença de fungicida químico e *B. japonicum* via tratamento de sementes (T2); Presença de *T. harzianum* e *B. japonicum* via tratamento de sementes (T3); Presença de fungicida químico, *T. harzianum* e *B. japonicum* via tratamento de sementes (T4). Médias seguidas de mesma letra não apresentam diferença significativa entre si, conforme o teste Tukey a 5% de significância.

Além de sua influência direta na promoção do crescimento vegetal, o TH tem demonstrado favorecer o estabelecimento da micorriza arbuscular, gerando também, benefícios indiretos à nutrição de plantas hospedeiras. Este efeito interativo foi investigado e discutido por Rodríguez et al. (2006), evidenciando acréscimos nas taxas de germinação de esporos de FMAs em associação com TH, o que eleva as chances de ocorrência da colonização micorrízica desde a fase pré-simbiótica.

O TH também é amplamente explorado quanto ao seu potencial na biorremediação de solos contaminados por defensivos químicos. Isso se dá através da atividade enzimática do fungo, que promove a degradação de moléculas tóxicas acumuladas em partículas do solo (PELCASTRE et al., 2013).

Perante essa soma de benefícios favorecida pelo TH, tanto na biorremediação de solos quanto no estabelecimento da micorriza arbuscular, pode-se considerar que, as elevadas taxas de colonização micorrízica nas plantas submetidas ao T4 (TH + FQ), foram devidas a este “fator duplo”.

5 CONCLUSÃO

O uso combinado de fungicida químico e *T. harzianum* (fungicida biológico) apresentou compatibilidade e garantiu resultados elevados em todos os parâmetros agronômicos avaliados. Essa abordagem promoveu um crescimento vegetal mais vigoroso e uma colonização micorrízica mais eficiente, ao contrário do uso exclusivo de fungicida químico, que não apresentou os mesmos benefícios.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização de TH como fungicida biológico, garantiu elevadas médias em todos os parâmetros de desenvolvimento da planta, inclusive na colonização micorrízica. Além disso, impediu que a presença do fungicida químico prejudicasse o estabelecimento da micorriza arbuscular.

A utilização do FQ, com e sem o TH, elevou consideravelmente a nodulação em raízes de soja. Isso pode ter ocorrido devido a compatibilidade entre o BJ e as moléculas químicas presentes e, devido a possível eliminação de competidores edáficos. Apesar da utilização do FQ sem o TH ter garantido acréscimos significativos à nodulação, não promoveu ganhos ao desenvolvimento das plantas e não favoreceu a micorriza arbuscular.

A inoculação isolada de BJ (testemunha), por si só, se mostrou capaz de manter bons resultados no crescimento vegetal, acúmulo de biomassa e colonização micorrízica, mesmo sem promover acréscimos significativos na nodulação da soja.

7 REFERÊNCIAS

- AGNOLUCCI, M.; BATTINI, F.; CRISTANI, C.; GIOVANNETTI, M. Diverse bacterial communities are recruited on spores of different arbuscular mycorrhizal fungal isolates. **Biology and Fertility of Soils**, v. 51, n. 3, p. 379-389, 2015.
- AHMED, K. H.; ROSNER, K.; STEINKELLNER, S. Arbuscular mycorrhizal fungi and their response to pesticides. **Pest Manag Sci**, v. 75, n. 3, p. 583-590, 2019.

ALBA, A. B.; ESQUIVEL, G. L.; FRUTIS, R. V. Colonização micorrízica arbuscular em pomares de abacate com duas práticas diferentes de manejo agrícola. **Interciência**, v. 44, nº. 11, pág. 649-652, 2019.

ALVES, A. J.; SENE, D. W.; PAUL, G. F.; DEMÉTRIO, G. B.; MATSUMOTO, L. S. Influence of *Bacillus* sp. on soil chemical and microbiological attributes and development of soybean and maize. **Revista Mexicana Ciencias Agrícolas**, V.12, n.3, 383-393, 2021.

BABIKOVA, Z.; GILBERT, L.; BRUCE, T. J.; BIRKETT, M.; CAULFIELD, J. C.; WOODCOCK, C.; JOHNSON, D. Underground signals carried through common mycelial networks warn neighbouring plants of aphid attack. **Ecology letters**, v. 16, n. 7, p. 835-843, 2013.

BARTO, E. K.; WEIDENHAMER, J.D.; CIPOLLINI, D.; RILLING, M. C. Fungal superhighways: do common mycorrhizal networks enhance below ground communication? **Trends in plant science**, v. 17, n. 11, p. 633-637, 2012.

BERBARA, R. L. L.; SOUZA, F. A.; FONSECA, H. M. A. C. III-Fungos micorrízicos arbusculares: muito além da nutrição. Nutrição mineral de plantas. **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, p. 74-85, 2006.

BETTIOL, W.; PINTO, Z. V.; SILVA, J. C.; FORNER, C.; FARIA, M. R.; PACIFICO, M. G.; SILVA, J. Produtos comerciais à base de *Trichoderma*. **Trichoderma**, p. 45, 2019.

BIZOS, G.; PAPATHEODOROU, E. M.; CHATZISTATHIS, T.; NTALLI, N.; ASCHONITIS, V. G.; MONOKROUSOS, N. The role of microbial inoculants on plant protection, growth stimulation, and crop productivity of the olive tree (*Olea europea* L.). **Plants**, v. 9, n. 6, p. 743, 2020.

BLANCO, N. H. M.; MENDONÇA, C. G.; GRAICHEN, F. A. S. Eficiência e formas de aplicação de *Trichoderma harzianum* no controle biológico da podridão de esclerócio em pimentão. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 17, n. 2, p. 1-7, 2022.

BORTOLIN, G. S.; WIETHAN, M. M. S.; VEY, R. T.; OLIVEIRA, J. C. P.; KÖPP, M. M.; SILVA, A. C. F. *Trichoderma* na promoção do desenvolvimento de plantas de *Paspalum regnelli* Mez. **Revista de Ciências Agrárias**. [S.l], v. 42, n.1, p. 135-145, 2019.

BOSSOLANI, J. W.; POLONI, N. M.; LAZARINI, E.; BETTIOL, J. V.; FISCHER FILHO, J. A.; NEGRISOLI, M. M. Desenvolvimento da soja RR em função de doses de glifosato e da inoculação com *Bradyrhizobium*. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 22, p. 854-858, 2018.

BRITO, I.; GOSS, M. J.; ALHO, L.; BRÍGIDO, C.; VAN TUINEN, D.; FÉLIX, M. R.; CARVALHO, M. Agronomic management of AMF functional diversity to overcome

biotic and abiotic stresses-The role of plant sequence and intact extraradical mycelium. **Fungal Ecology**, v. 40, p. 72-81, 2019.

BUENO, A. D. F.; GA, C.; Nogueira, M. A.; MEDEIROS, F. H. V.; MEDEIROS, F. C. L.; Hungria, M.; Hirose, E. Compatibilidade no uso de bioinsumos e insumos sintéticos no manejo da cultura da soja. 2022.

BUENO, A. F.; CARVALHO, G. A.; SANTOS, A. C.; SOSA-GOMEZ, D. R.; SILVA, D. M. Pesticide selectivity to natural enemies: challenges and constraints for research and field recommendation. **Ciência Rural**, v. 47, e20160829. 10p. 2017.

CADORE, L.; VEY, R.; FRESINGHELLI, J. C.; DOTTO, L.; ETHUR, L. Avaliação do crescimento inicial da soja utilizando formulações de *Trichoderma*. **ENCICLOPEDIA BIOSFERA**, v. 15, n. 27, 2018.

CAMERON, D. D.; NEAL, A. L.; WEES, S. C. V.; TON, J. Resistência induzida por micorrizas: mais do que a soma de suas partes?. **Tendências em ciência vegetal**, v. 18, n. 10, pág. 539-545, 2013.

CAMERON, J. C.; LEHMAN, R. M.; SEXTON, P.; OSBORNE, S. L.; TAHERI, W. I. Fungicidal seed coatings exert minor effects on arbuscular mycorrhizal fungi and plant nutrient content. **Agronomy Journal**, v. 109, n. 3, p. 1005-1012, 2017.

CAMPOS, M. A. S. Bioprotection by arbuscular mycorrhizal fungi in plants infected with *Meloidogyne* nematodes: A sustainable alternative. **Crop Protection**, v. 135, p. 105203, 2020.

CAVALCANTE, W. S. S.; SILVA, N. F.; TEIXEIRA, M. B.; CABRAL FILHO, F. R.; NASCIMENTO, P. E. R.; CORRÊA, F. R. Eficiência dos bioestimulantes no manejo do déficit hídrico na cultura da soja. **Irriga**, v. 25, n. 4, p. 754-763, 2020.

CHAGAS, A. F.; LUZ, L. L.; MARTINS, A. L. L.; QUEIROZ, A. S. B.; CHAGAS, L. F. B.; GIONGO, M.; SCHEIDT, G. Alterações morfofisiológicas na cultura do arroz e milho ocasionados pelo *Trichoderma asperellum*. **Journal of Biotechnology and Biodiversity**, v. 10, n. 4, p. 287-296, 2022.

COLODETE, C. M.; DE SOUZA, S. B.; BARBIRATO, J.; RUAS, K. F. Novas perspectivas da simbiose micorrízica e seus facilitadores transmembrânicos na interface da troca bidirecional de nutrientes minerais: Revisão. **Biológicas & Saúde**, v. 4, n. 12, 2014.

COSTA, S. M. L.; MELLONI, R. Relação de fungos micorrízicos arbusculares e rizobactérias no crescimento de mudas de oliveira (*Olea europaea*). **Ciência Florestal**, v. 29, p. 169-180, 2019.

DALGALO, D. S. S.; BORSOI, A.; SLOVINSKI, F. Germinação e desenvolvimento inicial de plântulas de soja submetidas ao tratamento de sementes com fungicidas e inseticidas e armazenadas por diferentes períodos. **Revista Cultivando o Saber**, v. 12, n. 4, p. 77-86, 2019.

DAS, T.; MAHAPATRA, SUNITA.; DAS, SRIKANTA. Estudo de compatibilidade in vitro entre isolados de *Rhizobium* e *Trichoderma* nativo de solo rizosférico de lentilha. **Jornal Internacional de Microbiologia Atual e Ciências Aplicadas**, v. 6, n. 8, pág. 1757-1769, 2017.

DOMENICO, F. **A cartilha como ferramenta de disseminação do conhecimento sobre o controle biológico de pragas**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

DRESCH, F.; LANA, D. F. D.; MACIEL, M. J. Avaliação das comunidades fúngicas encontradas em amostras de solo: uma revisão sistemática da literatura. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 10, n. 6, p. 67-76, 2019.

FELICETI, M. L.; TOZETTO, L. C.; DE CAMPOS SIEGA, T. C.; SILVA, M.; SANTOS, I. N. T.; QUISINI, R.; POSSENTI, J. C. Desempenho de sementes de soja tratadas com inoculante micorrízico *Rhizophagus intraradices*. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 11, p. e61391110169-e61391110169, 2020.

FERREIRA, D. A; CARNEIRO, M. A. C; JUNIOR, O. J. S. Fungos micorrízicos arbusculares em um Latossolo Vermelho sob manejos e usos no Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v. 36, n. 1, p. 51-61, 2012.

FONSECA, A. J.; FREITAS, A. F. D.; CARVALHO, G. R.; CARNEIRO, M. A. C.; VILELA, D. J. M.; FASSIO, L. D. O. Fungo micorrízico arbuscular no crescimento inicial e nutrição de genótipos de *Coffea arabica* L. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 43, 2019.

FONTES, R. M.; BARBOSA, M. L. Efeitos da integração econômica do Mercosul e da Europa na competitividade das exportações brasileiras de soja. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 29, n. 4, p. 335-351, 2020.

GENRE, A.; LANFRANCO, L.; PEROTTO, S.; BONFANTE, P. Unique and common traits in mycorrhizal symbioses. **Nature Reviews Microbiology**, v. 18, n. 11, p. 649-660, 2020.

GIOVANETTI, M.; MOSSE, B. An evaluation of techniques for measuring vesicular-arbuscular micorrhizal infections in roots. **New Phytology**. 84, 489-500, 1980.

GOMES, D. P.; REIS, V. C. M.; FARIAS, T. P.; SANTOS, L. F.; FRANÇA, É. G.; CUNHA, N. G. R.; SOUSA, J. F. F. Sobrevivência de *Bradyrhizobium* sp. em

Sementes de Feijão-caupi Tratadas com Carbendazim e Inoculante Formulado com o Polímero Carboximetilcelulose. **Cadernos de Agroecologia**, v. 15, n. 4, 2020.

GOMES, D. P.; FARIAS, T. P.; REIS, V. C. M.; SANTOS, L. F.; FRANÇA, É. G.; SILVA, J. M.; SEGUNDA, M. N. M. M. Efeito da combinação entre carbendazim e inoculantes formulados com polímeros sobre *Bradyrhizobium* sp. em sementes de caupi. **Conjecturas**, v. 21, n. 6, p. 88-98, 2021.

GOMES, D. P.; REIS, V. C. M.; FARIAS, T. P.; SANTOS, L. F.; FRANÇA, É. G.; CUNHA, N. G. R.; SOUSA, J. F. F. Sobrevivência de *Bradyrhizobium* sp. em Sementes de Feijão-caupi Tratadas com Carbendazim e Inoculante Formulado com o Polímero Carboximetilcelulose. **Cadernos de Agroecologia**, v. 15, n. 4, 2020.

GUARESCHI, R. F.; PERIN, A.; MACAGNAN, D.; TRAMONTINI, A.; GAZOLLA, P. R. Emprego de *Trichoderma* spp. no controle de *Sclerotinia sclerotiorum* e na promoção de crescimento vegetativo nas culturas de girassol e soja. **Global Science and technology**, Rio Verde, v. 5, n. 2, p.1-8, 2012.

HAGE-AHMED, K. H.; ROSNER, K.; STEINKELLNER, S. Arbuscular mycorrhizal fungi and their response to pesticides. **Pest management science**, v. 75, n. 3, p. 583-590, 2019.

IBAMA. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. Relatórios de comercialização de agrotóxicos. Boletim 2020: Produção, importação e vendas. Brasília, 2020. Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/agrotoxicos/relatorios-de-comercializacao-de-agrotoxicos>. Acesso em 09 Ago. 2022.

ITURRALDE, E. T.; STOCCO, M. C.; FAURA, A.; MÓNACO, C. I.; CORDO, C.; GIMÉNEZ, J. P.; LODEIRO, A. R. Coinoculação de plantas de soja com *Bradyrhizobium japonicum* e *Trichoderma harzianum*: Coexistência de ambos os micróbios e alívio da inibição da nodulação por nitrato. **Relatórios de biotecnologia**, v. 26, p. e00461, 2020.

JIN, H.; GERMIDA, J. J.; WALLEY, F. L. Suppressive effects of seed-applied fungicides on arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) differ with fungicide mode of action and AMF species. **Applied Soil Ecology**, v. 72, p. 22-30, 2013.

JUNIOR, A. F. C.; SOUZA, M. C.; MARTINS, A. L. L.; LIMA, C. A.; DE SOUSA, K. Â. O.; SANTANA, P. A. A. C. P.; CHAGAS, L. F. B. Eficiência de *Trichoplus* (*Trichoderma asperellum*) como promotor de crescimento vegetal em soja em campo no cerrado. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 5, p. e16111527970-e16111527970, 2022.

JUNIOR, J. S. Z.; LAZZARINI, A. L.; OLIVEIRA, A. A.; RODRIGUES, L. A.; SOUZA, I. I. M.; ANDRIKOPOULOS, F. B.; COSTA, A. F. Manejo agroecológico de pragas:

alternativas para uma agricultura sustentável. **Revista Científica Intelletto**, v. 3, n. 3, 2018.

LARA, T. S.; CORREIA, T. S.; SILVA SOUSA, L. Influência da densidade de esporos de fungos micorrízicos arbusculares nativos da Savana no desenvolvimento do milho (*Zea mays*). **Revista Brasileira de Ciências da Amazônia/Brazilian Journal of Science of the Amazon**, v. 9, n. 4, p. 21-28, 2020.

LIAQUAT, F.; MUNIS, M. F. H.; HAROON, U.; ARIF, S.; SAQIB, S.; ZAMAN, W.; LIU, Q. Evaluation of metal tolerance of fungal strains isolated from contaminated mining soil of Nanjing, China. **Biology**, v. 9, n. 12, p. 469, 2020.

LIMA, L. S.; ELIAS, M. T. A.; PACHECO, K. R.; PEIXOTO, J. C. Uso de *Trichoderma* spp. na promoção de crescimento na cultura do arroz. **Ipê Agronomic Journal**, v. 7, n. 1, p. 1-16, 2023.

LINO, I. A.; SILVA, D. K. D.; MARTINS, L.; MAIA, L. C.; MELO, A. M. Y. Microbial inoculation and fertilizer application on growth of cowpea and spore-based assemblages of arbuscular mycorrhizal fungi in its rhizosphere. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 94, 2022.

LOPES, E. A. P.; SILVA, A. D. A.; SANTO Mergulhão, A. C. D. E.; DA SILVA, E. V. N.; SANTIAGO, A. D.; FIGUEIREDO, M. D. V. B. Co-inoculação de bactérias promotoras de crescimento em plantas e *Glomus clarum* em mandioca micropropagada. **Revista Caatinga**, v. 32, n. 1, p. 152-166, 2019.

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

MAIA, E. P. V. Respostas morfofisiológicas de Sabiá (*Mimosa Caesalpiniaefolia* Benth.) associadas a micorrizas arbusculares e rizóbios em garimpo exclusivo de manganês. 2019.

MALLMAN, Gilvani Carla. **Métodos ecotoxicológicos na avaliação do efeito de agrotóxicos sobre fungos micorrízicos arbusculares**. Orientador: Dr. Osmar Klauber Filho. 2020. 154 f. Tese (Doutorado) – Curso de Pós Graduação em Ciência do Solo: Ciência do Solo, Centro de Ciências Agroveterinárias, Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages 2020. Disponível em: https://www.udesc.br/arquivos/cav/id_cpmenu/2416/Tese_16177154574956_2416.pdf

MARCOLINO, M. C.; DE SOUZA SILVA, M. M.; ALMEIDA, T. K. P.; DE SOUSA JUNIOR, J. C. A.; RAMOS, V. G.; DO PRADO, K. D. A. C.; LIMA, R. L. F. A. **Realização de minicursos sobre Tecnologia Micorrízica como oportunidade rápida de prospecção e aplicação de conhecimento em biotecnologia para a**

agroecologia: Meio ambiente e seus desafios. V. 1, Cap. 15. Belo Horizonte: Editora Poisson, 2020.

MEDEIROS, E. V.; SILVA, L. F.; SILVA, J. S. A.; COSTA, D. P.; SOUZA, C. A. F.; BERGER, L. R. R.; HAMMECKER, C. Biochar and *Trichoderma* spp. in management of plant diseases caused by soilborne fungal pathogens: a review and perspective. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 15, p. e296101522465-e296101522465, 2021.

MEDINA, A. M.; ROLDÁN, A.; ALBACETE, A.; PASCUAL, J. A. A interação com fungos micorrízicos arbusculares ou *Trichoderma harzianum* altera o perfil hormonal da parte aérea do meloeiro. **Phytochemistry**, v. 72, n. 2-3, pág. 223-229, 2011.

MEDINA, A. M.; ROLDÁN, A.; PASCUAL, J. A. Interação entre fungos micorrízicos arbusculares e *Trichoderma harzianum* sob condição de campo convencional e com baixo aporte de adubação na cultura do meloeiro: resposta de crescimento e biocontrole da murcha de *Fusarium*. **Ecologia Aplicada do Solo**, v. 47, n. 2, pág. 98-105, 2011.

MEYER, M. C.; MAZARO, S. M.; SILVA, J. C. *Trichoderma*: uso na agricultura. **Brasília, DF: Embrapa**, p. 536, 2019.

MONTE, E.; BETTIOL, W.; HERMOSA, R. *Trichoderma* e seus mecanismos de ação para o controle de doenças de plantas. **Trichoderma: uso na agricultura. Brasília: Embrapa**, p. 181-199, 2019.

MUNEER, M. A.; WANG, P.; ZHANG, J.; LI, Y.; MUNIR, M. Z.; JI, B. A formação de redes micorrízicas comuns afeta significativamente a biomassa vegetal e as propriedades do solo das plantas vizinhas sob vários níveis de nitrogênio. **Microorganismos**, v. 8, n. 2, pág. 230, 2020.

OLIVEIRA, S.; LEMES, E. S.; MENDONÇA, A. O.; DIAS, L. W.; BRUNES, A. P.; LEITZKE, I. D.; MENEGHELLO, G. E. Tratamento de semente de soja com silício: efeitos na qualidade fisiológica e nas características agronômicas. **Revista Cultivando o Saber**, v. 8, n. 2, p. 89-103, 2015.

PANI, S.; KUMAR, A.; SHARMA, A. *Trichoderma harzianum*: Uma visão geral. **Boletim de Meio Ambiente, Farmacologia e Ciências da Vida**, v. 10, n. 6, pág. 32-39, 2021. See More

PELCASTRE, M. I.; IBARRA, J. V.; NAVARRETE, A. M.; ROSAS, J. C.; SANDOVAL, O. A. Bioremediation perspectives using autochthonous species of *Trichoderma* sp. for degradation of atrazine in agricultural soil from the Tulancingo Valley, Hidalgo, Mexico. **Tropical and Subtropical Agroecosystems**, v. 16, n. 2, p. 265-276, 2013.

PEREIRA, M. D. S. F.; HADDAD, L. S. A. M.; BAZZOLLI, D. M. S.; KASUYA, M. C. M. Arbuscular mycorrhiza and plant tolerance to stress. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 6, p. 1663-1679, 2012.

PEREIRA, M. D. S. F.; HADDAD, L. S. A. M.; BAZZOLLI, D. M. S.; KASUYA, M. C. M. Arbuscular mycorrhiza and plant tolerance to stress. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 6, p. 1663-1679, 2012.

PEREIRA, V. S.; GIONGO, V.; LIMA, R. L. F. A. Micorrizas Arbusculares como Indicador Biológico para Seleção de Modelos de Agroecossistemas Multifuncionais: 2. Frutícola. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 14, n. 05, p. 3108-3124, 2021.

PHILLIPS, J. M.; HAYMAN, D. S. Procedimentos aprimorados para limpeza de raízes e coloração de fungos micorrízicos parasitas e vesicular-arbusculares para avaliação rápida de infecção. **Transactions of the British mycological Society**, v. 55, n. 1, pág. 158-161, 1970.

PRASAD, K. Effect of dual inoculation of arbuscular mycorrhiza fungus and cultivar specific *Bradyrhizobium Japonicum* on the growth, yield, chlorophyll, nitrogen and phosphorus contents of soybean (*Glycine max* (L.) Merrill.) grown on alluvial soil. **Journal of Innovation in Applied Research**, v. 4, n. 1, p. 1-12, 2021.

REIS, R. J. A.; CAMPOS, S. A.; MARTINS, G. S. L.; JESUS, E. L.; BASTIANI, M. L. R.; CAMPOS, A. N. Efeitos de plantas de cobertura nas associações do milho (*Zea mays* L.) com fungos benéficos do solo. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 14, n. 05, p. 2593-2609, 2012.

RODRÍGUEZ, M. D. L. C. A.; ORTEGA, E. P.; SUÁREZ, K. F.; YONG, Y. R. Efecto de un fungicida sistémico en el establecimiento de Hongos Micorrizógenos Arbusculares en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.). **Cultivos Tropicales**, v. 43, n. 2, p. 04, 2023.

RODRÍGUEZ, R. Z.; MERINO, F. C. G.; CHÁVEZ, I. A.; CAMARGO, M. D. C. N.; CAPISTRÁN, L. L. Resposta da cultura do milho à bioinoculação e redução da adubação química no campo. **Terra Latinoamericana**, v. 38, não. 3, pág. 597-612, 2020.

RODRÍGUEZ, T. S.; NIEVES, J. S.; GUTIÉRREZ, E. M.; CORTÉS, F. C. Interacción micorrizas arbusculares-*Trichoderma harzianum* (Moniliaceae) y efectos sobre el crecimiento de *Brachiaria decumbens* (Poaceae). **Acta biológica colombiana**, v. 11, n. 1, p. 43-54, 2006.

SANTOS, V. L., SILVA, C. F., PEREIRA, M. G., & BERBARA, R. L. L. Comunidade de fungos micorrízicos arbusculares e glomalina em ecossistemas de Mata Seca, Brasil. **Revista de la Facultad de Agronomía**, v. 117, 2018.

SILVA, M. A.; NASCENTE, A. S.; FILIPPI, M. C. C. D.; LANNA, A. C.; SILVA, G. B. D.; SILVA, J. F. A. E. Microorganismos promotores de crescimento isolados e combinados afetando a produção de biomassa, trocas gasosas e o conteúdo de nutrientes em plantas de soja. **Revista Caatinga**, v. 33, n. 3, p. 619-632, 2020.

SILVA, P. B.; GIONGO, V.; LIMA, R. D. A. Micorrizas arbusculares como indicador biológico para seleção de modelos de agroecossistemas multifuncionais: 1. Olerícolas. **Embrapa Semiárido-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 2021.

SILVA, R. T.; HOMECHIN, M.; ENDO, R. M.; FONSECA, I. C. Efeito do tratamento de sementes e da profundidade de semeadura no desenvolvimento de plantas de aveia-branca (*Avena sativa* L.) e a microflora da rizosfera e do rizoplane. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 24, p. 237-243, 2002.

SIMARD, S. W. Mycorrhizal networks facilitate tree communication, learning, and memory. In: **Memory and learning in plants**. Springer, Cham, 2018. p. 191-213.

SONG, Y. Y.; YE, M.; LI, C. Y.; WANG, R. L.; WEI, X. C.; LUO, S. M.; ZENG, R. S. Priming de defesa anti-herbívora em tomateiro por fungo micorrízico arbuscular e envolvimento da via do jasmonato. **Journal of Chemical Ecology**, v. 39, p. 1036-1044, 2013.

SORDI, A.; FINGER, V.; BACKES, C. A.; GOELZER, E. Avaliação do potencial de nodulação expresso pela cultura da soja (*Glycine max* (L.) Merrill) com o uso combinado de *Bradyrhizobium* e *Azospirillum* com cobalto e molibdênio. **Anuário Pesquisa e Extensão Unoesc São Miguel do Oeste**, v. 5, p. e25113-e25113, 2020.

SWEENEY, C. J.; BOTTOMS, M.; ELLIS, S.; ERNST, G.; KIMMEL, S.; LOUTSETI, S.; MARX, M. T. Arbuscular mycorrhizal fungi and the need for a meaningful regulatory plant protection product testing strategy. **Environmental Toxicology and Chemistry**, v. 41, n. 8, p. 1808-1823, 2022.

TAPWAL, A.; THAKUR, G.; CHANDRA, S.; TYAGI, A. Avaliação in vitro de espécies de *Trichoderma* contra patógenos transmitidos por sementes. **Int J Biol Chem Sci**, v. 1, n. 10, p. 14-19, 2015.

TITUAÑA, H. F. B. **Sinergismo entre hongos micorrícicos y *Trichoderma harzianum* en el control del nematodo *Nacobbus aberrans* en plantas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.)**. 2020. Tese de Doutorado. Universidad Nacional de La Plata.

TURRINI, A.; AVIO, L.; GIOVANNETTI, M.; AGNOLUCCI, M. Functional complementarity of arbuscular mycorrhizal fungi and associated microbiota: the challenge of translational research. **Frontiers in plant science**, v. 9, p. 1407, 2018.

VIEIRA, A. S. Crescimento e colonização micorrízica de culturas de interesse agrícola após tratamento de sementes com inoculante a base de *Rhizophagus intraradices* e de agroquímicos. 2022.

VILA, V. V.; REZENDE, R.; MALDONADO-SILVA, L. H.; DE FARIA NOCCHI, R. C.; ANDREAN, A. F. B.; WENNECK, G. S.; MATUMOTO-PINTRO, P. T. Microbiota do solo na tolerância de doenças em plantas: Uma revisão. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 8, p. e25910817161-e25910817161, 2021.

ZANDONÁ, R. R.; PAZDIORA, P. C.; PAZINI, J. B.; SEIDEL, E. J.; ETHUR, L. Z. Insumos químico e biológico no tratamento de sementes e sua interferência no desenvolvimento e produção de soja. **Revista Caatinga**, v. 32, n. 2, p. 559-565, 2019.

ZHANG, R. Q.; ZHU, H. H.; ZHAO, H. Q.; YAO, Q. Arbuscular mycorrhizal fungal inoculation increases phenolic synthesis in clover roots via hydrogen peroxide, salicylic acid and nitric oxide signaling pathways. **Journal of plant physiology**, v. 170, n. 1, p. 74-79, 2013.

ZUFFO, A. M.; STEINER, F.; BUSCH, A.; ZOZ, T. Resposta de cultivares precoces de soja à adubação nitrogenada associada à inoculação de *Bradyrhizobium japonicum*. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 48, p. 436-446, 2018.