

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA
E TECNOLOGIA DO RIO GRANDE DO SUL
CAMPUS IBIRUBÁ**

RAFAELA ZANROSSO VIEIRA

**OCORRÊNCIA DE FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES
EM PROFUNDIDADES SISTEMAS DE MANEJO DO SOLO**

Ibirubá, RS, Brasil

2023.

RAFAELA ZANROSSO VIEIRA

**OCORRÊNCIA DE FUNGOS MICORRÍZICOS EM
PROFUNDIDADES E SISTEMAS DE MANEJO DO SOLO**

Trabalho de Conclusão de Curso II apresentado junto ao curso de Bacharelado em Agronomia, pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul, Campus Ibirubá como requisito parcial à obtenção do título de Engenheira Agrônoma.

Orientadora: Dra. Daniela Batista dos Santos.

Ibirubá, RS, Brasil

2023

RESUMO

Trabalho de Conclusão de Curso
Curso de Agronomia
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul – Campus
Ibirubá

OCORRÊNCIA DE FUNGOS MICORRÍZICOS EM PROFUNDIDADE E SISTEMAS DE MANEJO DO SOLO

AUTOR: RAFAELA ZANROSSO VIEIRA
ORIENTADOR: DR^a. PROF^a DANIELA BATISTA DOS SANTOS
Ibirubá/RS, 05 de janeiro de 2023

Denomina-se de micorriza a relação entre os fungos do solo e raízes das plantas, onde o fungo se beneficia extraindo carbono orgânico das plantas e, em contrapartida, retribui aumentando o contato raiz-solo, beneficiando acesso à água e nutrientes. As populações e espécies de fungos variam de acordo com a cultura e tipo de solo. A presença de fungos micorrízicos arbusculares (FMA) é importante, especialmente, em solos com baixa fertilidade natural, como é o caso dos solos que predominam na região Sul. Assim, este estudo objetivou investigar se associação entre sistemas de cultivo e profundidade de latossolos na região do Alto Jacuí interfere na densidade de esporos de FMA e na colonização micorrízica de raízes de hospedeiros vegetais. Para isso, um experimento em delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 6 x 2 (seis sistemas de cultivo e duas profundidades de amostragem de solo) em 3 repetições, foi conduzido. No mês de outubro de 2022, foram realizadas coletas de solo e raízes, nas profundidades de 0 a 10 cm e 10 a 20 cm, nos sistemas: i) mata nativa; ii) pomar de citrus; iii) pastagem perene com tifton; iv) área manejada sob sistema plantio direto; v) área de sistema plantio que recebe anualmente adubação orgânica e vi) área de sistema plantio direto que apresenta reconhecida acidez do solo. As amostras de solo foram submetidas à determinação do pH em água, quantificação da densidade de esporos fúngicos no solo e da taxa de colonização micorrízica nas raízes. O quadro de anova da variável demonstrou haver significância e interação entre pH, tratamentos e profundidade. Em relação ao pH, as áreas de plantio direto se mostraram significativas com pH acima de 6,0, diferindo entre profundidades. Na colonização radicular por FMA maiores porcentagens (100%) foram observadas em áreas de pomar de citrus, seguida pela mata nativa (80%), havendo significância somente para tratamento. As maiores quantidades de esporos foram encontradas na área de sistema plantio direto e pomar de citrus. Assim, houve presença de colonização micorrízica e densidade de esporos em todos os tratamentos avaliados, sendo os tratamentos influentes sobre a quantificação da presença de colonização e esporos. Ainda, o manejo de plantio direto favoreceu a presença de esporos de FMA e o pomar de citrus à colonização. Observou-se também que os demais fatores do ciclo agrícola interferem diretamente na comunidade de FMA.

Palavras-chave: micorriza arbuscular; esporos; diversidade.

ABSTRACT

**Completion of course work
Agronomy course
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul – Campus
Ibirubá**

QUANTIFICATION OF MYCORRHIZAL FUNGI IN SOIL TREATMENT SYSTEMS

**AUTHOR: RAFAELA ZANROSSO VIEIRA
ADVISOR: DR^a PROF^a DANIELA BATISTA DOS SANTOS
IBIRUBÁ/RS, January 05, 2023**

The relationship between soil fungi and plant roots is called mycorrhiza, where the fungus benefits by extracting organic carbon from plants and, in return, reciprocates by increasing root-soil contact, benefiting access to water and nutrients. Populations and species of fungi vary according to crop and soil type. The presence of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) is important, especially in soils with low natural fertility, as is the case with soils that predominate in the South region. Thus, this study aimed to investigate whether the association between cropping systems and depth of latosols in the Alto Jacuí region interferes with AMF spore density and mycorrhizal colonization of roots of plant hosts. For this, an experiment in a completely randomized design, in a 6 x 2 factorial scheme (six cropping systems and two soil sampling depths) in 3 replications, was conducted. In October 2022, soil and roots were collected, at depths of 0 to 10 cm and 10 to 20 cm, in the systems: i) native forest; ii) citrus orchard; iii) pasture grazing with tifton; iv) managed area under no-tillage system; v) area of planting system that annually receives organic fertilization and vi) area of no-tillage system that presents recognized soil acidity. Soil samples were submitted to the determination of pH in water, quantification of the density of fungal spores in the soil and the rate of mycorrhizal colonization in the roots. The variable's anova table demonstrated that there was significance and interaction between pH, treatments and depth. Regarding the pH, the no-tillage areas were significant with pH above 6.0, differing between depths. In root colonization by AMF higher percentages (100%) were observed in areas of citrus orchards, followed by native forest (80%), with significance only for treatment. The highest amounts of spores were found in the no-tillage system and citrus groves. Thus, there was presence of mycorrhizal colonization and spore density in all evaluated treatments, with the treatments influencing the quantification of the presence of colonization and spores. Also, no-tillage management favored the presence of AMF spores and the citrus orchard to colonization. It was also observed that the other factors of the agricultural cycle directly interfere in the FMA community.

Key Words: arbuscular mycorrhiza; spores; diversity.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Ilustração do estabelecimento do fungo e colonização das raízes.	12
Figura 2: Raízes de milho colonizadas por FMA's. Nas figuras A-C as setas indicam as micorrizas, enquanto que de D-F os arbusculos formados.	13
Figura 3: Croqui da área utilizada para realização do experimento, com demarcação dos pontos de coleta de solo.	23
Figura 4: Local de coleta de solo na área manejada sob sistema plantio direto.	24
Figura 5: Local de coleta de solo na área de pomar de citrus	24
Figura 6: Local de coleta de solo na área de pastagem permanente de tifton.	24
Figura 7: Local de coleta de solo na área manejada sob sistema plantio direto que recebe anualmente adubação orgânica.	25
Figura 8: Local de coleta de solo na área manejada sob sistema plantio direto possui acidez de solo conhecida.	25
Figura 9: local de coleta na área de mata nativa. Erro! Indicador não definido. Figura 10: Amostras coletadas e identificadas para análise.	27
Figura 11: Seleção (A) e lavagem de raízes (B) para clarificação. 28 Figura 12: Raízes selecionadas em cassetes histológicos para clarificação. 28 Figura 13: Cassetes imersos em KOH. 29 Figura 14: Cassetes autoclavados com solução de azul de tripan contendo raízes.	30
Figura 15: 10 fragmentos de raízes depositados em lâmina para serem analisados.	30
Figura 16: Solo peneirado em duas peneiras (A) com auxílio de água destilada (B) para análise da densidade de esporos.	31
Figura 17: Solo escoado com auxílio de solução de sacarose (A) e posterior agitação em tubos de falcon (B).	32
Figura 18: Sobrenadante vertido em placas de petry (A) e analisado e lupa (BC). 33 Figura 20: média da densidade de esporos de FMA, de amostras coletadas em diferentes sistemas de cultivo e diferentes profundidades, em um experimento realizado no município de Ibirubá/RS.	

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	6
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	8
2.1	BIOLOGIA E MICROBITA DO SOLO.....	8
2.2	ASSOCIAÇÃO MUTUALÍSTICA.....	8
2.3	FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES.....	9
2.4	CLASSIFICAÇÃO DOS FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES.....	12
2.5	FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES NA AGRICULTURA.....	13
2.5.1	Fatores que influenciam os fungos micorrízicos arbusculares.....	15
2.5.1.1	Disponibilidade de nutrientes.....	15
2.5.1.2	pH do solo.....	16
2.5.1.3	Planta hospedeira.....	17
2.5.1.4	Manejo do solo.....	18
2.5.2	Fungos micorrízicos arbusculares na rotação de culturas.....	19
2.5.3	Fungos micorrízicos arbusculares na produção de citros.....	20
2.5.4	Fungos micorrízicos arbusculares em áreas de pastagem permanente.....	22
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	23
3.1	LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO EXPERIMENTO.....	23
3.2	SISTEMAS DE MANEJO AMOSTRADO.....	23
3.3.1	Determinação do pH em água.....	27
3.3.2	Quantificação da colonização micorrízica radicial.....	27
3.3.3	Quantificação da densidade de esporos micorrízicos no solo.....	31
3.4	ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	33
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	34
6	REFERÊNCIAS.....	42

1 INTRODUÇÃO

Associações simbióticas mutualísticas são estabelecidas entre fungos e as raízes das plantas vasculares, capazes de trazer benefícios para ambos desempenhando importante papel no balanço do ecossistema, essas colonizações podem ser inter e intra-específicas (ROJA; SIQUEIRA; SANTOS, 2006). Antoniolli (1991) descreve que os fungos mutualísticos endomicorrízicos, que possuem capacidade de colonização intercelular com formação de rede de hifas rizomorfas na parte externa são aqueles que dão origem às micorrizas arbusculares, especificamente os fungos do filo Glomeromycota.

Embora a associação mutualística mais estudada e aceita seja a associação entre rizóbios e leguminosas, as micorrizas arbusculares vêm ganhando força principalmente pelo seu benefício relacionado à ciclagem de fósforo nas plantas (KIRIACHEK; AZEVEDO; PERES; LAMBAIS, 2009).

Os fungos micorrízicos arbusculares (FMA) são microrganismos que se associam às raízes vegetais, colonizando-as internamente, e devido ao caráter mutualístico potencializa a absorção de fósforo (P) pelas plantas (ARAÚJO, 2008). Além disso, evidencia-se a ação desses fungos como bioreguladores de crescimento, fertilidade e aclimatação dos vegetais (AMORIM; BORBA, 2007).

A qualidade biológica do solo, bem como seus componentes estruturais físicos e químicos, são adendos determinantes para a boa produção vegetal. Para a agricultura, os microrganismos do solo representam índices de qualidade e produção, e quando somados à fatores edáficos, também possibilitam a manutenção de ecossistemas e a sustentabilidade dos agroecossistemas (SILVA; DE MARCO, et al. 2015).

Pesquisas científicas acerca da qualidade biológica do solo estão em crescente, pois diversos microrganismos tem importância e correlação direta com a produção agrícola, como por exemplo, a fixação biológica de nitrogênio; a decomposição de resíduos vegetais e consequente mineralização de nutrientes; as bioenzimas do solo; e as associações entre fungo e planta, como é o caso das micorrizas.

Dessa maneira, a manutenção da microfauna natural do solo é realizada principalmente pelos incrementos que nele são colocados, como restos vegetais em palhada e componentes de adubação. Os resultados de Miranda e Miranda (2005) deixam evidentes a necessidade de FMA para o crescimento de culturas que incrementam o sistema plantio direto, como leguminosas e gramíneas, bem como ainda demonstram que a rotação e consórcio com o sistema de pastagens

é benéfica para o aumento dos esporos dos fungos, tornando o estudo em questão fundamental para a agricultura local.

Ainda, no que tange ao P, os FMA possuem uma elevada importância. É um macronutriente, estando intrinsecamente ligado à obtenção de energia para seu desenvolvimento. Em especial, em solos altamente intemperizados e com alta concentração de óxidos de ferro, como em Latossolos, a dinâmica do elemento P no solo é fortemente influenciada pelo processo de adsorção específica, diminuindo sua fração lábil disponível às plantas. Dessa forma, o elemento é dito como um fator limitante de produção (ABICHEQUER; BOHNEN, 2003). Assim, a detecção da existência de associações micorrízicas, bem como sua diversidade, nos principais sistemas de manejos de solo existentes na região do Alto Jacuí se faz interessante e tem caráter inovador, pois não há registro de estudos com essa temática nesse ambiente, tornando-se fundamental a realização de estudos que façam tal detecção e afirmem o potencial que há na região de utilizar os manejos biológicos e inovadores para elevação da produtividade e cadeia comercial agrícola.

O objetivo deste estudo foi investigar se associação entre sistemas de cultivo, e profundidade de latossolos na região do Alto Jacuí interfere na densidade de esporos de FMA e na colonização micorrízica de raízes de hospedeiros vegetais. Ainda, a realizar a correlação dos efeitos do pH do solo sobre a ocorrência de micorrizas arbusculares, aliando ainda o efeito de cada manejo avaliado na presença de esporos e porcentagem de colonização de fungos micorrízicos arbusculares.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 BIOLOGIA E MICROBITA DO SOLO

Para que o ciclo agrícola se mantenha eficiente e produtivo, esse deve ser construído sobre manejos e pilares que permitam na manutenção do ecossistema bem como dos elementos naturais como água, ar e solo. Quanto ao solo, é importante a manutenção e melhoria dos atributos físicos, químicos e biológicos (LOURENTE et al., 2011).

O solo é a base de todo o sistema produtivo agrícola. É heterogêneo, trifásico, aberto, dinâmico e, principalmente, vivo, pois é abrigo de diversas espécies que compõem a micro, meso e macrofauna do solo. COLOCAR UMA FONTE

De acordo com Mattos (2015), a microfauna do solo constitui-se de diversos grupos de organismos, como vírus, bactérias, fungos e algas, os quais possuem funções ecológicas muito específicas e contribuem para variadas transformações bioquímicas. A forma e condições ambientais e climáticas onde se inserem fungos e bactérias da microfauna, garantem a estimulação da disseminação destes microrganismos, favorecendo a mineralização, imobilização e solubilização de muitos nutrientes no solo, facilitando a assimilação pelas plantas e viabilidade de produção agrícola (CORREIA; OLIVEIRA, 2005).

Ainda, mesmo que esta microfauna seja essencial, ela é fortemente influenciada por diversos fatores, como por exemplo: a vegetação sob o solo, o sistema de manejo implementado, a qualidade do solo, a condição ambiental e a presença ou não de problemas como erosão são determinantes na presença desses seres e no grau de influência que exercerão sobre o sistema solo (PEREIRA et al., 2007).

2.2 ASSOCIAÇÃO MUTUALÍSTICA

Derivando do grego tradicional, “micorriza” carrega consigo o significado de “fungo-raiz” (CARDOSO; VALADARES, 2016). Dessa forma, denomina-se micorriza a associação mutualística entre fungos e raízes das plantas (SOUZA et al., 2006), podendo este fungo variar de espécie e gênero. Nessa associação, fundamentalmente o fungo se beneficia da planta hospedeira extraindo carbono orgânico e retribuindo com fluxo de compostos orgânicos (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

Todas as relações simbióticas provem da capacidade dos mais variados fungos em desenvolver hifas intra e extra-celulares, que torna possível que extraiam compostos minerais do solo e deixá-los disponíveis próximo à raiz da planta. Para que o processo mutualístico aconteça, é importante que a planta e o fungo apresentem uma interação de cunho genética, morfológica e funcional (BERUDE et al., 2015). Também pelos autores, a associação é muito mais frequente em solos pobres nutricionalmente.

Assim, para que o processo seja satisfatório os fatores edáficos são bastante influentes, principalmente quanto à presença dos fungos, fazendo com que haja a necessidade de adaptação e ainda a sobrevivência e estabelecimento em detrimento a espécies intrusas de fungos (TRINDADE; ALMEIDA, 2000). Nesse contexto, diz-se que um fungo eficiente é aquele que consegue manter-se vivo no solo, colonizar as raízes vegetais e competindo, produzir um grande volume de micélio.

Para tais características, os FMA, espécie altamente mutualística, adentra-se no tecido radicular e convenientemente estabelece simbiose. Dentre diversas outras características, os FMA's cumprem com excelência a interação complexa de fornecer à planta a demanda necessária de P, e em contrapartida, a planta confere-lhe energia e demais componentes para sua sobrevivência.

Falando um pouco mais da relação de benefícios às plantas, verifica-se que não há somente o benefício nutricional que supre a demanda de fósforo, mas reflete em bons resultados também à sustentabilidade e ecologia do sistema agrícola. Assim, a simbiose fúngica, por sua vez, compõe e deve ser intrínseca às comunidades vegetais, independente da espécie que esteja sendo cultivada. Ademais, contribui para a formação dos agregados de solo através da produção de glicoproteínas (Muller e Jastrow, 2000 apud Cuenca et al.,2007) e por sua vez, atua na penetração de raízes e fatores como compactação do solo (BERBARA; SOUZA; FONSECA, 2006).

2.3 FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES

Apesar de estimar-se que há mais de 400 milhões de anos exista a atividade mutualística, somente a partir de 1842 que se relatou a percepção da relação fungo-raiz (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). Após a descoberta, relata-se que de todo o Reino Plantae, cerca de 90% das espécies vegetais realizam simbiose micorrízicas, sendo destas 80% do tipo arbusculares (TAIZ; ZIEGER, 2017).

Os FMA são fungos do filo Glomeromycota, com cerca de 230 espécies conhecidas, simbioses obrigatórios e com presença evolutiva desde as primeiras plantas terrestres (BERUDE et al., 2015). Os FMA associam-se com as raízes de plantas superiores, onde para cada uma das espécies existentes há um grau de compatibilidade e características específicas.

Nos solos brasileiros, pesquisas têm revelado o destaque da presença de FMA principalmente nas camadas de 0-10 cm de profundidade de solo. Cruz et al. (2019), ao avaliar o desenvolvimento de cultivares de café (*coffea*) com inoculação de FMA, constatou que as maiores populações de esporos foram encontradas nas camadas de 0-10 cm, bem como nestas mesmas plantas houve o maior incremento de massa seca da raiz, altura de plantas, diâmetro de caule.

A hifa do FMA tem a capacidade de penetrar na epiderme da raiz, colonizando o parênquima cortical e adentrando nos espaços intercelulares, onde ao entrar em células corticais formam os arbúsculos, que interagem com o plasmalema e células do córtex radicular, formando uma matriz de troca para nutrientes e compostos orgânicos (TAIZ; ZIEGER, 2017). De acordo com os autores, desta interação, resulta-se hifas extra-celulares com cerca de 2 μ m de espessura, onde micélios longos e finos servem de continuidade para a extensão das raízes por até 25 cm, apresentando grande eficiência na absorção dos nutrientes. Toda a estrutura de estabelecimento do fungo citada, pode ser visualizada na Figura 1. A pequena espessura de tais hifas as permitem adentrar em solos antes inexplorados.

Toda essa rede de estruturas fúngicas partem de um único propágulo, os esporos. Ainda, as hifas desses fungos possuem crescimento constante, absorvendo em alta quantidade os nutrientes e os translocando em tempo hábil para a raiz da planta.

O fungo se desenvolve de maneira assexuada, onde sugere-se que através da evolução é possível que ao longo do tempo se multipliquem clonalmente. Simultaneamente ao processo da formação dos micélios, anteriormente citada, em determinada fase de seu ciclo o fungo arbuscular esporula novamente, liberando tais esporos e começando um novo ciclo de colonização (FREITAS, 2005).

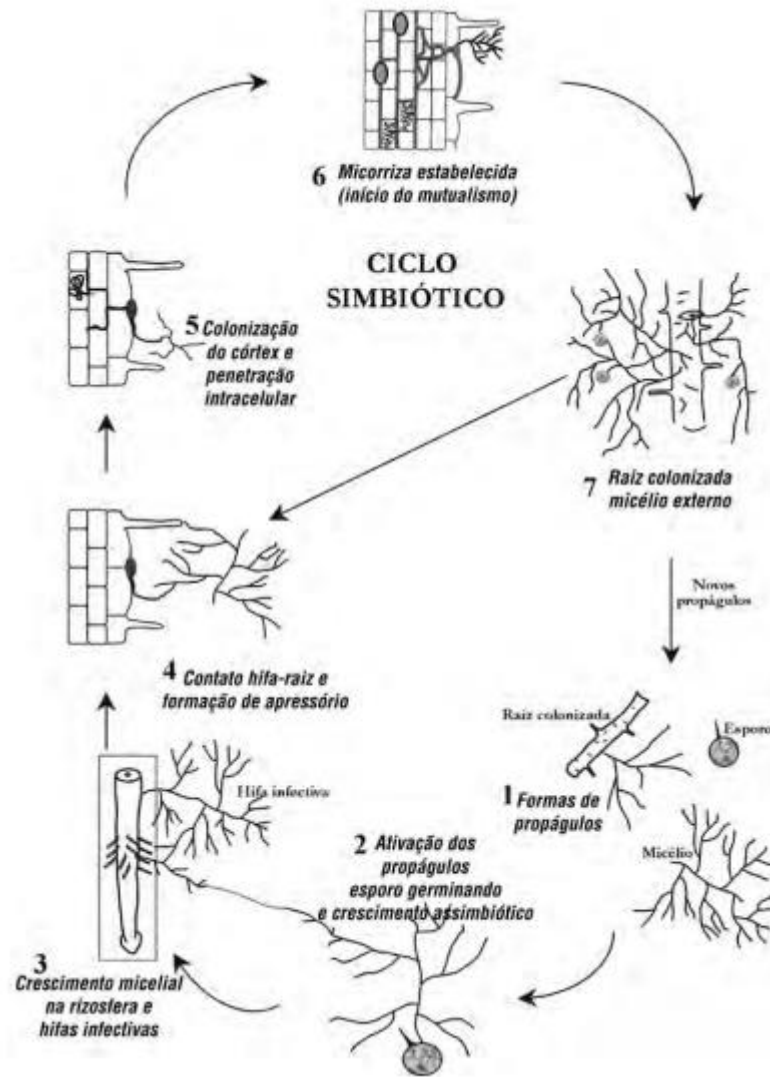


Figura 1: Ilustração do estabelecimento do fungo e colonização das raízes.

Fonte: MOREIRA; SIQUEIRA, 2006.

Fuenteabla (2014), citando Maldonado-Mendonza et al., (2001), ressalta que uma vez estabelecida a relação simbiótica no córtex das plantas, o benefício da assimilação de P ocorre de forma muito rápida. A presença de transportadores com alta afinidade a H_2PO_4 (ácido fosfórico), que atuam em conjunto com transportadores simportes de H^+ e ATPases são os principais responsáveis por conseguir fazer essa mobilidade de P tão eficientemente.

2.4 CLASSIFICAÇÃO DOS FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES

Possuindo diversas espécies conhecidas, bem como inúmeras ainda não conhecidas, as micorrizas arbusculares já passaram por diversas classificações diferentes ao longo da história. Sendo classificados na literatura desde 1974, foi somente em 1990, por Morton e Benny, que as classificações começaram a ficar mais concretas e baseadas em filogenia e morfologia (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

De acordo com os autores, as micorrizas arbusculares pertenciam à ordem Glomales, uma vez que em sua trajetória histórica evidencia-se a evolução de um ancestral comum presente em algas. Por sua vez, a ordem Glomales divide-se em duas subordens, onde os FMA localizam-se na subordem Glominae, de maneira que os fungos desta ordem formam hifas cilíndricas, com ramificações e vesículas dentro das raízes e esporos com uma ou mais camadas envolvendo as paredes.

Em 2001, Morton e Benny propuseram novamente uma alteração de classificações, onde então os fungos micorrízicos arbusculares distribuem-se em cinco famílias e sete gêneros, pertencendo ao filo Glomeromycota e ordem Glomerales (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

Para Berbara; Souza; Fonseca, (2006), a classificação costuma estar em constante alteração, visto que a análise filogenética nem sempre tem sido suficiente. Ainda, embora a taxonomia molecular tenha sido útil na classificação de níveis superiores, para a identificação das espécies, tem se encontrado um grau de dificuldade. Para os autores, a explicação encontra-se na dificuldade em multiplicar o fungo em cultura pura, sem índice de contaminantes nos esporos.

Na Figura 2, é possível identificar raízes colonizadas através de FMA.

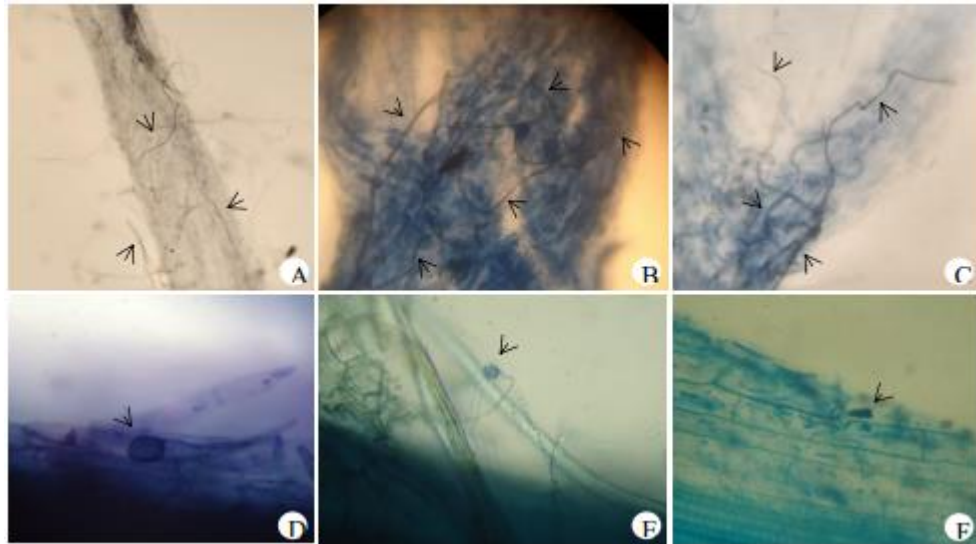


Figura 2: Raízes de milho colonizadas por FMA. Nas figuras A-C as setas indicam as hifas das micorrizas, enquanto que de D-F os arbusculos formados.

Fonte: SANTOS; SANTANA; LARA (2018)

2.5 FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES NA AGRICULTURA

Embora seja um grupo ainda em estudo quanto a classificações, sabe-se que a alta diversidade genética que existe entre os FMA servem de aporte para uma vasta ação fisiológica e ecológica sobre as plantas (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). Dentre as mais variadas espécies, cada caractere único garante que haja uma manifestação e eficiência bioquímica diferente sobre o vegetal.

Dessa maneira, evidencia-se as mais diversas funções que os FMA têm para as culturas agricultáveis e alta rentabilidade, embora sua principal função seja a colaboração do nutriente (P) para os vegetais.

A principal fonte de nutrientes de uma planta é o solo, mais especificamente, como de conhecimento básico agrônomo, a fase líquida do solo. Mediante a condição específica das plantas de absorver nutrientes em sua fase solúvel, qualquer agente que retire os nutrientes da solução do solo inviabiliza sua absorção.

A dinâmica apresentada é frequente e expressiva no que tange ao fósforo. A ação do intemperismo no decorrer do tempo, traz ao solo mudanças graduais em sua estrutura física e química, e dessa forma o solo passa de fonte, à dreno de P (ANDRADE et al., 2003). Ocorre dentre as mudanças químicas, a alteração gradual das cargas do solo e assim a forte tendência de que as cargas negativas (ou aniônicas) do fosfato liguem-se as cargas positivas (ou

catiônicas) dos colóides do solo, ficando assim retidos na fase sólida e inacessível as raízes das plantas (ANDRADE et al., 2003)

Nesse contexto, os FMA são capazes de acessar o P indisponível através do amplo sistema de micélios e entregá-lo para pronta assimilação da planta. Sobre a ótica de Taiz e Zieger (2017), uma vez que o fosfato é exportado dos arbúsculos ou novelos fúngicos, é liberado no córtex da raiz e absorvidos pelas células vegetais.

Outrossim, os autores explanam ainda, a presença de conjuntos de transportadores de grupos fosfatos, que somente são presentes em raízes micorrízicas. A relação se dá no que tange aos arbúsculos, onde há preferência por parte dos transportadores, por membranas vegetais do córtex da raiz cujo tenha associação com arbúsculos e novelos miceliais. Ademais, no que cerne à tais transportadores, são essenciais no processo de absorção e reafirmam a essencialidade das micorrizas arbusculares.

Ainda no que tange ao P, Moreira e Siqueira (2006) são categóricos quanto às doses influenciáveis à ocorrência dos fungos. Para os autores, a presença de micorrizas arbusculares ocorre em solo que estejam com teores de fósforo entre os níveis chamados “ótimos” até situações precárias, tendo então sua taxa de colonização reduzida sob presença de grande adubação fosfatada e teores naturais de fósforo elevados.

Além do benefício de fornecer para planta cerca de 80% do fósforo que necessitará em seu ciclo (GONÇALVES et al., 2016), a presença das micorrizas também está ligada a outros resultados positivos. Ainda, Gonçalves et al., (2016) apontam que de maneira independente à absorção de P, às plantas micorrizadas em seu geral apresentam maior sensibilidade dos estômatos à umidade, maior resistência hídrica, elevada taxa fotossintética, rapidez na recuperação de danos diversos, maior eficiência do uso da água, resistência superior à pragas e doenças, além de maior atividade enzimática.

As autoras afirmam tais mudanças justificando-as através das reações bioquímicas. Nesse sentido ressalta-se que quando o fungo interage com as regiões corticais da raiz da planta, modifica suas estruturas e também produz outras novas, como a região de troca de compostos já citada anteriormente. Dessa forma, o fungo dá uma nova margem ao vegetal, trazendo-o a possibilidade de mudanças bioquímicas e em suas vias metabólicas.

À exemplo disso, Pereira et al., (2013) ao testarem inoculação de estirpes de FMA, rizóbios e actinomicetos em soja (*Glycine max*), verificaram que a inoculação de FMA

influenciou significativamente a biomassa de parte aérea seca e a raiz seca, número de nódulos e sua biomassa, além de alterar as composições químicas da planta e resultar em uma maior exsudação de raízes, proporcionando ao final do ciclo da cultura um elevado rendimento.

Avançando sobre a discussão, cabe ainda ressaltar que o fungo está inserido em um ecossistema completo, e faz parte dele. Nesse meio, inserem-se não só o fungo e a planta, mas também o solo e o ambiente ao seu redor, cujas modificações trarão também interações e trocas de benefícios. Para Berbara; Souza; Fonseca (2006), a influência dos FMA sobre esse ecossistema se estabelece de diversas formas, agindo por exemplo na estabilidade dos agregados do solo uma vez que são agentes ditos “cimentantes”, tendo alta produção de biomassa e proteínas como a glomalina, que posteriormente ficarão no ambiente do solo.

2.5.1 Fatores que influenciam os fungos micorrízicos arbusculares

Há diversos fatores que influenciam na sua presença ou na sua ação simbiótica. Destaca-se assim, que nem sempre que há a ocorrência de FMA no solo, há ação simbiótica, uma vez que algum fator imperceptível ou ainda não analisado, pode estar inibindo sua ação.

Rocha et al. (2006) descrevem que são diversas as áreas em que os fungos podem ser afetados, mas todas elas traduzem-se no termo “eficiência simbiótica”. A capacidade e velocidade de colonização, competitividade perante outros fungos, formação de micélio extraradicular, eficiência de transferência de nutrientes entre outros benefícios não nutricionais, são algumas eficiências que podem ser prejudicadas.

2.5.1.1 Disponibilidade de nutrientes

Embora possa-se tratar de cada fator individualmente, cada um deles exerce grande influência sobre os demais. A disponibilidade de nutrientes não se refere apenas a quantidade de nutrientes que está no solo, mas também nas interações que ocorrem entre tais quantidades e o restante do meio, como por exemplo suas dinâmicas com a planta hospedeira, e a espécie hospedeira.

Moreira e Siqueira (2006) traduzem essa dinâmica nutricional como variável, mas que em geral, condições elevadas de fertilidade devem prejudicar os fungos arbusculares, enquanto

condições baixas estimulam a esporulação e a colonização. A dinâmica tende-se a alterar quando considerado o tipo de espécie que se encontra sob o solo.

De acordo com os autores, o P possui diversas respostas à diferentes plantas, por essa característica, é possível, por exemplo que em uma planta a colonização de FMA aumente quando submetido à uma pequena aplicação de fósforo, enquanto para outras, diminua ou enfraqueça algum benefício do fungo. Esse fator está ligado à afinidade do fungo com cada espécie vegetal, e atualmente é um dos maiores focos de estudo das linhas de pesquisas.

Demonstrando isso, Bressan et al. (2001) ao avaliarem respostas de componentes produtivos e nível de fertilidade do solo e de planta de soja e sorgo (*Sorghum bicolor*) em consórcio, com inoculação de micorrizas arbusculares do gênero *Glomus*, verificaram que as respostas em sorgo foram significativamente mais elevadas do que na soja. O resultado demonstra que, embora a micorrização tenha sido efetiva em ambas as espécies, as doses elevadas de P (200 mg/kg) aplicadas na soja foram prejudiciais ao resultado da micorrização, enquanto que no sorgo favoreceu, elevando a massa seca de parte aérea e massa de grãos. Ainda assim, o trabalho constatou que o teor de P em plantas de soja micorrizadas elevou-se 49,3% e em plantas de sorgo 48,2% , testificando a eficiência das micorrizas arbusculares na assimilação de P para as plantas.

Por outro lado, Nogueira e Cardoso (2000) ao avaliarem a produção de micélios de micorrizas arbusculares na soja em detrimento das doses de P aplicadas, verificaram resultados semelhantes. Os autores observaram ainda, que na disponibilidade de ferro e manganês, os FMA foram eficientes em auxiliar a planta hospedeira a filtrar somente as doses necessárias, evitando a toxicidade dos nutrientes por absorção excessiva. Isso corrobora com os autores citados acima, demonstrando a versatilidade e dinamismo das micorrizas arbusculares frente a cada nutriente e espécie hospedeira.

2.5.1.2 pH do solo

Como já citado anteriormente, as espécies de FMA possuem diversas variações, assim como sua condição de ocorrência. Por esse motivo, a relação do fungo com o fator pH é bastante dinâmica, podendo por exemplo, ocorrer desde pH 3 até 10 (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

Através dessa linha de pensamento, pode-se então afirmar que embora seja uma ampla faixa de pH, em solo cujo estejam aptos e que não haja nenhum fato intervindo, a micorrização ocorrerá de mesma forma, variando amplamente as espécies, visto que esta variação é onde há uma maior ação da variação de valores de pH, em virtude da preferência das espécies por meios mais básicos ou ácidos.

Schneider et al. (2011), ao realizar experimentos com manejo da calagem, encontraram efeitos benéficos do manejo sobre a simbiose micorrízica, já Angelini et al., (2012), avaliando densidade de esporos, encontrou presença micorrízicas em solos do cerrado, onde o pH costuma ser menor. A grande variação ocorre ainda de forma não muito clara, uma vez que os efeitos do pH do solo sobre micorrizas ainda são fatores de estudo, uma vez que o manejo deste modifica diversos atributos químicos do solo, afetam a planta e a simbiose (SCHNEIDER et. al 2011).

Apesar disso, espécies do gênero *Glomus*, que são as mais encontradas, são bastante sensíveis ao pH. Moreira e Siqueira (2006), evidenciam a sensibilidade da espécie ao pH mais ácido, e também abordam em literatura a sensibilidade dos fungos à presença de metais tóxicos, onde na presença de Al^+ diminui a germinação de esporos pela metade.

Os resultados encontrados por Mello et al. (2006), analisando FMA em áreas de eucalipto (*Eucalyptus*) e campos nativos corroboram com o descrito por Moreira e Siqueira, em 2006. No trabalho, ao analisar áreas onde o campo nativo foi sequente ao cultivo de eucalipto por 03 e 08 anos, ricas em matéria orgânica e com conseqüente pH mais baixo variando entre 4,0 à 6,0, os autores encontraram os gêneros *Gigaspora*, *Scutellospora* e *Acaulospora*, com características de maior resistência o meio ácido. Já em áreas onde o pH encontrava-se entre 6,0 à 8,0, detectou-se principalmente a presença do gênero *Glomus*.

2.5.1.3 Planta hospedeira

Embora o fungo não seja exigente em relação à sua planta hospedeira, a relação entre ambos será importante para o resultado da colonização. Como demonstrado ao longo da perspectiva, em boas condições de ambiente, o FMA é de fácil colonização e também de alta eficiência na maioria das plantas, embora a escolha da espécie seja de grande importância para promover alterações quantitativas e qualitativas na população de FMA e germinação dos esporos (CORDOBA et al., 2002).

No Rio Grande do Sul, a produção de grãos é uma das mais expressivas dentre as regiões produtivas do Brasil, atribuindo à isto boa parte do giro econômico do estado, do país e também o capital de sobrevivência destes produtores. Dessa maneira, as plantas hospedeiras em grande parte serão culturas de interesse comercial, e o manejo da lavoura não estará somente ligado à benefícios do sistema, mas também à fatores econômicos relevantes na hora de tal decisão, fazendo com que o interesse agrônomo e os resultados produtivos sejam fatores de estudo antes de qualquer manejo.

Nesse sentido, estudos e resultados são voltados principalmente à culturas comerciais e campos nativos, tais como: café (*Coffea*), crotalária (*Crotalaria*), soja, milho (*Zea mays*), citros e vegetação nativa são alguns exemplos. Embora em concentrações diferentes, todos possuem um grau de micorrização arbuscular.

Santos, Santana e Lara (2018), ao avaliarem a eficiência da micorrização em plantas de milho inoculadas com esporos retirados de árvores nativas, comprovaram a facilidade de micorrização dos fungos e sua grande afinidade por espécies agricultáveis. As plantas de milho não somente foram micorrizadas, como tiveram uma alta taxa de hifas extracelulares e demonstraram maior desenvolvimento da massa seca aérea e radicular.

Ainda, Angelini (2012), encontrou uma colonização de 80% em áreas de soja e 90% em áreas de milho, com essa porcentagem variando de acordo com a espécie de cobertura. No trabalho, foram testadas coberturas de braquiária, milheto, crotalária e pousio, demonstrando que de fato há uma diferença no nível de colonização em detrimento a afinidade da micorriza arbuscular pela espécie cultivada e sua característica genética. Cordeiro et al., (2005), encontrou em seus resultados uma grande afinidade das micorrizas arbusculares por poáceas, isso por que a espécie possui uma alta capacidade fotossintética e de produção de carbono, podendo suprir em altos níveis a demanda e troca de assimilados na associação.

2.5.1.4 Manejo do solo

O uso do solo está condicionado a diversos fatores e mecanismos. Atributos físicos e químicos combinam entre si para que, em conjunto com o manejo adotado, haja um excelente resultado produtivo, para micorrizas, não torna-se diferente. A combinação dos fatores físicos, químicos e manejo altera consideravelmente a microbiota do solo de forma geral e também específicas, no caso da espécie em estudo.

Para a ciência do solo, já há, de certa forma, um entendimento geral de que manejos que utilizem excesso da mecanização, prejudicam as hifas do fungo. Cordeiro et. al (2005) afirmam que o preparo convencional do solo, com utilização de aração e gradagem, além de romper a rede de hifas, reduz o potencial de inóculos e expõem seus esporos ao excesso de oxigênio, que combinada a elevadas temperaturas culmina na oxidação destes.

Ainda, como a maioria dos seres, os FMA são aeróbicos (FREITAS et al., 2015), dessa forma, solos com excesso de umidade e elevada capacidade hídrica também são prejudiciais ao inóculo do fungo. Recomenda-se então, para a perduração viável do esporos e bom desenvolvimento do fungo, o solo em seu ponto de umidade ótimo, ou seja, a capacidade de campo.

Ademais, diversos outros fatores influenciam a presença e ação dos FMA, o uso de químicos, temperatura, presença de predadores, entre outros. Entretanto, recomenda-se para tais que as metodologias de manejo sejam próximas às recomendadas para os vegetais, onde então terá uma grande adaptabilidade por parte do fungo (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

2.5.2 Fungos micorrízicos arbusculares na rotação de culturas

Nas áreas agrícolas conduzidas sob solos da ordem dos latossolos, cuja característica de elevado intemperismo confere a esses solos alta concentração de argilomineral 1:1 e óxidos, resultando em baixa fertilidade química natural, reforça-se ainda mais a necessidade de manejo de SPD e investimentos na qualidade do solo.

O SPD, caracteriza-se por práticas periódicas e de manutenção, como utilização de plantas de cobertura, rotação de culturas e revolvimento mínimo do solo. Assim, é possível realizar o plantio sobre o resíduo vegetal de palhada e neste viés, por garantir uma boa qualidade física, química e biológica do solo, o SPD garante a funcionalidade do mutualístico na relação micorrízica, dando aporte para que haja a troca de compostos entre simbionte e hospedeiro, e assim, assegurando o efeito benéfico para a planta (MIRANDA et al. 2001).

Neste tipo de manejo tradicionalmente, através da rotação de culturas, mantém-se o solo coberto durante todo o ano. A prática é benéfica ao produtor rural, uma vez que vem de encontro aos novos padrões produtivos da agricultura de precisão. A diversidade de espécies vegetais, com sistemas radiculares variados e material vegetal com diferentes composições permite um

bom preparo físico e biológico (STONE; SILVEIRA, 2001), beneficiando variáveis como um índice de matéria orgânica, e fertilidade, já que favorece a ciclagem de nutrientes, além de ser um aliado na descompactação dos solos (BALBINO et al., 2011).

Quando tais fatores são considerados, há um aumento de produtividade significativo, e também um maior retorno financeiro para o agricultor, decorrente não só do aumento produtivo, mas também da economia que faz ao não precisar corrigir diversos parâmetros do solo.

No que tange exclusivamente ao desenvolvimento dos FMA, todas as linhas de pesquisa têm demonstrado que a rotação de culturas favorece a multiplicação e a variedade de espécies de FMA no solo. Uma vez que a prática da monocultura fornece ao solo somente os mesmos componentes, limita o crescimento das micorrizas quantitativa e qualitativamente.

Miranda (2001) reflete a importância de que a prática seja realizada corretamente para que haja bons resultados. Segundo o autor, culturas anuais como feijão (*Phaseolus vulgaris*), soja, milho, e culturas de adubos verdes e forrageiras, fornecem ao solo, e conseqüentemente ao fungo, altos atrativos bioquímicos uma vez que são altamente dependentes da relação micorrízica. Dessa forma, não somente aumenta-se a população dos fungos no solo, como mantém-se o equilíbrio microbiológico e favorece-se também culturas em safras subsequentes.

Por fim, Benedetti et al. (2005) analisando a diversidade de espécies de FMA após o uso de cobertura do solo com milho, encontraram em seus resultados uma população elevada de esporos nas áreas com cobertura, em relação às áreas em pousio. Ainda, destacaram a elevada diversidade de fungos presentes em áreas de rotação de culturas com *crotalária juncea* e mucuna cinza (*Mucuna pruriens* (L.) DC.). Resultados semelhantes foram encontrados por Saggin-Júnior e Siqueira em 1996, revalidando o resultado do trabalho.

2.5.3 Fungos micorrízicos arbusculares na produção de citros

Seguindo o raciocínio proposto, a produção de citros adentrou ao estudo por estar em constante crescimento, por ser significativa no Brasil e por, na região em que se insere o estudo, Sul do Rio Grande do Sul, complementar a renda de diversos pequenos e médios agricultores.

De acordo com os relatórios da Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO), o Brasil é um dos maiores produtores de frutas cítricas, ultrapassando as 20 milhões de toneladas. Ainda, o equilíbrio na renda acontece uma vez que, a produção de

produtos oriundos da citricultura cobre as perdas e danos de diversas safras, que se dão em razões climáticas ou econômicas (BALBINO et al., 2011).

No Rio Grande do Sul, a citricultura para consumo *in natura* solidifica-se com bom potencial produtivo devido às condições climáticas favoráveis, que beneficiam os atributos físico-químico dos frutos, principalmente a laranja (SCHÄFER; DORNELLES, 2000). Além disso, da citricultura provém também diversos óleos essenciais, que em conjunto à cooperativa de pequenos agricultores, é fruto de comércio e exportação (ZULIAN; DORR E SIDALI, 2014). Ademais, no município de Ibirubá e região, no norte do estado, diversas iniciativas e cooperativas tomam frente para inserir-se nesse contexto.

Assim como em todas as culturas já evidenciadas no trabalho, a produção de citros também é beneficiada pela ação das micorrizas arbusculares. A diversidade de FMA's irá variar de acordo com cada espécie de citros cultivada (FOCCHI et al., 2004).

Para os citros, os FMA tornam-se tão importantes no que tange à diminuição dos fertilizantes químicos, principalmente nas fases iniciais de desenvolvimento das culturas, onde após estabelecida a simbiose atua como biofertilizante reduzindo significativamente a utilização dos insumos (BORGES et al., 2005).

Como o benefício dos FMA não limita-se somente ao nutriente fósforo, a melhor absorção de água que os micélios proporcionam tem sido um grande contribuinte aos citros, já que muitas vezes o volume de solo explorado por suas raízes é limitado (MELLONI et. al, 2018). Quando a absorção de água e a extensão das raízes aumenta, há uma aceleração do crescimento vegetal, que beneficia e enxertia e o cultivo de porta enxertos (BACK, GIULIANI e SOUZA, 2017), favorecendo o produtor de tais, uma vez que os porta enxertos são o principal meio de propagação da citricultura.

Escalon e Ruiz (2020) em tese, ao analisarem o efeito das micorrizas arbusculares no crescimento e desenvolvimento vegetal de porta enxerto de citros (*Citros limon* L.), encontram-se colonização de gênero *Glomus sp.* em 97% das amostras analisadas. Os principais benefícios obtidos da micorrização, segundo os autores, foram elevado número de folhas, diâmetro de caule, comprimento de raiz e conseqüente aumento da produtividade e viabilidade dos porta-enxertos.

Soma-se a todos esses fatores os benefícios nutricionais já citados anteriormente, onde nos citros possuem ainda mais importância, uma vez que formados os frutos, a deficiência nutricional geralmente se manifesta neles. Faz-se assim, mais que conveniente o estudo e análise da diversidade de fungos micorrízicos arbusculares em citros, uma vez que une à vantagem e facilidade na produção ao benefício econômico de muitas famílias não só no Rio Grande do Sul, mas em todo território nacional.

2.5.4 Fungos micorrízicos arbusculares em áreas de pastagem permanente

Dentro das áreas de pastagens, um dos principais objetivos da identificação e quantificação de micorrizas arbusculares é o indicativo da qualidade biológica do solo e da pastagem (MIRANDA et al., 2007). Nesse contexto, muito tem se buscado a amplificação da presença destes fungos em pastagem, visando principalmente um aumento da extensão radicular das plantas (LOSS et al., 2007).

No Rio Grande do Sul, o cultivo de pastagens está aliado ao desenvolvimento do gado leiteiro, além de fazer parte de um amplo leque de manejos, que permite a reutilização das áreas e integração lavoura pecuária (SERAFINI et al., 2018). O cultivo forrageiro para o estado, reflete a necessidade de suprir a demanda alimentar animal com qualidade e quantidade (ALVES et al., 2021).

O alto custo dos insumos agrícolas, atrelado à necessidade de manutenção dos animais, faz com que a presença de micorrizas, potencializando a produtividade e sanidade das pastagens seja fundamental para o produtor na gestão da atividade agropecuária (MIRANDA, 2008).

Em áreas de pastagens, linhas de pesquisas ainda estão bastante escassas e sendo descobertas, tendo assim por objetivo o presente trabalho contribuir com o tema. Entretanto, alguns estudos como o de Loss et al. (2007), verificaram que as áreas de pastagem de *Brachiaria Brizanta* saem deficientes de colonização em comparação a áreas de mata nativa. Ainda assim, a pouca colonização presente se mostra eficiente em conversão de produtividade e rendimento.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO EXPERIMENTO

O experimento foi realizado nas dependências do Instituto Federal do Rio Grande do Sul, Campus Ibirubá. As amostras de solo e de raízes foram coletas na área didática experimental da instituição e as análises foram realizadas nas dependências do Laboratório de Biologia.

A área didática experimental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul - Campus Ibirubá IFRS está situada no município de Ibirubá/RS, situada, aproximadamente, nas coordenadas de 28°39'9.67"S latitude e 53° 6'40.18"O longitude, dados estes obtidos através do Google Earth (2022). A região na qual a área está inserida possui precipitações bem distribuídas durante o ano, acumulando anualmente de 1.500 a 1.800 mm (BRASIL, 2020). O clima, de acordo com a classificação de Koppen-Geiger é Cfa - Clima Subtropical Úmido.

3.2 SISTEMAS DE MANEJO AMOSTRADO

Para realização das coletas, foram explorados seis locais com distintos manejos de solo, inseridos na área didática experimental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul Campus Ibirubá, conforme croqui abaixo (Figura 3).



Figura 3: Croqui da área utilizada para realização do experimento, com demarcação dos pontos de coleta de solo.

Fonte: GOOGLE EARTH PRO (2022)

Os locais foram representativos aos seguintes manejos/cultivos:

- i) Área de lavoura, submetida ao Sistema Plantio Direto há mais de 10 anos, onde o sistema de culturas é conduzido com aveia preta (*Avena strigosa*) no inverno, com sucessão de dois anos de soja (*Glycine max*) no verão e no próximo ano o cultivo de milho (*Zea mays*) (figura 04);



Figura 4: Local de coleta de solo na área manejada sob sistema plantio direto.

Fonte: A autora, (2022)

- ii) Área de pomar, também estabelecido há mais de 10 anos, contando com cultivo de citros (limão, laranja, bergamota) (figura 05);



Figura 5: Local de coleta de solo na área de pomar de citrus

Fonte: A autora, (2022).

- iii) Área com pastagem permanente de tifton (*Cynodon ssp.*) (figura 06);



Figura 6: Local de coleta de solo na área de pastagem permanente de tifton.

Fonte: A autora, (2022)

- iv) Área de lavoura submetida ao sistema plantio direto com fertilização anual com resíduos orgânicos (figura 07);



Figura 7: Local de coleta de solo na área manejada sob sistema plantio direto que recebe anualmente adubação orgânica.

Fonte: A autora, (2022)

- v) Área de lavoura submetida ao sistema plantio direto com reconhecida acidez do solo (baixo pH em água) e elevado teor de alumínio (figura 08) e;



Figura 8: Local de coleta de solo na área manejada sob sistema plantio direto possui acidez de solo conhecida.

Fonte: A autora, (2022)

- vi) área de mata nativa com presença de exemplares como canela preta (*Ocotea catharinensis*), canjerana (*Cabralea oblongifoliola*), grápia (*Apuleia leiocarpa*), caroba (*Jacaranda caroba*), cedro (*Cedrela fissilis*), canela lajeana (*Ocotea pulchella*) e guavirova (*Campomanesia xanthocarpa*), estabelecida naturalmente dentro do Campus e sem intervenção antrópica, considerada como testemunha por ter os parâmetros químicos e físicos do solo preservado (figura 09).



Figura 9: Local de coleta na área de mata nativa

Fonte: A autora, (2022).

Em 19/10/2022, em cada local, realizaram-se coletas de solo e de raízes de plantas da região da rizosfera com o auxílio de uma pá modelo “7 cravos”, onde encontram-se as relações micorrízicas das plantas. Foram coletadas amostras de solo, com radículas de aproximadamente 10 cm, da camada de 0 a 10 e de 10 a 20 cm de profundidade do solo, de 5 pontos distintos, casualizados, para que formassem uma amostra composta. As amostras de solo foram acondicionadas em temperatura de 4°C para posterior processamento das análises (figura 10).



Figura 10: Amostras coletadas e identificadas para análise.

Fonte: Vieira, (2022)

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizados, com 3 repetições, em arranjo experimental de esquema fatorial 6x2, composto pelos 6 tratamentos e 2 profundidades do solo, sendo a primeira de 0 a 10 cm e a segunda de 10 a 20 cm. Os pontos amostrais de coletas foram escolhidos ao acaso, respeitando a necessidade de sub-amostras para composição da amostra principal de solo, evitando ainda bordaduras, estradas e proximidades de cercas.

3.3 AVALIAÇÕES

As avaliações realizadas referem-se à determinação do pH em água do solo, porcentagem de colonização radicial e recuperação dos esporos para avaliação de densidade de esporos micorrízicos. As metodologias utilizadas para a execução do trabalho proposto, são descritas e ilustradas abaixo, conforme as análises pretendidas. Para todas as determinações, procedeu-se repetição em triplicata.

3.3.1 Determinação do pH em água

A determinação do pH do solo em água se deu através da metodologia proposta pela Embrapa (2017), na qual o solo foi previamente seco, moído e peneirado e realizou-se quantificação de 10 g de solo, que foi adicionada a um recipiente e recebeu 25 mL de água destilada. Posteriormente, realizou-se agitação com o bastão de vidro por cerca de 60 segundos e após o repouso de uma hora, agitou-se novamente as amostras e então com o auxílio do pegâmetro, fez-se a leitura do pH em água. As análises foram realizadas pelo grupo de trabalho do Laboratório de Solos, Água e Tecido Vegetal do IFRS Campus Ibirubá.

3.3.2 Quantificação da colonização micorrízica radicial

Procedeu-se à coleta de raízes das plantas presentes nas áreas na data da coleta, onde através de uma pá modelo “07 cravos” foi possível abrir a trincheira na profundidade necessária. Na metodologia de coleta, foi necessário que houvesse também resquícios de restos culturais da superfície do solo e sua região de rizosfera, não acompanhando a metodologia de coletas padrão para análise de solo em que por princípio, limpa-se a área coletada de todo resto cultural que possa haver. A coleta de material vegetal e raízes na região da rizosfera foi de extrema

importância para posterior análise da taxa de micorrização das plantas. Após aberta a trincheira, com o auxílio da pá, foram retiradas fatias verticais de solo e através de uma régua, foram separados as camadas, com um facão comum foi feita a separação de cada fragmento de camada.

Para a descoloração de raízes e pigmentação da colonização micorrízica seguiu-se a metodologia de Philips e Hermann (1970). Para tal, foram selecionadas as raízes mais finas, conhecidas como secundárias, e lavadas em água corrente para retirada dos detritos e excessos de partículas de solo, conforme ilustra a figura 11, abaixo.



Figura 11: Seleção (A) e lavagem de raízes (B) para clarificação.

Fonte: A autora, (2022)

As raízes escolhidas foram acondicionadas em cassetes histológicos plásticos, identificados com lápis, com poros até 0,9 mm (figuras 12), e posteriormente os cassetes histológicos foram adicionados em béckers para então serem imersos na solução de KOH (hidróxido de potássio 56,11 g/mol) (figura 13).



Figura 12: Raízes selecionadas em cassetes histológicos para clarificação.

Fonte: A autora, (2022)



Figura 13: Cassetes imersos em KOH.

Fonte: Vieira, (2022)

Após adicionar solução KOH (hidróxido de potássio) 10%, o bécker foi levado ao autoclave à 120 °C, por 20 minutos. Finalizado o tempo e os processos da autoclave, o KOH foi vertido e os cassetes histológicos, nos quais as raízes estavam acomodadas, foram lavados em água corrente. Posteriormente, os cassetes histológicos com as raízes foram, novamente, imersas em solução de HCl 1% (ácido clorídrico), em torno de 10 minutos. Decorrido o tempo, o sobrenadante de ácido clorídrico foi vertido e os cassetes histológicos e as raízes foram, então, imersas em solução de glicerol acidificado (contendo 0,05% de azul de tripan, 50% de glicerina, 45% de água destilada e 5% de ácido clorídrico 1%, para 1l de solução). A solução de azul de tripan tem a função de colorir as associações micorrízias das raízes (figura 14), e para isso, o bécker contendo os cassetes histológicos e as raízes, imersos na solução de glicerol acidificado foi levado a autoclave à 120 °C por 20 minutos.

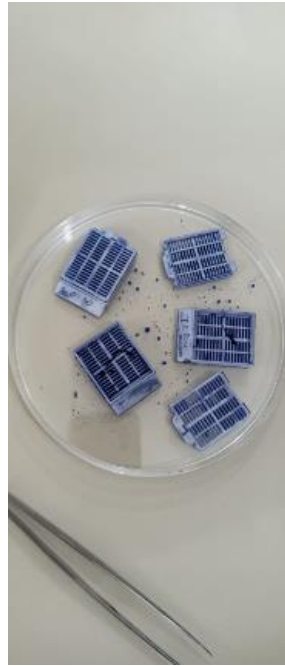


Figura 14: Cassetes autoclavados com solução de azul de tripan contendo raízes.

Fonte: A autora, (2022)

Após a retirada dos cassetes histológicos do autoclave, esses ficaram imersos na solução de glicerol acidificado até a avaliação da porcentagem de raízes colonizadas com fungos micorrízicos. Essa foi avaliada através da metodologia das linhas cruzadas, de Giovannetti & Mosse (1980), com algumas adaptações. Utilizou-se um bisturi histológico para fragmentar as raízes em pequenos pedaços (de aproximadamente 2 mm). Dez desses pequenos fragmentos de raízes foram depositados lado a lado, de maneira alinhada, em uma lâmina de vidro (figura 15). Utilizando microscópio óptico os dez fragmentos foram avaliados visando observar a presença de alguma estrutura micorrízica que indicasse colonização no córtex da raiz (figura 16).

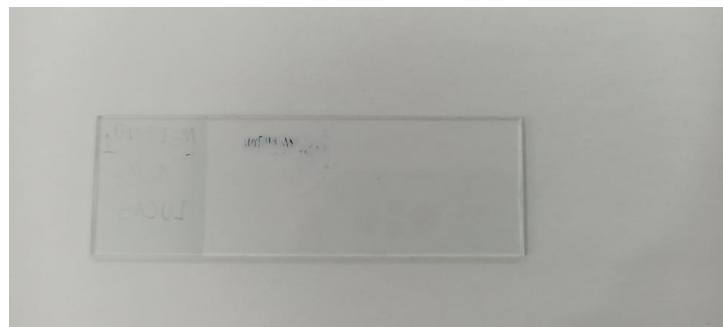


Figura 15: Dez fragmentos de raízes depositados em lâmina para serem analisados.

Fonte: A autora, (2022)

Quantificou-se a colonização micorrízica radicular em porcentagem, de forma que cada um dos dez fragmentos compunham 10% de colonização. Ou seja, se algum dos fragmentos apresentassem alguma estrutura micorrízica, esse representaria 10%. Os dez fragmentos somavam 100% da colonização micorrízica radicular. Prodeceu-se avaliação em triplicata para cada tratamento.

3.3.3 Quantificação da densidade de esporos micorrízicos no solo

No que se refere a densidade de esporos de micorrizas presentes no solo foi utilizado o método do peneiramento úmido, conforme Gerdemann e Nicolson (1963) descrito por Embrapa (2011). Foram utilizadas 50 g de amostra de solo, a qual depositadas no conjunto de peneiras de malha de 0,053 mm e 0,045 mm. As peneiras foram posicionadas uma cima da outra, de modo que a peneira menor ficasse embaixo. O solo foi depositado sobre a peneira maior e foi recebendo água destilada com o auxílio de uma pisseta, para que escoasse pelos poros da peneira (figura 16).



Figura 16: Solo peneirado em duas peneiras (A) com auxílio de água destilada (B) para análise da densidade de esporos.

Fonte: A autora, (2022)

Após a decantação do material depositado nas peneiras (ou seja, quando não se percebia mais saída de solo após a adição de água destilada), o material (solo) retido em ambas as peneiras era transferido para béckers com a ajuda de uma pisseta contendo solução de sacarose 60% (figura 17A). O sobrenadante do material de cada bécker foi vertido em tubos de falcon que foram completados com solução de sacarose 60% até completarem o volume de 45 mL. Os tubos foram levados para centrifugação a 3000rpm por 3 minutos (figura 17B).



Figura 17: Solo escoado com auxílio de solução de sacarose (A) e posterior agitação em tubos de falcon (B).

Fonte: A autora, (2022)

Decorrido o tempo da centrífuga, as partículas de solo foram sedimentadas e o sobrenadante vertido novamente para as peneiras. Com o auxílio de uma pisseta contendo água destilada, os esporos retidos nas peneiras foram coletados com uma pipeta plástica e alocados em placas de petry quadradas para serem analisadas/quantificados através da lupa (figura 18). A contagem de esporos foi realizada através da soma dos esporos aparentes na lupa onde somou-se o número de esporos total em ambas as peneiras. Ainda, por ser evidente a visualização clara de esporos mortos (totalmente pretos), foi possível fazer a separação entre número de esporos vivos e mortos.

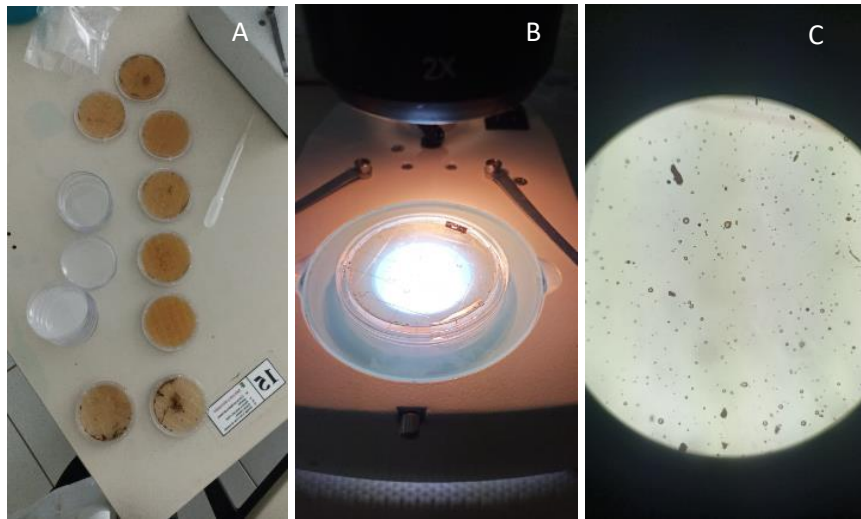


Figura 18: Sobrenadante vertido em placas de petry (A) e analisado e lupa (B e C).

Fonte: A autora, (2022)

3.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados do pH em água, colonização micorrízica radicial e número de esporos foram submetidos à análise da variância pelo teste F ($p < 0,05$) e, quando os tratamentos apresentaram-se significativos, procedeu-se a comparação de médias pelo teste T e teste de Tukey ($p < 0,05$) para as profundidades de solo e sistemas de manejo de solo, respectivamente.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na avaliação do pH em água, os resultados mostraram valores de pH desde baixo (<5,5) até estável onde não há necessidade de correção através de calagem (>5,5). O quadro de anova da variável demonstrou haver significância e interação entre pH, tratamentos e profundidade. Nas médias de colonização radicial, apenas o tratamento obteve interação e significância, e ainda, na densidade de esporos, as maiores densidades foram encontradas nas áreas de plantio direto e pomar de citrus. Os dados de anova podem ser conferidos na tabela 01, abaixo.

Tabela 01: Tabela de análise de variância (ANOVA). Na tabela, CM= colonização micorrízia, DE= densidade de esporos e pH= pH do solo em água.

Causas da variação	Variável analisada		
	CM (%)	DE	pH
Sistemas de manejo	0,0001	0,0473	0,000
Profundidade amostrada	0,2205	0,0839	0,006
Sistemas x profundidade	0,0543	0,9291	0,000

Fonte: A autora, (2022).

As análises realizadas para verificação do pH em água mostraram-se significativas tanto para sistemas de cultivo (tratamentos), quanto para profundidade, havendo interação entre si (Tabela 02).

Tabela 02: Médias de pH do solo em água, sob diferentes sistemas de cultivo da lavoura e em dois níveis de profundidade de solo, em um experimento realizado no município de Ibirubá/RS. Na tabela SPD significa o manejo “sistema de plantio direto”.

Sistemas de cultivo	Profundidade (cm)		Média
	0 a 10	10 a 20	
Baixo pH	5,03 Ac	4,83 Be	4,93 c
Mata nativa	5,11 Ac	5,26 Ad	5,18 b
SPD	6,07 Aa	5,32 Bd	5,69 a
SPD + adubação orgânica	6,18 Aa	5,60 Abc	5,89 a
Pastagem permanente tifton	5,89 Aa	5,63 Bb	5,73 a
Pomar de citrus	5,53 Bb	6,25 Aa	5,89 a

Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, maiúscula na coluna e minúscula na linha, pelo teste de Tukey a $p < 0,05$.

Fonte: A autora, (2022).

Como demonstrado na tabela 02, os menores valores de pH em água foram encontrados no tratamento em que já havia reconhecida acidez de solo, que devido a ser uma área experimental da instituição, intencionalmente deixou-se de corrigir a acidez do solo não

realizando o manejo de calagem. As médias de pH em água são seguidas pela mata nativa, a qual possui maior acidez do solo em função da grande decomposição de matéria orgânica (EBELING, 2006).

Na área do pomar de citrus os valores encontrados para o pH em água para camada de 0-10cm foram relativamente baixos, encontrando-se na faixa de tomada de decisão para aplicação de calcário (<5,5 de acordo com a SBSC, 2016). Os manejos históricos da área, de acordo com os responsáveis técnicos da Instituição indicam ausência da aplicação de calcário e correção de pH, também se justificando pela utilização da área em experimentos. Em relação à profundidade, solos mais ácidos eram esperados no aumento da profundidade das camadas. Entretanto, no pomar de citrus embora não tenha-se feito manejo de calcário na área em totalidade, houve correção nas covas no momento de plantio das espécies, dando ao pH um caráter mais alcalino. Na área do sistema plantio direto esse comportamento também foi observado.

No que tange à colonização radicial, embora as médias não tenham sido significativas para profundidade, houveram interações e foram significativas para os sistemas de cultivo (tratamentos), conforme apresentado na tabela 03.

Tabela 03: média de colonização micorrízica sob diferentes sistemas de cultivo da lavoura e em dois níveis de profundidade de solo, em um experimento realizado no município de Ibirubá/RS. . Na tabela SPD significa o manejo “sistema de plantio direto”.

Sistemas de cultivo	Profundidade (cm)		Média
	0 a 10	10 a 20	
Baixo pH	30,0 Aa	56,66ab	43,33 b
Mata nativa	66,6 abA	53,33 abA	60,0 ab
SPD	53,33 abA	33,33 bB	43,33 b
SPD + adubação orgânica	66,66 abA	33,33 bB	55,0 ba
Pastagem permanente tifton	30,0 Ba	33,33 bA	31,66 b
Pomar de citrus	86,66 Aa	83,33 aA	85,0 a
Média	55,55 ns	48,88	

Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, maiúscula na coluna e minúscula na linha, pelo teste de Tukey a <0,05p.

Fonte: A autora, (2022).

As maiores médias de colonização foram encontradas nos sistemas de cultivo pomar de citrus com médias acima de 80% (tabela 03), não diferindo da mata nativa com médias acima de 60% (tabela 03), seguido pelo sistema plantio direto com uso de adubação orgânica e plantio direto tradicional, ambos com médias acima de 50% de colonização. As principais estruturas encontradas nas avaliações no microscópio foram hifas e arbúsculos. Os resultados corroboram

com o encontrado por Focchi (2003), que ao avaliar a ocorrência de FMA's em sistemas de cultivo, não diferiu também a comunidade FMA entre os ambientes de mata nativa e pomares.

O autor destaca ainda o modo como as práticas agrícolas conservacionistas e sustentáveis têm demonstrado maior favorecimento aos FMA, mas conclui ressaltando que embora a presença de esporos seja benéfica, a prática não garante a colonização efetiva devido às diferentes espécies de fungos micorrízicos que podem estar em cada tipo de cultura, sendo ainda algumas mais vigorosas que outras.

O mesmo foi constatado por Souza et al. (2002) avaliando a presença de FMA em pomares cítricos no Rio Grande do Sul. Em análise, destaca que embora em muitas amostras houvesse presença propágulos reprodutivos do fungo, várias delas não possuíam colonização efetiva. Composição nutricional do solo e nível hídrico estão dentre alguns fatores citados como justificativa. Para as análises realizadas nos pomares, o trabalho apresentou médias de colonização entre 60 e 87% de colonização, que quando comparadas aos resultados encontrados no presente trabalho, revalidam os dados e comprovam a alta afinidade dos FMA pela colonização de plantas arbóreas e citrus.

Ainda, resultados semelhantes justificam também os encontrados no presente trabalho, onde a maior densidade de esporos foi encontrada no sistema de plantio direto, mas a maior colonização nas áreas de pomar citrus e mata nativa. Fatores como a forma em que os manejos são realizados e o pH do solo estão entre os principais determinantes da colonização e densidade de esporos, como demonstrado por Gomes et al., 2011. Em seus resultados, destaca que a faixa de pH do solo limita o desenvolvimento de algumas espécies, e a cultura cultivada de outras, fazendo com que os dados variem.

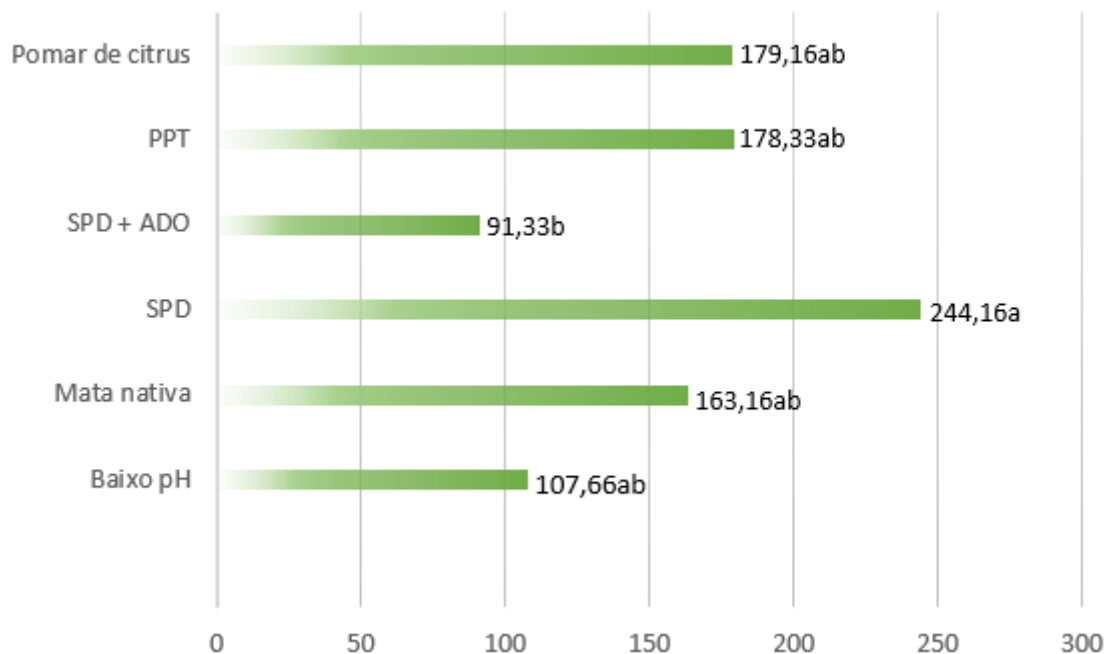
Nas taxas de colonização encontradas para a área de mata nativa, houveram semelhanças significativas com o trabalho de Zangaro e Moreira (2010), fazendo levantamentos de FMA nos biomas florestais de mata atlântica e araucária. Os autores destacam médias de colonização de 40 a 60% para estes biomas no Rio Grande do Sul e Santa Catarina, com espécies nativas semelhantes às que podem ser encontradas no local onde foram realizadas as coletas do presente trabalho.

Para as avaliações realizadas na área de plantio direto, os resultados diferiram do esperado, embora não sejam discrepantes com as demais literaturas encontradas. Em virtude do elevado número de esporos encontrados, que serão demonstrados posteriormente, esperava-se uma maior taxa de colonização das espécies. Entretanto, resultados semelhantes foram encontrados por Ferreira et. al (2012), ao analisar a densidade e diversidade de FMA em um Latossolo do Cerrado, sob diferentes sistemas de manejo. Segundo o autor, por serem fungos

biotróficos, a espécie necessita de uma boa área radicial para que seus propágulos (esporos) além de estarem presentes, sejam viáveis.

Em sua grande parte, as raízes das plantas da família poaceae que compõem o sistema de rotação de culturas e plantio direto que estavam inseridas no momento da coleta, possuíam raízes de tamanho reduzido de no máximo 10 cm, não favorecendo também a colonização das plantas e diferindo da ramificação e comprimento esperado das raízes da família botânica. Floss (2011), relata que o desenvolvimento radicial das plantas será sempre dependente do ambiente em que está inserida, como disponibilidade hídrica, balanço nutricional do solo e compactação, fatores estes que não eram objetivo de avaliação do trabalho, não foram detalhados. Ainda, a inibição de espécies colonizadoras de poáceas também pode ter sido inibida por fatores terceiros, mas que também não era um objetivo a classificação taxonômica das espécies. Ferreira et al., (2012) destacou ainda a afinidade da interação fungo/planta, com a família das poaceas e suas características raiciais naturais e esperadas, reforçando ainda a conclusão chegada de que a redução não esperada na colonização devem-se a fatores terceiros que não estavam incluídos na avaliação do trabalho.

Figura 20: média da densidade de esporos de FMA'S, de amostras coletadas em diferentes sistemas de cultivo e diferentes profundidades, em um experimento realizado no município de Ibirubá/RS.



Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, maiúscula na coluna e minúscula na linha, pelo teste de Tukey a $p < 0,05$.

Fonte: A autora, (2022).

Na densidade de esporos encontrados, as maiores médias deram-se nas áreas de sistema plantio direto, seguido da área de pomar de citrus, que não diferiu da área de pastagem permanente de tifton, conforme se pode analisar na figura 20. Os resultados encontrados corroboram com Silva et al., (2015), que ao analisarem a influência da utilização do solo na comunidade de fungos micorrízicos arbusculares, constataram que o sistema plantio direto é um dos maiores favorecedores da comunidade FMA, seguindo de boas médias na densidade de esporos em locais de pomar de laranja. As menores médias encontradas, segundo os autores, justificam-se principalmente pela forte influência no pH na presença de esporos nas áreas de elevada acidez, e ainda elevada competitividade das espécies dos fungos pelas espécies florestais, no caso da mata nativa.

De mesma forma, a tendência de correlação entre o pH e a densidade de esporos esteve presente nas avaliações realizadas. As duas maiores médias encontraram-se nas áreas com valores de pH adequados aos valores recomendados pela SBSC (2016), para os estados de Rio Grande do Sul e Santa Catarina. Na área de sistema plantio direto, encontrou-se pH na faixa de 6,02, e na área de pomar de citrus embora na camada de 0-10 tenha-se obtido valores de 5,53, na camada de 10-20 a faixa do pH encontrou-se em 6,25. Para a contagem da densidade de esporos, agrupou-se as camadas para que o programa SISVAR realizasse o cálculo de média, evidenciando que os valores de pH mais elevados da camada mais profunda influenciaram a densidade de esporos.

Avaliando a densidade de esporos em diferentes sistemas, De Souza e Araújo (2016), encontraram 484 esporos nas áreas de sucessão de milho e feijão, e 430 nas áreas de monocultura de feijão. Com a ressalva das diferenças de análise e tratamentos, os números para densidade de esporos nas mesmas famílias botânicas revalidam os resultados aqui encontrados, e demonstram a extensão da diversidade e propagação dos FMA pelos mais diversos cultivos e lavouras comerciais.

Comparando com Pontes (2017), os números ainda são mais expressivos uma vez que ao analisar densidade de esporos no sistema plantio direto, a autora encontrou em torno de 200 esporos em cada 50g de solo analisadas. Equivalente-se a análise feita na metodologia detalhada, onde analisou-se esporos em 50g de solo, e obtiveram-se médias de 240 esporos no sistema plantio direto.

Miranda e Miranda (2007), ao avaliarem o impacto do sistema plantio direto na diversidade e densidade de FMA, demonstram que diferente das áreas com manejo convencional do solo onde há um impacto intensivo no sistema com um viés sustentável ao ambiente agrícola, as áreas de de plantio direto são benéficas a densidade de FMA, pois essa

dinâmica promove a diversificação de espécies de FMA no solo através da manutenção dos atributos químicos e físicos do solo, oferta de quantidade e variedade de plantas e redução dos danos na estrutura do solo, junto com os microrganismos que ali existem. Evidentemente, os números expressivos de esporos encontrados demonstram essa teoria na prática, embora ainda falte alinhamento de outros fatores para que a colonização também seja mais expressiva.

A área permanente de tifton, embora com médias que não diferem das mais elevadas, ainda apresentou menor densidade de esporos. A área de estudo também apresenta impacto relativamente baixo do sistema de manejo, e de forma permanente possui cultivo de tifton para pastagem. Através da ótica dos autores já evidenciados, entende-se que embora ainda satisfatórias, a redução de médias se dá por fatores externos aos analisados uma vez que como já citado anteriormente, as gramíneas possuem grande potencial de desenvolvimento das culturas, e, não há impacto no manejo do solo que prejudicasse a existência dos fungos.

Embora houvesse uma maior expectativa para as médias de densidade de esporos na área de mata nativa em comparação com a colonização das raízes uma vez que este ambiente é favorável ao desenvolvimento de FMA, ficou evidente nas análises discutidas anteriormente que a densidade de esporos (propágulos viáveis), nem sempre será proporcional aos dados de colonização e vice-versa. Diversos autores nas literaturas (Miranda et al., 2005; Moreira et al., 2006; Carrenho et al., 2010) apontam maior número de esporos em áreas agrícolas do que em sistemas florestais, principalmente as áreas com atividade agrícola em curso. Os resultados demonstrados são premissas importantes para estudos futuros em relação a diversidade de espécies, vindo a complementar o presente trabalho que ainda não tinha essa avaliação por objetivo.

De Medeiros e Ferreira (2018), ao avaliarem densidade de esporos em sistemas agrícolas e florestais, também encontraram resultados semelhantes. Para os autores, a densidade de esporos nas áreas florestais foi menor, também não havendo diferenças significativas na profundidade de coleta.

Ainda, destacam a necessidade de avaliar a estabilidade da área florestal coletada, pois uma vez que bem estabelecida e sem alterações antropológicas, não há necessidade de que os fungos se reproduzam de forma competitiva já o ambiente estabilizado garante o espaço de cada ser vivo no ecossistema. Tal premissa como já citado não inibe a colonização, mas ainda à favorece, permitindo a reprodução eficiente dos fungos e seu benefício a planta, mesmo a baixas taxas de esporulação (DE MEDEIROS, FERREIRA, 2018), em poucas palavras, para um ambiente estável a competição e rápida multiplicação torna-se irrelevante, embora sua eficiência esteja presente e seja um grande contribuinte ao desenvolvimento das plantas.

O ponto de vista dos autores torna-se extremamente relevante ao presente trabalho, dadas as condições onde foram realizadas as coletas na área de mata nativa. Uma vegetação consolidada, sem nenhuma alteração antropológica, com área de espécies nativas preservadas e presenças incontáveis de animais nativos também. Logo, é justificável que os resultados apresentados coincidem com resultados de áreas estabilizadas.

5 CONCLUSÕES

Há ocorrência da presença de colonização micorrízica e densidade de esporos em todos os tratamentos avaliados, com valores de médias que responderam as expectativas para as análises realizadas.

Cada um dos manejos avaliados ofereceu uma relação direta influenciando a presença quantitativa de micorrizas colonização, e densidade de esporos. Sendo o manejo de plantio direto o que ofertou melhores condições para a densidade de esporos, e o pomar de citrus a área que ofereceu melhores condições para micorrização. Por fim, constatou-se também, conforme disposto nas discussões, que todos os demais fatores no ciclo agrícola (fertilidade, necessidade hídrica, idade da planta, entre outros), exercem fortes influências da densidade de esporos e colonização micorrízica.

6 REFERÊNCIAS

- ABICHEQUER, André Dabdab; BOHNEN, Humberto; ANGHINONI, Ibanor. **Absorção, translocação e uso de fósforo por variedades de trigo permaneceram à toxidez de alumínio.** Revista Brasileira de Ciência do Solo , v. 27, p. 373-378, 2003.
- ALVES, Cleber Pereira; CIRINO JÚNIOR, Baltazar; ROCHA, Ana Karlla Penna; VIEIRA, Domingos Sávio Marques de Menezes; EUGÊNIO, Danielle da Silva; LEITE, Maurício Luiz de Mello Vieira. **Respostas morfofisiológicas das plantas forrageiras sob manejo de cultivo e pastejo: uma revisão.** Research, Society And Development, [S.L.], v. 10, n. 6, p. 0-0, 22 maio 2021. Research, Society and Development. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i6.15405>.
- ANGELINI, Guilherme Augusto R; LOSS, Arcangelo; PEREIRA, Marcos Gervasio; TORRES, Jose Luiz R; SAGGIN JUNIOR, Orivaldo Jose. **Colonização micorrízica, densidade de esporos e diversidade de fungos micorrízicos arbusculares em solo de Cerrado sob plantio direto e convencional.** Semina: Ciências Agrárias, [S.L.], v. 33, n. 1, p. 115-130, 5 abr. 2012. Universidade Estadual de Londrina. <http://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2012v33n1p115>.
- ANDRADE, FV et al. **Adição de orgânicos e húmicos em Latossolos e adsorção de fosfato.** Revista Brasileira de Ciência do solo , v. 27, p. 1003-1011, 2003.
- ANTONIOLLI, Zaida Ines; KAMINSKI, João. MICORRIZAS. Ciência Rural, [S.L.], v. 21, n. 3, p. 441-455, dez. 1991. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0103-84781991000300013>.
- ARAÚJO, Flamarion dos Santos et al. **Potencial de inóculo de fungos micorrízicos arbusculares em seis sistemas de uso do solo, na região nordeste do semi-árido do Brasil.** 2008.
- BACK, Marina Martinello et al. Interação entre porta-enxertos de citros e fungos micorrízicos arbusculares. **Iheringia, Série Botânica.**, v. 72, n. 2, p. 277-282, 2017.
- BALBINO, Luiz Carlos et al. **Evolução tecnológica e arranjos produtivos de sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta no Brasil.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 46, 2011.
- BENEDETTI, T.; ANTONIOLLI, Z. I.; GIRACCA, E. M. N.; STEFFEN, R. B. **Diversidade de fungos micorrízicos arbusculares na cultura do milho após uso de espécies de plantas de cobertura de solo.** Revista de Ciências Agroveterinárias, Lages, v. 4, n. 1, p. 44-51, 2005. Disponível em: <https://www.revistas.udesc.br/index.php/agroveterinaria/article/view/5397>. Acesso em: 7 out. 2022.
- BERBARA, Ricardo LL; SOUZA, Francisco A.; FONSECA, H. M. A. C. III-Fungos micorrízicos arbusculares: muito além da nutrição. **Nutrição mineral de plantas**, p. 74-85, 2006.
- BERUDE, Marciana Christo et. al; **Micorrizas e suas importância agroecológica.** Enciclopédia biosfera, Centro científico conhecer. Goiânia, v.11, nº22, p.146. 2015.

BERBARA, Ricardo L.L.; SOUZA, Francisco A.; FONSECA, Henrique M.A.C.. **Fungos micorrízicos arbusculares: muito além da nutrição.** In: SOLO, Sociedade Brasileira de Ciência do. Nutrição Mineral de Plantas. Rio de Janeiro: Ufrj, 2006. Cap. 3, p. 432.

BORBA, Marcus Flavius; AMORIM, SMC de. **Fungos micorrízicos arbusculares em sempre-vivas: subsídio para cultivo e replantio em áreas degradadas.** Revista de Biologia e Ciências da Terra, v. 7, n. 2, p. 20-27, 2007.

BORGES, Ana Claudia Giannini; DE MIRANDA COSTA, Vera Mariza H. **A evolução do agronegócio citrícola paulista e o perfil da intervenção do estado.** Revista Brasileira Multidisciplinar, v. 9, n. 2, p. 101-124, 2005.

BRESSAN, Wellington; SIQUEIRA, José Oswaldo; VASCONCELLOS, Carlos Alberto; PURCINO, Antonio Alvaro Corsetti. **Fungos micorrízicos e fósforo, no crescimento, nos teores de nutrientes e na produção do sorgo e soja consorciados.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, [S.L.], v. 36, n. 2, p. 315-323, fev. 2001. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-204x2001000200015>.

CARRENHO, R., S. M. GOMES-DA-COSTA, E. L. BALOTA & A. COLOZZI-FILHO, 2010. **Fungos micorrízicos arbusculares em agrossistemas brasileiros.** In: J. O. SIQUEIRA, F. A. SOUZA, E. J. B. N. CARDOSO & S. M. TSAI (Ed.): Micorrizas: 30 anos de pesquisas no Brasil: 153-214. Editora UFLA, Lavras.

CÓRDOBA, A. S.; MENDONÇA, M. M.; ARAÚJO, E. F. **Avaliação da diversidade genética de fungos micorrízicos arbusculares em três estádios de estabilização de dunas.** Rev. Bras. Ci.Solo, Viçosa, v. 26, p. 931-937, 2002.

CORDEIRO, M. A. S.; CARNEIRO, M. A. C.; PAULINO, H. B.; SAGGIN JÚNIOR, O. J. **Colonização e densidade de esporos de fungos micorrízicos em dois solos de cerrado sob diferentes sistemas de manejo.** Pesquisa Agropecuária Tropical, Goiânia, v. 35, n. 3, p. 147-153, 2005.

CORREIA, Maria Elizabeth Fernandes; OLIVEIRA, LCM de. Importância da fauna de solo para a ciclagem de nutrientes. **Processos biológicos no sistema solo-planta: ferramentas para uma agricultura sustentável.** Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, p. 77-99, 2005.

CUENCA, Gisela; CÁCERES, Alicia; OIRDOBRO, Giovanni, HASMY Zamira; URDANETA, Carlos. **Las micorrizas arbusculares como alternativa para na agricultura sustentable en áreas tropicales.** Interciência, [S.L.], v.32, nº1. 2007 (SciELO).

CRUZ, Sousa, Rafeale; ARAÚJO, Fausto Henrique Vieira; FRANÇA, André Cabral; GRAZIOTTI, Paulo Henrique. **Crescimento pós-plantio de cultivares de Coffea arabica inoculadas com fungos micorrízicos arbusculares.** Revista Craibeiras de Agroecologia v. 4, n. 1, p. e8059, 2019.

DA SILVA, Rodrigo Ferreira et al. **Influência do uso do solo na ocorrência e diversidade de FMAs em Latossolo no Sul do Brasil.** Semina: Ciências Agrárias, v. 36, n. 1, p. 1851-1862, 2015.

DE MEDEIROS, Priscila Sanjuan; FERREIRA, Leandro Valle. **Densidade de esporos de fungos micorrízicos arbusculares em uma cronossequência de florestas secundárias na**

Amazônia oriental. Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi-Ciências Naturais, v. 13, n. 2, p. 247-259, 2018.

DE SOUZA, Simão Lindoso; ARAÚJO, Vitória. **Fungos micorrízicos arbusculares em áreas de cultivo agrícola familiar no agreste do estado da paraíba.** 2016.

EBELING, Adierson Gilvani. **Caracterização analítica da acidez em organossolos.** 2006. 87 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro Instituto de Agronomia, Seropédica, 2006.

ESCALON, Jerlin Yolai Rosales; RUIZ, Lesmar Enrique Pérez. **Efecto de micorrizas arbusculares sobre el desarrollo vegetativo de porta injertos de cítricos (Citrus limon L.) en el vivero de OIRSA, Masaya.** 2020. 33 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia em Sistemas Agrícolas e de Proteção Florestal, Universidad Nacional Agraria Facultad de Agronomía, Nicaragua, 2020.

FERREIRA, Dorotéia Alves; CARNEIRO, Marco Aurélio Carbone; SAGGIN JUNIOR, Orivaldo José. **Fungos micorrízicos arbusculares em um Latossolo Vermelho sob manejos e usos no Cerrado.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 36, p. 51-61, 2012.

FOCCHI, Sandro Souza; SOGLIO, Fábio Kessler dal; CARRENHO, Rosilaine; SOUZA, Paulo Vitor Dutra de; LOVATO, Paulo Emílio. **Fungos micorrízicos arbusculares em cultivos de citros sob manejo convencional e orgânico.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, [S.L.], v. 39, n. 5, p. 469-476, maio 2004. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-204x2004000500009>.

FUENTEALBA, Alex Seguel. **El potencial de las micorrizas arbusculares en la agricultura desarrollada en zonas áridas y semiáridas.** Idesia (Arica), [S.L.], v. 32, n. 1, p. 3-8, fev. 2014. SciELO Agencia Nacional de Investigacion y Desarrollo (ANID). <http://dx.doi.org/10.4067/s0718-34292014000100001>.

FREITAS, Rejane de Oliveira. **Associação entre fungos micorrízicos arbusculares e espécies pioneiras em capoeiras na Amazônia Central.** 2005. Disponível em: <https://repositorio.inpa.gov.br/handle/1/5121>. Acesso em 25 de abril de 2020.

FLOSS, E. L. **Fisiologia das plantas cultivadas.** 5. ed. Passo Fundo: UPF, 2011. 733 p.

GOMES, Eliane Aparecida *et al.* **Influência do pH do solo na comunidade de fungos micorrízicos arbusculares associada a raízes de milho contrastantes para eficiência no uso de fósforo.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA - 2011, 26., 2011, Foz do Iguaçu. Resumo [...] . Foz do Iguaçu: Sbm, 2011. p. 1-1.

GONÇALVES, AB da S. et al. Interação micorrízica em linhagens de milho contrastantes para a eficiência na utilização de fósforo. In: **Embrapa Milho e Sorgo-Artigo em anais de congresso (ALICE)** . In: SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA PIBIC/BIC JÚNIOR, 10., 2016, Sete Lagoas.[Trabalhos apresentados]. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2016., 2016.

KIRIACHEK, Soraya Gabriela; AZEVEDO, Lucas Carvalho Basilio de; PERES, Lázaro Eustáquio Pereira; LAMBAIS, Marcio Rodrigues. **Regulação do desenvolvimento de micorrizas arbusculares.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, [S.L.], v. 33, n. 1, p. 1-16, fev. 2009. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-06832009000100001>.

LOSS, Arcângelo; ANGELINI, Guilherme Augusto Robles; PEREIRA, Carolina Callegario; LÃ, Otávio Raymundo; MAGALHÃES, Márcio Osvaldo Lima; SILVA, Eliane Maria Ribeiro

da; SAGGIN JUNIOR, Orivaldo José. **Atributos químicos do solo e ocorrência de fungos micorrízicos sob áreas de pastagem e agroflorestal, Brasil.** Acta Agronômica, Palmira, v. 58, n. 2, p. 0-0, jun. 2009.

LOURENTE, Elaine Reis Pinheiro et al. **Atributos microbiológicos, químicos e físicos de solo sob diferentes sistemas de manejo e condições de Cerrado.** Pesquisa Agropecuária Tropical, v. 41, p. 20-28, 2011.

LERMEN, Caroline et al. **Potencial de inóculo de fungos micorrízicos arbusculares em solo cultivado com aveia em Umuarama-PR.** Arq. ciênc. vet. zool. UNIPAR, p. 49-55, 2012.

Maldonado-Mendoza, I.E., Dewbre, G.R., Harrison, M.J. 2001. **A phosphate transporter gene from the extra-radical mycelium of an arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus intraradices* is regulated in response to phosphate in the environment.** Molecular Plant-Microbe Interactions, 14: 1140-1148.

MATTOS, Maria Laura Turino. Microbiologia do solo. **Embrapa Clima Temperado- Capítulo em livro científico (ALICE)**, 2015.

MELLO, Andrea Hentz de; ANTONIOLLI, Zaida Inês; KAMINSKI, João; SOUZA, Eduardo Lorensi; OLIVEIRA, Vetúria Lopes. **Fungos arbusculares e ectomicorrízicos em áreas de eucalipto e de campo nativo em solo arenoso.** Ciência Florestal, [S.L.], v. 16, n. 3, p. 293-301, 30 set. 2006. Universidad Federal de Santa Maria. <http://dx.doi.org/10.5902/198050981909>.

MELLONI, Rogério et al. **Sistemas agroflorestais cafeeiro-araucária e seu efeito na microbiota do solo e seus processos.** Ciência Florestal, v. 28, p. 784-795, 2018.

MENDÉZ, D. F. Salás. **Diversidade de Fungos Micorrízicos Arbusculares e sua relação com atributos do solo em área de milho sob monocultivo e em consórcio com forrageiras no Cerrado.** Brasília: Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, 2016, 106 p. Dissertação de Mestrado

MIRANDA, Jeanne Christine Claessen de; VILELA, Lourival; MIRANDA, Leo Nobre de. **Dinâmica e contribuição da micorriza arbuscular em sistemas de produção com rotação de culturas.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, [S.L.], v. 40, n. 10, p. 1005-1014, out. 2005. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-204x2005001000009>.

Miranda, EM; Silva, EMR; Saggin Júnior, OJ 2007. **Comunidades de fungos micorrízicos arbusculares associados ao amendoim forrageiro em pastagens consorciadas no sudoeste amazônico.** In : Workshop Pan-Amazônico "Biodiversidade do Solo", Rio Branco. 26 a 29/09

Miranda, EM 2008. **Fungos micorrízicos arbusculares em amendoim forrageiro (*Arachis pintoi* Krap. E Greg.).** Tese de Doutorado. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, Rio de Janeiro, Brasil. 95 p.

MIRANDA, Jeanne Christine Claessen; DE MIRANDA, Leo Nobre. **Impacto do sistema de plantio direto na diversidade de espécies de fungos micorrízicos arbusculares nativos em solo de cerrado.** 2007.

MOREIRA, M., D. BARETTA, S. M. TSAI & E. J. B. N. CARDOSO, 2006. **Spore density and root colonization by arbuscular mycorrhizal fungi in preserved or disturbed *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. ecosystems.** Scientia Agricola 63(4): 380-385. DOI:

Moreira, F. M. S; Siqueira, J. O; **Microbiologia e bioquímica do solo**— 2. ed. atual. e ampl. — Lavras : Editora UFLA, 2006. 729 p.

NOGUEIRA, M. A.; CARDOSO, E. J. B. N.. **Produção de micélio externo por fungos micorrízicos arbusculares e crescimento da soja em função de doses de fósforo.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, [S.L.], v. 24, n. 2, p. 329-338, jun. 2000. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-06832000000200010>.

PEREIRA, Marsílvia G.; SANTOS, Carolina E. R. S.; FREITAS, Ana D. S. de; STAMFORD, Newton P.; ROCHA, Gewerlys S. D. C. da; BARBOSA, Alessandro T.. **Interações entre fungos micorrízicos arbusculares, rizóbio e actinomicetos na rizosfera de soja.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, [S.L.], v. 17, n. 12, p. 1249-1256, dez. 2013. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1415-43662013001200001>.

PEREIRA, Alan Alves; HUNGRIA, Mariangela; FRANCHINI, Julio Cezar; KASCHUK, Glaciela; CHUEIRE, Lígia Maria de Oliveira; CAMPO, Rubens José; TORRES, Eleno. **Variações qualitativas e quantitativas na microbiota do solo e na fixação biológica do nitrogênio sob diferentes manejos com soja.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, [S.L.], v. 31, n. 6, p. 1397-1412, dez. 2007. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-06832007000600017>.

PONTES, Juliana Souza de. **Diversidade de fungos micorrízicos arbusculares (FMA) em ecossistemas naturais e agrícolas do cerrado.** 2017.

POUYU-ROJAS, Enrique; SIQUEIRA, José Oswaldo; SANTOS, José Geraldo Donizetti. **Compatibilidade simbiótica de fungos micorrízicos arbusculares com espécies arbóreas tropicais.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, [S.L.], v. 30, n. 3, p. 413-424, jun. 2006. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-06832006000300003>.

ROCHA, F. S., Saggin Júnior, O. J., Silva, E. M. R. D., & Lima, W. L. D. (2006). Dependência e resposta de mudas de cedro a fungos micorrízicos arbusculares. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 41, 77-84.

SANTOS, Jennie Kéllyn da Silva; SANTANA, Marcos Diones Ferreira; LARA, Túlio Silva. **Responsividade de plantas de milho à inoculação com fungos micorrízicos arbusculares da rizosfera de ipê amarelo.** Revista Agroecossistemas, [S.L.], v. 10, n. 1, p. 253, 11 nov. 2018. Universidade Federal do Para. <http://dx.doi.org/10.18542/ragros.v10i1.5072>.

SERAFINI, Rafaela Fatima; LANZANOVA, Mastrangelo Enivar; REDIN, Marciel; CABRAL, Fabio Eleandro Batista; TASSI, Cristian Jacob; SCHMELING, Jeniffer Bortolini. **Potencial de produção animal em pastagens de inverno cultivadas em sistema plantio direto na região noroeste do rio grande do sul. In: salão do conhecimento unijú, 26., 2018, ijuí. Potencial de produção animal em pastagens de inverno cultivadas em sistema plantio direto na região noroeste do rio grande do sul.** Ijuí: Unijuí, 2018. p. 0-0

SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO. **Manual de Adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina.** Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 2016.

SOUZA, Paulo Vitor Dutra de *et al.* Identificação e quantificação de fungos micorrízicos arbusculares autóctones em municípios produtores de citros no Rio Grande do Sul. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, [S.L.], v. 37, n. 4, p. 553-558, abr. 2002. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-204x2002000400018>.

SOUZA, Vênia C. de *et al.* Estudos sobre fungos micorrízicos. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 10, p. 612-618, 2006.

SCHÄFER, Gilmar; DORNELLES, Ana Lúcia Cunha. **Produção de mudas cítricas no Rio Grande do Sul: diagnóstico da região produtora.** Ciência Rural, v. 30, p. 587-592, 2000.

SCHNEIDER, Jerusa et al. **Influência de diferentes sistemas de manejo e calagem em experimento de longa duração sobre fungos micorrízicos arbusculares.** Ciência e Agrotecnologia, v. 35, p. 701-709, 2011.

STONE, L. F.; SILVEIRA, PM da. **Efeitos do sistema de preparo e da rotação de culturas na porosidade e densidade do solo.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 25, p. 395-401, 2001.

TAIZ, Lincoln et al. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal.** Artmed Editora, 2017.

TRINDADE, A. V.; SIQUEIRA, J. O.; ALMEIDA, F. P. **Eficiência simbiótica de fungos micorrízicos arbusculares em solo não fumigado, para mamoeiro.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 24, p. 505-513, 2000.

VALADARES, Rafael Borges da Silva; MESCOLOTTI, Denise LC; CARDOSO, Elke Jurandy Bran Nogueira. Micorrizas. **Microbiologia do solo**, p. 221 il, 2016.

VON LINSINGEN PIAZZETTA, Hugo et al. Pastejo e nitrogênio sobre o crescimento de raízes na mistura de aveia preta e azevém. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 35, n. 4, p. 2749-2765, 2014.

ZANGARO, WALDEMAR; MOREIRA, MILENE. Micorrizas arbusculares nos biomas Floresta Atlântica e Floresta de Araucária. **Micorrizas**, v. 30, p. 279-310, 2010.

ZULIAN, Aline; DÖRR, Andrea Cristina; SIDALI, Kátia Laura. **Agronegócio cooperativo: o caso de uma cooperativa de citros do Rio Grande do Sul.** Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental , p. 753-768, 2014.