

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
GOIANO - CAMPUS CERES  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM IRRIGAÇÃO NO CERRADO

FUNGOS MICORRÍZICOS EM SOLO DO CERRADO  
CULTIVADO COM SOJA SOB DÉFICIT HÍDRICO E RESÍDUO  
AGROINDUSTRIAL

Autor: Rafael Lucas Leonídio  
Orientador: Prof. Dr. Marcio Mesquita  
Coorientador: Prof. Dr. Jadson Belem Moura

CERES - GO  
julho - 2022

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
GOIANO - CAMPUS CERES  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM IRRIGAÇÃO NO CERRADO

FUNGOS MICORRÍZICOS EM SOLO DO CERRADO  
CULTIVADO COM SOJA SOB DÉFICIT HÍDRICO E RESÍDUO  
AGROINDUSTRIAL

Autor: Rafael Lucas Leonídio  
Orientador: Prof. Dr. Marcio Mesquita  
Coorientador: Prof. Dr. Jadson Belem Moura

Dissertação apresentada, como parte das exigências para obtenção do título de MESTRE EM IRRIGAÇÃO NO CERRADO, no Programa de Pós-Graduação em Irrigação no Cerrado, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Ceres. Área de concentração: Irrigação.

CERES - GO  
julho - 2022

Sistema desenvolvido pelo ICMC/USP  
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
**Sistema Integrado de Bibliotecas - Instituto Federal Goiano**

LL585f Leonídio, Rafael Lucas  
FUNGOS MICORRÍZICOS EM SOLO DO CERRADO CULTIVADO  
COM SOJA SOB DÉFICIT HÍDRICO E RESÍDUO AGROINDUSTRIAL  
/ Rafael Lucas Leonídio; orientador Marcio Mesquita;  
co-orientador Jadson Belem Moura. -- Ceres, 2022.  
54 p.

Dissertação (Mestrado em Programa de Pós-Graduação  
em Irrigação no Cerrado (PPGIC)) -- Instituto Federal  
Goiano, Campus Ceres, 2022.

1. Cerrado. 2. Micorriza. 3. Déficit hídrico. 4.  
Mutualismo. 5. Irrigação. I. Mesquita, Marcio,  
orient. II. Moura, Jadson Belem, co-orient. III.  
Título.

# TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO

## PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS

### NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610, de 19 de fevereiro de 1998, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano a disponibilizar gratuitamente o documento em formato digital no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

#### IDENTIFICAÇÃO DA PRODUÇÃO TÉCNICO-CIENTÍFICA

- |  |   |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Tese (doutorado)                  | <input type="checkbox"/> Artigo científico              |
| <input checked="" type="checkbox"/> Dissertação (mestrado) | <input type="checkbox"/> Capítulo de livro              |
| <input type="checkbox"/> Monografia (especialização)       | <input type="checkbox"/> Livro                          |
| <input type="checkbox"/> TCC (graduação)                   | <input type="checkbox"/> Trabalho apresentado em evento |

Produto técnico e educacional - Tipo:

Nome completo do autor:

Rafael Lucas Leonídio

Matrícula:

2021103330640047

Título do trabalho:

FUNGOS MICORRÍZICOS EM SOLO DO CERRADO CULTIVADO COM SOJA SOB DÉFICIT HÍDRICO E RESÍDUO

#### RESTRIÇÕES DE ACESSO AO DOCUMENTO

Documento confidencial:  Não  Sim, justifique:

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIIF Goiano:  /  /

O documento está sujeito a registro de patente?  Sim  Não

O documento pode vir a ser publicado como livro?  Sim  Não

#### DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O(a) referido(a) autor(a) declara:

- Que o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- Que obteve autorização de quaisquer materiais incluídos no documento do qual não detém os direitos de autoria, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- Que cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

Ceres

Local

/  /

Data



Assinatura do autor e/ou detentor dos direitos autorais

Ciente e de acordo:



Assinatura do(a) orientador(a)





SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL  
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA  
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO  
CAMPUS CERES  
COORDENAÇÃO DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM IRRIGAÇÃO NO CERRADO

### ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO

Ao 22º dia do mês de julho do ano de dois mil e vinte dois, realizou-se a Defesa de Dissertação do acadêmico Rafael Lucas Leonídio, do Curso de Mestrado Profissional em Irrigação no Cerrado, número de defesa 49, matrícula 2021103330640047, RG 4793096 Órgão emissor DGPC/GO, CPF 02344212159, cuja dissertação intitula-se "**FUNGOS MICORRÍZICOS EM SOLO DE CERRADO CULTIVADO COM SOJA SOB DÉFICIT HÍDRICO E RESÍDUO AGROINDUSTRIAL**". A defesa iniciou-se às 14 horas e 06 minutos, finalizando-se às 16 horas e 20 minutos, onde a banca examinadora considerou o trabalho Aprovado, estando apto para fins de conclusão da Dissertação, devendo o acadêmico apresentar no prazo de sessenta (60) dias a versão final corrigida conforme considerações da banca, em formato digital (PDF), acompanhado do termo de autorização para publicação eletrônica (devidamente assinado pelo autor), para posterior inserção no Sistema de Gerenciamento do Acervo e acesso ao usuário via internet. Os integrantes da banca examinadora assinam a presente ata.

**Prof. Dr.: Marcio Mesquita**

(Presidente da Banca – Universidade Federal de Goiás - UFG – Campus Samambaia)

**Profª. Dra.: Priscila Jane Romano Gonçalves Selari**

(Avaliador interno – IF Goiano – Campus Ceres)

**Profª. Dra.: Juliana Silva Rodrigues Cabral**

(Avaliador externo – Universidade de Rio Verde)

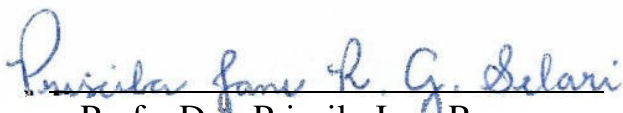
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
GOIANO – CAMPUS CERES  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM IRRIGAÇÃO NO CERRADO

FUNGOS MICORRÍZICOS EM SOLO DO CERRADO  
CULTIVADO COM SOJA SOB DÉFICIT HÍDRICO E RESÍDUO  
AGROINDUSTRIAL

Autor: Rafael Lucas Leonídio  
Orientador: Prof. Dr. Marcio Mesquita  
Coorientador: Prof. Dr. Jadson Belem Moura

TITULAÇÃO: Mestre em Irrigação no Cerrado – Área de Concentração:  
Irrigação

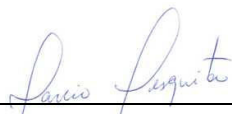
APROVADA em 22 de julho de 2022.



Profa. Dra. Priscila Jane Romano  
Gonçalves Selari  
*Avaliador interno*  
IF Goiano/Campus Ceres



Profa. Dra. Juliana Silva Rodrigues Cabral  
*Avaliadora externa*  
Universidade



Prof. Dr. Marcio Mesquita  
(Orientador)  
UFG/Escola de Agronomia

À minha esposa Vanessa pela compreensão e incentivo, ao meu filho  
Theo e aos meus Pais, por sempre me apoiarem.

**DEDICO**

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por direcionar a minha vida e prover tudo o que sempre precisei.

Agradeço também à minha esposa Vanessa, por me incentivar e estimular na luta pelo mestrado, e aos meus Pais, Vantuir e Maria do Carmo, por serem sempre exemplo para mim e por me apoiarem.

Ao Professor Dr. Marcio Mesquita, por me orientar, dar todo o apoio de que precisei e por me desafiar a sempre apresentar o meu melhor.

Ao Professor Dr. Jadson Moura, por me auxiliar em tudo o que precisei para a realização deste trabalho.

Ao Professor Marcos Argolo, pela compreensão e incentivo para que eu concluísse o Mestrado.

A Leidiane e a todos do Grupo SEDMO, pela ajuda na realização deste trabalho.

À Associação Educativa Evangélica, em nome do Presidente e Chanceler, Dr. Augusto Ventura, por ceder os laboratórios para as análises.

A todos os docentes do Instituto Federal Goiano – Campus Ceres, há alguns anos, colegas de trabalho, recentemente, meus professores.

A todos que contribuíram direta ou indiretamente para a realização e conclusão deste trabalho.

## **BIOGRAFIA DO AUTOR**

Rafael Lucas Leonídio, nascido em 27 de fevereiro de 1987, na cidade de Ceres - GO, filho de Maria do Carmo Dias da Silva e Vantuir Antônio da Silva. Em 2005, ingressou no curso de Licenciatura em Ciências Biológicas da Universidade Estadual de Goiás – Campus UnUCET - Anápolis. Em 2009, iniciou o trabalho como professor de diversas disciplinas no Colégio Estadual João XXIII. Pouco tempo depois, iniciou sua jornada de colaborador da Associação Educativa Evangélica, como professor de Ciências e, posteriormente, de Biologia no Colégio Álvaro de Melo, onde atuou por quase uma década até ser convidado a assumir a Direção do Colégio Couto Magalhães – Goianésia em 2018. Neste meio tempo, atuou como docente também no Colégio Imaculada Conceição e em alguns cursos pré-vestibulares. Concluiu a Pós-Graduação em Docência do Ensino Superior e atuou por dois anos no Instituto Federal Goiano – Campus Ceres, como professor substituto, ministrando aulas de Biologia e áreas afins para os cursos de Biologia, Técnico em Meio Ambiente e Técnico em Agropecuária Integrado e Modular. No primeiro semestre de 2021, iniciou o curso de Mestrado em Irrigação no Instituto Federal Goiano – Campus Ceres.

## ÍNDICE

	<b>Página</b>
<b>ÍNDICE DE TABELAS</b> .....	3
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	4
<b>LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS, ABREVIACÕES E UNIDADES</b> .....	5
<b>RESUMO</b> .....	6
<b>ABSTRACT</b> .....	7
<b>1. INTRODUÇÃO – JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA</b> .....	9
1. CERRADO: SAVANA CENTRAL BRASILEIRA .....	9
2. MICORRIZAS NO CERRADO .....	13
2.1. FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES NAS SAVANAS CENTRAIS AMERICANAS .....	15
2.2. FUNGOS ECTOMICORRÍZICOS NAS SAVANAS CENTRAIS AMERICANAS .....	16
3. AGROECOSSISTEMAS EM SAVANAS CENTRAIS AMERICANAS E MICORRIZAS .....	17
3.1. FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES EM AGROECOSSISTEMAS NAS SAVANAS CENTRAIS AMERICANAS .....	17

3.2. UTILIZAÇÃO DE ECOTMICORRIZAS EM AGROECOSSISTEMAS SOB SOLO DE CERRADO .....	19
4. SOJA NO CERRADO .....	20
5. MINERAÇÃO E PÓ DE ROCHA NA AGRICULTURA .....	21
<b>6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>23</b>
<b>7. OBJETIVOS .....</b>	<b>31</b>
7.1. GERAL .....	31
7.2. ESPECÍFICOS .....	31
<b>CAPÍTULO I – FUNGOS MICORRÍZICOS EM SOJA CULTIVADA COM FINO DE MICA XISTO NO CERRADO SOB REGIMES HÍDRICOS VARIÁVEIS .....</b>	<b>32</b>
<b>RESUMO .....</b>	<b>32</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>33</b>
<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>34</b>
<b>MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>35</b>
<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>37</b>
<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>43</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>43</b>
<b>CONCLUSÃO GERAL .....</b>	<b>48</b>

## ÍNDICE DE TABELAS

### Página

#### CAPÍTULO I

**Tabela 1.** Densidade de esporos em solo e taxa de colonização micorrízica nas áreas sob aplicação de três tratamentos de fertilização sob diferentes regimes hídricos..... 40

**Tabela 2.** Gêneros de fungos Micorrízicos Arbusculares identificados em rizosfera de soja nas áreas sob aplicação de três tratamentos de fertilização sob diferentes regimes hídricos..... 41



## ÍNDICE DE FIGURAS

**Página**

### INTRODUÇÃO - JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA

<b>Figura 1.</b> Distribuição dos Biomas Cerrado e Caatinga no território brasileiro. ....	10
<b>Figura 2.</b> Área de Cerrado do Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros, Goiás, Brasil. ....	11

### CAPÍTULO I

<b>Figura 1.</b> Densidade de esporos em solo (A) e taxa de colonização micorrízica (B) em raízes nas áreas sob três tratamentos de fertilização.....	37
<b>Figura 2.</b> Densidade de esporos em solo (A) e taxa de colonização micorrízica (B) em raízes nas áreas sob diferentes regimes hídricos.....	38
<b>Figura 3.</b> Densidade de esporos em solo (A) e taxa de colonização micorrízica (B) nas áreas sob aplicação de três tratamentos de fertilização sob diferentes regimes hídricos.....	39
<b>Figura 4.</b> Análise de componentes principais dos gêneros associados identificados em rizosfera de soja em função dos sistemas de fertilização (A) e dos regimes hídricos (B). .....	42

## LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS, ABREVIACÕES E UNIDADES

Símbolo /Sigla	Significado	Unidade de Medida
%	Porcentagem	100
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística	
km <sup>2</sup>	Quilômetro quadrado	Quilômetro
USP	Universidade de São Paulo	
cm <sup>3</sup>	Centímetro cúbico	
PNAPO	Política Nacional de Agroecologia e Produção Orgânica	
PLANAPO	Plano Nacional de Agroecologia e Produção Orgânica	
NPK	Nitrogênio, Fósforo e Potássio	
FMS	Fino de Mica Xisto	
FMA	Fungos Micorrízicos Arbusculares	

## RESUMO

LEONÍDIO, RAFAEL LUCAS. Instituto Federal Goiano – Campus Ceres – GO, julho de 2022. **Fungos micorrízicos em solo do cerrado cultivado com soja sob déficit hídrico e resíduo agroindustrial.** Orientador: Dr. Marcio Mesquita. Coorientador: Dr. Jadson Belem Moura.

O Cerrado e a Caatinga são tipos de savanas encontradas no Brasil. Esses biomas apresentam características bem definidas, incluindo a baixa disponibilidade de recursos hídricos para as plantas, principalmente nos períodos de seca. O Cerrado, em especial, apresenta grande área em que é possível a prática da agricultura irrigada nesses períodos, e o uso de tecnologias como bioinsumos pode favorecer a resistência das plantas ao estresse hídrico, sendo uma importante alternativa para a produção agrícola mesmo nessas condições. Esses bioinsumos podem ainda aumentar a eficiência das plantas na absorção e utilização da água, mitigando a necessidade de uso desse precioso recurso natural na irrigação. Um dos mais conhecidos e promissores recursos para aumentar a resistência das plantas ao estresse hídrico é a relação simbiótica entre fungos e raízes das plantas, chamada de micorriza. Neste tipo de relação mutualística, as hifas dos fungos micorrízicos funcionam como extensões das raízes, possibilitando maior exploração dos recursos disponíveis no solo como água e outros nutrientes. Em contrapartida, a planta fornece aos fungos os nutrientes de que eles necessitam para sobreviver. Diante disso, o objetivo desse trabalho foi avaliar a influência da irrigação sobre a atividade de fungos micorrízicos do solo adicionada à aplicação de resíduos da indústria mineradora na soja.

PALAVRAS-CHAVE: Cerrado, micorriza, déficit hídrico, mutualismo, irrigação

## ABSTRACT

LEONÍDIO, RAFAEL LUCAS. Goiano Federal Institute, Ceres Campus, Goiás State (GO), Brazil, July 2022. **Mycorrhizal fungi in savanna soil cultivated with soybean under water deficit and agro-industrial residue.** Advisor: Prof. Dr. Mesquita, Marcio. Co-advisor: Prof. Dr. Moura, Jadson Belem.

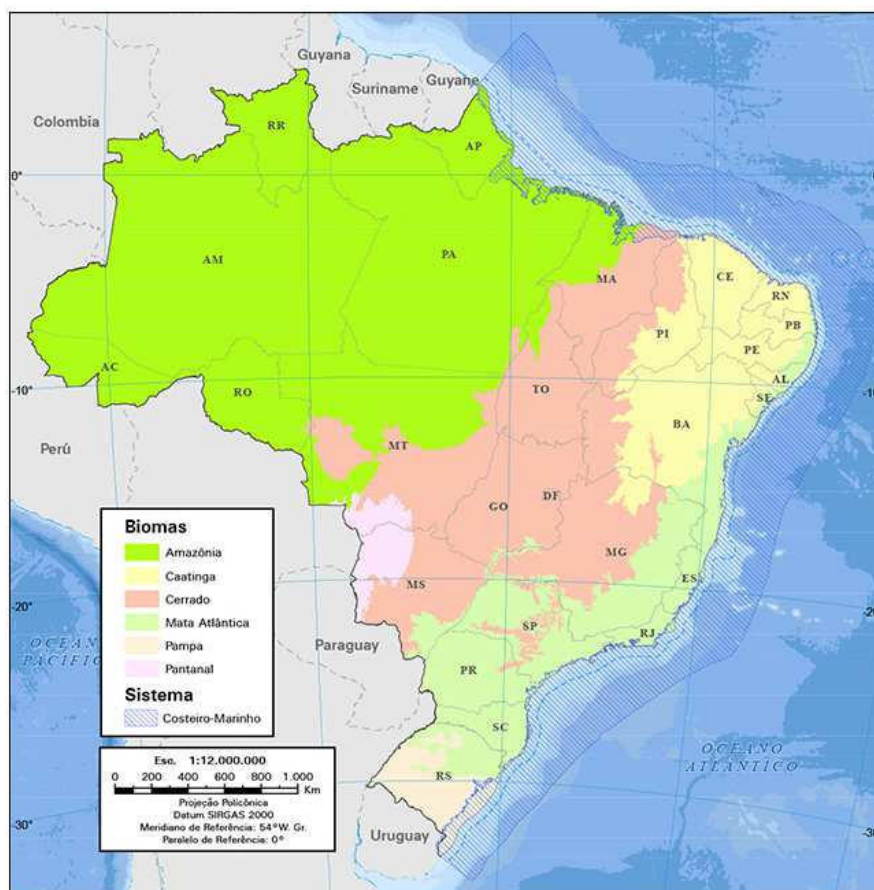
Cerrado and the Caatinga are types of savannas found in Brazil. These biomes have well-defined characteristics, including low water resources availability for plants, especially in drought periods. Cerrado in particular has a large area in which it is possible to practice irrigated agriculture in these periods; the use of technologies such as bioinputs can favor the plant resistance to water stress, being an important alternative for agricultural production even under these conditions. These bioinputs can also increase the plant efficiency in the absorption and use of water, mitigating the need to use this precious natural resource in irrigation. The symbiotic relationship between fungi and plant roots called mycorrhiza is one of the best known and most promising resources to increase the plant endurance to water stress. In this type of mutualistic relationship, the hyphae of mycorrhizal fungi work as root extensions, enabling higher exploitation of available soil resources, such as water and other nutrients. In return, the plant provides the nutrients that the fungi need to survive. Therefore, this paper aimed to evaluate the irrigation influence on the mycorrhizal fungi activity in the soil added to the mining residues application in soybeans.

**KEYWORDS:** Cerrado. Irrigation. Mutualism. Mycorrhiza. Water deficit.

## **INTRODUÇÃO - JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA**

### **1. Cerrado: Savana central brasileira**

Savana é o nome dado a biomas que têm fitofisionomia composta predominantemente por vegetação rasteira e espécies arbóreas pouco adensadas (Veloso et al., 1991). O Cerrado e a Caatinga podem ser considerados tipos de savanas, por terem, em sua grande maioria, fitofisionomias compostas por espécies gramíneas herbáceas, pequenos arbustos e espécies arbóreas espaçadas. Com aspectos que costumam ser interpretados como adaptações a ambientes secos, xeromorfismo, árvores e arbustos têm galhos tortuosos, folhas endurecidas, casca grossa, superfície das folhas muitas vezes brilhante, que podem ser recobertas por tricomas, apresentam folhas coriáceas e produção de flores e brotos em plena estação seca. Esses biomas cobrem 35 % do território brasileiro (Figura 1) (Vieira, 2001; Beuchle et al., 2015).



**Figura 1.** Distribuição dos Biomas Cerrado e Caatinga no território brasileiro (Fonte: IBGE, 2022)

O Cerrado (Figura 2) é o segundo maior bioma brasileiro, estendendo-se por uma área de 2.045.064 km<sup>2</sup>, abrangendo oito estados do Brasil Central: Minas Gerais, Goiás, Tocantins, Bahia, Maranhão, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Piauí e Distrito Federal (Hunke et al., 2015). É cortado por três das maiores bacias hidrográficas da América do Sul, com índices pluviométricos regulares que lhe propiciam grande biodiversidade. Estando atrás apenas da área ocupada pela Amazônia, o Cerrado hoje é considerado a última fronteira agrícola das Américas (Braz et al., 2004; Klink & Machado, 2005).



**Figura 2.** Área de Cerrado do Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros, Goiás, Brasil. Fonte: Arquivo Pessoal (2022)

Em estudo sobre os Cerrados brasileiros, Jardim et al. (2019) reforçam que apesar de os maiores índices pluviométricos ocorrerem durante o verão e os menores durante o inverno; a umidade relativa do ar apresenta uma certa estabilidade, apesar de chegar próxima de 60% nos meses de pouca precipitação. Este valor pode interferir no desenvolvimento das plantas, uma vez que elas podem fechar seus estômatos como uma das estratégias para controle do déficit hídrico.

A classe de solos predominante neste bioma são os Oxisolos, solos profundos de baixa fertilidade natural, ácidos, com intenso intemperismo, ricos em óxidos de ferro e alumínio, e deficientes em fósforo (Santos et al., 2013).

A discussão sobre o aproveitamento da agricultura na região do Cerrado foi amplamente difundida com a realização de trabalhos científicos sobre a disponibilidade de recursos hídricos nessa região. Diversos estudos que apresentaram interpretações diferenciadas sobre a disponibilidade hídrica do Cerrado foram iniciados em 1892 com o trabalho de Eugen Warming, botânico dinamarquês, com dados mais pessimistas, até 1942, com resultados mais animadores em estudos divulgados por pesquisadores da Universidade de São Paulo (USP) (Silva, 2019).

Devido à sua caracterização físico-química, os solos do Cerrado apresentam baixa disponibilidade nutricional para as plantas, motivo pelo qual, essa região apresenta alta demanda por macro e micronutrientes, o que justifica a maior comercialização de fertilizantes minerais do país (ANDA, 2017; Haridasan, 2008).

Em adição a essa preocupante realidade, Neto et al. (2019) afirmam que o uso inadequado de diversas práticas agrícolas tem resultado numa crescente demanda por nutrientes nas mais variadas culturas em solos do Cerrado brasileiro. O Cerrado tem uma das maiores biodiversidades do planeta, estando, por se tratar de um bioma de transição, em contato geográfico direto com outros importantes biomas sul-americanos como Amazônia, Caatinga, Mata Atlântica, Pantanal e Chacos Bolivianos (Taber et al., 1997; Klink & Machado, 2005).

Furquim & Abdala (2019), enfatizam que a adoção de sistemas de irrigação eficientes resulta não somente em melhor custo-benefício ao investidor, mas também possibilita maior disponibilidade para o uso nas cidades e mitigação de prejuízos ao meio ambiente.

Com a ampliação da agricultura no Cerrado, novos fatores surgiram como o risco de contaminação ambiental e a contaminação do solo e dos recursos hídricos (superficiais e subterrâneos) pelo uso de defensivos agrícolas, além do aumento da demanda pelo uso dos recursos hídricos pela irrigação. Adiciona-se a esse fato o aumento da necessidade da exploração da água vinculada ao crescimento das atividades industriais e urbanização, levando a uma maior liberação de rejeitos e a uma maior degradação ambiental (Furquim & Abdala, 2019).

Ainda segundo Furquim & Abdala (2019), uma das bacias situadas na área do cerrado brasileiro, a bacia do Paranaíba, passa pelo contraste entre a demanda de produção de energia pelas usinas hidrelétricas e a previsão de aumento da necessidade de exploração da água para a irrigação, para uso urbano diante do crescimento populacional e para a crescente industrialização. E uma alternativa para o uso racional dos recursos hídricos seria o aperfeiçoamento da aplicação da água e dos métodos e a manutenção da irrigação, além da adoção de técnicas que diminuam a perda de água nos reservatórios, além da seleção racional da viabilidade socioeconômica da produção, visto que se trata de um benefício dependente da água, que é um recurso natural público.



Com a inauguração da capital do País, a atenção voltada ao Cerrado brasileiro tomou proporções nunca alcançadas antes a nível nacional. O tema foi palco de grandes discussões entre preservacionistas e idealizadores desenvolvimentistas. Além disso, o interesse desses grupos específicos, representados pelos pesquisadores, organizações de proteção da natureza, investidores privados, políticos e até mesmo pelos próprios moradores da região, tornou essa disputa entre preservação e expansão agropastoril muito mais intensa a partir da década de 1970, com a tentativa de estabelecer as métricas que direcionariam o futuro do bioma (Silva, 2019).

## **2. Micorrizas no Cerrado**

As micorrizas correspondem a uma associação simbiótica entre fungos e raízes de traqueófitas. Nessa relação do tipo mutualismo, ocorre troca mútua de benefícios, em que a planta fornece nutrientes essenciais para os fungos, e as hifas dos fungos funcionam como expansões do sistema radicular, ampliando a área de exploração, captura e transporte de nutrientes do solo, além do que seria possível apenas pelas raízes. Desse modo, há um favorecimento para o desenvolvimento de plantas em ambientes com baixa disponibilidade de nutrientes e água no solo (Quiñónez et al., 2018)

Os diferentes tipos de micorrizas distinguem-se pelas características anatômicas da associação, pelos fungos e hospedeiros envolvidos e pelo ambiente em que a simbiose ocorre com mais frequência. As micorrizas arbusculares são de ocorrência generalizada em termos de hospedeiro e ambiente e não apresentam especificidade, enquanto as ectomicorrizas são típicas de espécies arbóreas temperadas e de algumas espécies tropicais como espécies das famílias Mirtaceae e Leguminosae (Siqueira et al., 2007).

Por meio das suas hifas, os fungos aumentam a área de absorção radicular total da planta no solo (Meharga & Cairney, 2000; Agarwal & Sah, 2009) potencializando a absorção de nutrientes e água (Silva et al., 2003; Andreatza et al., 2004; Smith & Read, 2008), ciclagem de nutrientes (Cairney, 2012) e aumentando a tolerância das plantas a metais pesados (Grazziotti et al., 2003; Kabata-Pendias, 2010). As raízes ectomicorrizadas apresentam manto fúngico cobrindo a superfície de seus ápices e a

rede de Hartig situada no córtex intercelular, circundando as células epidérmicas e corticais, substituindo a lamela média, possibilita as trocas de nutrientes (Brundrett, 2008; Raven et al., 2007).

Uma série de eventos antecede a esta modificação da morfologia radicular e, para que ela ocorra, a associação com o hospedeiro deve possibilitar a infecção pelo propágulo fúngico (Moreira & Siqueira, 2006; Martin & Nehls, 2009).

Os fungos ectomicorrízicos apresentam especificidade quanto ao hospedeiro (Sousa et al., 2012) sendo a taxa de colonização dependente da interação entre o fungo e a planta (Grazziotti et al., 2003; Brundrett et al., 2005), podendo associar-se ou não, dependendo da espécie vegetal (Voigt et al., 2000; Silva et al., 2003; Moreira & Siqueira, 2006).

De acordo com Berbara et al. (2006), a associação simbiótica dos fungos micorrízicos com as plantas é considerada mutualista nutricional, em que a planta supre o fungo com energia para o crescimento e manutenção via produtos fotossintéticos, enquanto o fungo provê à planta água e nutrientes. Neste sentido, a ampliação da capacidade de absorção de água e nutrientes por parte do organismo autotrófico aumenta sua competitividade interespecífica e sua produtividade. No entanto, *stricto sensu*, micorrizas são associações simbióticas, porém, nem sempre mutualistas.

A dependência micorrízica de uma planta varia com a espécie de fungo inoculado. Além disso, para uma mesma espécie vegetal, a resposta pode variar desde levemente negativa até altamente positiva, dependendo do fungo a ela associado. Deve-se, ainda, considerar que o fungo representa um dreno de fotoassimilado e que, mesmo em se tratando de uma simbiose bem regulada, pode haver um desbalanço fisiológico na relação (Siqueira et al., 2007).

Em virtude de já serem adaptados ao ambiente, é importante priorizar o uso de Fungos Micorrízicos Arbusculares (FMAs) nativos em relação às espécies exóticas. De todo modo, é necessário levar em conta a possibilidade de uma relação simbiótica não efetiva, a depender da espécie de planta selecionada (Rodrigues et al., 2018).

A tolerância ao déficit hídrico pelas plantas apresenta, por natureza, complexidade fisiológica, pois é fortemente influenciada pelas condições do ambiente (Cortés et al., 2013). As respostas ao estresse hídrico, em condições de campo ou de casa de vegetação podem também ser atribuídas a outros estresses, como baixa

fertilidade do solo, luminosidade e temperatura ou compactação do solo, fatores que comprometem o crescimento das plantas (Miklas et al., 2006).

Em estudo com bactérias promotoras de crescimento de plantas, Faria et al. (2021) reforçam que soluções biotecnológicas como o uso de microrganismos adaptados às condições do Cerrado pode ser uma opção interessante, principalmente nas práticas agrícolas.

As savanas centrais americanas são ambientes que naturalmente oferecem condições abióticas adversas para o crescimento e desenvolvimento das plantas. Com baixos níveis de fósforo e regime hídrico limitado, os vegetais dependem diretamente da atuação dos fungos micorrízicos para resistir e sobreviver a tais condições, atribuindo à associação entre fungos e plantas um importante fator de resistência a situações estressantes (Thomazini, 1974; Porcel & Ruiz-Lozano, 2004; Hunke et al., 2015; Moura et al., 2017). Além de atuarem na definição de nichos ecológicos ocupados pelos vegetais, eles determinam a composição das comunidades de plantas (Mello et al., 2012).

Segundo Pirozynski (1981), a associação micorrízica com vegetais superiores teria iniciado sua evolução nas regiões tropicais, havendo, inclusive, espécies encontradas unicamente nestas regiões, embora hoje seja relatada sua presença em diferentes regiões do planeta, independentemente do tipo de clima (Khan, 1993; Vestberg, 1995; Aliasgharzadeh et al., 2001; Muthukumar et al., 2004; Gehring & Connell, 2006; Moura et al., 2017).

Os diversos levantamentos realizados em diferentes tipos de solo de Cerrado mostram que os fungos micorrízicos arbusculares se associam a um grande número de plantas nativas da região, englobando gramíneas, leguminosas e espécies arbóreas, como pequi e buriti (Miranda, 2008).

## **2.1. Fungos Micorrízicos Arbusculares nas savanas centrais americanas**

Em atualização recente, os fungos micorrízicos arbusculares passaram por uma nova classificação. Nessa mudança, passaram de filo *Glomeromycota* para o sub-filo *Glomeromycotina* (Spatafora et al., 2016). Com isso, foram descritos novos grupos

(famílias e gêneros), resultando atualmente em três classes, 16 famílias, 41 gêneros e 300 espécies descritas oficialmente.

A densidade média de espécies de fungos micorrízicos em solos do Cerrado varia, em média, de 25 a 50 esporos por 50cm<sup>3</sup> de solo. Em áreas de Caatinga, ocorre variação do número de propágulos destes fungos, provavelmente em razão das diferenças na comunidade vegetal e da composição química e uso do solo, com faixas contendo elevados teores de fósforo (Mello et al., 2012).

*Mimosa tenuiflora*, planta nativa da flora da Caatinga, é uma importante hospedeira para as comunidades de regiões semi-áridas brasileiras, sendo identificada em seu solo 18 espécies de fungos micorrízicos arbusculares, com presença de esporos dos gêneros *Acaulospora*, *Claroideoglomus*, *Dentiscutata*, *Entrophospora*, *Funneliformis*, *Gigaspora*, *Glomus*, *Racocetra*, *Rhizoglomus* e *Scutellospora*, com alta produção de esporos no período seco (Mello et al., 2012; Souza et al., 2016). Mello et al. (2012), em área de Caatinga, no estado de Pernambuco, identificaram 16 táxons de fungos micorrízicos arbusculares, com predominância do gênero *Glomus* representado por sete espécies. E observaram presença da espécie *Pacispora boliviana*, relatada pela primeira vez no Brasil, táxon de ocorrência apenas na Bolívia.

Goto et al., (2008) identificaram uma nova espécie de fungo em região de Cerrado no Estado de Minas Gerais, sendo denominado de *Ambispora brasiliensis*. Silva et al., (2008) encontraram uma nova espécie no Nordeste do Brasil, descrita como *Scutellospora pernambucana*. Pontes et al., (2017) identificaram um novo fungo, *Acaulospora spinulifera*, em áreas de Cerrado, transição Cerrado/Caatinga, Mata Atlântica, e de cultivo de soja em Cerrado e isolaram uma nova espécie, *Scutellospora alterata*, em região de Caatinga no Nordeste (Pontes et al., 2013).

Das 79 espécies de fungos micorrízicos arbusculares encontrados nos biomas brasileiros, 67% foram identificadas em solos da região de Cerrado (Moreira et al., 2006; Moura, 2015). Essas espécies estão intimamente ligadas às condições edáficas da região.

## **2.2. Fungos Ectomicorrízicos nas savanas centrais americanas**

Este tipo de associação simbiótica em savanas tropicais é pouco relatado na literatura, exceção feita a algumas florestas tropicais no sudeste asiático, onde predominam plantas da família Dipterocarpaceae que formam associação com um grande número de espécies de fungos (Oliveira & Giachini, 1999), e a algumas espécies leguminosas encontradas nas savanas africanas (Moreira & Siqueira, 2006).

No Brasil, há relatos da associação ectomicorrízica na Floresta Amazônica (Singer & Araujo, 1979), na Mata Atlântica (Ferreira et al., 2013) e em florestas cultivadas com eucalipto na região sul do país (Bertolazi et al., 2010).

Thomazini (1974) foi pioneira no levantamento de espécies de fungos ectomicorrízicos na região do Cerrado, onde verificou associações com ata brava (*Duquetia furfuraceae*), carobinha (*Jacaranda decurrens*), guabiroba-do-cerrado (*Campomanesia coerulea*), sene-do-campo (*Cassia cathartica*) e pata-de-vaca-do-cerrado (*Bauhinia holophylla*) (Thomazini, 1974; Casagrande, 1985, 1986, 1987).

Presença de uma espécie hipógea de fungo, *Scleroderma polyrhizum*, foi encontrada associada à rizosfera do pequi (*Caryocar brasiliense*) (Baseia & Milanez, 2000). Fungos subterrâneos são mais difíceis de serem localizados e posteriormente identificados e classificados, e o relato da existência desta classe associada a plantas de cerrado abre um novo horizonte para investigações e estudos.

Na região da caatinga, pela baixa densidade de espécies arbóreas, não há relatos de fungos que formem associações ectomicorrízicas com plantas. Baseia & Galvão, (2002) procuraram associações ectomicorrízicas entre fungos do filo Basidiomycota encontrados em rizosfera de plantas da caatinga, mas não relataram presença de associações simbióticas.

### **3. Agroecossistemas em Savanas Centrais Americanas e Micorrizas**

#### **3.1. Fungos Micorrízicos Arbusculares em Agroecossistemas nas Savanas Centrais Americanas**

Os diferentes sistemas de uso do solo influenciam diretamente na comunidade micorrízica encontradas na rizosfera. De modo geral, esta comunidade é mais alta em agroecossistemas cultivados em sistemas conservacionistas do que em solos em

situação de pousio, cultivo com uso intensivo de produtos fitossanitários, fungicidas sistêmicos, ou culturas de baixa ou nenhuma dependência de associações simbióticas com fungos micorrízicos (Miranda, 2008).

A maior abundância de micorrizas arbusculares ocorre em sistemas tropicais, e os maiores índices de colonização foram verificados em plantas de savanas tropicais (Treseder & Cross, 2006)

De modo geral, a comunidade de fungos micorrízicos arbusculares é alta em sistemas cultivados, principalmente aqueles que adotam sistemas conservacionistas, como o plantio direto, e uso reduzido de agroquímicos (Miranda & Miranda, 2011). Ferreira et al.(2013), trabalhando com diferentes manejos e usos do solo no cerrado observaram menor densidade de esporos e colonização micorrízica de FMA em sistema de plantio direto e área desmatada, do que em mata ciliar, borda da mata e pastagem, com predominância das famílias Acaulosporaceae, Glomeraceae e Gigasporaceae.

Pontes et al. (2017), observaram manutenção de alta quantidade e diversidade de espécies de fungos micorrízicos arbusculares em sistema de plantio de feijão caupi (*Vigna unguiculata*) com uso de adubos orgânicos, destacando a importância de uma espécie micotrófica em sistemas de produção agrícola.

O manejo adequado do solo e das plantas é fundamental para beneficiar a comunidade micorrízica e a associação simbiótica, principalmente em áreas onde a comunidade é quantitativa e qualitativamente baixa. A cultura utilizada, embora não haja grande especificidade entre hospedeiro e fungo, é fator de maior influência na ocorrência e abundância dos fungos micorrízicos no solo (Bever et al., 1996).

Na região do cerrado, onde o clima é bem definido por duas estações anuais, seca e chuvosa, pode-se observar que a abundância de esporos no solo nativo é baixa e inferior àquela no solo cultivado, de modo geral, sendo observado acréscimo gradativo do número de esporos com o aumento da umidade no solo no início do período chuvoso, seguido por um decréscimo, nas camadas superiores, no período seco (Howeler et al., 1987).

Outra prática de manejo comum nas áreas cultivadas de cerrado é a correção da acidez com aplicação de calcário. Esta técnica influencia positivamente a comunidade micorrízica no solo. Miranda & Miranda (2011), verificaram aumento gradativo da quantidade de esporos em uma área que sofreu correção de acidez, mas superdosagens

de calcário provocaram decréscimo na densidade de esporos. Além da acidez, a aplicação de fósforo, nutriente escasso em grande parte dos solos de cerrado, influencia positivamente a população micorrízica (Miranda, 2008).

Os sistemas de plantio mais adotados na região são o sistema convencional, que faz uso de revolvimento do solo, e o sistema de plantio direto, que não permite o revolvimento e visa a uma cobertura vegetal constante. Oehl et al., (2004) verificaram que ambos os sistemas apresentam valores semelhantes na densidade de esporos e na comunidade micorrízica. Moura, (2015) encontrou resultados semelhantes comparando sistemas convencionais e conservacionistas em trigo, cana-de-açúcar, feijão-bravo-do-ceará, milho, mucuna, crotalária e braquiária.

### **3.2. Utilização de Ectomicorrizas em Agroecossistemas sob solo de Cerrado**

Fungos ectomicorrizicos, ao contrário dos FMA, são caracterizados por sua alta especificidade de fungo-hospedeiro, tendo predileção por espécies arbóreas. Gêneros como *Eucalyptus*, amplamente cultivados na região do cerrado, são capazes de formar associações simbióticas com fungos ectomicorrizicos (Miranda, 1986).

Giachini et al (2000) encontraram em solos cultivados da região sul do país fungos dos gêneros *Chondrogaster*, *Descomyces*, *Hysterangium*, *Pisolithus* e *Setchelliogaster* associados a *Eucalyptus spp.* e dos gêneros *Amanita*, *Rhizopogon*, *Lactarius* e *Suillus* associados a *Pinus elliottii* cultivado. Na região da floresta amazônica, Singer & Araujo (1979) verificaram associações simbióticas em áreas de floresta com densa camada liteira. Pagano e Scotti (2008) verificaram que o cultivo de *Eucalyptus camaldulensis* tem variação na colonização micorrízica, com predominância de *Glomus*, e *Eucalyptus grandis* tem predominância de colonização ectomicorrízica, com menor densidade de esporos, demonstrando diferença da dependência micorrízica entre as espécies.

Na região sul da Bahia, sob solo de cerrado, foram verificados resultados positivos na promoção do estabelecimento de mudas de *Pinus caribaea* inoculadas por *Thelephora terrestris* e *Pisolithus tinctorius* (Tomazello Filho & Krugner, 1980).

#### 4. Soja no Cerrado

Utilizada principalmente para a produção de proteína animal, alimentação humana e na produção de biocombustíveis, a soja (*Glycine max* (L.) Merrill) tem mostrado grande importância no contexto mundial e nacional, como o principal produto da exportação do Brasil. Sua produção quadruplicou nos últimos 40 anos, e as projeções são de que esse aumento atinja valor recorde de 150,36 milhões de toneladas na safra 2022/23 (CONAB, 2022).

Em ambientes que podem apresentar baixa disponibilidade hídrica para a agricultura da soja, como o Cerrado, o uso de soluções que auxiliem no manejo fisiológico dessas plantas é essencial para mitigar os efeitos negativos do déficit hídrico. Em especial, para a soja, o estresse causado pelo déficit hídrico atua como o principal fator responsável pela redução na produção e na qualidade do grão (Cavalcante et al., 2020).

O aumento da área irrigada no Cerrado pode resultar no crescimento de problemas vinculados à disputa pelo uso da água, caso não ocorra de maneira bem planejada. As estratégias adotadas devem então levar em consideração a eficiência e a produtividade do uso da água, priorizando o ajuste correto do seu manejo (Montoya et al., 2017; Gajić et al., 2018; Jha et al., 2018).

Há exatamente duas décadas, Miranda & Miranda (2002) já destacavam a importância da adoção de recursos que viabilizassem e auxiliassem a produção de soja no Cerrado. Entre esses recursos, são citados o uso de fertilizantes (principalmente fosfatados), seleção de espécies e cultivares com alta produtividade e o manejo de culturas e insumos que se relacionem positivamente com os processos biológicos, como as micorrizas. E destacam que até 80% do crescimento da soja pode depender dessa associação mutualística entre plantas e fungos.

Muitos estudos evidenciam a importância da presença dos Fungos Micorrízicos Arbusculares (FMA) na agricultura, principalmente em situações de déficit hídrico. Em análise de alguns desses trabalhos, Oliveira et al. (2019) notaram que a inoculação de FMA em soja induziu o aumento de produtividade em condição de sistema não irrigado, chegando a ser maior do que em sistema irrigado.

A redução dos efeitos de estresses como o déficit hídrico e o aumento no crescimento e da produção das plantas colonizadas por micorrizas, são alguns dos



resultados obtidos pela penetração das hifas do fungo nas raízes, formando uma espécie de extensão dessas estruturas (Mathur et al. 2018).

## **5. Mineração e pó de rocha na agricultura**

Em estudo sobre a indústria extrativa, Nahas et al. (2019) afirmam que mesmo com os efeitos ambíguos da mineração sobre a produção local em virtude de particularidades que a envolvem, a mineração continua sendo uma atividade indispensável para o ser humano.

A Política Nacional dos Resíduos Sólidos define resíduos industriais como aqueles gerados nos processos produtivos e nas instalações industriais. Além disso, evidencia diversos tópicos a respeito desse tema e reforça que os resíduos são de responsabilidade do gerador e deve ser devidamente tratado e descartado corretamente (Shinomiya et al., 2019).

Segundo Oliveira et al. (2020), a Política Nacional dos Resíduos Sólidos enfatiza ainda a não geração, redução, reutilização, reciclagem e o tratamento de resíduos sólidos, além de seu descarte adequado. Os autores ressaltam ainda a necessidade de priorizar a redução da produção de resíduos visando a prevenir a poluição, e quando essa produção for indispensável, os benefícios serão maiores com sua transformação em subprodutos que possam ser aproveitados pela indústria e meio ambiente.

A agricultura sustentável tem crescido com força no Brasil e no mundo ultimamente e, vinculada a isso, está a necessidade de produção de insumos ambientalmente viáveis, a longo do tempo, uma demanda indispensável (Vidal et al., 2021). Segundo Oberč & Schnell (2020), para que isso ocorra, são necessárias uma visão ampla dos problemas e algumas práticas como a rotação de culturas, o plantio direto, a redução do uso de pesticidas e fertilizantes artificiais, entre outras. Essas práticas são indispensáveis.

A Política Nacional de Agroecologia e Produção Orgânica (PNAPO) e o Plano Nacional de Agroecologia e Produção Orgânica (PLANAPO) confirmam essa necessidade ao abranger instruções sobre as mudanças dos modelos de agricultura tradicionais para modelos agroecológicos, que têm como princípios o uso sustentável

dos recursos naturais e a produção de alimentos saudáveis, visando, assim, ao desenvolvimento sustentável e a melhorias nas condições de vida das pessoas. Para isso, é indispensável que os diversos setores da produção agrícola trabalhem juntos, visando ao melhor para todos. Além disso, a adoção de técnicas que resultem em melhorias para a população e preservação do meio ambiente pode atrair a atenção de outros países para o Brasil, já conhecido pela sua enorme biodiversidade e necessidade de preservá-la (Vidal et al., 2021).

Diante disso, em todos os sistemas de produção, há disponibilidade de bioinsumos, sejam eles macro-organismos como predadores e polinizadores, microrganismos como vírus, bactérias e fungos, produtos naturais que podem interagir com os microrganismos do solo, semioquímicos (feromônios), pós de rochas (remineralizadores) etc. (Vidal et al., 2021).

O pó de rocha pode ser usado como recurso eficiente na melhoria das condições de solos sob estresse hídrico, promovendo melhorias na capacidade de retenção da umidade por meio de minerais como zeólitos e esmectita em razão da grande área de superfície desses minerais, o que fornece elementos que favorecem a sobrevivência da planta sob baixa disponibilidade de água. (Pratt et al., 2020). Novák & Hlaváčiková (2019), complementam que o teor de argila é fundamental para a capacidade de retenção de água no solo, uma vez que a argila é responsável pela contração e expansão em solos com baixa disponibilidade hídrica.

## 6. Referências bibliográficas

- Aliasgharzadeh, N., Rastin S. N., Towfighi, H., Alizadeh, A. Occurrence of arbuscular mycorrhizal fungi in saline soils of the Tabriz Plain of Iran in relation to some physical and chemical properties of soil. *Mycorrhiza*, v.11, p.119–122, 2001.
- Agarwal, P., Sah, P. Ecological Importance of Ectomycorrhizae in World Forest Ecosystems. *Nature and Science*, New York, v.7, p. 107-116, 2009.
- Andreazza, R., Antonioli, Z. I., Silva, R. F., Longhi, S. J. Espécies de Pisolitus sp. na produção de mudas de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden em solo arenoso. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 14, n. 2, p. 51-59, 2004.
- Baseia, I. G., Galvão, T. C. de O. Some interesting Gasteromycetes (Basidiomycota) in dry areas from northeastern Brazil. *Acta Bot Brasilica*. Sociedade Botânica do Brasil, v.16, p.01-08, 2002.
- Baseia, I. G., Milanez, A. I. *First record of Scleroderma polyrhizum Pers. (Gasteromycetes) from Brazil*. *Acta Bot Brasilica*. Sociedade Botânica do Brasil, v.14, p.181–184, 2000.
- Berbara, R. L. L.; Souza, F. A.; Fonseca, H. M. A. C. Fungos micorrízicos arbusculares, muito além da nutrição. In: Fernandes, M. S. *Nutrição mineral de plantas*. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p. 53-88.
- Bertolazi, A. A., Canton, G. C., Azevedo, I. G. A., Cruz, Z. M. A., Soares, D. N. E. S., Conceição, J. M., Santos, W. O., Ramos, A. C. O papel das ectomicorrizas na biorremediação dos metais pesados no solo. *Nat Line*. 2010;8. ANDA. Associação Nacional para Difusão de Adubos. (2017). Principais indicadores do setor de fertilizantes. Disponível em: <<http://anda.org.br/index.php?mpg=03.00.00&ver=por>>. Acessado em: 29 jun. 2022.
- Beuchle, R., Grecchi, R. C., Shimabukuro, Y. E., Seliger, R., Eva, H. D., Sano, E., Achard, F. *Land cover changes in the Brazilian Cerrado and Caatinga biomes from 1990 to 2010 based on a systematic remote sensing sampling approach*. *Appl Geogr. Pergamon*, v.58, p.116–127, 2015.
- Bever, J. D., Morton, J. B., Antonovics, J., Schultz, P. A. Host-Dependent Sporulation and Species Diversity of Arbuscular Mycorrhizal Fungi in a Mown Grassland  
Author (s): James D . Bever , Joseph B . Morton , Janis Antonovics, Peggy A . Schultz  
Published by: British Ecological Society  
Stable URL : <http://www. Br Ecol Soc. v.84, p.71–82, 1996>.
- Braz, S. P., Urquiaga, S., Alves, B.J. R., Boddey, R.M. Degradação de Pastagens, Matéria Orgânica do Solo e a Recuperação do Potencial Produtivo em Sistemas de Baixo “Input” Tecnológico na Região dos Cerrados [Internet]. Seropédica, RJ; 2004.

- Brundrett, M., Malajczuk, N., Mingqin, G., Xu, D. P., Snelling, S., Dell, B. Nursery inoculation of Eucalyptus seedlings in Western Australia and Southern China using spores and mycelial inoculum of diverse ectomycorrhizal fungi from different climatic regions. *Forest Ecology and Management*, Victoria, v. 209, p. 193-205, 2005.
- Brundrett, M. C. Mycorrhizal Associations: the web resource. 2008. Disponível em: <mycorrhizas.info>. Acesso em: 20 maio 2022.
- Cairney, J. W. G. Extramatrical mycelia of ectomycorrhizal fungi as moderators of carbon dynamics in forest soil. *Soil Biology and Biochemistry*, Oxford, v. 47, p. 198-208, 2012.
- Casagrande, L. I. T. Micorriza em plantas de cerrado: Duquetia furfuraceae (ST.HIL.) & HOOK. *Brazilian Journal of Agriculture – Revista de Agricultura*, v.60, 1985.
- Casagrande, L. I. T. Um caso de micorriza Ectendotrófica em planta de Cerrado. *Brazilian Journal of Agriculture – Revista de Agricultura*, v. 61, 1986.
- Casagrande, L. I. T. Ectomicorrizas e endomicorrizas em Jacaranda decurrens Cham. *Brazilian Journal of Agriculture – Revista de Agricultura*, v.62, 1987.
- 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 de soja. *Irriga. Inovagri. Notas Técnicas*, Botucatu, v. 25, n. 4, p. 754-763, outubro-dezembro, 2020.
- CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. <https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/4731-safra-2022-23-producao-de-graos-pode-chegar-a-308-milhoes-de-toneladas-impulsionada-pela-boa-rentabilidade-de-milho-soja-e-algodao> Acesso em: 03 out.2022.
- Cortés, A. J., Monserrate, F. A., Ramírez-villegas, J., Madriñán, S., Blair, M. W. Drought tolerance in wild plant populations: the case of common beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *PLoS one*, v. 8, n. 5, e32898, 2013.
- Ferreira, A. J., Wartchow, F., Cortez, V. G. Limacella Ochraceolutea (Agaricomycetes) in the atlantic forest of southern Brazil. *F Mycol. Elsevier Srl*, v.14, p.64–67, 2013.
- Furquim, M. G. D., Abdala, K de O. Gestão da água sob sistema de irrigação tipo pivot central: uma análise exploratória do setor no estado de Goiás. *Rev. Gest. Ambient. Sustentabilidade - GeAS*, v.8, n.2, p. 260-283, 2019. <https://doi.org/10.5585/geas.v8i2.1106>
- Gajić, B., Kresovic, B., Tapanarova, A., Životić, L., Todorović, M. Efeitos do regime de irrigação na produtividade, índice de colheita e produtividade hídrica da soja cultivada sob diferentes condições de precipitação em ambiente temperado. *Gestão da Água Agrícola*, v.210, p.224-231, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.08.002>

- Gehring, C. A., Connell, J. H. Arbuscular mycorrhizal fungi in the tree seedlings of two Australian rain forests: occurrence, colonization, and relationships with plant performance. *Mycorrhiza*, v.16, p.89–98, 2006.
- Giachini, A. J., Oliveira, V. L., Castellano, M. A., Trappe, J. M. Ectomycorrhizal Fungi in Eucalyptus and Pinus Plantations in Southern Brazil. *Mycologia*, v.92, p.1166–1177, 2000.
- Goto, B. T., Moreira, M., Tsai, S.M., Cardoso, E. J. B. N., Maia, L. C. Notas sobre *Acaulospora bireticulata* Rothwell & Trappe e primeiro registro de *Acaulospora koskei* Blask. para o Brasil. *Acta Bot Brasilica*, Sociedade Botânica do Brasil, v.22, p.583–587, 2008.
- Grazziotti, P. H.; Siqueira, J. O.; Moreira, F. M. S. Espécies arbóreas e ectomicorrizas em relação ao excesso e metais pesados. In: Curi, R. F. et al. *Tópicos em Ciência do Solo*. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v. 3, p. 55-105, 2003.
- Haridasan, M. Nutritional adaptations of native plants of the Cerrado biome in acid soils. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, v.20, n.3, p.183-195, 2008. <https://dx.doi.org/10.1590/S1677-04202008000300003>
- Howeler, R. H., Sieverding, E., Saif, S. Practical aspects of mycorrhizal technology in some tropical crops and pastures. *Plant Soil Interfaces Interact.* Dordrecht: Springer Netherlands; 1987. p. 249–283.
- Hunke, P., Mueller, E. N., Schröder, B., Zeilhofer, P. The Brazilian Cerrado: assessment of water and soil degradation in catchments under intensive agricultural use. *Ecohydrology*, v.8, p.1154–1180, 2015.
- Jardim, C. C. S., Oliveira, A. C., Motomiya, A. V. A., Santos, R. O., Silva, V. L. Avaliação da variação espectral do cerrado por sensor remoto passivo, Viçosa, MG, DEA/UFV, v.27, n.6, p.542-555, 2019 - DOI: 10.13083/reveng.v27i6.947
- Jha, P. K., Kumar, S. N., Inês, A. V. M. Respostas da soja à água estresse e irrigação suplementar na planície Indo-Gangética superior: experimento de campo e abordagem de modelagem. *Field Crops Research*, v.219, p.76-86, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2018.01.029>
- Kabata-Pendia, S. A. Trace Elements in Soils and Plants. 4th ed. Boca Raton: CRC Press; Taylor & Francis Group, 2010. 548 p.
- Khan, A. G. Occurrence and importance of mycorrhizae in aquatic trees of New South Wales, Australia. *Mycorrhiza*, v.3, p.31–38, 1993.
- Klink, C. A., Machado, R. B. A conservação do Cerrado brasileiro. *Megadiversidade*, v.1, p.147–155, 2005.
- Martin, F., Nehls, U. Harnessing ectomycorrhizal genomics for ecological insights. *Current Opinion in Plant Biology*, London, v. 12, p. 508-515, 2009.

- Mathur, S., Sharma, M. P., Jajoo, A. Improved photosynthetic efficacy of maize (*Zea mays*) plants with Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) under high temperature stress. *Journal of Photochemistry and Photobiology*, v.180, p.149–154, 2018.
- Meharga, A. A., Cairney, J. W. G. Ectomycorrhizas - extending the capabilities of rhizosphere remediation? *Soil Biology and Biochemistry*, Oxford, v. 32, p. 1475-1484, 2000.
- Mello, C. M. A. de, Silva, I. R. da, Pontes, J. S. de, Goto, B. T., Silva, G. A. da, Maia, L. C. Diversidade de fungos micorrízicos arbusculares em área de Caatinga, PE, Brasil. *Acta Bot Brasilica*, v.26, p.938–943, 2012.
- Miklas, P. N., Kelly, J. D., Beebe, S. E., Blair, M. W. Common bean breeding for resistance against biotic and abiotic stresses: from classical to MAS breeding. *Euphytica*, v. 147, n. 1/2, p. 105-131, 2006.
- Miranda, J. C. C. de. Cerrado: Micorriza Arbuscular, Ocorrência e Manejo. 1.ed. Brasília, DF, Embrapa; 2008.
- Miranda, J. C. C. de. Utilização das Micorrizas na Agricultura. Brasília; 1986.
- Miranda, J. C. C. de, Miranda, L. N. de. Contribuição da micorriza arbuscular para a produtividade e sustentabilidade nos sistemas de produção com plantio direto e convencional no Cerrado. [Internet]. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2007.
- Miranda, J. C. C. de, Miranda, L. N. de. Importância da Micorriza Arbuscular para o Cultivo da Soja na Região do Cerrado. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2002. 5 p. (EMBRAPA CPAC. Comunicado Técnico, 75).
- Montoya, F., Garcia, C., Pintos, F., Otero, A. Efeitos do regime de irrigação sobre o crescimento e a produtividade da soja irrigada em condições de clima temperado úmido. *Gestão Agrícola da Água*, v.193, p. 30-45, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2017.08.001>
- Moreira, F. M. S., Siqueira, J. O., Brussaard, L. Soil biodiversity in Amazonian and other Brazilian ecosystems [Internet]. CABI Pub; 2006.
- Moreira, F. M. S., Siqueira, J. O. Micorrizas. In: Moreira, F. M. S., Siqueira, J. O. (Orgs.). *Microbiol e Bioquim do Solo*. 2.ed. 2006. 729p.
- Moreira, F. M. S., Siqueira J. O. Microbiologia e bioquímica do solo. Lavras: Editora UFLA, 2006. 729 p.
- Moura, J. B. de. Diversidade e colonização micorrízica em diferentes usos do solo no Cerrado. UNB; 2015.
- Moura, J. B. de, Valentim, N. M., Ventura, M. V. A., Junior, W. G. V. Taxa De Colonização Micorrízica Sob Diferentes Sistemas De Cultivo No Cerrado Em Cana-De-Açúcar. *Faculdade de Tecnologia e Ciências*, v.2, p.60–66, 2017.
- Nahas, M. M., Simões, R. F., Golgher, A. B., Ribeiro, L. C. S. Especialização e diversificação produtiva: um modelo de painel espacial para a indústria extrativa

- mineral em Minas Gerais, 2000-2010. *Nova Economia [online]*, v. 29, n.1, 2019. [Acessado 6 Junho 2022], pp. 7-40. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/0103-6351/3244>>. Epub 10 Jun 2019. ISSN 1980-5381. <https://doi.org/10.1590/0103-6351/3244>.
- Muthukumar, T., Udaiyan, K., Shanmughavel, P. Mycorrhiza in sedges - an overview. *Mycorrhiza*, v.14, p.65–77, 2004.
- Neto, D. P. M. T., Faria, A. J. G. de., Ribeiro, E. A., Ribeiro, F. S., Leite, R. C., Silva, R. R. Óxidos e oxi-sulfatos como fontes de micronutrientes na construção da fertilidade de solo de cerrado, *Journal of Bioenergy and Food Science*, v.6, n.4, p.109-118, 2019. doi: 10.18067/jbfs.v6i4.260
- Novák, V.; Hlaváčiková, H. Swelling and shrinking soils. In: Novák, V.; Hlaváčiková, H. Applied soil hidrology. Cham: *Springer*, 2019. p.253-262. (Theory and applications of transport in porous media, v.32). DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-01806-1\\_16](https://doi.org/10.1007/978-3-030-01806-1_16)
- Oberc, B. P., Schnell, A. A. Approaches to sustainable agriculture: Exploring the pathways towards the future of farming. Brussels, Belgium: IUCN Euro, 2020.
- Oehl, F., Sieverding, E., Mäder, P., Dubois, D., Ineichen, K., Boller, T., Wiemken, A. Impact of long-term conventional and organic farming on the diversity of arbuscular mycorrhizal fungi. *Oecologia*. v.138, p.574–583, 2004.
- Oliveira, F. R., Silveira, C. S., Assis, P.S. Caracterização da lama de alto-forno visando o aproveitamento agrícola. *Rev. Agro. Amb.*, v. 13, n. 2, p. 707 – 720, abr./jun. 2020 – e-ISSN 2176-9168
- Oliveira, T. C., Uehara, H. M., Silva, L. D., Tavares, G. G., Santana, L. R., Cabral, J. S. R., Souchie, E. L., Mendes, G. C. Produtividade da soja em associação ao fungo micorrízico arbuscular *Rhizophagus clarus* cultivada em condições de campo. *Revista de Ciências Agroveterinárias*, UDESC, 18(4): 2019.
- Oliveira, V. L., Giachini, A. J. Ecologia e Aplicação de Ectomicorrizas. In: Siqueira, O. J., Moreira, F. M. S., Lopes, A. S., Guilherme, L. R. G., Faquim, V., Furtini Neto, A. E., Carvalho, J. G. (Org.) *Inter-relação Fertil Biol do Solo e Nutr Plantas*. Lavras: UFLA; 1999. p. 818.
- Pagano, M. C., Scotti, M. R. Arbuscular and ectomycorrhizal colonization of two *Eucalyptus* species in semiarid Brazil, *Mycoscience*, v.49, Issue 6, p.379-384, 2008.
- Pirozynski, K. A. Interactions between fungi and plants through the ages. *Can J Bot.* v.59, p.1824–1827, 1981.
- Pontes, J. S. de, Sánchez-Castro, I., Palenzuela, J., Maia, L. C., Silva, G. A. da, Oehl, F. *Scutellospora alterata*, a new gigasporalean species from the semi-arid Caatinga biome in Northeastern Brazil. *Mycotaxon*, v.125, p.169–181, 2013.
- Pontes, J. S. de, Santos, V. M., Pereira, C.D., Alves da Silva, G., Maia, L. C., Oehl, F. *Acaulospora spinulifera*, a new arbuscular mycorrhizal fungal species from the

- Brazilian Cerrado and Atlantic Rain forest. *Nov Hedwigia*, v.105, p.219–229, 2017.
- Porcel, R., Ruiz-Lozano, J. M. Arbuscular mycorrhizal influence on leaf water potential, solute accumulation, and oxidative stress in soybean plants subjected to drought stress. *J Exp Bot.*, v.55, p.1743–1750, 2004.
- Pratt, C.; Kingston, K.; Laycock, B.; Levett, I.; Pratt, S. Geoagriculture: reviewing opportunities through which the geosphere can help address emerging crop production challenges. *Agronomy*, v.10, art.971, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy10070971>.
- Raven, P. H.; Evert, R. F.; Eichhorn, S. E. *Biologia Vegetal*. Rio de Janeiro: Guanabara, Koogan, 2007. 906 p.
- Rodrigues, L. A., Barroso, D. G., Figueiredo, F. A. M. M. de A. Fungos micorrízicos arbusculares no crescimento e na nutrição mineral de mudas de *Tectona grandis* L. F. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 28, n. 1, p. 25-34, jan.- mar. 2018 ISSN 1980-5098 DOI: <http://dx.doi.org/10.5902/1980509831572>
- Shinomiya, L. D., Junca, E., Grillo, F. F., Gomes, J. O., Alves, J. O. Análise de cenários para implantação de uma usina de reciclagem de resíduos da construção civil na região amazônica. *Tecnol. Metal. Mater. Miner.*, São Paulo, v. 16, n. 3, p. 370-377, jul./set. 2019
- Silva, M. S. A face infértil do Brasil: ciência, recursos hídricos e o debate sobre (in) fertilidade dos solos do cerrado brasileiro, 1892-1942. Análise – História, Ciências, Saúde-Manguinhos, v.26, n.2, p.483-500, 2019. <http://dx.doi.org/10.1590/S0104-59702019000200007>
- Quiñónez Martínez, M., Enríquez Anchondo, I. D., Flores Margez, J. P., Palacios Ramírez, K. Y., Olivas Sánchez, M. P., Garza Ocañas, F., Lebgue Keleng, T., Nájera Medellín, J. A. Comunidades vegetales en suelo de ecosistema semiárido y su relación con hongos micorrízicos. *Terra Latinoamericana*, v.36, p.381-391. 2018. DOI: <https://doi.org/10.28940/terra.v36i4.401>
- Santos, H. G. dos, Jacomine, P. K. T., Anjos, L. H. C. dos, Oliveira, V. Á; de, Lumberras, J. F., Coelho, M. R., Almeida, J. A. de, Cunha, T. J. *Sistema brasileiro de classificação de solos* [Internet]. 3ª ed. Sist. Bras. Classif. solos. Brasília: Embrapa; 2013.
- Silva, D. K. A. da, Freitas, N. de O., Cuenca, G., Maia, L.C., Oehl, F. *Scutellospora pernambucana*, a new fungal species in the Glomeromycetes with a diagnostic germination orb. *Mycotaxon*, v.106, p.361–370, 2008.
- Silva, R. F., Antonioli, Z. I., Andreazza, R. Efeito da inoculação com fungos ectomicorrízicos na produção de mudas de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden em solo arenoso. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 13, p. 33-42, 2003.
- Singer, R., Araujo, I. de J. da S. Litter decomposition and Ectomycorrhiza in Amazonian forests. *Acta Amaz.*, v.9, p.25–42, 1979.



- Siqueira, J. O., Soares, C. R. F. S., Santos, J. G. D., Schneider, J., Carneiro, M. A. C. Micorrizas e degradação do solo: caracterização, efeitos e ação recuperadora. In: Ceretta, C. A.; Silva, L. S.; Reichert, J. M. *Tópicos em Ciência do Solo*. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 219-306.
- Siqueira, J. O., Soares, C. R. F. S., Santos, J. G., Schneider, J., Carneiro, M. A. C. Micorrizas e degradação do solo: caracterização, efeitos e ação recuperadora. In: Ceretta, C. A.; Silva, L. S.; Reichert, J. M. *Tópicos em ciência do solo*. Viçosa: SBCS, 2007. p. 219-306.
- Smith, S. E., Read, D. Mycorrhizal symbiosis. 3th ed. London: Elsevier, 2008. 800 p.
- Sousa, N. R., Franco, A. R., Oliveira, R. S., Castro, P. M. L. Ectomycorrhizal fungi as an alternative to the use of chemical fertilisers in nursery production of *Pinus pinaster*. *Journal of Environmental Management*, London, v. 95, p. 269-274, 2012. doi: 10.1016/j.jenvman.2010.07.016.
- Souza, B. R., Moura, J. B., Oliveira, T. C., Ramos, M. L. G., Lopes Filho, L. C. Arbuscular Mycorrhizal fungi as indicative of soil quality in conservation systems in the region of vale do São Patrício, Goiás. *Int J Curr Res. In.*, v.8. p.43307–43311, 2016.
- Spatofora, J. W., Chang, Y., Benny, G. L., Lazarus, K., Smith, M. E., Berbee, M. L., Bonito, G., Corradi, N., Grigoriev, I., Gryganskyi, A., James, T. Y., O'Donnell, K., Roberson, R. W., Taylor, T. N., Uehling, J., Vilgalys, R., White, M. M., Stajich, J. E. A phylum-level phylogenetic classification of zygomycete fungi based on genome-scale data. *Mycologia*, v.108, p.1028–1046, 2016.
- Taber, A., Navarro, G., Arribas, M. A. A new park in the Bolivian Gran Chaco – an advance in tropical dry forest conservation and community-based management. *Oryx*, v.31, p.189, 1997.
- Thomazini, L. I. Mycorrhiza in plants of the 'Cerrado'. *Plant Soil*. Martinus Nijhoff, The Hague/Kluwer Academic Publishers, v.41, p.707–711, 1974.
- Tomazello Filho M, Krugner, T. L. Formação de Ectomicorrizas e Crescimento de Mudas de *Pinus Caribaea* Var. *Bahamensis* em Solo de Viveiro Infestado Artificialmente com *Thelephora Terrestris* e *Pisolithus Tinctorius* no Litoral Sul da Bahia. *IEPF*, v.21, p.21–37, 1980.
- Treseder, K. K., Cross, A. Global Distributions of Arbuscular Mycorrhizal Fungi. Ecosystems. *Springer-Verlag*, v.9, p.305–316, 2006.
- Veloso, H. P., Rangel Filho, A. L. R., Lima, J. C. A. Classificação da Vegetação Brasileira Adaptada a um Sistema Universal. CDDI, Organizador. Rio Janeiro, IBGE, Dep. Recur. Nat. e Estud. Ambient. Rio de Janeiro: Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 1991.
- Vestberg, M. Occurrence of some Glomales in Finland. *Mycorrhiza*, v.5, p.329–336, 1995.

- Vidal, M. C., Amaral, D. F. S., Nogueira, J. D., Mazzaro, M. A. T., Lira, V. M. C. Bioinsumos: a Construção de um Programa Nacional pela Sustentabilidade do Agro Brasileiro. *EALR*, v. 12, n.3, p.557-574, Set-Dez, 2021.
- Vieira, F. A. Micorrizas na Região do Cerrado. Universidade de Brasília; 2001.
- Voigt, E. L., Oliveira, V. L., Randi, A. M. Mycorrhizal colonization and phenolic compounds accumulation on roots of *Eucalyptus dunnii* maiden inoculated with ectomycorrhizal fungi. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 35, p. 1905-1910, 2000.

## **7. OBJETIVOS**

### **7.1 Geral**

Avaliar a influência de irrigação sobre a atividade de fungos micorrízicos do solo adicionada à aplicação de resíduos de indústria mineradora na soja.

### **7.2 Específicos**

Identificar os fungos formadores de micorrizas encontrados.

Correlacionar a quantidade de esporos à disponibilidade hídrica para a planta.

# CAPÍTULO I – FUNGOS MICORRÍZICOS EM SOJA CULTIVADA COM FINO DE MICA XISTO NO CERRADO SOB REGIMES HÍDRICOS VARIÁVEIS

(Normas de acordo com a Revista *Scientific Reports*)

## RESUMO

É crescente a necessidade de descobrir novas fontes de nutrientes, e a utilização de resíduos e fontes mais baratas e sustentáveis de nutrientes tem se destacado como uma excelente alternativa aos insumos convencionais. Mas pouco se sabe dos impactos que a aplicação destes produtos causa nos agroecossistemas cultivados, e a atividade microbiológica do solo pode ser utilizada como uma ferramenta para mensurar esta influência. Os fungos micorrízicos arbusculares, por serem extremamente sensíveis a variações nutricionais e hídricas do solo, se destacam como um dos mais eficientes bioindicadores de qualidade. Este trabalho tem como objetivo avaliar a atividade micorrízica como bioindicadora de qualidade ambiental em áreas de cultivo de soja sob aplicação de Fino de Mica Xisto em regimes hídricos variáveis. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com quatro repetições, com tratamentos dispostos em esquema fatorial de 3x4, sendo o fator o sistema de fertilização com a aplicação de NPK, FMS e tratamento controle e o regime hídrico com 28%, 44%, 65% e 100% da necessidade hídrica da cultura. Por conta da ausência de diferenças na atividade micorrízica, a aplicação de diferentes fontes de nutrientes não implicou nenhum tipo de estresse aos ambientes cultivados. Entretanto o regime hídrico deficitário se refletiu em uma maior atividade micorrízica no solo e nas raízes, indicando que podem ter afetado o desenvolvimento da planta. Foram encontrados os gêneros *Acaulospora*, *Claroideglomus*, *Diversispora*, *Scutellospora*, *Sclerocystis*, *Glomus*, *Gigaspora*, *Ambispora* e *Scrobiculata* em todas as áreas estudadas.

**Palavras-chave:** FMA, Bioindicador, Impacto ambiental

**CHAPTER I - MYCORRHIZAL FUNGI IN SOYBEAN  
CULTIVATED WITH FINE MICA SHALE IN THE CERRADO  
(BRAZILIAN SAVANNA) UNDER VARIABLE WATER REGIMES**

(Standards according to Scientific Reports Magazine)

Rafael Lucas Leonidio<sup>1</sup>, Marcio Mesquita<sup>1</sup>, Jadson Belem de Moura<sup>2,3</sup>, Leidiane dos Santos Lucas<sup>2,4</sup>, Rodrigo Fernandes de Souza<sup>2,5</sup>, Maria Lucrecia Gerosa Ramos<sup>4</sup>, Walter Quadros Ribeiro Junior<sup>6</sup>

<sup>1</sup>Instituto Federal Goiano – Campus Ceres, Graduate Studies in Irrigation in the Cerrado, Ceres, Goiás, Brazil

<sup>2</sup>Sedmo - Soil Research Group, Ecology and Dynamics of Organic Matter, Evangelical College of Goianésia, Goianésia, Brazil.

<sup>3</sup>Graduate Studies in Social, Technological and Environment Science, Evangelical University of Goiás, Anápolis, Goiás Brazil.

<sup>4</sup>University of Brasilia, UNB, Graduate Studies in Agronomy, Brasilia, Brazil

<sup>5</sup>Graduate Studies in Natural Resources of the Cerrado, State University of Goiás, Anápolis, Goiás, Brazil.

<sup>6</sup>Brazilian Agricultural Research Corporation CPAC, Federal District, Brazil.

**Abstract:** There is a growing need to discover new nutrient sources, and the use of residues and nutrient sources cheaper and more sustainable have been noted as an excellent alternative to conventional inputs. However, little is known about the impacts that the application of these products causes on cultivated agroecosystems, and the soil microbiological activity can be used as a tool to measure this influence. Arbuscular Mycorrhizal Fungi (AMF) stand out as one of the most efficient bioindicators of quality, because they are extremely sensitive to nutritional and water variations in the soil. This paper aims to evaluate mycorrhizal activity as a bioindicator of environmental quality in soybean cultivation areas under the Fino de Mica Shale (FMS) application in variable water regimes. The experimental design used was in randomized blocks, four replicates, and treatments arranged in a 3 x 4 factorial scheme, in which factor one is the fertilization system with the application of NPK (nitrogen, phosphorus, and potassium), FMS, control treatment, and the water regime with 28%, 44 %, 65%, and 100% of the crop's water requirement. The nutrient application of different sources did not bring any type of stress in the cultivated environments due to the difference absence in mycorrhizal activity. However, the deficient water regime produced a higher mycorrhizal activity in the soil and roots, indicating that these facts may have affected plant development. The *Acaulospora*, *Claroideglomus*, *Diversispora*, *Scutellospora*, *Sclerocystis*, *Glomus*, *Gigaspora*, *Ambispora*, and *Scrobiculata* genera were found in all areas studied.

**Keywords:** AMF. Bioindicator. Environmental impact.

## **Introdução**

O Cerrado brasileiro é um dos principais biomas sul-americanos e uma das principais áreas produtivas de grãos do mundo, sendo considerado a última grande fronteira agrícola das Américas (Barbosa, 2006; Carbone Carneiro et al., 2009; Batalha, 2011). É uma região com alto potencial produtivo, embora apresente algumas limitações agronômicas como a baixa fertilidade dos solos, alta saturação por alumínio e argilas com baixa capacidade de troca de cátions, no entanto estas características são manejáveis, o que coloca esta região com uma das principais áreas produtoras de grãos do mundo (Barbosa, 2006; Carbone Carneiro et al., 2009; Costa et al., 2018).

Por consequência, o atual paradigma produtivo mundial é a produção sustentável, valorizando práticas de manejo que sejam ambientalmente menos impactantes, visando à diminuição do uso de insumos tradicionais como os fertilizantes (Carvalho & Amabile, 2006). Aliado a isso, o atual contexto sociopolítico mundial colocou em risco o fornecimento de fertilizantes minerais, que, em grande parte, são importados da Rússia (Golikova et al., 2011; Avarskij et al., 2021). Visando a diminuir os problemas relacionados à disponibilidade de fertilizantes e o impacto ambiental proveniente de seu uso, cada dia mais alternativas para os fertilizantes convencionais têm ganho espaço na agricultura. Neste contexto, o uso de pós de rocha vem ganhando cada vez destaque como alternativa para a adubação convencional (Juntahum & Boonlue, 2018).

O Fino de Mica Xisto (FMS) é um pó de rocha basáltica, rico em nutrientes, havendo muitos benefícios relacionados ao uso deste tipo de mineral como corretivo em solos oxídicos como os de Cerrado, por ter em sua composição frações solúveis de nutrientes como fósforo, potássio, cálcio e magnésio. Todavia, como qualquer prática de manejo, esta prática pode causar impactos nos agroecossistemas cultivados, que podem se refletir em perdas de produção e desenvolvimento do vegetal, pois podem afetar tanto a disponibilidade de nutriente como a disponibilidade hídrica dos solos (Pimentel, 2016).

Os microrganismos do solo são extremamente sensíveis a quaisquer alterações ambientais que um ecossistema possa estar sofrendo, como a aplicação de fertilizantes e estresse hídrico, e por este motivo podem ser utilizados como um eficiente bioindicador de impactos ambientais (D'Andréa et al., 2002; Moura et al., 2018). Os fungos micorrízicos arbusculares, em especial, são bioindicadores muito eficientes, pois sua atuação está sensivelmente ligada à disponibilidade de nutrientes como fósforo e

potássio e a estresse hídrico nas plantas às quais estão associados (Moura, 2015; Moura & Cabral, 2019; Vieira Junior et al., 2020; Adeyemi et al., 2021; Moura et al., 2022).

Diante do exposto, este trabalho tem como objetivo, avaliar a atividade micorrízica como bioindicador de qualidade ambiental em áreas de cultivo de soja sob aplicação de Fino de Mica Xisto em regimes hídricos variáveis.

## **Material e Métodos**

Nos períodos de julho a novembro de 2017 e de junho a outubro de 2018, foram conduzidos dois experimentos em condições de campo na Embrapa Cerrados, Planaltina, Distrito Federal, Brasil (15°35'30"S, 47°42'30"W), em sistema de plantio direto. O clima predominante é Aw na classificação de Köppen, tropical, quente e úmido, com precipitação média anual de 1500±500 mm. (Alvares et al., 2013), apresentando estação seca de maio a setembro e úmida de outubro a abril.

A cultivar adotada para o experimento foi a NA 5909 RG, que tem como característica, maturação superprecoce. O plantio foi feito durante o inverno para melhor controle do nível de água aplicado, uma vez que não ocorrem chuvas nesse período.

Segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Santos et al., 2018), o solo da região é do tipo Latossolo Vermelho distrófico, que, de acordo com Burt (2014), é um Latossolo típico.

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, com quatro repetições em parcelas subdivididas, com tratamentos dispostos em esquema fatorial de 3x4, em que o fator um é o sistema de fertilização com a aplicação de NP<sub>2</sub>O<sub>5</sub>K<sub>2</sub>, FMS e tratamento controle e o regime hídrico com 28%, 44%, 65% e 100% da necessidade hídrica da cultura. As parcelas foram distribuídas em duas linhas centrais de 5 m, excluindo 1,0 m da bordadura.

Segundo Pimentel (2016), o FMS usado é um xisto biotita do grupo Neoproterozoico Araxá. Em relação às características mineralógicas e geoquímicas da biotita, o mineral é composto por 70% de plagioclásio, 17% de biotita, 7% de granada, 4% microítio, e por calcita e quartzo como minerais acessórios. Já a composição geoquímica é de 50,9% de SiO<sub>2</sub>, 13,0% de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 8,6% de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 9,8% de MgO, 7,9% de CaO, 3,0% de Na<sub>2</sub>O, 2,2% de K<sub>2</sub>O, 0,1% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 0,2% de MnO e de 3,2% de compostos voláteis como CO<sub>2</sub>+SO<sub>3</sub>+H<sub>2</sub>, 0,5% de carbono total e 0,1% de enxofre. (Souza et al, 2016, 2017).

A irrigação nos anos de 2017 e 2018 foi feita homoganeamente no período matutino por 35 dias após a emergência (DAE), com aspersores de mesma vazão para a determinação do tempo de irrigação. Posteriormente, adotou-se a metodologia de fonte de linha (Hanks et al., 1976), alterada pela adição de uma linha de irrigação (Jayme-Oliveira et al., 2017), utilizando aspersores de vazão decrescente da região mediana para a borda da linha, resultando em gradiente de déficit hídrico. Por meio da linha de irrigação por aspersão 36/42, com 20 m de largura, conectada ao autopropelido TurboMaq 75/GB (IrrigaBrasil, Pinhais, PR, Brasil), com ajuste de velocidade de acordo com a lâmina d'água aplicada, foram obtidos os regimes hídricos.

As análises foram feitas no laboratório de microbiologia agrícola da Faculdade Evangélica de Goianésia. Os esporos de fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) foram extraídos de 50 mL de solo rizosférico pela técnica de peneiramento úmido (Gerdemann and Nicolson, 1963), seguida por centrifugação em água e solução de sacarose 50%. Os esporos foram separados segundo suas características fenotípicas como cor, tamanho e forma, compondo os diferentes morfotipos, sob lupa binocular estereoscópica.

Para a determinação da porcentagem de colonização, as raízes foram clarificadas e coradas com 0,05% de Azul-de-Trypan em lactoglicerol (Phillips & Hayman, 1970) e a avaliação da colonização feita em microscópio estereoscópico, seguindo a técnica de interseção dos quadrantes (Giovannetti & Mosse, 1980).

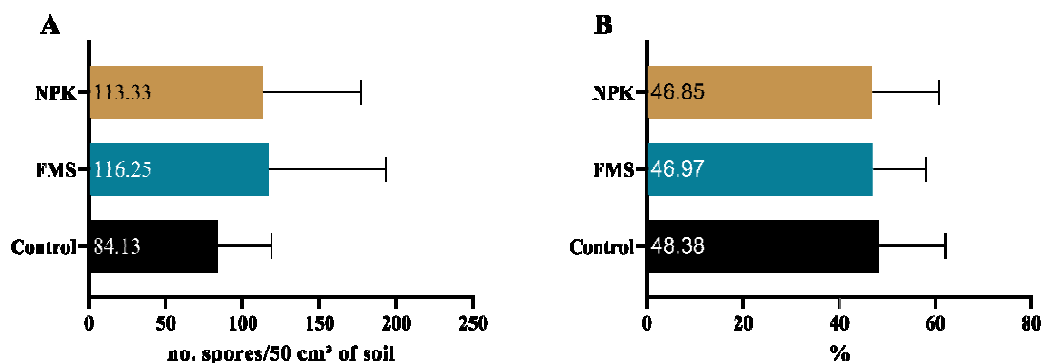
Para a identificação dos gêneros de FMAs a partir das características morfológicas, os esporos foram separados de acordo com seus morfotipos e montados em lâminas com polivinil-lacto-glicerol (PVLG) puro e PVLG misturados com Melzer (1:1 v/v). Para subsidiar o trabalho de identificação, foram utilizados artigos originais da descrição das espécies e descrições das espécies fornecidas pelo site da “*International Culture Collection of Arbuscular and Vesicular-Arbuscular Mycorrhizal Fungi*” (INVAM, 2022).

Os dados foram submetidos à análise de variância, e as análises estatísticas foram feitas pelo software Assistat (Silva, 2008). Os gráficos foram confeccionados pelo software Prism Graphpad (Swift, 2020) e as análises de componentes principais e índices de diversidade foram feitas pelo software Past (Hammer, 2021).



## Resultados e Discussão

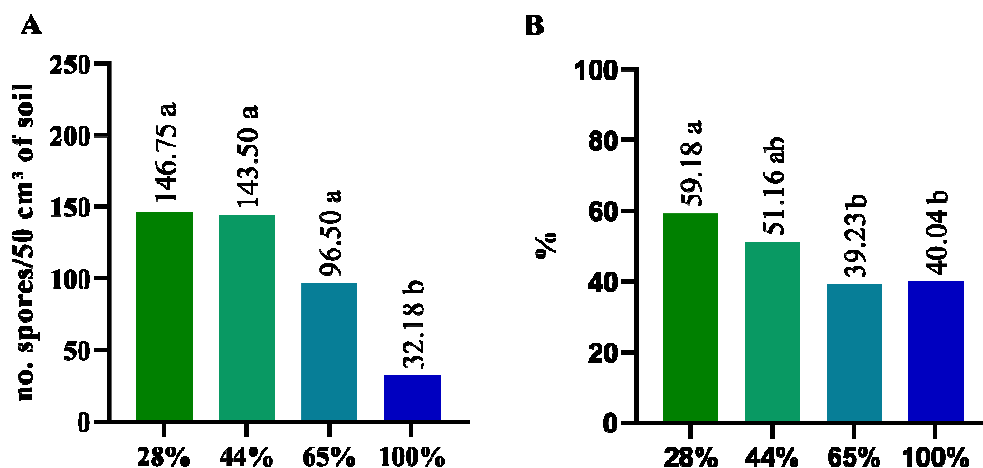
Ao investigar a atividade micorrízica como bioindicador de impacto dos tratamentos aplicados sob diferentes regimes hídricos em solo de cerrado, foi possível verificar a influência dos tratamentos em algumas das variáveis resposta. Os valores de densidade de esporos em solo rizosférico e a taxa de colonização micorrízica não apresentaram diferenças estatísticas ao comparar as diferentes aplicações de fertilizantes: FMS, NPK e Controle (Figura 1).



**Figura 1.** Densidade de esporos em solo (A) e taxa de colonização micorrízica (B) em raízes nas áreas sob três tratamentos de fertilização

Os fungos micorrízicos arbusculares, ao colonizar as raízes, atuam como uma extensão radicular, aumentando a área de exploração e absorção de água e nutrientes da planta (Moura & Cabral, 2019). A simbiose entre estes fungos e as plantas é estimulada por fatores ambientais estressantes como ausência de nutrientes e escassez de água. Em situações de estresse, a colonização micorrízica é estimulada, pois ambientalmente os fungos estão atuando para diminuir os efeitos negativos ao desenvolvimento da planta (Al-Karaki et al., 2004; Begum et al., 2019; Adeyemi et al., 2021).

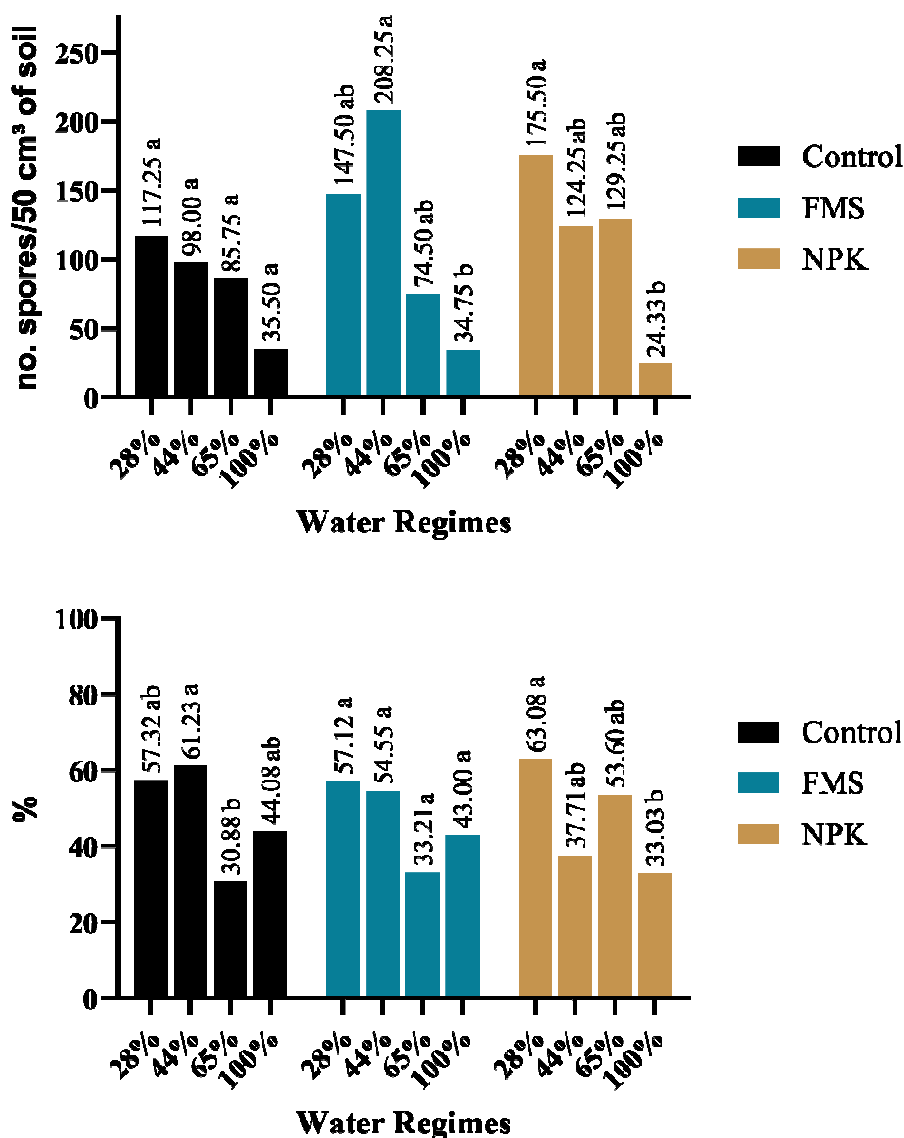
Os valores de densidade de esporos e a taxa de colonização micorrízica não apresentaram diferenças entre os tratamentos aplicados, sinal de que as aplicações não colocaram as plantas sob condições de estresse nutricional. Mas ao avaliar a influência dos diferentes regimes hídricos, foi possível observar diferenças estatísticas entre os tratamentos (Figura 2).



**Figura 2.** Densidade de esporos em solo (A) e taxa de colonização micorrízica (B) em raízes nas áreas sob diferentes regimes hídricos

Os tratamentos com somente 28% do regime hídrico recomendado apresentaram maiores valores de densidade de esporos e taxa de colonização micorrízica que os demais tratamentos. O estresse hídrico é um dos principais gatilhos ambientais que estimulam a colonização por fungos micorrízicos em plantas (Augé, 2001; Boutasknit et al., 2020). Durante o processo de simbiose, o fungo ligado às raízes cresce pelo solo, aumentando a absorção de água. Esse fato explica os maiores valores de atividade micorrízica nos tratamentos com menor disponibilidade hídrica.

Comportamento semelhante foi verificado ao avaliar a densidade de esporos nas áreas com a aplicação dos três sistemas de fertilização sob os quatro regimes hídricos (Figura 3).



**Figura 3.** Densidade de esporos em solo (A) e taxa de colonização micorrízica (B) nas áreas sob aplicação de três tratamentos de fertilização sob diferentes regimes hídricos

Foram verificadas diferenças estatísticas nos valores de densidade de esporos e na taxa de colonização micorrízica nos três sistemas de fertilização sob diferentes regimes hídricos. A densidade de esporos no solo (Figura 3 A) foi maior nos tratamentos com menor disponibilidade hídrica, 28% e 44%, em todos os sistemas de fertilização avaliados. A densidade de esporos no solo é uma resposta ambiental do fungo a situações de estresse submetidos a ele e à planta à qual está ligado. Ao perceber que a ausência de água pode matar a planta colonizada, a resposta fisiológica do fungo é produzir esporos no solo, sua principal estrutura de resistência e reprodução (Angelini et al., 2012; Bouamri et al., 2014; Vieira Junior et al., 2020; Moura et al., 2022). Por esse

motivo, valores elevados de densidade de esporo no solo indicam que o vegetal foi submetido a situações de estresse hídrico durante seu desenvolvimento e após ter sido colonizados pelo fungo.

Os valores de taxa de colonização micorrízica (Figura 3B) apresentaram comportamento semelhante à densidade de esporos no solo, com os maiores valores de colonização nos tratamentos com menor disponibilidade hídrica. A colonização micorrízica nas raízes é indicativo da atuação do fungo beneficiando a planta, situação estimulada quando o vegetal está em condições de estresse ambiental.

A Tabela 1 apresenta as interações entre os fatores sistema de fertilização e regime hídrico nos valores de densidade de esporos do solo e taxa de colonização micorrízica.

**Tabela 1.** Densidade de esporos em solo e taxa de colonização micorrízica nas áreas sob aplicação de três tratamentos de fertilização sob diferentes regimes hídricos

Densidade de Esporos	28%		44%		65%		100%	
<b>Control</b>	117.25	Aa	98.00	Aa	85.75	Aa	35.50	Aa
<b>FMS</b>	147.50	Aab	208.25	Aa	74.50	Aab	34.75	Ab
<b>NPK</b>	175.50	Aa	124.25	Aab	129.25	Aab	23.40	Ab
Colonização Micorrízica	28%		44%		65%		100%	
<b>Control</b>	57.32%	Aab	61.23%	Aa	30.88%	Ab	44.08%	Aab
<b>FMS</b>	57.12%	Aa	54.55%	Aa	33.21%	Aa	43.00%	Aa
<b>NPK</b>	63.08%	Aa	37.71%	Aab	53.59%	Aab	27.55%	Ab

Letras maiúsculas diferentes indicam diferença na coluna e letras minúsculas diferentes indicam diferença na linha

Comparando a interação entre os fatores, é possível afirmar que para todas as aplicações, os valores de densidade de esporos e colonização micorrízica foram mais elevados nas áreas sob regime hídrico de 28% e 44%. Ao observar este comportamento, sob a ótica da atividade micorrízica, é possível inferir que as aplicações não influenciaram o desenvolvimento dos vegetais mesmo sob diferentes regimes hídricos, mas que o estresse hídrico foi fator predominante no aumento da atividade micorrízica do solo.

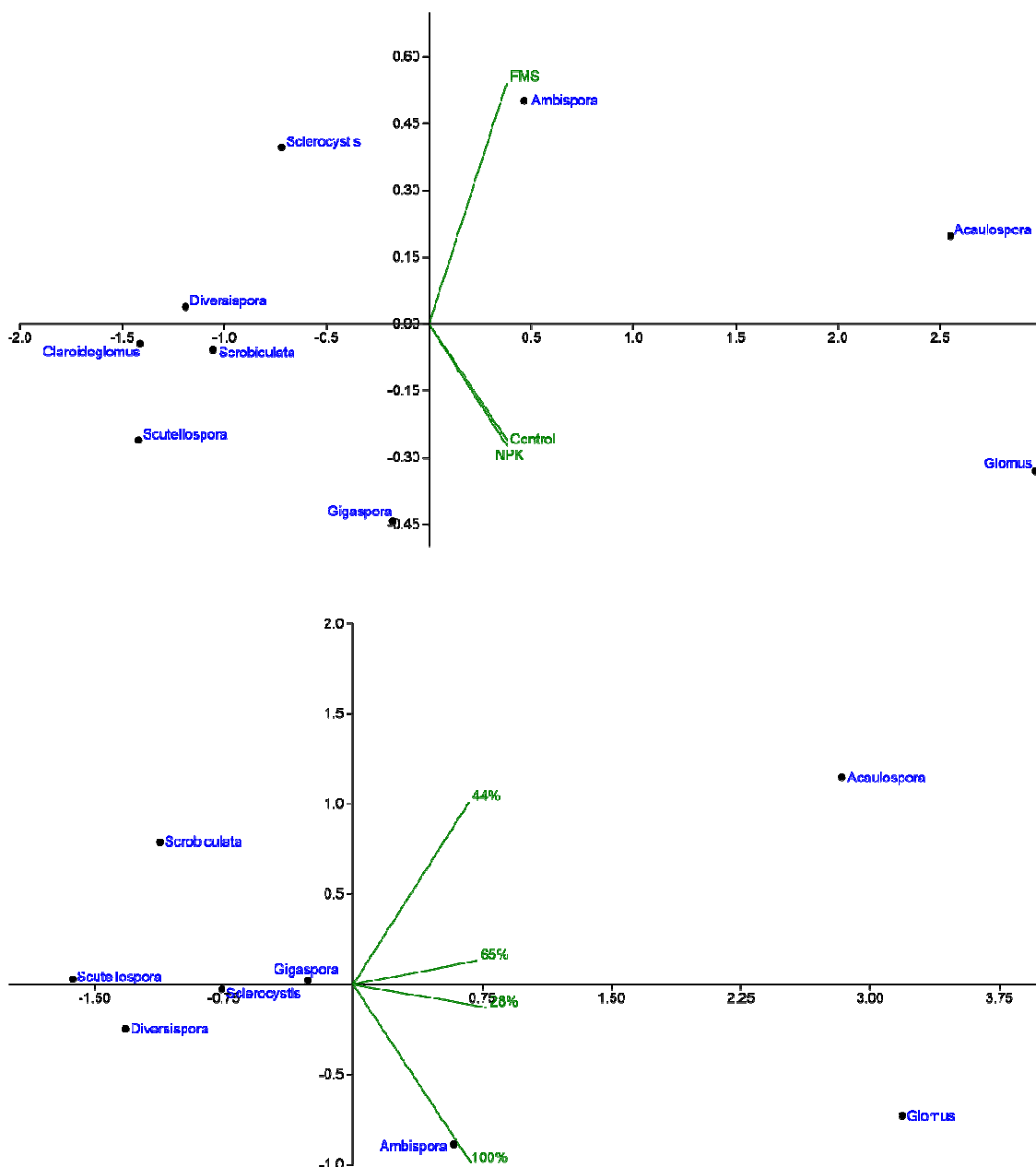
Ao proceder à identificação dos gêneros de fungos micorrízicos associados presentes na rizosfera das plantas amostradas, foram encontrados os gêneros *Acaulospora*, *Claroideglomus*, *Diversispora*, *Scutellospora*, *Sclerocystis*, *Glomus*, *Gigaspora*, *Ambispora* e *Scrobiculata* em todas as áreas amostradas (Tabela 2).

**Tabela 2.** Gêneros de fungos Micorrízicos Arbusculares identificados em rizosfera de soja nas áreas sob aplicação de três tratamentos de fertilização diferentes regimes hídricos

<b>Treatment</b>	<b>Water Regimes</b>			
<b>Control</b>	<b>28%</b>	<b>44%</b>	<b>65%</b>	<b>100%</b>
<i>Acaulospora</i>	+	+	+	+
<i>Claroideglomus</i>	-	-	-	-
<i>Diversispora</i>	-	-	+	+
<i>Scutellospora</i>	-	+	-	+
<i>Sclerocystis</i>	-	+	-	-
<i>Glomus</i>	+	+	+	+
<i>Gigaspora</i>	-	+	+	-
<i>Ambispora</i>	+	+	-	+
<i>Scrobiculata</i>	+	+	-	-
<b>FMS</b>	<b>28%</b>	<b>44%</b>	<b>65%</b>	<b>100%</b>
<i>Acaulospora</i>	+	+	+	+
<i>Claroideglomus</i>	-	-	+	-
<i>Diversispora</i>	+	-	-	+
<i>Scutellospora</i>	-	-	-	-
<i>Sclerocystis</i>	+	-	+	+
<i>Glomus</i>	+	+	+	+
<i>Gigaspora</i>	+	-	+	+
<i>Ambispora</i>	+	+	+	+
<i>Scrobiculata</i>	-	+	-	+
<b>NPK</b>	<b>28%</b>	<b>44%</b>	<b>65%</b>	<b>100%</b>
<i>Acaulospora</i>	+	+	+	+
<i>Claroideglomus</i>	-	-	+	+
<i>Diversispora</i>	-	-	+	-
<i>Scutellospora</i>	-	-	-	-
<i>Sclerocystis</i>	-	+	+	+
<i>Glomus</i>	+	+	+	+
<i>Gigaspora</i>	+	-	+	+
<i>Ambispora</i>	+	+	+	+
<i>Scrobiculata</i>	-	+	-	-

Os gêneros *Glomus*, *Ambispora* e *Acaulospora* foram os mais frequentes, encontrados associados a todos os tratamentos e regimes hídricos. E o regime hídrico de 65% foi o que apresentou maior diversidade de gêneros em todos os sistemas de fertilização.

A análise de componentes principais (Figura 4) apresenta um padrão de aproximação entre os tratamentos e a frequência dos gêneros identificados.



**Figura 4.** Análise de componentes principais dos gêneros associados identificados em rizosfera de soja em função dos sistemas de fertilização (A) e dos regimes hídricos (B)

Ao verificar a proximidade dos sistemas de fertilização com os gêneros identificados (Figura 4A), é possível afirmar que o gênero *Ambispora* foi o que apresentou maior afinidade com o tratamento FMS. Os tratamentos Controle e NPK apresentaram comportamento semelhante, não apresentando proximidade a nenhum gênero em específico. O gênero *Ambispora* também apresentou proximidade ao tratamento com 100% de disponibilidade hídrica (Figura 3B), e os demais tratamentos não apresentaram proximidade relativa com nenhum gênero de fungo micorrízico.

De posse destes resultados, é possível inferir que os tratamentos não selecionaram nenhum gênero em específico e que nenhum gênero aparenta ser mais eficiente do que outro nas situações experimentais aplicadas.

Os gêneros *Acaulospora*, *Claroideglomus*, *Diversispora*, *Scutellospora*, *Sclerocystis*, *Glomus*, *Gigaspora* são frequentemente encontrados em solo de cerrado, sendo observado em diferentes sistemas de cultivo e espécies de plantas (Vieira Junior et al., 2020; dos Santos Lucas et al., 2022; Moura et al., 2022). Os fungos micorrízicos formam associações simbióticas não específicas em mais de 80% dos vegetais conhecidos, podendo, inclusive, colonizar mais de uma planta ao mesmo tempo, construindo uma rede simbiótica no solo (Giovannetti et al., 2006; Moura & Cabral, 2019).

### Conclusões

Por conta da ausência de diferenças na atividade micorrízica, a aplicação de diferentes fontes de nutrientes não implicou nenhum tipo de estresse aos ambientes cultivados. Mas o regime hídrico deficitário refletiu uma maior atividade micorrízica no solo e nas raízes, indicando que pode ter afetado o desenvolvimento da planta. Os gêneros *Acaulospora*, *Claroideglomus*, *Diversispora*, *Scutellospora*, *Sclerocystis*, *Glomus*, *Gigaspora*, *Ambispora* e *Scrobiculata* foram encontrados em todas as áreas estudadas.

### Referências Bibliográficas

- Adeyemi, N. O., Atayese, M. O., Sakariyawo, O. S., and Azeez, J. O. (2021). Mycorrhizal growth and phosphorus responses of tropical soybean (*Glycine max* L.) cultivars differ with arbuscular mycorrhizal fungi isolates and phosphorus application rates in a derived-savanna zone of Nigeria. *J. Plant Nutr.* 0, 1–17. doi: 10.1080/01904167.2021.1994593.
- Al-Karaki, G., McMichael, B., and Zak, J. (2004). Field response of wheat to arbuscular mycorrhizal fungi and drought stress. *Mycorrhiza* 14, 263–269. doi: 10.1007/s00572-003-0265-2.
- Alvares, C.A., Stape, J.L., Sentelhas, P.C., Gonçalves, J.L. de M., Sparovek, G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v.22, p.711-728, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>

- Angelini, G. A. R., Loss, A., Pereira, M. G., Torres, J. L. R., and Saggin Jr., O. J. (2012). Mycorrhizal colonization, spore density and diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in Cerrado soil under no-till and conventional tillage systems. *Semin. Agrar.* 33, 115–130. doi: 10.5433/1679-0359.2012v33n1p115.
- Augé, R. M. (2001). Water relations, drought and vesicular-arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Mycorrhiza* 11, 3–42. doi: 10.1007/s005720100097.
- Avarskij, N. D., Taran, V. V., and Gasanova, K. N. (2021). The main lines for realizing the fertilizer market potential in Russia. *Econ. Agric.* Available at: [https://scholar.google.com/scholar\\_lookup?title=The+main+lines+for+realizing+the+fertilizer+market+potential+in+Russia&author=Avarskij%2C+N.D.&publication\\_year=2021](https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=The+main+lines+for+realizing+the+fertilizer+market+potential+in+Russia&author=Avarskij%2C+N.D.&publication_year=2021) [Accessed May 1, 2022].
- Barbosa, A. S. (2006). *Sistema biogeográfico do cerrado: alguns elementos para sua caracterização*. Editora UCG.
- Batalha, M. A. (2011). O cerrado não é um bioma. *Biota Neotropica* 11, 1–4.
- Begum, N., Qin, C., Ahanger, M. A., Raza, S., Khan, M. I., Ashraf, M., Ahmed, N., Zhang, L. (2019). Role of Arbuscular Mycorrhizal Fungi in Plant Growth Regulation: Implications in Abiotic Stress Tolerance. *Front. Plant Sci.* 10. doi: 10.3389/fpls.2019.01068.
- Bouamri, R., Dalpe, Y., and Serrhini, M. M. (2014). Effect of seasonal variation on arbuscular mycorrhizal fungi associated with date palm. *Emir. J. Food Agric.*, 977–986. doi: 10.9755/ejfa.v26i11.18985.
- Boutasknit, A., Baslam, M., Ait-El-Mokhtar, M., Anli, M., Ben-Laouane, R., Douira, A., Modafar, C. El., Mitsui, T., Wahbi, D., Meddich, A. (2020). Arbuscular Mycorrhizal Fungi Mediate Drought Tolerance and Recovery in Two Contrasting Carob (*Ceratonia siliqua* L.) Ecotypes by Regulating Stomatal, Water Relations, and (In)Organic Adjustments. *Plants* 9, 80. doi: 10.3390/plants9010080.
- Burt, R. (Ed.). *Manual de Métodos de Campo e Laboratório de Levantamento de Solo: relatório de investigações de levantamento de solo nº 51. Versão 2*. Lincoln: Departamento de Agricultura dos EUA, Serviço de Conservação de Recursos Naturais, 2014.
- Carbone Carneiro, M. A., Damacena de Souza, E., Fialho dos Reis, E., Seron Pereira, H., and Azevedo, W. R. de (2009). Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. *Rev. Bras. Ciênc. Solo* 33. Available at: <http://www.redalyc.org/resumen.oa?id=180214067016> [Accessed April 3, 2019].
- Carvalho, A. de, and Amabile, R. F. (2006). Cerrado: adubação verde. *Planaltina Embrapa Cerrados*.
- Costa, M. P., Schoeneboom, J. C., Oliveira, S. A., Viñas, R. S., and de Medeiros, G. A. (2018). A socio-eco-efficiency analysis of integrated and non-integrated crop-



- livestock-forestry systems in the Brazilian Cerrado based on LCA. *J. Clean. Prod.* 171, 1460–1471. doi: 10.1016/j.jclepro.2017.10.063.
- D'Andréa, A. F., Silva, M. L. N., Curi, N., Siqueira, J. O., and Carneiro, M. A. C. (2002). Atributos biológicos indicadores da qualidade do solo em sistemas de manejo na região do cerrado no sul do estado de Goiás. *Rev. Bras. Ciênc. Solo* 26, 913–923. doi: 10.1590/S0100-06832002000400008.
- dos Santos Lucas, L., Neto, A. R., de Moura, J. B., de Souza, R. F., Santos, M. E. F., de Moura, L. F., et al. (2022). Mycorrhizal fungi arbuscular in forage grasses cultivated in Cerrado soil. *Sci. Rep.* 12, 3103. doi: 10.1038/s41598-022-07088-5.
- Gerdemann, J. W., and Nicolson, T. H. (1963). Spores of mycorrhizal *Endogone* species extracted from soil by wet sieving and decanting. *Trans. Br. Mycol. Soc.* 46, 235–244. doi: 10.1016/S0007-1536(63)80079-0.
- Giovannetti, M., Avio, L., Fortuna, P., Pellegrino, E., Sbrana, C., and Strani, P. (2006). At the Root of the Wood Wide Web. *Plant Signal. Behav.* 1, 1–5. doi: 10.4161/psb.1.1.2277.
- Giovannetti, M., and Mosse, B. (1980). An evaluation of techniques for measuring vesicular arbuscular mycorrhizal infection in roots. *New Phytol.* 84, 489–500. doi: 10.1111/j.1469-8137.1980.tb04556.x.
- Golikova, V., Karhunen, P., and Kosonen, R. (2011). Subsidiary evolution in a transition economy: Kemira GrowHow in the Russian fertilizer market. *J. East Eur. Manag. Stud.* 16, 9–30.
- Hammer, Ø. (2021). *Past 4.x - PAleontological STatistics*. Oslo: Natural History Museum, University of Oslo.
- Hanks, R. J.; Keller, J.; Rasmussen, V. P.; Wilson, G. D. Aspensor de fonte de linha para estudos de produção de culturas de irrigação variável contínua. *Revista da Sociedade de Ciência do Solo da América*, v.40, p.426-429, 1976. DOI: <https://doi.org/10.2136/sssaj1976.03615995004000030033x>.
- INVAM (2022). *International Culture Collection of (Vesicular) Arbuscular Mycorrhizal Fungi | West Virginia University*.
- Jayme-Oliveira, A.; Ribeiro Júnior, W. Q.; Ramos, M. L. G.; Ziviani, A. C.; Jakelaitis, A. Crescimento e desenvolvimento de amaranto, quinoa e milho sob diferentes regimes hídricos no Cerrado brasileiro. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.52, p.561-571, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2017000800001>
- Juntahum, S., and Boonlue, S. (2018). Efficiency of arbuscular mycorrhiza fungal inoculation with rock phosphate on soil-available phosphorus, and drought stress, growth and yield of sugarcane under field conditions. *Int. Sugar J.* 120, 624–629.

- Moura, J. B. de (2015). Diversidade e colonização micorrízica em diferentes usos do solo no Cerrado. 97f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade de Brasília, Brasília, 2015.
- Moura, J. B. de, and Cabral, J. S. R. (2019). *Mycorrhiza in Central Savannahs: Cerrado and Caatinga. In: Mycorrhizal Fungi in South America*. 1st ed. Switzerland AG: Springer International Publishing Available at: <https://www.springer.com/gp/book/9783030152277#aboutBook> [Accessed April 3, 2019].
- Moura, J. B., Souza, R. F., Vieira-Júnior, W. G., Lucas, L. S., Santos, J. M., Dutra e Silva, S., Marín, C. (2022). Effects of a megafire on the arbuscular mycorrhizal fungal community and parameters in the Brazilian Cerrado ecosystem. *For. Syst.* 31, e001–e001. doi: 10.5424/fs/2022311-18557.
- Moura, J. B., Ventura, M. V. A., Vieira Junior, W. G., Souza, R. F., Lopes Filho, L. C., Braga, A. P. M., Matos, D. J. C., Rocha, E. C. V. (2018). Microbial diversity as a soil quality indicator in agroecosystems in Brazilian Savannas. *Afr. J. Agric. Res.* 13, 1306–1310. doi: 10.5897/ajar2018.13205.
- Phillips, J. M., and Hayman, D. S. (1970). Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Trans. Br. Mycol. Soc.* 55, 158–161. doi: 10.1016/S0007-1536(70)80110-3.
- Pimentel, M. M. (2016). The tectonic evolution of the Neoproterozoic Brasília Belt, central Brazil: a geochronological and isotopic approach. *Braz. J. Geol.* 46, 67–82. doi: 10.1590/2317-4889201620150004.
- Santos, H. G. dos; Jacomine, P. K. T.; Anjos, L. H. C. dos; Oliveira, V. Á. de; Lumbreras, J. F.; Coelho, M. R.; Almeida, J. A. de; Araújo Filho, J. C. de; Oliveira, J. B. de; Cunha, T. J. F. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. 5. ed. rev. e ampl. Brasília: Embrapa, 2018. 356p.
- Silva, F. de A. (2008). *ASSISTAT: Versão 7.7 beta*. Campina Grande-PB: DEAG-CTRN-Universidade Federal de Campina Grande.
- Souza, F. N. da S.; Oliveira, C. G. de; Martins, E. de S.; Alves, J. M.. Efeitos nutricionais de um condicionador de solos gerado de mineração. *Revista Ciências Agroambientais*, v.3, p.1-14, 2017.
- Souza, F. N. da S.; Santana, A. P. de; Alves, J. M.; Silva, M. H. M. Efeitos de um remineralizador de solos (biotita-xisto) na produção de duas variedades de mandioca. *Revista Raízes e Amidos Tropicais*, v.12, p.45-59, 2016. DOI: <https://doi.org/10.17766/1808-981X.2016v12n1p45-59>.
- Swift, M. L. (2020). *Prism - GraphPad*. Available at: <https://www.graphpad.com/scientific-software/prism/> [Accessed February 14, 2020].
- Vieira Junior, W. G., Moura, J. B. de, Souza, R. F. de, Braga, A. P. M., Matos, D. J. de C., Brito, G. H. M., et al. (2020). Seasonal Variation in Mycorrhizal Community

of Different Cerrado Phytophysiomies. *Front. Microbiol.* 11. doi: 10.3389/fmicb.2020.576764.

## CONCLUSÃO GERAL

Tendo como base os dados obtidos neste trabalho, é possível inferir que as diferentes fontes nutritivas não provocaram estresse nos ambientes cultivados; uma vez que não houve diferença na atividade micorrízica. Porém, quando o regime hídrico deficitário é analisado, observou-se maior atividade micorrízica nas raízes e no solo, o que mostra interferência no desenvolvimento da soja. Os gêneros *Acaulospora*, *Claroideglomus*, *Diversispora*, *Scutellospora*, *Sclerocystis*, *Glomus*, *Gigaspora*, *Ambispora* e *Scrobiculata* foram identificados em todas as áreas em que este estudo foi feito.