

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE GOIÁS
CÂMPUS OESTE
SEDE: SÃO LUÍS DE MONTES BELOS
PÓS-GRADUAÇÃO EM PRODUÇÃO ANIMAL E FORRAGICULTURA MESTRADO
PROFISSIONAL

JOENE APARECIDA PATRÍCIO

**ESPOROS DE FUNGOS E FORRAGEIRAS: CONSTRUINDO ALIANÇAS EDÁFICAS
EM SOLOS DO CERRADO-PANTANAL**

SÃO LUÍS DE MONTES BELOS-GO
2025

JOENE APARECIDA PATRÍCIO

**ESPOROS DE FUNGOS E FORRAGEIRAS: CONSTRUINDO ALIANÇAS EDÁFICAS
EM SOLOS DO CERRADO–PANTANAL**

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação do Mestrado em Produção Animal e Forragicultura da Universidade Estadual de Goiás, Câmpus Oeste - Sede São Luís de Montes Belos, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre.

SÃO LUÍS DE MONTES BELOS-GO
2025

Elaborada pelo Sistema de Geração Automática de Ficha Catalográfica da UEG
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

PP314 Patrício, Joene Aparecida
e ESPOROS DE FUNGOS E FORRAGEIRAS: CONSTRUINDO
 ALIANÇAS EDÁFICAS EM SOLOS DO CERRADO-PANTANAL / Joene
 Aparecida Patrício; orientador Alessandro Jose Marques
 dos Santos; co-orientador Jadson Belém de Moura. -- São
 Luís de Montes Belos, 2025.
 41 p.

 Dissertação (Mestrado - Programa de Pós-Graduação
 Mestrado Profissional em Produção Animal e
 Forragicultura) -- Câmpus Oeste - Sede: São Luís de
 Montes Belos, Universidade Estadual de Goiás, 2025.

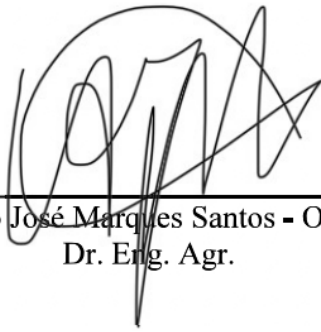
 1. . I. Jose Marques dos Santos, Alessandro, orient.
 II. Belém de Moura, Jadson, co-orient. III. Título.

JOENE APARECIDA PATRÍCIO

ESPOROS DE FUNGOS E FORRAGEIRAS: CONSTRUINDO ALIANÇAS EDÁFICAS EM
SOLOS DO CERRADO–PANTANAL

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação do Mestrado em Produção Animal e Forragicultura da Universidade Estadual de Goiás, Câmpus Oeste - Sede São Luís de Montes Belos, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre.

Aprovado em 08, de Outubro de 2025, pela Banca Examinadora constituída pelos professores:



Alessandro José Marques Santos - Orientador
Dr. Eng. Agr.

Documento assinado digitalmente

gov.br

PATRICIA COSTA SILVA
Data: 24/11/2025 15:37:04-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dra. Patrícia Costa Silva - Avaliadora
Universidade Estadual De Goiás

Documento assinado digitalmente

gov.br

ELIANA PAULA FERNANDES BRASIL
Data: 13/11/2025 10:12:45-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dra. Eliana Paula Fernandes Brasil – Avaliadora
Universidade Federal De Goiás

SÃO LUÍS DE MONTES BELOS-GO
2025

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, por me fortalecer em cada etapa, me dar saúde e iluminar meus caminhos ao longo desta jornada. À minha família e amigos, que sempre esteve ao meu lado, oferecendo amor, apoio e compreensão em todos os momentos do mestrado. Aos meus avós e minha mãe, pela imensa dedicação e carinho ao cuidar do meu filho Miguel Augusto, preenchendo minhas ausências nos dias de viagem e tornando possível a realização deste sonho. Ao meu querido esposo Henrique Padovani por me apoiar e acompanhar nesta etapa final.

À minha amiga Juliana Ramos, pela amizade verdadeira, pelas palavras de incentivo e pela companhia em viagens que tornaram este percurso mais leve e especial. Ao meu co-orientador Jadson Moura, pela dedicação, paciência e contribuições que tanto enriqueceram este trabalho.

Aos colegas do Laboratório SEDMO, por todo o companheirismo e auxílio em cada análise realizada, tornando os desafios mais fáceis de superar. E, de forma especial, à coordenadora Eliana Brasil, do Centro de Excelência em Bioinsumos, pelo apoio financeiro e, acima de tudo, por acreditar no nosso potencial e na relevância desta pesquisa.

RESUMO

Os Cerrados são ecossistemas caracterizados por condições abióticas adversas ao crescimento das plantas, como baixos níveis de fósforo e regime hídrico sazonal. Nesses ambientes desafiadores, as plantas dependem da interação com microrganismos do solo para superar essas limitações. Os fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) são importantes, pois promovem o crescimento vegetal ao estabelecerem associações simbióticas com as raízes das plantas, aumentando a eficiência na absorção de nutrientes essenciais, como fósforo, nitrogênio e outros minerais escassos nos solos tropicais. Esses fungos formam uma rede de hifas que se estende no solo além das raízes, aumentando a área de exploração do solo, o que é especialmente benéfico para a captação de nutrientes de baixa mobilidade. Além disso, os FMAs ajudam na absorção de água, tornando as plantas mais resilientes em períodos de seca. A alta biodiversidade de FMAs no Cerrado apresenta um grande potencial para o desenvolvimento de inoculantes micorrízicos, uma tecnologia promissora para aumentar a eficiência nutricional das plantas e reduzir a dependência de insumos químicos. A bioprospecção de espécies nativas de FMAs no Cerrado surge como uma estratégia importante para promover a agricultura sustentável, principalmente em solos degradados. Objetiva-se revisar a diversidade, as funções ecológicas e as potenciais aplicações agrícolas sustentáveis das micorrizas no Cerrado.

Palavras-Chave: fungos micorrízicos arbusculares, agricultura sustentável, bioprospecção

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Taxa de colonização micorrízica em espécies de leguminosas forrageiras em solo de Cerrado..	20
Figura 2 - Densidade de esporos de fungos micorrízicos arbusculares em rizosfera de espécies de leguminosas forrageiras em solo de Cerrado.....	21
Figura 3 - Famílias de fungos micorrízicos arbusculares em rizosfera de forrageiras em solo de Cerrado..	22
Figura 4 - Família de fungos micorrízicos arbusculares em rizosfera de espécies de leguminosas forrageiras em solo de Cerrado.....	23
Figura 5 - Gráfico de radar de famílias de fungos micorrízicos arbusculares em rizosfera de espécies de leguminosas forrageiras em solo de Cerrado...	26
Figura 6 - Análise de componentes principais de gêneros de fungos micorrízicos arbusculares e espécies de leguminosas forrageiras em solo de Cerrado...	28
Figura 7 - Análise de agrupamento de gêneros de fungos micorrízicos arbusculares e espécies de leguminosas forrageiras em solo de Cerrado.....	29

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Índices de diversidade de famílias de fungos micorrízicos arbusculares em rizosfera de espécies de leguminosas forrageiras em solo de Cerrado.....	24
Tabela 2 - Gêneros de Fungos Micorrízicos arbusculares associados à espécies de leguminosas forrageiras em solo de Cerrado.....	27

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

FMA	Fungos Micorrízicos Arbusculares
ECM	Ectomicorrizas
MA	Micorrizas Arbusculares

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	10
REVISÃO DA LITERATURA	11
Micorrizas.....	11
Micorrizas no Cerrado	12
Benefícios das Micorrizas às Plantas	14
Bioprospecção de Micorrizas	15
Inoculantes Micorrízicos.....	16
INTRODUÇÃO.....	18
METODOLOGIA.....	19
RESULTADOS	20
DICUSSÃO	30
CONCLUSÃO	33
REFERÊNCIAS	33

INTRODUÇÃO

O Cerrado é reconhecido como um dos mais importantes *hotspots* de biodiversidade do mundo, abrigando uma vasta gama de espécies de plantas, microrganismos e animais adaptados a condições ambientais extremas, como solos pobres em nutrientes, secas prolongadas e incêndios frequentes (KLINK; MACHADO, 2005). Essas condições inóspitas selecionaram organismos altamente especializados e resilientes, como os fungos micorrízicos arbusculares (FMAs), que estabelecem relações simbióticas com as plantas, auxiliando na absorção de nutrientes e na tolerância ao estresse hídrico (MOURA, 2015; PORCEL; RUIZ-LOZANO, 2004). Essa adaptabilidade torna o Cerrado uma fonte valiosa de organismos com grande potencial para serem utilizados como inoculantes e bioinsumos na agricultura sustentável, promovendo o crescimento vegetal e a recuperação de áreas degradadas, ao mesmo tempo que minimiza o uso de insumos químicos.

A atuação dos componentes biológicos nos solos do Cerrado ainda é insuficientemente explorada, especialmente em relação às diversas populações que compõem a microbiota do solo. Dentre esses microrganismos, as micorrizas, especialmente os fungos micorrízicos arbusculares (FMAs), destacam-se por sua importância em ambientes com baixa disponibilidade de nutrientes ou condições de restrição. Como os solos do Cerrado apresentam predominantemente baixa fertilidade, os FMAs possuem papel fundamental na nutrição das plantas deste bioma.

A tecnologia para a produção de inóculos micorrízicos comerciais, como os fungos micorrízicos arbusculares, tem ganhado destaque, principalmente no Brasil, que está na vanguarda desse desenvolvimento. Essa tecnologia é importante para a agricultura, pois os fungos melhoram a absorção de nutrientes pelas plantas, promovendo o crescimento saudável, resistência a estresses ambientais e contribuindo para a sustentabilidade. Nos ecossistemas nativos, como florestas tropicais e o Cerrado, a diversidade de FMAs é alta, mas esses ambientes ainda são relativamente pouco estudados em comparação com outros ecossistemas (MOURA; CABRAL, 2019a).

A biodiversidade desses fungos nesses ambientes pode oferecer um vasto potencial para a descoberta de novas espécies e inóculos mais eficientes, que podem ser utilizados para aumentar a produtividade agrícola de forma sustentável e ecologicamente responsável nas áreas de pastagens. A pesquisa nesses ecossistemas é essencial para aproveitar ao máximo o potencial dessas simbioses para aplicações comerciais e conservação ambiental (CORREIA *et al.*, 2004; MOURA *et al.*, 2022).

Diante da importância das micorrizas, especialmente dos fungos micorrízicos

arbusculares, na promoção da nutrição das plantas e na sustentabilidade dos sistemas agrícolas, torna-se essencial um aprofundamento no entendimento dessas interações no contexto do Cerrado. Assim, objetiva-se com este trabalho gerar uma revisão bibliográfica abrangente sobre as micorrizas no bioma Cerrado, abordando sua diversidade, funções ecológicas e potenciais aplicações em práticas agrícolas sustentáveis. Espera-se que esta revisão contribua para o reconhecimento e valorização dos FMAs como ferramentas estratégicas para o desenvolvimento sustentável da agricultura no Cerrado, bem como para a conservação da biodiversidade e a saúde do solo.

REVISÃO DA LITERATURA

Micorrizas

As micorrizas são associações simbióticas entre fungos e as raízes das plantas, desempenham atividades de capacitação de nutrientes que favorecem o crescimento e a adaptação das plantas em diferentes ecossistemas. Nessa interação mutualística, o fungo auxilia na absorção de minerais essenciais, como fósforo e nitrogênio, enquanto a planta retribui para o sistema carboidratos e demais açúcares oriundos do processo de fotossíntese (SMITH; READ, 2008).

Compreender a diversidade e distribuição desses fungos é fundamental para a conservação dos biomas tropicais e para o desenvolvimento de práticas agrícolas sustentáveis, já que eles aumentam a resiliência das plantas e melhoram a saúde dos ecossistemas (ARAÚJO; HUNGRIA, 1994; PEAY, 2016; SINGER; ARAÚJO, 1979). Estudos indicam que a presença de micorrizas pode aumentar a eficiência na absorção de fósforo em até 80% em plantas tropicais, conforme demonstrado por Moreira *et al.* (2006), o que é crucial em solos frequentemente deficientes nesse nutriente.

Os fungos micorrízicos podem ser divididos em categorias principais, como as micorrizas arbusculares, ectotróficas, ericoides e orchideoides, cada uma com adaptações específicas que lhes permitem prosperar em diferentes condições ambientais e formar associações com diversas plantas hospedeiras (PAGANO; LUGO, 2019). Dentre os tipos mais predominantes, destacam-se as ectomicorrizas (ECM) e as endomicorrizas, também conhecidas como micorrizas arbusculares (MA). Nas ectomicorrizas, os fungos envolvem a superfície das raízes, formando uma rede de hifas que se estende pelo solo, ampliando a área de absorção. Nas micorrizas arbusculares, as hifas penetram nas células das raízes, formando arbúsculos, estruturas onde ocorre a troca de nutrientes entre planta e fungo (SMITH; READ, 2008).

As micorrizas arbusculares são as mais comuns nos biomas tropicais e formam

associações simbióticas com a maioria das plantas vasculares, como árvores e plantas herbáceas. Essas interações são essenciais para o desenvolvimento e sobrevivência das plantas, pois aumentam a disponibilidade de nutrientes, especialmente fósforo. Um estudo de Brundrett (2009) aponta que até 90% das plantas em ecossistemas tropicais têm alguma forma de associação micorrízica, destacando sua importância para a biodiversidade local. (BRUNDRETT, 2009; MOREIRA; SIQUEIRA; BRUSSAARD, 2006; VAN DER HEIJDEN *et al.*, 2015).

As micorrizas ectotróficas, embora menos comuns nos biomas tropicais, estão presentes em áreas específicas, como florestas de coníferas e plantações de eucalipto. No Cerrado, apesar da predominância das micorrizas arbusculares, também foram identificadas espécies de ectomicorrizas associadas a árvores adaptadas a solos ácidos e pobres em nutrientes. Essas associações são cruciais para a sobrevivência das plantas em ambientes estressantes, aumentando sua eficiência na absorção de nutrientes e sua tolerância a condições adversas (SINGER; ARAUJO, 1979; WINAGRASKI *et al.*, 2019).

No bioma Cerrado, as micorrizas desempenham um papel fundamental na biodiversidade e na ecologia da região. Embora as micorrizas arbusculares sejam predominantes, o Cerrado abriga uma diversidade significativa de espécies vegetais que dependem dessas associações simbióticas para sobreviver em solos desafiadores (CORREIA *et al.*, 2004). Um estudo de Lucas *et al.* (2022) indicou que plantas micorrizadas apresentam aumento de até 50% na resistência à seca, o que é vital para a resiliência diante de secas e incêndios sazonais típicos do Cerrado.

Pesquisas sobre a diversidade e funcionamento das micorrizas neste bioma revelam sua importância não apenas para a preservação da vegetação nativa, mas também para o manejo sustentável de culturas agrícolas adaptadas à região. A promoção do uso de micorrizas em práticas agroflorestais pode, portanto, ser uma estratégia promissora para conciliar produtividade e conservação ambiental no Cerrado (AKER *et al.*, 2022; CORREIA *et al.*, 2004; LUCAS *et al.*, 2022).

Micorrizas no Cerrado

Os Cerrados são as principais savanas tropicais do continente americano, caracterizados por uma fitofisionomia composta predominantemente por vegetação rasteira e espécies arbóreas pouco adensadas (VELOSO; RANGEL-FILHO; LIMA, 1991). Embora sejam considerados um tipo de savana, apresentam uma grande diversidade de fitofisionomias, com predominância de gramíneas herbáceas, pequenos arbustos e árvores espaçadas. Essas plantas exibem adaptações

a ambientes secos, onde árvores e arbustos apresentam galhos tortuosos, folhas endurecidas, casca grossa e superfícies brilhantes, podendo ser cobertos por tricomas ou ter folhas coriáceas. A produção de flores e brotos ocorre muitas vezes na estação seca, cobrindo aproximadamente 35% do território brasileiro (ANDRADE JÚNIOR *et al.*, 2018; ARRUDA *et al.*, 2021; BEUCHLE *et al.*, 2015; MOURA, 2015; MOURA *et al.*, 2019a).

O Cerrado, que se estende por uma área de 2.045.064 km², é o segundo maior bioma brasileiro, abrangendo oito estados do Brasil Central: Minas Gerais, Goiás, Tocantins, Bahia, Maranhão, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Piauí e o Distrito Federal. Este bioma é cortado por três das maiores bacias hidrográficas da América do Sul e apresenta índices pluviométricos regulares que favorecem uma rica biodiversidade. O Cerrado é considerado a última fronteira agrícola das Américas, sendo apenas superado em área pela Amazônia (BRAZ *et al.*, 2013; KLINK; MACHADO, 2005). Esse bioma possui uma das maiores biodiversidades do planeta, atuando como uma zona de transição entre outros importantes biomas sul-americanos, como a Amazônia, Caatinga, Mata Atlântica e Pantanal (KLINK; MACHADO, 2005).

As savanas centrais americanas oferecem condições abióticas adversas ao crescimento de plantas, como baixos níveis de fósforo e um regime hídrico limitado, nestes solos foi observada a ocorrência natural de fungos endomicorízicos versículo-arbusculares, sendo que essa população nativa de fungos mostrou ser oscilante em alguns solos de Cerrado, com a frequência de seus esporos variando em função dos períodos sazonais de seca e chuva (VIEIRA, 2001). Com isso, os vegetais dependem diretamente da ação desses fungos para sobreviver a essas condições, conferindo à associação entre fungos e plantas um papel importante na resiliência a situações estressantes. Além de definir nichos ecológicos ocupados pelos vegetais, essas associações determinam a composição das comunidades de plantas (HUNKE *et al.*, 2015; MOURA *et al.*, 2017).

De acordo com Pirozynski (1981), a evolução da associação micorrízica com vegetais superiores teve início nas regiões tropicais, com algumas espécies encontradas exclusivamente nesses locais. Embora atualmente sejam relatadas em várias regiões do mundo, independente do clima, a presença de fungos micorrízicos é amplamente documentada em diferentes biomas. (JUNIOR *et al.*, 2020; LUCAS *et al.*, 2022; MOURA *et al.*, 2017, 2019b).

Levantamentos realizados em diferentes tipos de solo do Cerrado mostram que os fungos micorrízicos arbusculares se associam a uma ampla variedade de plantas nativas, incluindo gramíneas, leguminosas e espécies arbóreas como pequi e buriti. A densidade média de espécies de fungos micorrízicos em solos do cerrado varia em média de 25 a 50 esporos por 50cm³ de solo. 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 sob o epíteto *Scutellospora pernambucana*. Enquanto, 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 nova espécie, *Scutellospora alterata*, em região de Caatinga no Nordeste (PONTES *et al.*, 2013).

Benefícios das Micorrizas às Plantas

As micorrizas melhoram a eficiência de absorção de nutrientes pelas plantas, especialmente de fósforo (P), nitrogênio (N), potássio (K), zinco (Zn) e outros micronutrientes. Os fungos micorrízicos formam uma extensa rede de hifas que expandem a área de exploração das raízes, alcançando zonas de solo que as raízes sozinhas não conseguiriam explorar (SINGER; ARAUJO, 1979; WINAGRASKI *et al.*, 2019). Além disso, os FMAs podem ser utilizados como potenciais agentes de controle biológico de doenças de plantas. Esses fungos produzem ainda glomalina, uma proteína que desempenha papel fundamental na estabilidade do solo e bioestabilização de solos contaminados (FOLLI-PEREIRA *et al.*, 2012).

A associação com micorrizas aumenta a resistência das plantas a condições de estresse, como seca, salinidade e altas concentrações de metais pesados. Isso ocorre devido à melhoria da absorção de água e nutrientes, além da capacidade de algumas micorrizas de sequestrar substâncias tóxicas ou limitar sua mobilidade no solo (RUIZ-LOZANO; PORCEL; AROCA, 2006; SMITH; READ, 2008).

Outro benefício importante dos fungos micorrízicos é a promoção do crescimento vegetal por meio da maior disponibilidade de nutrientes e hormônios vegetais, como auxinas e citocininas, que são indiretamente favorecidos pela simbiose. Isso resulta em plantas mais vigorosas, com maior biomassa e maior produtividade, o que relata Ludwig (LUDWIG-MÜLLER, 2010).

Os fungos micorrízicos também desempenham um papel importante na ciclagem de nutrientes, ajudando na decomposição da matéria orgânica e na liberação de nutrientes para as plantas. Isso é especialmente relevante em ecossistemas naturais e agroecossistemas, onde a ciclagem de nutrientes é fundamental para a manutenção da fertilidade do solo (SMITH; SMITH, 2011; VAN DER HEIJDEN; HORTON, 2009).

As micorrizas oferecem uma ampla gama de benefícios às plantas, desde a melhoria da absorção de nutrientes e da estrutura do solo até o aumento da resistência a estresses e patógenos. Em um contexto de agricultura sustentável, o uso de fungos micorrízicos se destaca

como uma estratégia promissora para aumentar a produtividade agrícola de forma ambientalmente responsável. A integração dessas interações simbióticas na prática agrícola pode reduzir a necessidade de insumos químicos, promover a biodiversidade do solo e melhorar a resiliência das culturas frente às mudanças climáticas (BERRUTI *et al.*, 2016; GIANINAZZI *et al.*, 2010).

Bioprospecção de Micorrizas

A prospecção de micorrizas visa, principalmente, o isolamento e a avaliação da eficácia de diferentes espécies de fungos micorrízicos. Esse processo envolve a identificação de fungos que beneficiam plantas em variados ecossistemas e a avaliação de sua capacidade de melhorar o crescimento vegetal e a absorção de nutrientes (CHANDRASEKARAN, 2020; VAN DER HEIJDEN *et al.*, 2015; WINAGRASKI *et al.*, 2019). A prospecção de micorrizas é uma ferramenta promissora para promover práticas agrícolas sustentáveis e restaurar ecossistemas degradados. Pesquisas contínuas são essenciais para entender as interações entre fungos e plantas, contribuindo para o desenvolvimento de estratégias que beneficiem tanto a agricultura quanto o meio ambiente (HERATH *et al.*, 2024).

A exploração de fungos micorrízicos nativos também contribui para a conservação da biodiversidade local. A identificação de micorrizas associadas a plantas nativas pode auxiliar na restauração de ecossistemas, promovendo a recuperação da vegetação e, conseqüentemente, da fauna (DHIMAN *et al.*, 2022; GIANINAZZI *et al.*, 2010).

Os fungos micorrízicos arbusculares (FMAs), além de promoverem o crescimento vegetal e a sanidade, podem ser utilizados como bioinsumos, aplicáveis em cultivos agrícolas para reduzir estresses bióticos e abióticos, além de melhorar a produção e o vigor das plantas. O Cerrado, por suas características de biodiversidade adaptada a condições edafoclimáticas naturalmente estressantes, é um dos ambientes mais promissores para a prospecção de espécies de FMA com potencial biotecnológico (AKER *et al.*, 2022; MOURA; CABRAL, 2019a).

Com o aumento da demanda por práticas agrícolas mais sustentáveis e pela recuperação de ambientes degradados, a prospecção de micorrizas se torna uma estratégia crucial. Essa pesquisa tem gerado novas tecnologias, como inoculantes micorrízicos, que ajudam a promover o crescimento saudável das plantas e a melhorar a eficiência no uso de nutrientes, reduzindo a necessidade de insumos químicos. Assim, a prospecção e a aplicação de micorrizas são fundamentais para o desenvolvimento de sistemas agrícolas sustentáveis e para a conservação da biodiversidade (DHIMAN *et al.*, 2022; HERATH *et al.*, 2024; LOPES *et al.*, 2021).

Inoculantes Micorrízicos

Os inoculantes micorrízicos têm se destacado como ferramentas biotecnológicas promissoras para o manejo sustentável de solos e o aumento da produtividade agrícola (DHIMAN *et al.*, 2022). A partir da década de 1960, houve um aumento significativo no número de estudos sobre os efeitos da micorriza arbuscular (MA) em diversas regiões do mundo, com ênfase especial nas áreas tropicais e, em particular, no bioma Cerrado (BEVER *et al.*, 1996; JUNIOR *et al.*, 2020).

Esses estudos revelaram que a inoculação de MA em solos de Cerrado, pode promover aumentos substanciais na produtividade agrícola. Devido a esses benefícios, as micorrizas ganharam muita consideração em relação à pesquisa multidisciplinar e têm grandes aplicações na agricultura como biofertilizantes, na produção de combustível devido ao aumento da biomassa vegetal e na reabilitação do solo, fitoextração e fitorremediação (DHIMAN *et al.*, 2022).

A interação entre FMAs e plantas é baseada em uma troca mutualista: enquanto o fungo beneficia-se dos carboidratos derivados da fotossíntese da planta, ele, em contrapartida, amplia a área de absorção de água e nutrientes por meio de suas hifas, estruturas filamentosas que aumentam o alcance do sistema radicular. Esse processo é especialmente importante em solos pobres em nutrientes ou degradados, onde a eficiência da absorção de fósforo, um nutriente de baixa mobilidade no solo, é crucial para o desenvolvimento vegetal (CORREIA *et al.*, 2004; HERATH *et al.*, 2024).

O uso de inoculantes micorrízicos favorece a recuperação de áreas degradadas e pode ser integrado em programas de manejo sustentável do solo. A inoculação pode melhorar a qualidade física, química e biológica do solo, promovendo o equilíbrio da microbiota e estimulando a colonização por outros microrganismos benéficos (CORREIA *et al.*, 2004; GIANINAZZI *et al.*, 2010).

Contudo, a eficácia dos inoculantes micorrízicos depende de fatores como a compatibilidade entre a espécie de FMA utilizada e a cultura alvo, as condições edafoclimáticas e as práticas agrícolas aplicadas. Para maximizar os benefícios, é essencial realizar uma seleção criteriosa dos isolados de fungos a serem utilizados, levando em consideração sua eficiência em promover o crescimento da planta e em se adaptar ao ambiente local (BRUNDRETT, 2009; HOEKSEMA *et al.*, 2010; RILLIG; MUMMEY, 2006).

ESPOROS DE FUNGOS E FORRAGEIRAS: CONSTRUINDO ALIANÇAS EDÁFICAS EM SOLOS DO CERRADO–PANTANAL¹

SPORES AND FUNGAL FORAGES: BUILDING EDAPHIC ALLIANCES IN CERRADO-PANTANAL SOILS

Joene Aparecida Patrício²; Alessandro José Marques Santos; João Pedro Costa Venâncio Camargo; Eliana Paula Fernandes Brasil; Marcelo Castro Pereira; Jadson Belem de Moura.

RESUMO

Este estudo avaliou a influência de seis espécies forrageiras perenes utilizadas como plantas de cobertura sobre a composição e atividade de comunidades de fungos micorrízicos arbusculares (FMA) em solos da região de transição Cerrado–Pantanal. Embora não tenham sido observadas diferenças significativas na riqueza de espécies, verificaram-se variações na densidade de esporos, composição taxonômica e estrutura funcional das comunidades fúngicas, demonstrando o papel da identidade vegetal na modulação da assembleia de FMA. *Neonotonia wightii* e *Stylosanthes guianensis* cv. Bela destacaram-se por promoverem maior densidade de esporos. As análises multivariadas revelaram agrupamentos distintos de fungos associados a cada espécie vegetal, sugerindo especificidade de hospedeiro e compatibilidade ecológica como fatores determinantes da diversidade micorrízica. Os resultados indicaram que o uso estratégico de leguminosas e gramíneas forrageiras pode contribuir para o aumento da biodiversidade edáfica, fortalecendo a sustentabilidade e a resiliência de agroecossistemas tropicais. Reforça-se, assim, a importância da escolha adequada de espécies de cobertura para favorecer alianças funcionais entre plantas e microrganismos em solos degradados ou manejados no bioma Cerrado.

Palavras-chave: forrageiras, leguminosas, plantio direto, micorrizas, biodiversidade edáfica, bioinsumos.

ABSTRAT

This study evaluated the influence of six perennial forage species used as cover crops on the composition and activity of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) communities in Cerrado–Pantanal soils. Despite no significant differences in species richness, variations in spore density, taxonomic composition, and functional structure were observed, highlighting the role of plant identity in shaping AMF assemblages. *Neonotonia wightii* and *Stylosanthes guianensis* cv. Bela stood out for promoting higher densities of spores. Multivariate analyses revealed distinct fungal assemblages associated with each plant species, suggesting host specificity and ecological compatibility as drivers of AMF diversity. These findings indicate that strategic use of forage legumes and grasses can enhance soil biodiversity, contributing to the sustainability and resilience of tropical agroecosystems. The results reinforce the importance of selecting appropriate cover species to foster functional microbial alliances in degraded or managed soils of the Brazilian savanna.

Keywords: forage, legumes, no-tillage, mycorrhizae, edaphic biodiversity, bioinputs.

¹ Projeto apresentado ao programa de Pós-Graduação do Mestrado em Produção Animal e Forragicultura da Universidade Estadual de Goiás, Câmpus Oeste - Sede São Luís de Montes Belos, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre.

² Bacharel em Agronomia. Faculdade Evangélica de Goianésia - FACEG. E-mail: joeneaparecida@outlook.com

INTRODUÇÃO

Os biomas Cerrado e Pantanal representam duas das mais relevantes formações ecológicas da América do Sul, não apenas pela biodiversidade singular que abrigam, mas também por sua importância econômica, social e produtiva (COLE, 1960; DE GÓES MACIEL *et al.*, 2019; DICK *et al.*, 2021; POMPEU; VILPOUX, 2023). O Cerrado, reconhecido como a savana mais biodiversa do planeta, ocupa cerca de 24% do território brasileiro e abriga múltiplas fitofisionomias adaptadas a solos ácidos e clima sazonalmente seco, sendo responsável por alimentar as principais bacias hidrográficas do país (ANDRADE; FELFILI; VIOLATTI, 2002; BATALHA, 2011; MOURA; CABRAL, 2019b). O Pantanal, por sua vez, configura-se como a maior planície alagável contínua do mundo, cuja dinâmica de cheias e vazantes sustenta uma rica heterogeneidade ecológica e oferece serviços ambientais inestimáveis, incluindo a regulação hidrológica e o sequestro de carbono (DICK *et al.*, 2021; POMPEU; VILPOUX, 2023).

A região de transição entre esses dois biomas — caracterizada por mosaicos de ambientes, topografias variadas e regimes edafoclimáticos contrastantes — possui grande potencial produtivo, especialmente para atividades agropecuárias (DICK *et al.*, 2021; MOURA *et al.*, 2025; POMPEU; VILPOUX, 2023; VIEIRA JUNIOR *et al.*, 2025). Nessas áreas, sistemas de produção pecuária extensivos e intensivos coexistem, sendo as pastagens e as forrageiras tropicais o principal alicerce econômico da paisagem agrícola regional (BULLER *et al.*, 2015; D'ACUNHA *et al.*, 2024; ZHAO *et al.*, 2025). Dentre essas forrageiras, as leguminosas têm ganhado destaque por sua capacidade de enriquecer o solo por meio da fixação biológica de nitrogênio (FBN), melhorar a qualidade da forragem e favorecer a microbiota edáfica associada (LIU *et al.*, 2025; LUO *et al.*, 2024; TRUMPP *et al.*, 2025).

Apesar do elevado potencial agrônomo, os desafios impostos pelos solos do Cerrado e pelas condições hidrológicas do Pantanal dificultam a produtividade agropecuária. Os solos latossólicos do Cerrado são, em sua maioria, altamente intemperizados, com baixa disponibilidade de fósforo, alta acidez e toxidez por alumínio, enquanto o Pantanal impõe restrições sazonais por alagamentos prolongados seguidos de secas intensas (ALHO; SILVA, 2012; HOFMANN *et al.*, 2016; MOURA *et al.*, 2025; MOURA; CABRAL, 2019b). Tais fatores impõem limites à absorção de nutrientes, à atividade microbiana e à resiliência das culturas forrageiras.

Nesse contexto, os microrganismos do solo, particularmente os fungos micorrízicos arbusculares (FMAs), emergem como aliados fundamentais na construção de sistemas agroecológicos resilientes (SOUZA *et al.*, 2025). Os FMAs, pertencentes ao filo

Glomeromycota, formam associações simbióticas com mais de 80% das espécies vegetais terrestres, ampliando significativamente a capacidade das plantas de absorver fósforo, micronutrientes e água (PEREIRA *et al.*, 2014; QUEIROZ *et al.*, 2020). Além de facilitar a tolerância a estresses abióticos — como seca, salinidade e metais pesados — esses fungos contribuem para a resistência a patógenos, a estruturação do solo e o aumento da eficiência de outros simbios, como rizóbios, formando a chamada simbiose tripartite planta–FMA–bactéria fixadora de nitrogênio (ERMAN *et al.*, 2011; GIRARDIN *et al.*, 2019; GOICOECHEA *et al.*, 1998; WANG *et al.*, 2021).

Tanto no Cerrado quanto no Pantanal, estudos demonstram uma elevada diversidade de FMAs, com variações sazonais em abundância e colonização radicular (MOURA *et al.*, 2025; VIEIRA JUNIOR *et al.*, 2025). No Cerrado, a atividade micorrízica tende a se intensificar durante o período seco, enquanto no Pantanal, a composição das comunidades fúngicas responde fortemente aos ciclos de inundação e à topografia local (MOURA *et al.*, 2025). Ainda assim, há uma lacuna significativa de conhecimento sobre como essas comunidades fúngicas interagem especificamente com forrageiras leguminosas em diferentes sistemas de manejo, especialmente na zona de transição entre os biomas.

Apesar da crescente valorização das leguminosas como plantas de cobertura e forragem tropical, poucos estudos têm investigado de forma integrada a diversidade micorrízica associada a essas espécies no contexto da pecuária tropical. Compreender quais espécies de FMAs são estimuladas por diferentes leguminosas, sob distintas condições edafoclimáticas, pode viabilizar o desenvolvimento de bioinsumos específicos e estratégias de manejo mais sustentáveis. Sendo assim, objetivou-se avaliar a influência de seis espécies forrageiras perenes utilizadas como plantas de cobertura sobre a composição e atividade de comunidades de fungos micorrízicos arbusculares (FMA) em solos da região de transição Cerrado–Pantanal.

METODOLOGIA

O estudo foi conduzido no Campo Agrostológico da Embrapa Gado de Corte, localizado em Campo Grande – MS. Foram avaliadas seis áreas com espécies forrageiras, sendo quatro leguminosas e duas gramíneas, com o objetivo de caracterizar a comunidade de fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) associada às suas raízes e solos rizosféricos. Foram escolhidas 6 áreas com cultivo de forragens: 1) *Arachis pintoii* cv. BRS Oquira, 2) *Neonotonia wightii*, 3) *Stylosanthes guianensis* cv. BRS Bela (linhagens BRS Grof-1463 e BRS Grof-1480), 4) *Stylosanthes capitata* + *S. macrocephala* (cv. Campo Grande), 5) *Pennisetum purpureum* cv. BRS Kurumi e 6) *Pennisetum purpureum* cv. Pioneiro.

As amostras de solo rizosférico foram compostas por quatro coletas simples aleatórias em cada parcela, totalizando quatro repetições por tratamento, em delineamento inteiramente casualizado. As análises laboratoriais foram realizadas no Laboratório de Microbiologia Agrícola da Faculdade Evangélica de Goianésia – GO.

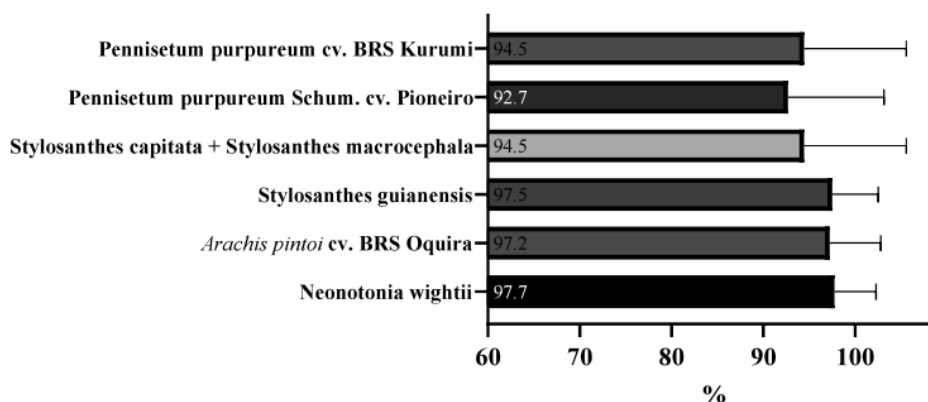
A extração de esporos de FMA foi realizada a partir de 50 cm³ de solo, utilizando a técnica de peneiramento úmido e centrifugação em solução de sacarose a 60% (GERDEMANN; NICOLSON, 1963, p. 63). Os esporos foram separados por características morfológicas (cor, tamanho e ornamentação) e classificados em morfotipos com auxílio de lupa estereoscópica. Para identificação em nível de gênero, os esporos foram montados em lâminas com PVLG puro e PVLG + Melzer (1:1 v/v), sendo comparados a descrições disponíveis na base INVAM (INVAM, 2022). A avaliação da colonização micorrízica foi conduzida após clarificação e coloração das raízes com azul de Trypan 0,05% em lactoglicerol (PHILLIPS; HAYMAN, 1970) e a quantificação da colonização foi feita por meio da técnica de interseção de quadrantes em microscópio óptico (GIOVANNETTI; MOSSE, 1980).

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) com o auxílio do software AgroStat (AGROSTAT, 2020). Análises multivariadas, como correspondência canônica, foram realizadas com o programa PAST (HAMMER, 2025).

RESULTADOS

A Figura 1 apresenta a taxa de colonização micorrízica (%) nas seis forrageiras avaliadas — *Neonotonia wightii*, *Arachis pintoi* cv. BRS Oquira, *Stylosanthes guianensis* cv. BRS Bela, *Stylosanthes capitata* + *S. macrocephala* (cv. Campo Grande), *Pennisetum purpureum* Schum. cv. Pioneiro e *Pennisetum purpureum* cv. BRS Kurumi — exibindo as médias e as respectivas barras de erro para cada tratamento.

Figura 1. Taxa de colonização micorrízica em espécies de leguminosas forrageiras em solo de Cerrado.

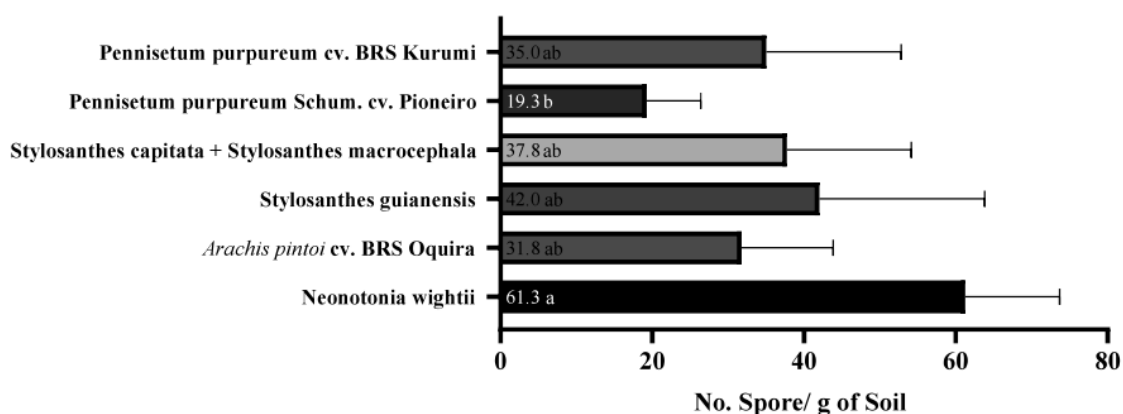


As colonizações permaneceram elevadas em todos os tratamentos, variando de 92,7% a 97,7%. Entre as leguminosas, *Neonotonia wightii* registrou 97,7%, seguida por *Stylosanthes guianensis* (BRS Bela) com 97,5% e *Arachis pintoi* (BRS Oquira) com 97,2%; o consórcio *S. capitata* + *S. macrocephala* apresentou 94,5%.

Nas gramíneas, *Pennisetum purpureus* (BRS Kurumi) apresentou 94,5%, enquanto *Pennisetum purpureum* Schum. (cv. Pioneiro) apresentou 92,7%; assim, as gramíneas compuseram as menores médias relativas do conjunto, apesar de manterem colonização acima de 92%. As barras de erro foram curtas, indicando baixa variabilidade entre repetições.

A Figura 2 apresenta a densidade de esporos de fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) na rizosfera das seis forrageiras, expressa em esporos g^{-1} de solo, e foram verificadas diferenças estatísticas entre as espécies de cobertura vegetal ($p < 0,05$); letras distintas sobre as barras indicaram diferença significativa, enquanto a mesma letra indicou ausência de diferença.

Figura 2. Densidade de esporos de fungos micorrízicos arbusculares em rizosfera de espécies de leguminosas forrageiras em solo de Cerrado.



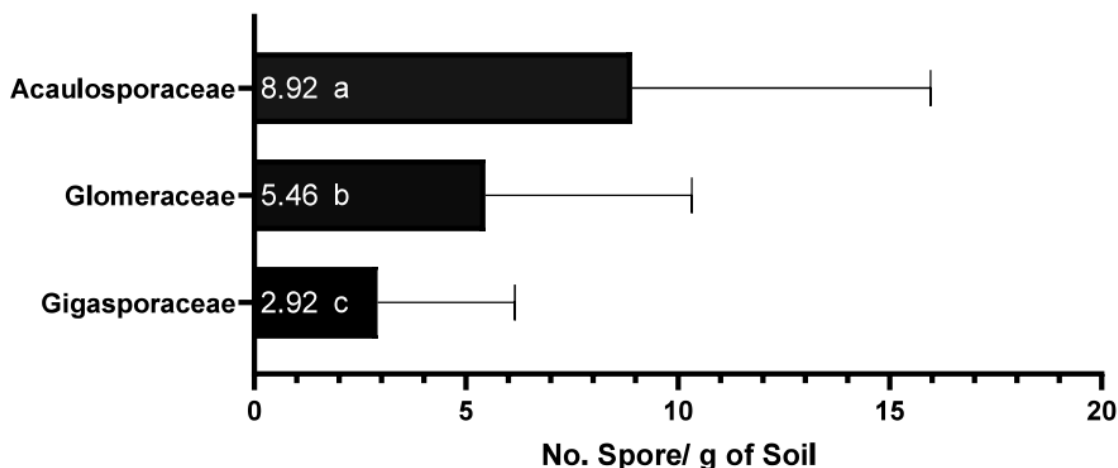
No conjunto, os valores variaram de 19,3 a 61,3 esporos g^{-1} . *Neonotonia wightii* apresentou a maior densidade (61,3; “a”), diferindo estatisticamente do capim-elefante *Pennisetum purpureum* Schum. cv. Pioneiro (19,3; “b”), que registrou o menor valor do experimento.

Entre as leguminosas, *Stylosanthes guianensis* cv. BRS Bela (42,0), *S. capitata* + *S. macrocephala* (37,8) e *Arachis pintoi* cv. BRS Oquira (31,8) receberam a letra “ab”, indicando ausência de diferença significativa em relação a *N. wightii* (“a”) e a *P. purpureum* cv. Pioneiro (“b”), situando-se, portanto, em faixa intermediária de densidade.

Entre as gramíneas, o capim-elefante anão *P. purpureus* cv. BRS Kurumi apresentou 35,0 esporos g^{-1} (“ab”), também sem diferir estatisticamente dos extremos; já *P. purpureum* Schum. cv. Pioneiro manteve o menor acúmulo de esporos e diferiu das demais quando comparado a *N. wightii*. As barras de erro sugeriram variação moderada entre repetições.

A Figura 3 apresenta a densidade de esporos por família de fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) na rizosfera das forrageiras avaliadas e foram verificadas diferenças estatísticas entre as famílias.

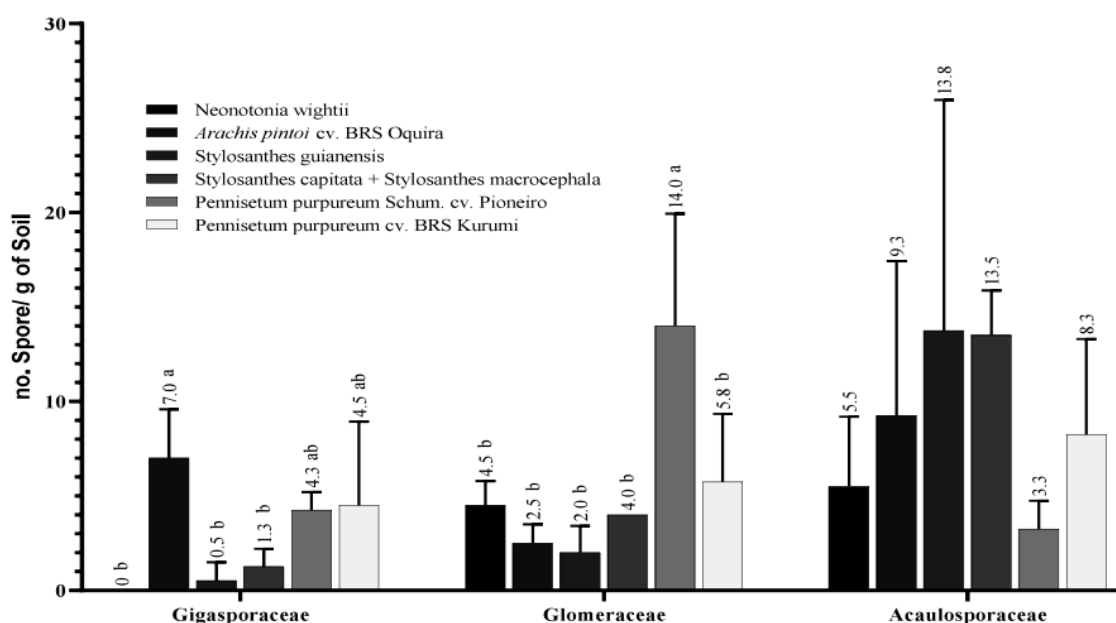
Figura 3. Famílias de fungos micorrízicos arbusculares em rizosfera de forrageiras em solo de Cerrado.



Os valores médios foram de 8,92 esporos g⁻¹ para *Acaulosporaceae*, 5,46 esporos g⁻¹ para *Glomeraceae* e 2,92 esporos g⁻¹ para *Gigasporaceae*, com ordenação *Acaulosporaceae* > *Glomeraceae* > *Gigasporaceae*. *Acaulosporaceae* apresentou maior densidade que as demais, diferindo estatisticamente de *Glomeraceae* e *Gigasporaceae* (letras “a”, “b” e “c”, respectivamente). Em termos relativos, *Acaulosporaceae* superou *Glomeraceae* em ≈63% e *Gigasporaceae* em ≈205%; *Glomeraceae*, por sua vez, excedeu *Gigasporaceae* em ≈87%. As barras de erro indicaram a variação entre repetições.

A Figura 4 apresenta a distribuição da densidade de esporos de fungos micorrízicos arbusculares (FMAs), agrupados por famílias (*Gigasporaceae*, *Glomeraceae* e *Acaulosporaceae*), em função da espécie vegetal cultivada. A análise estatística indicou diferenças significativas entre as combinações espécie/família ($p < 0,05$), demonstrando que a composição da comunidade de FMAs é sensível à identidade funcional e filogenética da planta hospedeira.

Figura 4. Família de fungos micorrízicos arbusculares em rizosfera de espécies de leguminosas forrageiras em solo de Cerrado.



A maior densidade de esporos da família *Gigasporaceae* foi registrada na rizosfera de *Arachis pintoii* cv. BRS Oquira (7,0 esporos/g solo), significativamente superior a todas as demais espécies. Essa elevada abundância sugere que *Arachis pintoii* apresenta elevada compatibilidade ou promove estímulos rizosféricos favoráveis à esporulação de gêneros como *Gigaspora* e *Scutellospora*, tradicionalmente associados a solos tropicais com bom aporte de carbono orgânico e agregação. Em contraste, espécies como *Neonotonia wightii* e *Stylosanthes guianensis* apresentaram valores muito reduzidos (<1 esporo/g), não diferindo estatisticamente entre si, sugerindo baixa promoção da esporulação de *Gigasporaceae*, possivelmente por menor emissão de exsudatos estimulantes ou competição com outras famílias.

As gramíneas *Pennisetum purpureum* cv. BRS Kurumi e cv. Pioneiro, bem como o consórcio de *Stylosanthes capitata* + *S. macrocephala*, apresentaram valores intermediários, entre 4,3 e 4,5 esporos/g solo, com variações estatisticamente semelhantes entre si. Isso indica que, embora as gramíneas não sejam tradicionalmente reconhecidas como fortes promotoras de FMAs, determinadas cultivares de *Pennisetum* podem favorecer seletivamente a esporulação de *Gigasporaceae*, possivelmente via alterações na estrutura do solo ou perfil de rizodeposição.

A *Glomeraceae* mostrou um padrão de resposta mais concentrado, com destaque absoluto para o consórcio *Stylosanthes capitata* + *S. macrocephala*, que apresentou a maior densidade (14,0 esporos/g), significativamente superior às demais espécies. Esse resultado corrobora a literatura que aponta leguminosas do gênero *Stylosanthes* como altamente compatíveis com *Glomus spp.* e *Claroideoglomus spp.*, membros dominantes dessa família, especialmente em

solos bem drenados e sob cobertura permanente. O resultado sugere que a composição consorciada dessa cobertura potencializa a esporulação, possivelmente por complementaridade nos perfis de exsudação radicular ou ocupação de nichos no solo.

As demais espécies, incluindo *Arachis pintoi*, *Pennisetum purpureum* (ambas cultivares), *Neonotonia wightii* e *Stylosanthes guianensis*, exibiram valores inferiores (1,2 a 4,5 esporos/g), sem diferença estatística entre si, indicando menor estímulo à esporulação da *Glomeraceae*. Tal padrão sugere que, mesmo entre leguminosas, há diferenças importantes quanto à promoção de FMAs, e que o tipo de simbiose estabelecido pode variar substancialmente com a composição da planta hospedeira.

A família *Acaulosporaceae* apresentou as maiores densidades absolutas de esporos em quase todos os tratamentos, especialmente nas leguminosas *Stylosanthes guianensis* (19,3 esporos/g), *Arachis pintoi* (13,5) e o consórcio *Stylosanthes capitata* + *S. macrocephala* (13,5), todas significativamente superiores aos demais tratamentos. Esses resultados reforçam que as leguminosas, particularmente do gênero *Stylosanthes*, desempenham papel central na promoção dessa família de FMAs, possivelmente por promoverem condições edáficas mais favoráveis à esporulação ou por maior especificidade simbiótica.

Por outro lado, *Pennisetum purpureum* (ambas cultivares) e *Neonotonia wightii* apresentaram os menores valores (<8,5 esporos/g solo), com diferenças estatísticas claras. Embora essas espécies tenham apresentado colonização micorrízica elevada (Figura 1), a baixa densidade de esporos da *Acaulosporaceae* sugere que a colonização não está necessariamente associada à promoção de esporulação, o que pode ser explicado por estratégias simbióticas baseadas em micélio intrarradicular e baixa esporulação exógena.

A Tabela 1 apresenta os índices ecológicos clássicos de diversidade aplicados às famílias de fungos micorrízicos arbusculares identificadas nas amostras: *Gigasporaceae*, *Glomeraceae* e *Acaulosporaceae*. Foram calculados os valores de riqueza de espécies (taxa S), diversidade de Shannon (H') e equitabilidade (J') para cada família, possibilitando uma visão abrangente da distribuição e estrutura das comunidades micorrízicas associadas às diferentes espécies vegetais.

Tabela 1. Índices de diversidade de famílias de fungos micorrízicos arbusculares em rizosfera de espécies de leguminosas forrageiras em solo de Cerrado.

Index	Gigasporaceae	Glomeraceae	Acaulosporaceae
Taxa_S	15	23	24
Shannon_H	2,6310	2,9510	2,9630
Equitability_J	0,9347	0,9145	0,9154

A família *Acaulosporaceae* apresentou a maior riqueza de espécies ($S = 24$), seguida pela *Glomeraceae* ($S = 23$) e *Gigasporaceae* ($S = 15$). Esses dados indicam que o número de morfoespécies ou unidades taxonômicas operacionais detectadas foi mais elevado em *Acaulosporaceae*, sugerindo maior potencial adaptativo dessa família às condições do solo de Cerrado, especialmente frente às variações de espécies hospedeiras e atributos ambientais locais.

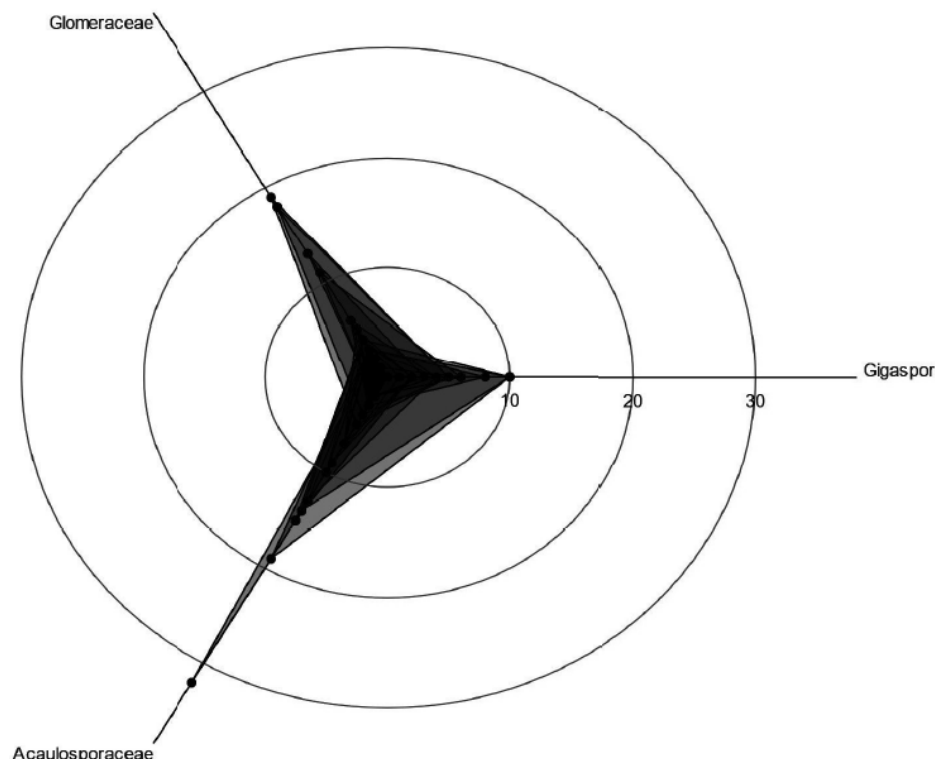
A diversidade de Shannon acompanhou a tendência da riqueza, sendo levemente maior para *Acaulosporaceae* ($H' = 2,963$), próxima à *Glomeraceae* ($H' = 2,951$) e mais baixa para *Gigasporaceae* ($H' = 2,631$). Esse índice considera tanto o número de espécies quanto a abundância relativa de cada uma, e reflete uma maior complexidade e equilíbrio na composição de *Acaulosporaceae* e *Glomeraceae*, enquanto *Gigasporaceae* apresentou menor diversidade, possivelmente devido à dominância de poucas espécies ou menor frequência de ocorrência.

A equitabilidade, que mede a uniformidade na distribuição dos indivíduos entre as espécies, foi elevada e bastante próxima entre as famílias: *Gigasporaceae* ($J' = 0,9347$), *Acaulosporaceae* ($J' = 0,9154$) e *Glomeraceae* ($J' = 0,9145$). Isso sugere que, embora *Gigasporaceae* possua menor riqueza e diversidade, suas espécies estão mais uniformemente representadas na comunidade. Já *Acaulosporaceae*, apesar da maior diversidade, pode apresentar uma leve dominância de algumas espécies, o que reduz ligeiramente sua equitabilidade.

A análise dos índices ecológicos evidencia que *Acaulosporaceae* e *Glomeraceae* são as famílias mais diversas e ricas em espécies no sistema avaliado, com distribuição relativamente equilibrada. Por outro lado, *Gigasporaceae* apresenta menor diversidade e riqueza, porém com distribuição interna mais homogênea. Esses resultados indicam que a comunidade micorrízica associada às leguminosas forrageiras no Cerrado é dominada por grupos altamente adaptáveis, mas com variações significativas na estrutura comunitária entre as famílias.

O gráfico de radar apresenta a distribuição da abundância relativa de esporos das três famílias de fungos micorrízicos em múltiplas espécies de leguminosas forrageiras (Figura 5). Cada eixo do gráfico representa uma família (*Acaulosporaceae*, *Glomeraceae*, *Gigasporaceae*), e os polígonos pretos mostram os perfis de abundância em cada amostra ou espécie.

Figura 5. Gráfico de radar de famílias de fungos micorrízicos arbusculares em rizosfera de espécies de leguminosas forrageiras em solo de Cerrado.



O padrão observado revela que a família *Acaulosporaceae* ocupa a maior projeção no radar, refletindo os maiores valores médios de esporulação entre as famílias avaliadas. Essa predominância indica uma distribuição mais ampla ou uma capacidade simbiótica superior dessa família com as espécies forrageiras analisadas. Já a *Glomeraceae* apresenta uma área intermediária, com esporulação consistente, porém inferior à de *Acaulosporaceae*. Sua distribuição mais moderada sugere uma participação funcional importante, ainda que menos dominante. Em contrapartida, a *Gigasporaceae* é a que apresenta menor expressão no gráfico, com áreas mais retraídas próximas ao centro do radar, denotando baixa abundância relativa de esporos nas amostras.

A Tabela 2 apresenta os gêneros de fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) encontrados na rizosfera das diferentes espécies de leguminosas e gramíneas forrageiras cultivadas em solo de Cerrado. Foram identificados representantes de nove gêneros: *Acaulospora*, *Ambispora*, *Cetraspora*, *Claroideoglossum*, *Dentiscutata*, *Diversispora*, *Glomus*, *Racocetra* e *Scutellospora*.

Tabela 2. Gêneros de Fungos Micorrízicos arbusculares associados à espécies de leguminosas forrageiras em solo de Cerrado.

Tratamentos	Acaulospora	Ambispora	Cetraspora	Claroideoglomus	Dentiscutata	Diversispora	Glomus	Racocetra	Scutellospora
N. wightii	-	-	+	+	-	-	+	+	-
A. pintoí cv. BRS Oquirá	-	-	+	+	+	-	+	+	+
S. guianensis cv. BRS Bela	+	+	+	+	+	+	-	+	+
S. capitata + S. macrocephala	+	-	+	+	+	-	+	+	+
P. purpureum cv. Pioneiro	+	-	+	+	+	-	+	+	-
P. purpureum cv. BRS Kurumi	+	-	+	+	+	-	-	+	-

Observa-se que a maior diversidade de gêneros foi associada a espécies do gênero *Stylosanthes*, sobretudo à combinação *S. capitata* + *S. macrocephala*, que apresentou oito dos nove gêneros identificados, exceto *Ambispora*. Essa diversidade elevada sugere que o consórcio dessas duas espécies de *Stylosanthes* promove um ambiente rizosférico altamente favorável à colonização e manutenção de uma comunidade fúngica diversificada.

Outras espécies que também apresentaram riqueza fúngica expressiva foram *Stylosanthes guianensis* cv. BRS Bela, *Pennisetum purpureum* cv. Pioneiro e *P. purpureum* cv. BRS Kurumi, todas com sete gêneros presentes. Já a espécie *Neonotonia wightii* mostrou-se associada a apenas três gêneros (*Claroideoglomus*, *Glomus* e *Racocetra*), o que indica uma menor diversidade de FMAs em sua rizosfera.

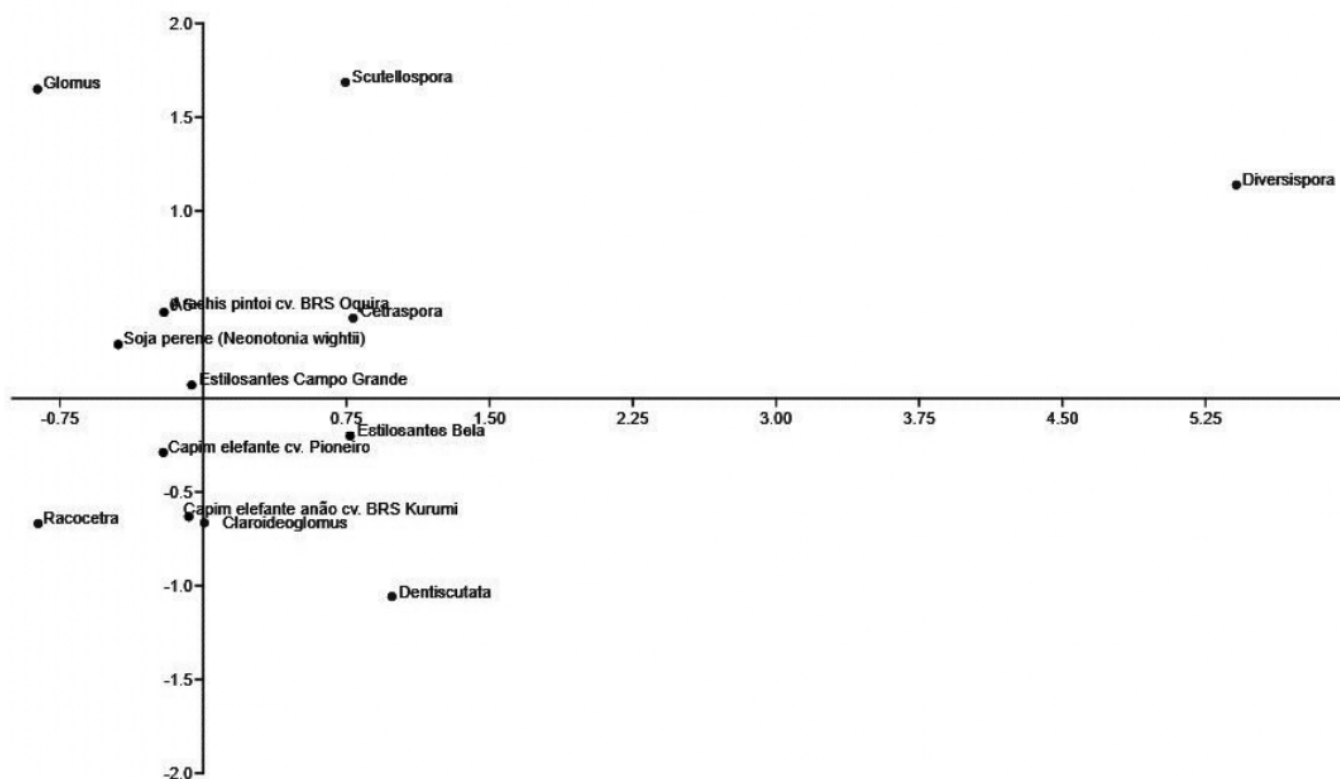
É interessante notar que os gêneros *Glomus* e *Racocetra* estiveram presentes na maioria dos tratamentos, indicando ampla distribuição e possível adaptação ao ambiente edáfico do Cerrado. Por outro lado, *Ambispora* foi detectado exclusivamente nas amostras de *Arachis pintoí* e *P. purpureum* cv. Pioneiro, sugerindo especificidade ecológica ou baixa frequência geral.

Esses resultados reforçam a importância da escolha da espécie vegetal na composição da microbiota do solo, uma vez que diferentes forrageiras modulam a estrutura das comunidades de FMAs, com impactos diretos sobre a biodiversidade e o potencial de promoção de serviços ecossistêmicos no agroecossistema. A presença de múltiplos gêneros, em especial nas espécies de *Stylosanthes*, pode indicar um potencial maior para simbioses eficazes, beneficiando o crescimento vegetal, a ciclagem de nutrientes e a resiliência frente a estresses ambientais.

A Figura 6 apresenta a Análise de Componentes Principais (PCA) dos gêneros de fungos micorrízicos arbusculares associados às diferentes espécies de leguminosas forrageiras cultivadas em solo de Cerrado. Este tipo de análise permite visualizar padrões de distribuição e associação entre espécies vegetais e os diferentes gêneros de fungos micorrízicos, reduzindo a

dimensionalidade dos dados sem perda significativa de informação ecológica.

Figura 6. Análise de componentes principais de gêneros de fungos micorrízicos arbusculares e espécies de leguminosas forrageiras em solo de Cerrado.



Na distribuição gráfica, observam-se agrupamentos distintos entre os tratamentos (espécies de plantas) e os gêneros fúngicos, o que evidencia preferências de associação micorrízica específicas. Por exemplo, os gêneros *Scutellospora*, *Cetraspora* e *Glomus* apresentam maior proximidade e correlação com as espécies *Arachis pintoii* cv. BRS Oquira, *Neonotonia wightii* e *Stylosanthes capitata* + *S. macrocephala* (cv. Campo Grande), indicando possível compatibilidade ecológica entre esses hospedeiros e tais fungos.

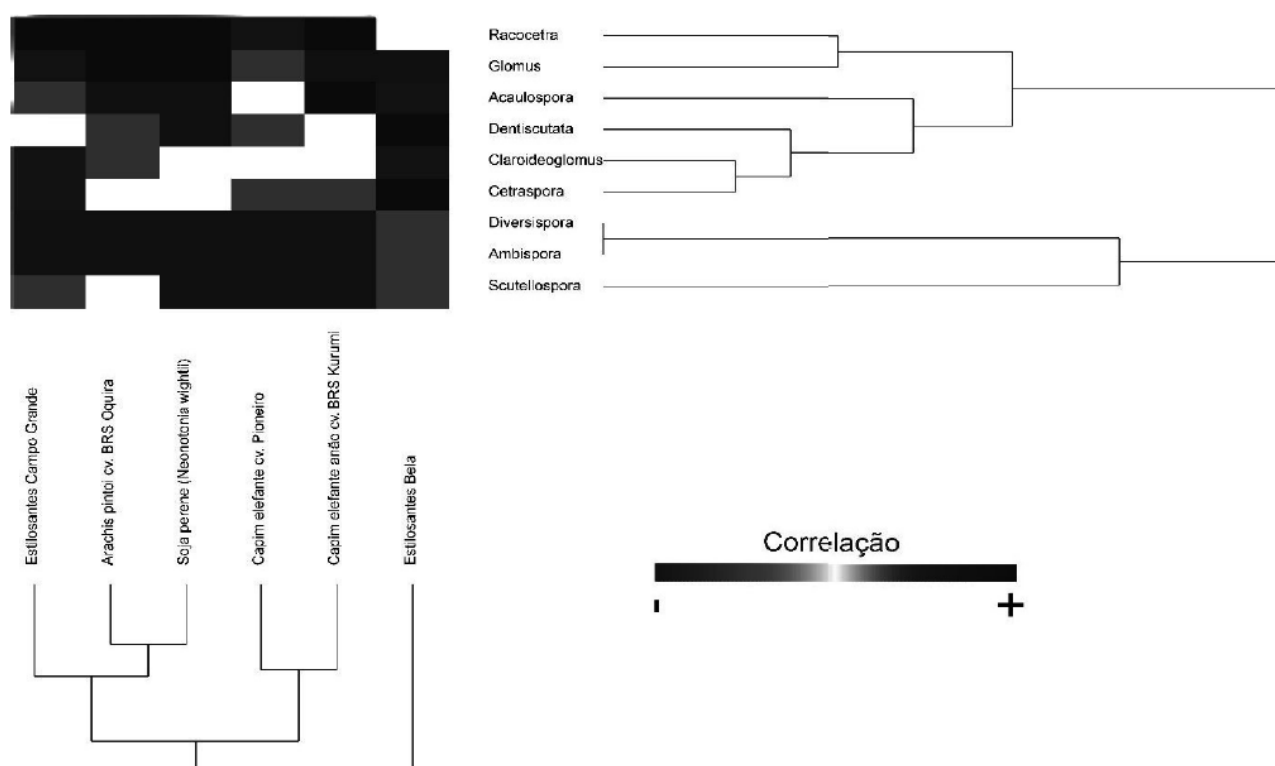
Por outro lado, o gênero *Diversispora* se destacou por estar fortemente associado aos capins do gênero *Pennisetum*, especialmente ao *capim elefante anão* cv. BRS Kurumi, que também se posiciona próximo ao gênero *Dentiscutata*. Já os gêneros *Racocetra* e *Claroideoglomus* mostraram-se mais associados ao *Pennisetum purpureum* cv. BRS Kurumi e *P. purpureum* cv. Pioneiro, sugerindo um padrão específico de colonização micorrízica nessas gramíneas.

A dispersão dos pontos e a orientação dos eixos reforçam a existência de distinções ecológicas relevantes nas comunidades de fungos micorrízicos em função do hospedeiro vegetal. O primeiro componente principal (eixo 1) representa o maior gradiente de variação,

separando principalmente *Diversispora* e *Dentiscutata* dos demais gêneros, enquanto o segundo componente (eixo 2) discrimina as espécies em menor grau, porém evidenciando a dispersão dos gêneros como *Scutellospora* e *Glomus*.

A Figura 7 apresenta a análise de agrupamento (heatmap e dendrograma) dos gêneros de fungos micorrízicos arbusculares associados às diferentes forrageiras cultivadas em solo de Cerrado. O heatmap evidencia a intensidade de correlação entre plantas hospedeiras e os gêneros de FMAs, com a escala variando de correlações negativas (vermelho) a positivas (azul). O dendrograma complementar permite observar o padrão de proximidade entre os gêneros e entre as espécies vegetais avaliadas.

Figura 7. Análise de agrupamento de gêneros de fungos micorrízicos arbusculares e espécies de leguminosas forrageiras em solo de Cerrado.



Entre os gêneros, observou-se que *Racocetra*, *Glomus* e *Acaulospora* agruparam-se em um mesmo ramo, indicando similaridade ecológica e ocorrência frequente conjunta em várias espécies de hospedeiros. Um segundo grupo foi formado por *Dentiscutata*, *Claroideoglomus* e *Cetraspora*, enquanto *Diversispora*, *Ambispora* e *Scutellospora* se agruparam em um ramo independente, sugerindo maior distância ecológica em relação aos demais. Essa separação hierárquica reflete estratégias simbióticas distintas e possíveis preferências por hospedeiros específicos.

No agrupamento das espécies vegetais, as leguminosas *Stylosanthes capitata* + *S.*

macrocephala (cv. Campo Grande), *Arachis pintoi* e *Neonotonia wightii* mostraram proximidade entre si, indicando comunidades micorrízicas semelhantes, possivelmente relacionadas ao hábito leguminoso e à fisiologia radicular. Já as gramíneas *Pennisetum purpureum* cv. BRS Kurumi e *P. purpureum* cv. Pioneiro agruparam-se em conjunto, o que evidencia a diferenciação entre as comunidades micorrízicas associadas às gramíneas e às leguminosas. Por fim, *Stylosanthes guianensis* (cv. Bela) destacou-se de forma mais isolada, sugerindo uma composição fúngica diferenciada em relação às demais espécies leguminosas.

DICUSSÃO

A Figura 1 apresenta o número total de esporos de fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) encontrados no solo sob diferentes espécies de leguminosas forrageiras cultivadas no Cerrado. Embora não tenham sido observadas diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos, nota-se uma tendência de variação no potencial de esporulação fúngica conforme a espécie vegetal utilizada como cobertura.

A espécie *Neonotonia wightii* apresentou o maior número absoluto de esporos, o que está alinhado com a literatura que destaca a elevada compatibilidade desta leguminosa com FMAs adaptados a solos tropicais ácidos, como espécies dos gêneros *Funneliformis* e *Glomus*. Essa planta é amplamente reconhecida por seu sistema radicular denso, arquitetura rizosférica pivotante e exsudação favorável à colonização micorrízica, fatores que aumentam o estímulo à esporulação mesmo na ausência de adubação fosfatada, conforme destacado por Hijri (HIJRI *et al.*, 2006) e por Oehl *et al.* (OEHL *et al.*, 2003).

O capim elefante (*Pennisetum purpureum*), embora não seja uma leguminosa, apresentou quantidade elevada de esporos, sugerindo que gramíneas tropicais de porte vigoroso também podem contribuir com a manutenção de propágulos viáveis no solo, especialmente quando associadas a espécies micorrízicas generalistas. Trabalhos como os de Moreira *et al.* (MOREIRA; DE CARVALHO; SIQUEIRA, 2010) reforçam que espécies rústicas adaptadas ao Cerrado, mesmo fora das leguminosas, podem favorecer a manutenção da microbiota micorrízica.

A Figura 2 mostra os dados referentes à densidade de esporos de fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) por 50 g de solo, sob diferentes espécies de cobertura vegetal cultivadas no Cerrado. Embora os valores absolutos variem entre os tratamentos, não houve diferença estatística significativa entre os grupos, o que indica que, apesar das oscilações nas contagens esporais, o potencial esporulativo dos FMAs manteve-se relativamente estável nas diferentes

condições de rizosfera avaliadas.

Neonotonia wightii novamente apresentou os maiores valores absolutos, consolidando seu papel como hospedeira eficaz para FMAs em ambientes tropicais. Essa espécie é reconhecida por manter uma intensa atividade radicular mesmo em solos de baixa fertilidade, o que favorece a manutenção de nichos ecológicos para formação e dispersão de esporos (RAMOS-ORDOÑEZ *et al.*, 2022). Além disso, o aumento da densidade de esporos, mesmo sem fertilização, pode estar associado à estratégia adaptativa dos FMAs de aumentar sua propagação em contextos de limitação nutricional, como forma de garantir colonizações futuras (ADEYEMI *et al.*, 2021; GRAHAM; ABBOTT, 2000; SOUZA *et al.*, 2025).

Pennisetum purpureum cv. Kurumi e *Arachis pintoii* também apresentaram contagens elevadas, sugerindo que plantas perenes e com elevada densidade de raízes finas têm papel relevante na sustentação de propágulos micorrízicos. Segundo Wang *et al.* (2017), a densidade de esporos pode ser mais diretamente influenciada pela taxa de renovação radicular e pela liberação contínua de exsudatos do que pela micotrofia absoluta da espécie vegetal.

Os dados da Figura 2 apontam para uma tendência funcional entre características morfofisiológicas das plantas de cobertura e a densidade de esporos de FMAs, ressaltando a importância da escolha das espécies cultivadas para manutenção da saúde microbiológica do solo.

A composição das famílias de fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) variou de forma significativa entre os diferentes sistemas vegetais analisados, refletindo a influência da planta hospedeira na estrutura da comunidade fúngica associada ao solo.

A figura 4 detalha a composição relativa das famílias *Glomeraceae*, *Acaulosporaceae*, *Gigasporaceae*, respectivamente. Nelas, observa-se que a *Glomeraceae* e a *Acaulosporaceae* se destacaram como as famílias predominante na maioria dos tratamentos, especialmente na presença de *Stylosanthes guianensis* e *Pennisetum purpureus*. Essa predominância pode ser atribuída à sua ampla plasticidade ecológica, alto potencial de esporulação e capacidade de rápida colonização, características amplamente documentadas por Oehl *et al.* (OEHL *et al.*, 2011) e corroboradas por Brito *et al.* (BRITO; GOSS; DE CARVALHO, 2012) em áreas de Cerrado com diferentes níveis de uso e manejo.

A *Glomeraceae*, especialmente representada por gêneros como *Glomus* e *Rhizophagus*, possui espécies adaptadas a solos com baixa fertilidade, como os do Cerrado, e apresenta estratégia ruderal que favorece sua ocorrência em ambientes com ciclagem intensa de nutrientes, como aqueles promovidos por leguminosas fixadoras de nitrogênio. A família *Acaulosporaceae* demonstrou participação expressiva em tratamentos sob leguminosas

perenes, como *Neonotonia wightii* e *Arachis pintoi* (Figura 4). Segundo Mello et al. (2020), membros dessa família tendem a ocorrer em ambientes menos perturbados e com maior teor de matéria orgânica, sendo também sensíveis à sazonalidade hídrica, fator presente no ambiente de Cerrado estudado. A presença de exsudatos específicos dessas leguminosas pode ter favorecido a esporulação de espécies de *Acaulospora*, cuja presença é reconhecidamente importante na promoção da estabilidade funcional dos consórcios micorrízicos (PAGANO *et al.*, 2011)

Gigasporaceae apresentou menor abundância relativa, com destaque para os tratamentos sob gramíneas como *Pennisetum purpureus*. A baixa frequência dessa família já era esperada, considerando que esporos de *Gigasporaceae* possuem maior tamanho e requerem maior aporte energético para sua formação, além de preferirem solos com estrutura física mais estável e menor compactação, conforme discutido por Hart & Reader (HART; READER, 2002). Ainda assim, sua presença, ainda que modesta, pode representar a resiliência de grupos especializados dentro do sistema radicular de gramíneas robustas.

Esses padrões de composição também encontram suporte nos dados de diversidade micorrízica apresentados nas Figuras 5, 6 e 7, onde se nota que tratamentos com leguminosas apresentaram maior riqueza e diversidade de famílias de FMAs. Tais resultados reforçam a hipótese de que as espécies vegetais modulam a estrutura da comunidade micorrízica por meio de atributos funcionais específicos, como o tipo de sistema radicular, densidade de exsudatos e capacidade de fixação biológica de nitrogênio.

Em conjunto, os resultados obtidos neste estudo indicam que a escolha de espécies de cobertura vegetal influencia diretamente a composição taxonômica das FMAs no solo, o que pode ter implicações significativas para a construção de sistemas agrícolas mais resilientes e funcionais no Cerrado. A adoção de espécies como *Stylosanthes guianensis* e *Neonotonia wightii* pode ser estratégica para promover a diversidade de FMAs, aumentar a resiliência do solo e fomentar interações benéficas com a microbiota rizosférica, conforme sugerido por revisões recentes.

CONCLUSÃO

Os resultados obtidos neste estudo demonstram que diferentes espécies de plantas forrageiras perenes utilizadas como cobertura vegetal no Cerrado apresentam capacidades distintas de promover a diversidade e a atividade de fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) no solo. Embora a riqueza de espécies micorrízicas não tenha variado significativamente entre os tratamentos, foram observadas diferenças marcantes na densidade de esporos, composição taxonômica e estrutura funcional das comunidades fúngicas, com destaque para o desempenho de espécies como *Neonotonia wightii* e *Stylosanthes guianensis* cv. Bela, que favoreceram a presença de famílias como Glomeraceae e Diversisporaceae em maiores proporções.

A análise multivariada revelou agrupamentos distintos entre os tratamentos, indicando que a identidade da espécie vegetal influencia diretamente a comunidade micorrízica associada. Esses resultados reforçam a hipótese de que as interações planta-microrganismo no solo não são generalistas, mas sim moldadas por compatibilidades ecológicas específicas, o que pode ter implicações significativas para o manejo da biodiversidade funcional do solo em sistemas agropecuários sustentáveis.

Além disso, a baixa sobreposição de espécies micorrízicas entre as espécies forrageiras indica que estratégias de consórcio ou rotação entre leguminosas e gramíneas forrageiras podem ampliar o espectro de simbiontes disponíveis no solo, contribuindo para a resiliência e multifuncionalidade dos agroecossistemas.

Ressalta-se a importância de se considerar a seleção criteriosa de espécies vegetais em programas de restauração ecológica e manejo conservacionista, valorizando seu papel como engenheiras do solo e promotoras da saúde edáfica no bioma Cerrado.

REFERÊNCIAS

- ADEYEMI, N. O.; ATAYESE, M. O.; SAKARIYAWO, O. S.; AZEEZ, J. O. 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. **Journal of Plant Nutrition**, v. 0, n. 0, p. 1–17, 23 out. 2021.
- AGROSTAT. **AGROSTAT - Estatísticas de Comércio Exterior do Agronegócio Brasileiro**. Disponível em: <<http://indicadores.agricultura.gov.br/agrostat/index.htm>>. Acesso em: 9 abr. 2020.
- AKER, A. M.; CAPRONI, A. L.; BERBARA, R. L. L.; GRANHA, J. R. D. D. O.; SILVA, C. F. D.; PEREIRA, M. G. ARBUSCULAR MYCORRHIZAL FUNGI IN THE CERRADO BIOME: EFFECTS OF LAND USE SYSTEM, SOIL TEXTURE, AND SEASONALITY<sup/>. **Revista Caatinga**, v. 35, p. 170–180, 14 fev. 2022.
- ALHO, C. J. R.; SILVA, J. S. V. Effects of Severe Floods and Droughts on Wildlife of the Pantanal Wetland (Brazil)—A Review. **Animals**, v. 2, n. 4, p. 591–610, dez. 2012.
- ANDRADE JÚNIOR, J. A. D.; RIBEIRO DE SOUZA, B.; SOUZA, R. F.; DE MOURA, J. B. FIXAÇÃO DE CARBONO EM SISTEMAS AGROECOLÓGICOS NA REGIÃO DO VALE DO SÃO PATRÍCIO, GOIÁS CARBON SEQUESTRATION IN AGROECOLOGICAL SYSTEMS IN THE REGION OF THE SÃO PATRÍCIO VALLEY, GOIÁS. **Científic@ -Multidisciplinary Journal -ISSN**, v. 5, n. 2, p. 85–98, 2018.
- ANDRADE, L. A.; FELFILI, J. M.; VIOLATTI, L. Fitossociologia de uma área de cerrado denso na RECOR-IBGE, Brasília-DF. **Acta botânica brasílica**, v. 16, p. 225–240, 2002.
- ARAUJO, R. S.; HUNGRIA, M. MICRORGANISMOS DE IMPORTÂNCIA AGRÍCOLA. p. 236, 1994.
- ARRUDA, A. B.; SOUZA, R. F. de; BRITO, G. H. M.; MOURA, J. B. de; OLIVEIRA, M. H. R. de; SANTOS, J. M. dos; DUTRA E SILVA, S. Resistance of Soil to Penetration as a Parameter Indicator of Subsolation in Crop Areas of Sugar Cane. **Scientific Reports**, v. 11, n. 1, p. 11780, 3 jun. 2021.
- BATALHA, M. A. O cerrado não é um bioma. **Biota Neotropica**, v. 11, n. 1, p. 1–4, 2011.
- BERRUTI, A.; LUMINI, E.; BALESTRINI, R.; BIANCIOTTO, V. Arbuscular Mycorrhizal Fungi as Natural Biofertilizers: Let's Benefit from Past Successes. **Frontiers in Microbiology**, v. 6, 2016. . Acesso em: 21 out. 2024.
- 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. **Applied Geography**, v. 58, p. 116–127, 1 mar. 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. **Journal of Ecology**, v. 84, n. 1, p. 71–82, 1996.

BRAZ, S. P.; URQUIAGA, S.; ALVES, B. J. R.; JANTALIA, C. P.; GUIMARÃES, A. Paula.; DOS SANTOS, C. A.; DOS SANTOS, S. C.; MACHADO PINHEIRO, É. F.; BODDEY, R. M. Soil Carbon Stocks under Productive and Degraded Brachiaria Pastures in the Brazilian Cerrado. **Soil Science Society of America Journal**, v. 77, n. 3, p. 914–928, 2013.

BRITO, I.; GOSS, M. J.; DE CARVALHO, M. Effect of tillage and crop on arbuscular mycorrhiza colonization of winter wheat and triticale under Mediterranean conditions. **Soil Use and Management**, v. 28, n. 2, p. 202–208, 2012.

BRUNDRETT, M. Mycorrhizal associations and other means of nutrition of vascular plants: Understanding the global diversity of host plants by resolving conflicting information and developing reliable means of diagnosis. **Plant and Soil**, v. 320, p. 37–77, 1 jul. 2009.

BULLER, L. S.; BERGIER, I.; ORTEGA, E.; MORAES, A.; BAYMA-SILVA, G.; ZANETTI, M. R. Soil improvement and mitigation of greenhouse gas emissions for integrated crop–livestock systems: Case study assessment in the Pantanal savanna highland, Brazil. **Agricultural Systems**, v. 137, p. 206–219, 1 jul. 2015.

CHANDRASEKARAN, M. A Meta-Analytical Approach on Arbuscular Mycorrhizal Fungi Inoculation Efficiency on Plant Growth and Nutrient Uptake. **Agriculture**, v. 10, n. 9, p. 370, set. 2020.

COLE, M. M. Cerrado, Caatinga and Pantanal: The Distribution and Origin of the Savanna Vegetation of Brazil. **The Geographical Journal**, v. 126, n. 2, p. 168–179, 1960.

CORREIA, C. R. M. D. A.; REATTO, A.; MARTINS, E. de S.; SILVA, E. M. da; CALDAS, L. S.; FAGG, J. F. Micorriza Arbuscular: um bioindicador da fertilidade dos solos e da distribuição de árvores no Bioma Cerrado. n. 1^a, p. 38, 2004.

D'ACUNHA, B.; DALMAGRO, H. J.; ZANELLA DE ARRUDA, P. H.; BIUDES, M. S.; LATHUILLIÈRE, M. J.; URIBE, M.; COUTO, E. G.; BRANDO, P. M.; VOURLITIS, G.; JOHNSON, M. S. Changes in evapotranspiration, transpiration and evaporation across natural and managed landscapes in the Amazon, Cerrado and Pantanal biomes. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 346, p. 109875, 1 mar. 2024.

DE GÓES MACIEL, F.; RUFO, D. A.; KEUROGHLIAN, A.; RUSSO, A. C.; BRANDT, N. M.; VIEIRA, N. F.; DA NÓBREGA, B. M.; NAVA, A.; NARDI, M. S.; DE ALMEIDA JÁCOMO, A. T.; SILVEIRA, L.; FURTADO, M. M.; TÔRRES, N. M.; MIYAKI, C. Y.; TAMBOSI, L. R.; BIONDO, C. Genetic diversity and population structure of white-lipped peccaries (*Tayassu pecari*) in the Pantanal, Cerrado and Atlantic Forest from Brazil. **Mammalian Biology**, v. 95, p. 85–92, 1 mar. 2019.

DHIMAN, M.; SHARMA, L.; KAUSHIK, P.; SINGH, A.; SHARMA, M. M. Mycorrhiza: An Ecofriendly Bio-Tool for Better Survival of Plants in Nature. **Sustainability**, v. 14, n. 16, p. 10220, jan. 2022.

DICK, M.; ABREU DA SILVA, M.; FRANKLIN DA SILVA, R. R.; LAUZ FERREIRA, O. G.; DE SOUZA MAIA, M.; FERREIRA DE LIMA, S.; BORGES DE PAIVA NETO, V.; DEWES, H. Environmental impacts of Brazilian beef cattle production in the Amazon, Cerrado, Pampa, and Pantanal biomes. **Journal of Cleaner Production**, v. 311, p. 127750, 15 ago. 2021.

ERMAN, M.; DEMIR, S.; OCAK, E.; TÜFENKÇİ, Ş.; OĞUZ, F.; AKKÖPRÜ, A. Effects of Rhizobium, arbuscular mycorrhiza and whey applications on some properties in chickpea (*Cicer arietinum* L.) under irrigated and rainfed conditions 1—Yield, yield components, nodulation and AMF colonization. **Field Crops Research**, v. 122, n. 1, p. 14–24, 28 abr. 2011.

FOLLI-PEREIRA, M. da S.; MEIRA-HADDAD, L. S.; BAZZOLLI, D. M. S.; KASUYA, M. C. M. Micorriza arbuscular e a tolerância das plantas ao estresse. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 1663–1679, dez. 2012.

GERDEMANN, J. W.; NICOLSON, T. H. Spores of mycorrhizal Endogone species extracted from soil by wet sieving and decanting. **Transactions of the British Mycological Society**, v. 46, n. 2, p. 235–244, 1963.

GIANINAZZI, S.; GOLLOTTE, A.; BINET, M.-N.; VAN TUINEN, D.; REDECKER, D.; WIPF, D. Agroecology: The key role of arbuscular mycorrhizas in ecosystem services. **Mycorrhiza**, v. 20, p. 519–30, 1 nov. 2010.

GIOVANNETTI, M.; MOSSE, B. An evaluation of techniques for measuring vesicular arbuscular mycorrhizal infection in roots. **New Phytologist**, v. 84, n. 3, p. 489–500, mar. 1980.

GIRARDIN, A.; WANG, T.; DING, Y.; KELLER, J.; BUENDIA, L.; GASTON, M.; RIBEYRE, C.; GASCIOLLI, V.; AURIAC, M.-C.; VERNIÉ, T.; BENDAHMANE, A.; RIED, M. K.; PARNISKE, M.; MOREL, P.; VANDENBUSSCHE, M.; SCHORDERET, M.; REINHARDT, D.; DELAUX, P.-M.; BONO, J.-J.; LEFEBVRE, B. LCO Receptors Involved in Arbuscular Mycorrhiza Are Functional for Rhizobia Perception in Legumes. **Current Biology**, v. 29, n. 24, p. 4249–4259.e5, 16 dez. 2019.

GOICOECHEA, N.; SZALAI, G.; ANTOLÍN, M. C.; SÁNCHEZ-DÍAZ, M.; PALDI, E. Influence of arbuscular mycorrhizae and *Rhizobium* on free polyamines and proline levels in water-stressed alfalfa. **Journal of Plant Physiology**, v. 153, n. 5, p. 706–711, 1 jan. 1998.

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 Botanica Brasilica**, v. 22, n. 2, p. 583–587, jun. 2008.

GRAHAM, J. H.; ABBOTT, L. K. Wheat responses to aggressive and non-aggressive arbuscular mycorrhizal fungi. **Plant and Soil**, n. 220, p. 207–218, 2000.

HAMMER, Ø. **Past 5.x - PAleontological STatistics**: PAleontological STatistics. Oslo. Natural History Museum, University of Oslo, 2025.

HART, M. M.; READER, R. J. Taxonomic basis for variation in the colonization

strategy of arbuscular mycorrhizal fungi. **New Phytologist**, v. 153, p. 335–344, 2002.

HERATH, B. M.; KALAMULLA, K. W. Y. R.; MAYADUNNA, T. A. N.; PERERA, M. A. E. G.; JAYAMANNA, I. K.; YAPA, P. N. Applications of Arbuscular Mycorrhizal Fungi for Sustainable Agricultural Systems. *Em*: AHAMMED, G. J.; HAJIBOLAND, R. **Arbuscular Mycorrhizal Fungi and Higher Plants: Fundamentals and Applications**. Singapore: Springer Nature, 2024. p. 319–340.

HIJRI, I.; SÝKOROVÁ, Z.; OEHL, F.; INEICHEN, K.; MÄDER, P.; WIEMKEN, A.; REDECKER, D. Communities of Arbuscular Mycorrhizal Fungi in Arable Soils Are Not Necessarily Low in Diversity. **Molecular Ecology**, v. 15, n. 8, p. 2277–2289, jul. 2006.

HOEKSEMA, J. D.; CHAUDHARY, V. B.; GEHRING, C. A.; JOHNSON, N. C.; KARST, J.; KOIDE, R. T.; PRINGLE, A.; ZABINSKI, C.; BEVER, J. D.; MOORE, J. C.; WILSON, G. W. T.; KLIRONOMOS, J. N.; UMBANHOWAR, J. A Meta-analysis of Context-dependency in Plant Response to Inoculation with Mycorrhizal Fungi. **Ecology Letters**, v. 13, n. 3, p. 394–407, mar. 2010.

HOFMANN, G. S.; COELHO, I. P.; BASTAZINI, V. A. G.; CORDEIRO, J. L. P.; DE OLIVEIRA, L. F. B. Implications of Climatic Seasonality on Activity Patterns and Resource Use by Sympatric Peccaries in Northern Pantanal. **International Journal of Biometeorology**, v. 60, n. 3, p. 421–433, 1 mar. 2016.

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, n. 6, p. 1154–1180, set. 2015.

INVAM. **International Culture Collection of (Vesicular) Arbuscular Mycorrhizal Fungi | West Virginia University**. Disponível em: <<https://invam.ku.edu/>>.

JUNIOR, W. G. V.; MOURA, J. B. de; SOUZA, R. F. de; BRAGA, A. P. M.; MATOS, D. J. de C.; BRITO, G. H. M.; SANTOS, J. M. dos; MOREIRA, R. M.; SILVA, S. D. e. SEASONAL VARIATION IN MYCORRHIZAL COMMUNITY OF DIFFERENT CERRADO PHYTOPHYSIOMIES. **Seasonal Variation in Mycorrhizal Community of Different Cerrado Phytophysiomes**, 2020. Disponível em: <<https://www.frontiersin.org/journals/microbiology/articles/10.3389/fmicb.2020.576764/full>>.

KLINK, C. a.; MACHADO, R. B. A conservação do Cerrado brasileiro. **Megadiversidade**, v. 1, n. 1, p. 147–155, 2005.

LIU, H.; STOMPH, T.-J.; ZHANG, Y.; JING, J.; STRUIK, P. C. Productivity and silage quality of forage from intercropped silage maize and perennial legumes. **Animal Feed Science and Technology**, v. 325, p. 116369, 1 jul. 2025.

LOPES, M. J. dos S.; SANTIAGO, B. S.; SILVA, I. N. B. da; GURGEL, E. S. C. Biotecnologia microbiana: inoculação, mecanismos de ação e benefícios às plantas. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 12, p. e356101220585–e356101220585, 24 set. 2021.

LUCAS, L. dos S.; NETO, A. R.; DE MOURA, J. B.; DE SOUZA, R. F.; SANTOS, M.

E. F.; DE MOURA, L. F.; XAVIER, E. G.; DOS SANTOS, J. M.; NEHRING, R.; DUTRA E SILVA, S. Mycorrhizal Fungi Arbuscular in Forage Grasses Cultivated in Cerrado Soil. **Scientific Reports**, v. 12, n. 1, p. 3103, 24 fev. 2022.

LUDWIG-MÜLLER, J. Hormonal Responses in Host Plants Triggered by Arbuscular Mycorrhizal Fungi. Em: KOLTAI, H.; KAPULNIK, Y. **Arbuscular Mycorrhizas: Physiology and Function**. Dordrecht: Springer Netherlands, 2010. p. 169–190.

LUO, C. L.; DUAN, H. X.; WANG, Y. L.; LIU, H. J.; XU, S. X. Complementarity and competitive trade-offs enhance forage productivity, nutritive balance, land and water use, and economics in legume-grass intercropping. **Field Crops Research**, v. 319, p. 109642, 2 dez. 2024.

MOREIRA, F. M. de S.; DE CARVALHO, T. S.; SIQUEIRA, J. O. Effect of Fertilizers, Lime, and Inoculation with Rhizobia and Mycorrhizal Fungi on the Growth of Four Leguminous Tree Species in a Low-Fertility Soil. **Biology and Fertility of Soils**, v. 46, n. 8, p. 771–779, out. 2010.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O.; BRUSSAARD, L. (ed.). Soil Biodiversity in Amazonian and Other Brazilian Ecosystems. Em: 2006, UK. [...]. UK: CABI Publishing, 2006.

MOURA, J. B. de. **Diversidade e colonização micorrízica em diferentes usos do solo no Cerrado** Museu do Cerrado 2015. Disponível em: <<https://museucerrado.com.br/diversidade-e-colonizacao-micorrizica-em-diferentes-usos-do-solo-no-cerrado/>>. Acesso em: 21 out. 2024.

MOURA, J. B. de; CABRAL, J. S. R. Mycorrhizas in Central Savannahs: Cerrado and Caatinga. Em: PAGANO, M. C.; LUGO, M. A. **Mycorrhizal Fungi in South America**. Cham: Springer International Publishing, 2019a. p. 193–202.

MOURA, J. B. de; CABRAL, J. S. R.; PAGANO, M. C.; LUGO, M. A. Mycorrhizas in Central Savannahs: Cerrado and Caatinga. Em: **Mycorrhizal Fungi in South America**. Cham: Springer International Publishing, 2019a. p. 193–202.

MOURA, J. B. de; DE SOUZA, R. F.; JUNIOR, W. G. V.; LIMA, I. R.; BRITO, G. H. M.; MARÍN, C. Arbuscular Mycorrhizal Fungi Associated with Bamboo Under Cerrado Brazilian Vegetation. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 19, n. 4, p. 954–962, 1 dez. 2019b.

MOURA, J. B. de; SOUZA, R. F.; VIEIRA-JÚNIOR, W. G.; LUCAS, L. S.; SANTOS, J. M.; SILVA, S. D. e; MARÍN, C. Effects of a Megafire on the Arbuscular Mycorrhizal Fungal Community and Parameters in the Brazilian Cerrado Ecosystem. **Forest Systems**, v. 31, n. 1, p. e001–e001, 27 jan. 2022.

MOURA, J. B. de; VALENTIM, N.; GONÇALVES, W.; VIEIRA JUNIOR, W.; VENTURA, M. TAXA DE COLONIZAÇÃO MICORRÍZICA SOB DIFERENTES SISTEMAS DE CULTIVO NO CERRADO EM CANA-DE-AÇÚCAR. v. 2, p. 60–66, 1 dez. 2017.

MOURA, J. B.; CABRAL, J. S. R. Mycorrhizas in Central Savannahs: Cerrado and Caatinga. Em: PAGANO, M. C.; LUGO, M. A. **Mycorrhizal Fungi in South America**.

Fungal Biology. Cham: Springer International Publishing, 2019b. p. 193–202.

MOURA, J. B.; VIEIRA JUNIOR, W. G.; FILHO, L. C. L.; DE SOUZA, R. F.; DOS SANTOS LUCAS, L.; RAMOS, M. L. G. Mycorrhizal fungi in Brazilian tropical biomes. *Em: WU, Q.-S. Management of Mycorrhizal Symbiosis for Mycoremediation and Phytostabilization*. [s.l.] Elsevier, 2025. p. 219–243.

OEHL, F.; SIEVERDING, E.; INEICHEN, K.; MÄDER, P.; BOLLER, T.; WIEMKEN, A.; MA, P. Impact of Land Use Intensity on the Species Diversity of Arbuscular Mycorrhizal Fungi in Agroecosystems of Central Europe Impact of Land Use Intensity on the Species Diversity of Arbuscular Mycorrhizal Fungi in Agroecosystems of Central Europe. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 69, n. 5, p. 2816–2824, 2003.

OEHL, F.; SIEVERDING, E.; PALENZUELA, J.; INEICHEN, K.; DA SILVA, G. A. Advances in Glomeromycota Taxonomy and Classification. **IMA Fungus**, v. 2, n. 2, p. 191–199, dez. 2011.

PAGANO, M. C.; LUGO, M. A. (ed.). Mycorrhizal Fungi in South America. Fungal Biology. 2019. Disponível em: <<http://link.springer.com/10.1007/978-3-030-15228-4>>. Acesso em: 23 set. 2024.

PAGANO, M. C.; UTIDA, M. K.; GOMES, E. A.; MARRIEL, I. E.; CABELLO, M. N.; SCOTTI, M. R. Plant-Type Dependent Changes in Arbuscular Mycorrhizal Communities as Soil Quality Indicator in Semi-Arid Brazil. **Ecological Indicators**, v. 11, n. 2, p. 643–650, mar. 2011.

PEAY, K. G. The Mutualistic Niche: Mycorrhizal Symbiosis and Community Dynamics. **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics**, v. 47, n. Volume 47, 2016, p. 143–164, 1 nov. 2016.

PEREIRA, C. M. R.; SILVA, D. K. A. da; FERREIRA, A. C. de A.; GOTO, B. T.; MAIA, L. C. Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in Atlantic forest areas under different land uses. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 185, p. 245–252, 1 mar. 2014.

PHILLIPS, J. M.; HAYMAN, D. S. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. **Transactions of the British Mycological Society**, v. 55, n. 1, p. 158–161, ago. 1970.

PIROZYNSKI, K. A. Interactions between fungi and plants through the ages. **Canadian Journal of Botany**, v. 59, n. 10, p. 1824–1827, 1981.

POMPEU, N.; VILPOUX, O. F. Who wants to pay for Pantanal? Experiences of payment for environmental services in the preservation of a single biome. **Environmental Development**, v. 47, p. 100903, 1 set. 2023.

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. **Nova Hedwigia**, v. 105, n. 1, p. 219–229, 1 ago. 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. **Journal of Experimental Botany**, v. 55, n. 403, p. 1743–1750, 1 ago. 2004.

QUEIROZ, M. B. de; JOBIM, K.; VISTA, X. M.; LEROY, J. A. S.; GOMES, S. R. B. S.; GOTO, B. Occurrence of Glomeromycota species in aquatic habitats: a global overview. **Mycotaxon**, v. 135, n. 2, p. 469–469, 13 jul. 2020.

RAMOS-ORDOÑEZ, M. F.; SANTAMARÍA-ESTRADA, L. R.; GONZALEZ-LOPEZ, T. G.; ISIDRA-FLORES, K.; CONTRERAS-GONZÁLEZ, A. M.; RAMOS-ORDOÑEZ, M. F.; SANTAMARÍA-ESTRADA, L. R.; GONZALEZ-LOPEZ, T. G.; ISIDRA-FLORES, K.; CONTRERAS-GONZÁLEZ, A. M. Parámetros poblacionales de una especie medicinal en riesgo, el caso de *Amphipterygium adstringens*. **Revista mexicana de biodiversidad**, v. 93, 2022. Disponível em: <http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1870-34532022000100305&lng=es&nrm=iso&tlng=es>. Acesso em: 30 abr. 2025.

RILLIG, M. C.; MUMMEY, D. L. Mycorrhizas and Soil Structure. **New Phytologist**, v. 171, n. 1, p. 41–53, 2006.

RUIZ-LOZANO, J. M.; PORCEL, R.; AROCA, R. Does the Enhanced Tolerance of Arbuscular Mycorrhizal Plants to Water Deficit Involve Modulation of Drought-Induced Plant Genes? **The New Phytologist**, v. 171, n. 4, p. 693–698, 2006.

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, n. December, p. 361–370, 2008.

SINGER, R.; ARAUJO, I. de J. da S. Litter Decomposition and Ectomycorrhiza in Amazonian Forests. 1. A Comparison of Litter Decomposing and Ectomycorrhizal Basidiomycetes in Latosol-Terra-Firme Rain Forest and White Podzol Campinarana. **Acta Amazonica**, v. 9, p. 25–42, mar. 1979.

SMITH, S. E.; READ, D. Mycorrhizal Symbiosis (Third Edition). Em: SMITH, S. E.; READ, D. **Mycorrhizal Symbiosis (Third Edition)**. London: Academic Press, 2008. p. 1–9.

SMITH, S. E.; SMITH, F. A. Roles of Arbuscular Mycorrhizas in Plant Nutrition and Growth: New Paradigms from Cellular to Ecosystem Scales. **Annual Review of Plant Biology**, v. 62, p. 227–250, 2011.

SOUZA, R. F.; DE MOURA, J. B.; VIEIRA JUNIOR, W. G.; DOS SANTOS LUCAS, L.; RAMOS, M. L. G. Mycorrhizal fungi in infertile and weathered soils. Em: WU, Q.-S. **Management of Mycorrhizal Symbiosis for Mycoremediation and Phytostabilization**. [s.l.] Elsevier, 2025. p. 273–284.

TRUMPP, K. R.; DUBEUX, J. C. B.; GARCIA, L.; JARAMILLO, D. M.; PEREIRA NETO, J. D.; SANTOS, E. R. S.; QUEIROZ, L. M. D.; BRETAS, I. L.; RUIZ-MORENO, M.; DE SOUZA, C. H. L.; SOLLENBERGER, L. E.; DILORENZO, N.; VENDRAMINI, J. M. B. Integrating forage legumes reduces dependence on N fertilizer and increases the stability of grazing systems. **European Journal of Agronomy**, v. 170, p. 127708, 1 set. 2025.

VAN DER HEIJDEN, M. G. A.; HORTON, T. R. Socialism in Soil? the Importance of Mycorrhizal Fungal Networks for Facilitation in Natural Ecosystems. **Journal of Ecology**, v. 97, n. 6, p. 1139–1150, 2009.

VAN DER HEIJDEN, M. G. A.; MARTIN, F. M.; SELOSSE, M.-A.; SANDERS, I. R. Mycorrhizal Ecology and Evolution: The Past, the Present, and the Future. **New Phytologist**, v. 205, n. 4, p. 1406–1423, 2015.

VELOSO, H. P.; RANGEL-FILHO, A. L. R.; LIMA, J. C. A. **Classificação da vegetação brasileira, adaptada a um sistema universal**. [s.l.] IBGE, 1991.

VIEIRA, F. A. Micorrizas na Região do Cerrado. 2001.

VIEIRA JUNIOR, W. G.; DE MOURA, J. B.; DE SOUZA, R. F.; DOS SANTOS LUCAS, L.; RAMOS, M. L. G. Mycorrhizal fungi in tropical agroecosystems in America. *Em*: WU, Q.-S. **Management of Mycorrhizal Symbiosis for Mycoremediation and Phytostabilization**. [s.l.] Elsevier, 2025. p. 167–176.

WANG, X.; FANG, L.; BEIYUAN, J.; CUI, Y.; PENG, Q.; ZHU, S.; WANG, M.; ZHANG, X. Improvement of alfalfa resistance against Cd stress through rhizobia and arbuscular mycorrhiza fungi co-inoculation in Cd-contaminated soil. **Environmental Pollution**, v. 277, p. 116758, 15 maio 2021.

WINAGRASKI, E.; KASCHUK, G.; MONTEIRO, P. H. R.; AUER, C. G.; HIGA, A. R. DIVERSITY OF ARBUSCULAR MYCORRHIZAL FUNGI IN FOREST ECOSYSTEMS OF BRAZIL: A REVIEW. **CERNE**, v. 25, p. 25–35, 20 maio 2019.

ZHAO, Y.; HOLL, D.; ANACHE, J. A. A.; KOBAYASHI, A. N. A.; WENDLAND, E. Lower carbon uptake rates resulting from converting wooded Cerrado to pasture-dominated agricultural area in the Brazilian savanna. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 366, p. 110465, 1 maio 2025.