



**ANITA FERNANDA DOS SANTOS TEIXEIRA**

**DENSIDADE E DIVERSIDADE DE ESPOROS DE  
FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES  
EM ÁREAS DO QUADRILÁTERO FERRÍFERO**

**LAVRAS – MG**

**2015**

**ANITA FERNANDA DOS SANTOS TEIXEIRA**

**DENSIDADE E DIVERSIDADE DE ESPOROS DE FUNGOS  
MICORRÍZICOS ARBUSCULARES EM ÁREAS DO QUADRILÁTERO  
FERRÍFERO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, área de concentração em Biologia, Microbiologia e Processos Biológicos do Solo, para obtenção do título de Mestre.

Orientadora

Dra. Fatima Maria de Souza Moreira

Coorientador

Dr. Marco Aurélio Carbone Carneiro

**LAVRAS – MG**

**2015**

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca  
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Teixeira, Anita Fernanda dos Santos.

Densidade e diversidade de esporos de fungos micorrízicos  
arbusculares em áreas do Quadrilátero Ferrífero / Anita Fernanda  
dos Santos Teixeira. – Lavras : UFLA, 2015.

75 p. : il.

Dissertação (mestrado acadêmico)–Universidade Federal de  
Lavras, 2015.

Orientador(a): Fatima Maria de Souza Moreira.

Bibliografia.

1. Pilhas de rejeito. 2. Micorrizas. 3. Canga. 4. Áreas em  
reabilitação. 5. Mineração. I. Universidade Federal de Lavras. II.  
Título.

**ANITA FERNANDA DOS SANTOS TEIXEIRA**

**DENSIDADE E DIVERSIDADE DE ESPOROS DE FUNGOS  
MICORRÍZICOS ARBUSCULARES EM ÁREAS DO QUADRILÁTERO  
FERRÍFERO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, área de concentração em Biologia, Microbiologia e Processos Biológicos do Solo, para obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 23 de fevereiro de 2015.

Dr. Marco Aurélio Carbone Carneiro UFLA

Dr. Marlon Corrêa Pereira UFV

Dr. Sidney Luiz Stürmer FURB

Dra. Fatima Maria de Souza Moreira

Orientadora

**LAVRAS – MG**

**2015**



*A todos os professores, em especial aos que já tive, por compartilharem conhecimentos ajudando a tornar o mundo um lugar melhor para se viver.*

DEDICO

*A Deus por todas as bênçãos recebidas durante minha caminhada.*

OFEREÇO



## AGRADECIMENTOS

Nesse momento de alegria, expresso minha gratidão:

A Deus, por guiar meus passos, pela família maravilhosa em que nasci, pela oportunidade de estudar e pelas inúmeras bênçãos recebidas;

À minha mãe, Maria Dalva e meu pai Luiz, pelo apoio, incentivo, dedicação e por tudo o que fazem por mim; aos meus irmãos, Aline e Anderson, pelo carinho e exemplo de bondade e caráter; ao meu afilhado Miguel pela alegria e inspiração; aos meus avós (*in memoriam*), Antônio, Geralda e Almezinda, por me ensinarem que não importa “o que” você tem na vida, mas “quem” você tem na vida; ao Sérgio, por todo incentivo, carinho e força, fundamentais para que eu conseguisse concluir esse trabalho;

A todas as dificuldades, desafios e medos enfrentados, sem eles não teria a oportunidade de aprender, superar e crescer;

À Universidade Federal de Lavras, ao Departamento de Ciência do solo e ao Programa de Pós Graduação em Ciência do Solo, pela oportunidade concedida para realização do mestrado;

Ao projeto CRA – RDP – 00136 – 10 (FAPEMIG/ FAPESP/ FAPESPA/ VALE S. A.), “Diversidade de plantas e de organismos do solo com potencial biotecnológico e indicadores de recuperação ambiental em Minas Gerais”, Vale, pelo apoio financeiro. À CAPES, pela bolsa de Mestrado e CNPq e FAPEMIG pelos auxílios financeiros;

À minha orientadora, Professora Fatima e ao meu coorientador, Professor Marco, pela oportunidade de desenvolver esse trabalho, pelos ensinamentos repassados, a prontidão em me atender e auxiliar;

Ao Professor Sidney Stürmer (FURB) e ao Karl, pela disponibilidade e auxílio na identificação dos esporos e que, juntamente ao restante da equipe do Laboratório de Micorrizas da FURB, em especial Andreza, Chaiane, Mateus, Murilo e Túlio, me receberam tão bem;



Ao Professor Marlon (UFV), por ter motivado meu interesse em microbiologia do solo e na pesquisa, e por ter me incentivado a buscar novos rumos quando foi necessário;

Aos técnicos do Laboratório Sr. Manoel e Sra Marlene, pelos ensinamentos, a paciência e todos os conselhos para facilitar a execução desse trabalho, e à Sra Dirce por todo o auxílio;

Aos amigos do Laboratório Andrêssa, Douglas, Elaine, Elzane, Fabrício Henrique, Franciane, Isac, Jacqueline, Jessé, Kátia, Laíze, Leonardo, Linnajara, Luciane, Márcia, Maraisa, Marisângela, Mateus, Patrícia, Paula, Rayssa, Sílvia, Soraya, Teotônio, Thiago, Wesley, e todos os que me auxiliaram de alguma forma com companheirismo e ensinamentos; aprendi muito com vocês;

Às pós-doutorandas do laboratório, em especial à Fernanda e à Amanda, por toda a paciência e boa vontade em me ensinar e auxiliar;

À Priscila, minha irmã de coração, por torcer por mim, me entender nas horas difíceis, e por sempre me mandar forças de onde quer que estivesse;

À Aryane e à Soraya, minhas amigas-irmãs nessa jornada, e à Andrêssa, Laíze, Lu e Mari, pelos ensinamentos, amizade, força e carinho; à Laura, Bruna, Evelyny, Jéssica e Samara por toda a força;

Aos queridos amigos de laboratório da UFV-CRP, Herika Pessoa, Letícia Miranda, Natália Tartarine, e todos que me auxiliaram em minha jornada durante a graduação;

Aos amigos do DCS/UFLA, Bombinha, Bruno, Cristiano, Damiany, Eduardo, Érika Andressa, Fabrício Andrade, Geanderson, Luana, Raphael, Sara, Samara e Zélio, pelos momentos de felicidade e pelos ensinamentos, e a todos os amigos que me incentivaram de alguma forma, trouxeram alegria para o meu caminho e me ajudaram nas horas difíceis;

Enfim, a todos os que de algum modo me ajudaram a conquistar meus objetivos, apenas muito obrigada não é capaz de expressar toda a gratidão em meu coração.

*“Afagar a terra  
Conhecer os desejos da terra  
Cio da terra, a propícia estação  
E fecundar o chão.”  
Milton Nascimento / Chico Buarque*



## RESUMO GERAL

O solo é habitat de grande diversidade de organismos. Os Fungos Micorrízicos Arbusculares (FMAs) interagem com grande parte das plantas e, iniciada a simbiose, ambos são beneficiados, facilitando revegetação de áreas em reabilitação. A diversidade desses fungos pode variar dentre diferentes ambientes e ser influenciada pela vegetação e características do solo. O presente estudo apresenta, na primeira parte, levantamento bibliográfico relevante sobre FMAs, sua ocorrência e importância em ambientes, e na segunda parte, resumida em seqüência, avaliação da densidade de esporos e diversidade desses fungos em área reabilitada após mineração de ferro e no seu entorno. A coleta de solo foi realizada na mina Córrego do Meio, em Sabará – MG, em áreas de pilha de rejeito (área de reabilitação), canga, cerrado, mata e de eucalipto. Foram realizadas análises química e física e extração de esporos de 100 mL de solo, para análises e identificação taxonômica das espécies de FMAs. Riqueza de espécies (R), índice de diversidade de Shannon (H') e equitabilidade (J) foram estimados. Análise de componentes principais (PCA) foi feita para verificar relação entre espécies de FMAs e atributos do solo. A densidade de esporos encontrada foi alta e não diferiu estatisticamente entre as áreas avaliadas. Foram encontradas 31 espécies de FMAs em todas as áreas, sendo esse, o primeiro relato de ocorrência no Brasil de *Acaulospora nivalis* e *Acaulospora alpina*. *Acaulospora mellea*, *Acaulospora morrowiae* e *Glomus bastonete* foram Generalistas, e essa última espécie apresentou a maior abundância relativa em todas as áreas. A maior diversidade foi encontrada em pilha de rejeito (H' 2,02) e a menor em canga (H' 0,582). Alguns atributos químicos do solo se associaram à distribuição das espécies, fato que não foi observado para atributos físicos. A maior diversidade de espécies em pilha de rejeito pode facilitar o processo de reabilitação dessa área.

Palavras-chave: Pilhas de rejeito. Micorrizas. Canga. Áreas em reabilitação. Mineração.



## GENERAL ABSTRACT

The soil is habitat of a great diversity of organisms. The arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) interact with most of the plants and, after the symbiosis begins, both fungi and plants are benefited, which facilitates revegetation in rehabilitation areas. The diversity of these fungi may vary among different environments and be influenced by vegetation and soil characteristics. This study presents, in the first part, relevant review on literature about AMF, its occurrence and importance in environments, and, in the second part, summarized in sequence, evaluation of spore density and diversity of these fungi in rehabilitated area and in its surroundings after iron mining. The soil samples were collected in the Córrego do Meio mine, in Sabará – MG, in tailings pile areas (rehabilitation area), canga, cerrado, forest and eucalyptus. We performed chemical and physical soil analyses and spores extraction from 100 mL of soil for analyzes and taxonomic identification of the AMF. Species richness (R), Shannon diversity index (H') and evenness (J) were estimated. Principal component analysis (PCA) was performed to verify the relationship between AMF and soil properties. The spore density found was high and did not differ statistically among the evaluated areas. We found 31 species of AMF in all areas, and being these findings the first report of occurrence in Brazil of *Acaulospora nivalis* and *Acaulospora alpina*. *Acaulospora mellea*, *Acaulospora morrowiae* and *Glomus bastonete* were generalists, and the latter species showed the highest relative abundance in all areas. The greatest diversity was found in tailings pile (H'<sup>2</sup>,02) and the lowest in canga (H' 0,582). Some soil chemical properties were associated with distribution of species, a fact that was not observed for physical attributes. The greatest diversity of species in tailings pile can facilitate the process of rehabilitation of this area.

Keywords: Tailing piles. Mycorrhizae. Canga. Rehabilitation areas. Mining.



## SUMÁRIO

<b>PRIMEIRA PARTE</b> .....	10
<b>1 REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	10
<b>1.1 O habitat solo</b> .....	10
<b>1.2 Fungos Micorrízicos Arbusculares</b> .....	11
<b>1.2.1 Benefícios da associação micorrízica</b> .....	14
<b>1.2.2 FMAs em ecossistemas</b> .....	15
<b>1.2.3 FMAs em áreas impactadas e em reabilitação</b> .....	18
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	22
<b>SEGUNDA PARTE – ARTIGO</b> .....	32
<b>Densidade e diversidade de esporos de fungos micorrízicos arbusculares em áreas do Quadrilátero Ferrífero</b> .....	32
<b>ANEXOS</b> .....	70





## PRIMEIRA PARTE

### 1 REFERENCIAL TEÓRICO

#### 1.1 O habitat solo

O solo é um sistema heterogêneo, complexo e dinâmico, capaz de proporcionar condições para que organismos metabolicamente distintos convivam lado a lado, condições essas, adequadas para uma biodiversidade elevada (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). Esse sistema, do qual o relevo faz parte, resulta da combinação de material de origem, clima, tempo e organismos (RESENDE et al., 2014).

O tipo de manejo e uso do solo pode afetar a sua qualidade, levando em alguns casos à degradação. Isto acontece pelo fato de existir um circuito complexo e intimamente ligado entre agregação do solo, biota e matéria orgânica (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). A qualidade do solo é a capacidade de um solo de funcionar nos limites do ecossistema, para sustentar a produtividade biológica, manter a qualidade ambiental e promover a saúde vegetal e animal (DORAN.W.; PARKIN, 1994). Assim, para que a qualidade do solo seja avaliada corretamente, devem ser consideradas em conjunto, as características físicas, químicas e biológicas do solo.

Os organismos do solo, dentre as características biológicas do solo, apresentam papel chave em vários processos importantes nesse. Estes estão distribuídos em diversos grupos taxonômicos, como os macrorganismos (minhocas, cupins, ácaros e nematoides, entre outros), e microrganismos (fungos e bactérias, entre outros), selecionados por significância funcional para qualidade do solo e facilidade de amostragem (SWIFT et al., 2010).

Os microrganismos simbiotes mutualistas, que vivem juntos em estreita relação com o hospedeiro promovendo benefícios para ambos os parceiros, são de extrema importância e dentre esses, se destacam certos fungos de solo que interagem com a maioria das plantas superiores em associação denominada micorrizas (FERREIRA; CARNEIRO; SAGGIN, 2012; ASSIS et al., 2014; VILELA et al., 2014).

As micorrizas, do grego *mykes*: fungos e *rhizae*: raízes, são divididas em seis tipos anatômico-funcionais: ectomicorriza, ectendomicorriza, micorrizas orquidóides, micorrizas arbutóides, micorrizas ericóides e micorrizas arbusculares, (SAGGIN JÚNIOR; SILVA, 2005), sendo que essas últimas se destacam por se associarem com mais de 80% das plantas vasculares (GAI et al., 2006).

Os fungos micorrízicos arbusculares são importantes para a sustentabilidade, pois agem como biofertilizantes, bioestimulantes e bioprotetores (SOARES; CARNEIRO, 2010).

## **1.2 Fungos Micorrízicos Arbusculares**

Os Fungos Micorrízicos Arbusculares (FMAs) existem há mais de 400 milhões de anos, e essa interação mutualística contribui para a sobrevivência e evolução dos parceiros envolvidos (SIQUEIRA, 1994). Os FMAs recebem fotossintatos das plantas e translocam água e nutrientes para essa, principalmente os de baixa mobilidade no solo como o fósforo (P) (STÜRMER; SIQUEIRA, 2013).

A biotroficidade obrigatória, que é a necessidade do estabelecimento da simbiose com raízes de plantas compatíveis para completar o ciclo de vida (STÜRMER; SIQUEIRA, 2013), somada à compatibilidade entre os organismos

e à habilidade dos simbioses de atuarem de modo regulável, são fatores que favorecem o mutualismo (SIQUEIRA, 1994).

O nome “arbuscular” é devido à característica própria desses fungos micorrízicos de penetração das hifas nas células do córtex, tanto inter como intracelularmente, formando ramificações das hifas em formas que lembram a de árvores. Essas estruturas promovem a troca de substâncias entre macro e microbionte e são denominadas arbúsculos (SAGGIN JÚNIOR; SILVA, 2005).

Esses fungos pertencem ao Filo Glomeromycota, Classe Glomeromycetes e são atualmente classificados, em quatro ordens (Archaeosporales, Diversisporales, Glomerales e Paraglomerales), 10 famílias e 19 gêneros (REDECKER et al., 2013).

O processo de colonização de raízes de plantas por FMAs pode ser iniciado por diferentes formas de propágulos como hifas de fragmentos de raízes, micélio no solo ou pela germinação de esporos (DE SOUZA; GUERRA, 1998). A interação desses microrganismos com as plantas inicia-se com troca de sinais moleculares, seguida pela germinação do esporo, crescimento micelial, contato entre hifa e raiz, formação de apressório, penetração do micélio inter e intracelularmente nas raízes, formando então arbúsculos e, em alguns casos, vesículas (SIQUEIRA et al., 1991). Estabelecida a simbiose, há ampliação da interface entre planta e solo promovida pelo micélio formado externamente às raízes (FILHO; NOGUEIRA, 2007; STÜRMER; SIQUEIRA, 2013), proporcionando assim, melhorias na parte nutricional e capacidade da planta de superar estresses ambientais (hídrico, por exemplo) ou antrópicos (contaminação do solo com metais pesados) (CARDOSO et al., 2010).

Os esporos são unidades biológicas quiescentes que, quando ativados, desencadeiam processos normais de biologia celular para germinação e crescimento da fase filamentosa. O número de núcleos em cada esporo pode

variar. Esporos de glomeromicetos contêm centenas a milhares de núcleos e o conteúdo nuclear pode ser maior ou menor em diferentes gêneros dessa classe, podendo estar destacando diferenças na ploidia e sequências repetitivas nos genomas dessas espécies (DE SOUZA; SILVA; BERBARA, 2008). Extração direta de esporos seguidos de sua identificação morfológica tem sido utilizada por diversos autores (BEVER et al., 2001; DOUDS; MILLNER, 1999; OEHL; SIEVERDING, 2004) e é uma das formas mais utilizadas para a identificação de FMAs. No entanto, com o avanço das técnicas moleculares novas ferramentas mais acuráveis tem sido utilizadas para identificação corretas destes fungos (DE SOUZA, 2005; DE SOUZA; SILVA; BERBARA, 2008; GASPAROTTO et al., 2010).

Iniciado o período de síntese filogenética em 2001, taxonomistas tentam estabelecer a congruência de características fenotípicas e genéticas para a classificação dos FMAs (STÜRMER, 2012). As características dos esporos são utilizadas para a identificação de espécies e o modo de formação dos esporos (glomóide, gigasporóide e acaulosporóide), assim como características estruturais desses podem distinguir famílias e gêneros, como células auxiliares, sáculos esporíferos, dentre outras (DE SOUZA et al., 2010; STÜRMER; SIQUEIRA, 2013).

Estão formalmente descritas 237 espécies de FMAs (INVAM, 2015). Apesar de representarem baixo número de espécies, principalmente quando comparado ao longo tempo de co-evolução da simbiose e à sua ocorrência quase que generalizada nos ecossistemas terrestres, os FMAs apresentam alta diversidade genética ainda pouco conhecida, e padrões biogeográficos não tem sido concretamente identificados (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006; DE SOUZA; SILVA; BERBARA, 2008; DE SOUZA et al., 2010).

### 1.2.1 Benefícios da associação micorrízica

Os FMA trazem vários benefícios para as plantas com as quais interagem e, a capacidade de estimular o crescimento dessas é determinada pelos componentes da simbiose, como eficiência do microbionte e responsividade da planta (SIQUEIRA; SAGGIN-JÚNIOR, 2001).

O estabelecimento da relação simbiótica tem efeitos diretos e indiretos sobre as plantas, podendo ser esses efeitos fisiológicos, nutricionais e bioprotetores, com destaque para o efeito nutricional que ocorre na maioria das situações (CAVALCANTE; GOTO; MAIA, 2009; CARDOSO et al., 2010; STÜRMER; SIQUEIRA, 2013).

Relacionado ao aumento de absorção de nutrientes da baixa mobilidade no solo, como P, zinco (Zn) e cobre (Cu), o efeito dos fungos micorrízicos sobre o crescimento das plantas é significativo (MARSCHNER; DELL, 1994; SIQUEIRA et al., 1998; SIQUEIRA; SAGGIN-JÚNIOR, 2001; VANCE; UHDE-STONE; ALLAN, 2003; SCHROEDER; JANOS, 2005).

Além da melhoria na nutrição mineral da planta e melhora na relação planta-água, os FMAs promovem alívio de estresse por salinidade, proteção das raízes de ataques de patógenos, remediação de solos contaminados, dentre outras (GARG; CHANDEL, 2010; SCHNEIDER et al., 2013; RANGEL et al., 2014).

A relação entre FMAs e efeito protetor nas plantas envolve diversos mecanismos de defesa dessa, tais como a produção de fitoalexinas, compostos fenólicos, modificações anatômicas e fisiológicas dentre outros (AZCÓN-AGUILAR; BAREA, 1996). Em plantas que passam por fase de viveiro, a simbiose com FMAs pode reduzir o tempo para transplante e aumentar a tolerância aos estresses edafoclimáticos, a resistência das plantas a patógenos e a produtividade do viveiro (SILVEIRA; GOMES, 2007).

### 1.2.2 FMAs em ecossistemas

A diversidade de organismos no solo se faz importante por garantir a redundância funcional, ou seja, a capacidade de organismos diferentes realizarem uma mesma função. Dessa forma, processos importantes que ocorrem no solo podem ser intermediados por diversos organismos, garantindo a resiliência do ecossistema, a qual permite a continuidade de determinado processo por certos organismos, mesmo na ausência de outros que o executam (MOREIRA et al., 2013). A diversidade de FMAs é um fator importante que contribui para a manutenção da biodiversidade vegetal e funcionamento do ecossistema. A biodiversidade vegetal, captura de nutrientes e produtividade aumentaram significativamente com o aumento da riqueza de espécies de FMAs, o que reforça a necessidade de considerar estes fungos nas práticas de gestão futuras (VAN DER HEIJDEN et al., 1998). Entretanto o dogma ecológico geral de que a biodiversidade acima do solo corresponde à biodiversidade abaixo do solo (WARDLE et al., 2004) pode não se aplicar aos FMAs, pois o número de espécies de FMAs esporulando pode ser baixo se comparado à grande variedade de espécies de plantas associadas (STÜRMER; SIQUEIRA, 2011).

Pela natureza ubíqua explicada pela co-evolução entre os FMAs e as plantas, esses podem ser encontrados em simbiose com plantas herbáceas, arbustivas ou arbóreas ocupando os mais diversos ecossistemas como florestas, desertos, dunas, savanas, campos e agrossistemas, podendo contribuir para a sustentabilidade nesses últimos (SIQUEIRA; LAMBAIS; STÜRMER, 2002).

Estudos de diversidade em diferentes ecossistemas são necessários, pois inóculos de populações de FMAs autóctones podem apresentar maior adaptabilidade às condições de substrato (PRALON; MARTINS, 2001). Em

avaliação do estabelecimento e capacidade infectiva de FMAs introduzidos em relação à comunidade nativa, a inoculação possibilitou o estabelecimento de fungos inoculados nas plantas avaliadas, porém somente *Glomus clarum* apresentou capacidade infectiva frente à população de fungos autóctones (SANTOS et al., 2000). Já em casa de vegetação, utilizando inóculos de FMAs de áreas mineradas de bauxita, foi observado que grande parte dos isolados da área de mineração foi eficiente no crescimento de espécies arbóreas pioneiras [aroeira (*Schinus terebenthifolius*) e trema (*Trema micrantha*)] e secundárias [(açoita-cavalo (*Luehea grandiflora*) e sesbânia (*Sesbania virgata*)], alguns com grande potencial para micorrização de mudas (SANTOS; SIQUEIRA; MOREIRA, 2008).

A ocorrência natural dos FMAs, os quais são mais abundantes em ecossistemas tropicais, é diversificada, podendo ser identificadas em torno de cinco a seis espécies desses fungos convivendo em uma única rizosfera (MIRANDA, 2008). Os ecossistemas brasileiros constituem importante fonte de diversidade de FMAs, principalmente quando se considera a grande diversidade amostrada e que os estudos de diversidade estão concentrados em poucas regiões, onde há pesquisadores com experiência em taxonomia desses fungos (STÜRMER; SIQUEIRA, 2008).

A confecção de inventários de espécies de FMAs é importante à medida que podem haver espécies ainda não descritas e com desconhecido valor para manutenção de diversidade florística (DE SOUZA et al., 2010). Em número absoluto de espécies por gênero, *Glomus*, que apresenta o maior número de espécies descritas, aparece predominando em todos os ecossistemas brasileiros, exceto em dunas marítimas, onde o gênero de *Scutellospora* domina (STÜRMER; SIQUEIRA, 2008).



Práticas de cultivo agrícola podem alterar a estrutura das comunidades de FMAs. Maior número de esporos é encontrado em áreas cultivadas em comparação à vegetação natural, porém a diversidade encontrada é menor, o que indica que o manejo e uso do solo seleciona populações e diminui a riqueza e a equitabilidade de espécies (CORDEIRO et al., 2005; CARNEIRO et al., 2009; CARRENHO et al., 2010; ASSIS et al., 2014).

Áreas de Cerrado tem sido amplamente utilizadas para agricultura. Em Cerrado em processo de reabilitação, o número de esporos de FMAs pode ser maior do que no Cerrado natural. A menor densidade de esporos de FMAs em áreas sem interferência antrópica, como Cerrado strictu sensu, em comparação às áreas agrícolas pode estar associada à estabilidade do sistema (CORDEIRO et al., 2005).

A densidade de esporos apresenta elevada variação nos diferentes ambientes de Floresta Atlântica e a abundância de esporos tem se apresentado maior nos ambientes em estágio inicial de sucessão em relação à sucessão avançada e floresta madura. Esses fatos podem ser explicados por diversos fatores como diferentes metodologias de contagem e diferentes condições ambientais em diferentes estágios (ZANGARO; MOREIRA, 2010).

Estudo em Mata Atlântica em estágio acelerado de degradação, no Parque Cinquentenário, em Maringá – PR, registrou a ocorrência de 50 espécies de FMAs distribuídas em cinco gêneros e, embora a riqueza de espécies tenha sido alta, a variabilidade taxonômica foi baixa, com *Glomus* dominando as comunidades, tanto em termos de riqueza como de abundância, representando mais de 98% dos esporos (SANTOS; CARRENHO, 2011).

Áreas de plantio de eucalipto (gênero *Eucalyptus*) vêm sendo ampliadas no território brasileiro. Espécies desse gênero apresentam, além de associação com ectomicorrizas, associação com FMAs (ADJLOUD-SADADOU; HALLI-

HARGAS, 2000). Em solo arenoso, em São Francisco de Assis – RS, foram encontradas em áreas de eucalipto as espécies *Acaulospora bireticulata*, *A. spinosa*, *A. scrobiculata*, *Scutellospora heterogama*, *Glomus* sp. e *G. aggregatum*, (SILVA et al., 2008).

A canga é um ecossistema ameaçado, que não ocupa mais que 200 km<sup>2</sup> de terra, estando essas associadas a importantes depósitos de minério de ferro, com afloramentos rochosos com alta concentração desse elemento. Por apresentar material mais resistente ao intemperismo há escassez de solo, o qual apresenta baixa fertilidade e intensa variação de temperatura diária, dificultando estabelecimento de plantas e o tornando um dos ecossistemas mais ameaçados do Brasil (JACOBI et al., 2007; MATIAS et al., 2009; SKIRYCH et al., 2014). Mesmo com a dificuldade de estabelecimento de plantas, há relatos da presença de FMAs nessas áreas. Estudos de revegetação de canga verificaram ocorrência, em locais preservados e rizosfera de *Centrosema coriaceum* sem inculação, de *Acaulospora laevis*, *A. spinosa*, *Gigaspora margarita* e *Scutellospora verrucosa* e, mesmo essas plantas que não receberam inoculação com FMAs, apresentaram colonização micorrízica. Esse mesmo estudo mostra que esses microrganismos, em simbiose tripartite com bactérias fixadoras de nitrogênio e leguminosas, podem facilitar a recuperação de áreas desse ecossistema (MATIAS et al., 2009).

Sabe-se, portanto, que os FMAs são influenciados por diversos fatores bióticos e abiótico nos ecossistemas e o conhecimento destes e de seus impactos na ocorrência desses fungos é essencial para o desenvolvimento de estratégias para conservação ambiental (CARRENHO et al., 2010).

### **1.2.3 FMAs em áreas impactadas e em reabilitação**

A modificação do ambiente pelo homem pode alterar a regulação de populações, fazendo com que essas respondam de diferentes maneiras. Dentre as respostas esperadas estão o aumento ou diminuição do tamanho da população, dependendo do organismo afetado (ZANETTI; LOUZADA, 2013).

Áreas mineradas geralmente não são favoráveis ao estabelecimento e crescimento de vegetação. A mineração envolve a retirada dos horizontes do solo, expondo materiais susceptíveis à dispersão de argila. Posteriormente, o preenchimento da lavra se dá pelo uso do estéril, que é o material retirado acima do minério, ou de solos de outros locais, podendo havendo inversão dos horizontes que, combinada com o uso de maquinário, pode resultar em um solo compactado e conseqüentemente, mais susceptível à erosão (DIAS; FRANCO; CAMPELLO, 2007).

Entretanto, o solo superficial que havia sido removido é utilizado na área das pilhas, e esse pode conter a *memória* do ambiente de onde veio, ou seja, resíduos vegetais e propágulos. Dessa forma, parte da resiliência é devolvida ao sistema, o que é de grande importância no processo de revegetação (DIAS; FRANCO; CAMPELLO, 2007). Dentre os propágulos devolvidos às áreas, podem estar os de espécies de FMAs.

Os FMAs têm papel importante na absorção de nutrientes pelas plantas, na estruturação e estabilização de comunidades vegetais, na agregação do solo, no estabelecimento de microrganismos rizosféricos, podendo inclusive, promover sinergismo na atuação de bactérias fixadoras de nitrogênio nodulíferas em simbiose com leguminosas (BERBARA; FONSECA, 1996; CARVALHO; MOREIRA, 2010). Isso faz com que esses microrganismos apresentem importante papel na reabilitação de áreas mineradas, podendo, juntamente com outros organismos, garantir a resiliência do sistema. É importante destacar também a capacidade desses fungos de sobreviverem em

ambientes extremos como os de áreas de mineração. Estudos mostram a presença de FMAs e sua simbiose mesmo em solos poluídos com elevada concentração de metais pesados (KLAUBER-FILHO; SIQUEIRA; MOREIRA, 2002).

A densidade e diversidade dos FMAs podem ser reduzidas por diversos fatores, como a substituição da camada superficial do solo original por outra com baixo número de propágulos, a destruição física da rede micelial (JASPER; ABBOTT; ROBSON, 1992), baixos valores de pH (MEHROTRA, 1998), tempo de armazenamento desta camada superficial antes da reabilitação (WHITE; MUNN; WILLIAMS, 1989) e retirada da vegetação e conseqüente exposição dos propágulos a extremos de umidade e temperatura (BRAUNBERGER; ABBOTT; ROBSON, 1996; MCGONIGLE; MILLER, 1999). Entretanto, os esporos de FMAs, principais unidades de resistência e sobrevivência, se encontram em estado quiescente e podem desencadear o processo germinativo quando condições propícias específicas estão novamente disponíveis (MAIA; SILVA; GOTO, 2010).

A população de fungos micorrízicos nativos geralmente é baixa em ambientes minerados (SAGGIN JÚNIOR; SILVA, 2005). A introdução de determinadas espécies arbóreas nesses solos aumenta o potencial de inóculo, diversidade e eficiência simbiótica de FMAs, o que pode reduzir o impacto da mineração em relação às áreas de referência. Como a recuperação dos FMAs em área impactada pela mineração é mais relacionada com a vegetação introduzida do que com o tempo de reabilitação das áreas (MELLONI; SIQUEIRA; MOREIRA, 2003), diferentes tipos de vegetação podem proporcionar diferentes respostas das espécies de FMAs presentes (CARNEIRO et al., 1999).

Em áreas em reabilitação, a revegetação do solo pôde recuperar o micélio fúngico após seis meses de reabilitação com braquiária ou capim-

gordura e feijão-guandu, com aumentos consideráveis no valor de micélio total nessas áreas (MELLONI; SIQUEIRA; MOREIRA, 2003).

Estudos de diversidade e densidade de esporos de FMAs em áreas impactadas em reabilitação e áreas de referência, como os ecossistemas naturais, apresentam diferenças entre si. Esse fato pode indicar diferentes respostas desses microrganismos a condições presentes em cada solo estudado. Assim, estudos de FMAs em solos sob diferentes condições de manejo, em especial em áreas impactadas pela mineração, são importantes para a compreensão do comportamento desses fungos, já que esses podem auxiliar no processo de reabilitação.

## REFERÊNCIAS

ADJOUND-SADADOU, D.; HALLI-HARGAS, R. Occurrence of arbuscular mycorrhiza on aged *Eucalyptus*. **Mycorrhiza**, v. 9, p. 287–290, 2000.

ASSIS, P. C. R. et al. Fungos micorrízicos arbusculares em campos de murundus após a conversão para sistemas agrícolas no cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n. 1, p. 1703–1711, 2014.

AZCÓN-AGUILAR, C.; BAREA, J. M. Arbuscular mycorrhizas and biological control of soil-borne plant pathogens – an overview of the mechanisms involved. **Mycorrhiza**, v. 6, p. 457–464, 1996.

BERBARA, R. L. L.; FONSECA, H. M. A. C. Colonização radicular e esporulação de fungos micorrízicos arbusculares in vitro. In: SIQUEIRA, J. O. (Ed.). **Avanços em fundamentos e aplicação de micorrizas**. Lavras: Universidade Federal de Lavras/DCS e DCF, 1996. p. 39–66.

BEVER, J. D. et al. Arbuscular Mycorrhizal Fungi : More diverse than meets the eye , and the ecological tale of why. **BioScience**, v. 51, n. 11, p. 923–932, 2001.

BRAUNBERGER, P. G.; ABBOTT, L. K.; ROBSON, A. D. Infectivity of arbuscular mycorrhizal fungi after wetting and drying. **New Phytologist**, v. 134, n. 4, p. 673–684, dez. 1996.

CARDOSO, E. J. B. N. et al. Micorrizas arbusculares na aquisição de nutrientes pelas plantas. In: SIQUEIRA, J. O. et al. (Eds.). **Micorrizas: 30 anos de pesquisa no Brasil**. Lavras: Editora da UFLA, 2010. p. 153–214.

CARNEIRO, M. A. C. et al. Efeitos da inoculação de fungos micorrízicos arbusculares e da aplicação de fósforo no estabelecimento de forrageiras em solo degradado. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 34, n. 9, p. 1669–1677, set. 1999.

CARNEIRO, M. A. C. et al. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 1, p. 147–157, fev. 2009.

CARRENHO, R. et al. Fungos micorrízicos arbusculares em agrossistemas brasileiros. In: SIQUEIRA, J. O. (Ed.). **Micorrizas: 30 anos de pesquisa no Brasil**. Lavras: Editora da UFLA, 2010. p. 215–250.

CARVALHO, T. S.; MOREIRA, F. M. S. Simbiose tripartites: leguminosas, fungos micorrízicos e bactérias fixadoras de nitrogênio nodulíferas. In: SIQUEIRA, J. O. et al. (Ed.). **Micorrizas: 30 anos de pesquisa no Brasil**. Lavras: Editora da UFLA, 2010. p. 383–414.

CAVALCANTE, U. M. T.; GOTO, B. T.; MAIA, L. C. Aspectos da simbiose micorrízica arbuscular. **Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agrônômica**, v. 6, p. 180–208, 2009.

CORDEIRO, M. A. S. et al. Colonização e densidade de esporos de fungos micorrízicos em dois solos do cerrado sob diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 35, n. 3, p. 147–153, 2005.

DE SOUZA, F. A. **Identificação molecular e caracterização da diversidade de espécies de fungos micorrízicos arbusculares do gênero *Gigaspora* por PCR-DGGE (Denaturing Gradient Gel Electrophoresis)**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia: (Embrapa Agrobiologia. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 6), 2005.

DE SOUZA, F. A. et al. Classificação e taxonomia de Fungos Micorrízicos Arbusculares e sua diversidade e ocorrência no Brasil. In: SIQUEIRA, J. O. et al. (Ed.). **Micorrizas: 30 anos de pesquisa no Brasil**. Lavras: Editora da UFLA, 2010. p. 15–74.

DE SOUZA, F. A.; GUERRA, J. G. M. **Emprego da técnica do número mais provável (NMP) no estudo de populações de fungos micorrízicos arbusculares (FMAs)**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia: Embrapa-CNPAB. Circular Técnica, 2, 1998.

DE SOUZA, F. A.; SILVA, I. C. L.; BERBARA, R. L. L. Fungos micorrízicos arbusculares: muito mais diversos do que se imaginava. In: MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O.; BRUSSAARD, L. (Ed.). **Biodiversidade do solo em ecossistemas brasileiro**. Lavras: Editora da UFLA, 2008. p. 483–536.

DIAS, L. E.; FRANCO, A. ANTÔNIO; CAMPELLO, E. F. C. Fertilidade do solo e seu manejo em áreas degradadas. In: NOVAIS, R. F. et al. (Ed.). **Fertilidade do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 955–990.

DORAN, W.; PARKIN, T. . Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J. W. et al. (Eds.). **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison: Soil Science Society of America Proceedings, 1994. p. 3–21.

DOUDS, D. D.; MILLNER, P. D. Biodiversity of arbuscular mycorrhizal fungi in agroecosystems. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 74, p. 77–93, 1999.

FERREIRA, D. A.; CARNEIRO, M. A. C.; SAGGIN, O. J. Fungos micorrízicos arbusculares em um latossolo vermelho sob manejos e usos no Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 1, p. 51–61, 2012.

FILHO, A. C.; NOGUEIRA, M. A. Micorrizas arbusculares em plantas tropicais: café, mandioca e cana-de-açúcar. In: SILVEIRA, A. P. D. DA; FREITAS, S. DOS S. (Ed.). **Microbiota do solo e qualidade ambiental**. Campinas: Instituto Agrônomo Campinas, 2007. p. 39–56.



GAI, J. P. et al. Twenty years of research on community composition and species distribution of arbuscular mycorrhizal fungi in China: A review. **Mycorrhiza**, v.16, p 229-239, 2006.

GARG, N.; CHANDEL, S. Arbuscular mycorrhizal networks: process and functions. A review. **Agronomy for sustainable development**, v. 30, n. 3, p. 581–599, set. 2010.

GASPAROTTO, F. A. et al. Técnicas moleculares aplicadas ao estudo de micorrizas. In: SIQUEIRA, J. O. et al. (Ed.). **Micorrizas: 30 anos de pesquisa no Brasil**. Lavras: Editora da UFLA, 2010. p. 551–582.

INVAM. **International Culture Collection of Arbuscular Mycorrhizal Fungi**. Disponível em: <<http://invam.wvu.edu/>>. Acesso em: 25 jan. 2015.

JACOBI, C. M. et al. Plant communities on ironstone outcrops: A diverse and endangered Brazilian ecosystem. **Biodiversity and Conservation**, v. 16, p. 2185–2200, 2007.

JASPER, D. A.; ABBOTT, L. K.; ROBSON, A. D. Soil disturbance in native ecosystems - the decline and recovery of infectivity of va mycorrhizal fungi. In: READ, D. J. et al. (Ed.). . **Mycorrhizas in ecosystems**. SHEFFIELD: University of Sheffield, 1992. p. 151–155.

KLAUBER-FILHO, O.; SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. DE S. Fungos micorrízicos arbusculares em solos de área poluída com metais pesados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, n. 1, p. 125–134, 2002.

MAIA, L. C.; SILVA, F. S. B.; GOTO, B. T. Estrutura, ultraestrutura e germinação de glomerosporos. In: SIQUEIRA, J. O. (Ed.). . **Micorrizas: 30 anos de pesquisa no Brasil**. Lavras: Editora da UFLA, 2010. p. 75-118.

MARSCHNER, H.; DELL, B. Nutrient uptake in mycorrhizal symbiosis. **Plant and Soil**, v. 159, n. 1, p. 89–102, 1994.

MATIAS, S. R. et al. Effect of rhizobia, mycorrhizal fungi and phosphate-solubilizing microorganisms in the rhizosphere of native plants used to recover an iron ore area in Brazil. **European Journal of Soil Biology**, v. 45, p. 259–266, 2009.

MCGONIGLE, T. P.; MILLER, M. H. Winter survival of extraradical hyphae and spores of arbuscular mycorrhizal fungi in the field. **Applied Soil Ecology**, v. 12, n. 1, p. 41–50, abr. 1999.

MEHROTRA, V. S. Arbuscular mycorrhizal associations of plants colonizing coal mine spoil in India. **The Journal of Agricultural Science**, v. 130, n. 2, p. 125–133, mar. 1998.

MELLONI, R.; SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. DE S. Fungos micorrízicos arbusculares em solos de área de mineração de bauxita em reabilitação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, n. 2, p. 267–276, fev. 2003.

MIRANDA, J. C. DE. **Cerrado: micorriza arbuscular: ocorrência e manejo**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2008.

MOREIRA, F. M. S. et al. O ecossistema solo: componentes, relações ecológicas e efeitos na produção vegetal. In: MOREIRA, F. M. DE S. et al. (Ed.). **O ecossistema solo: componentes, relações ecológicas e efeitos na produção vegetal**. Lavras: Editora da UFLA, 2013. p. 13–30.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e Bioquímica do solo**. 2. ed. Lavras: Editora da UFLA, 2006.

OEHL, F.; SIEVERDING, *E. pacispora*, a new vesicular arbuscular mycorrhizal fungal genus in the Glomeromycetes. **Journal of Applied Botany**, v. 78, p. 72 – 82, 2004.

PRALON, A.; MARTINS, M. . Utilização do resíduo industrial ferkal na produção de mudas de *Mimosa caesalpiniaefolia*, em estéril de extração de argila, inoculadas com fungos micorrízicos arbusculares e rizóbio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, n. 2, p. 55–63, 2001.

RANGEL, W. D. M. et al. Phytoprotective effect of arbuscular mycorrhizal fungi species against arsenic toxicity in tropical leguminous species. **International Journal of Phytoremediation**, v. 16, p. 840–858, 2014.

REDECKER, D. et al. An evidence-based consensus for the classification of arbuscular mycorrhizal fungi (Glomeromycota). **Mycorrhiza**, v. 23, n. 7, p. 515–31, out. 2013.

RESENDE, M. et al. **Pedologia: Base para distinção de ambientes**. 6 ed. Lavras: Editora da UFLA, 2014.

SAGGIN JÚNIOR, O. J.; SILVA, E. M. R. DA. Micorriza arbuscular – Papel , funcionamento e aplicação da simbiose. In: AQUINO, A. M. DE; ASSIS, R. L. DE (Eds). **Processos biológicos no sistema solo-planta: ferramentas para uma agricultura sustentável**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2005. p. 101–149.

SANTOS, A. L. et al. Estabelecimento e capacidade infectiva de *Gigaspora margarita* e *Glomus clarum* em solo sob erosão. **Acta Botanica Brasilica**, v. 14, n. 11, p. 127–139, 2000.

SANTOS, F. E. F. DOS; CARRENHO, R. Diversidade de fungos micorrízicos arbusculares em remanescente florestal impactado (Parque Cinquentenário -

Maringá, Paraná, Brasil). **Acta Botanica Brasilica**, v. 25, n. 2, p. 508–516, jun. 2011.

SANTOS, J. G. D.; SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. DE S. Eficiência de fungos micorrízicos arbusculares isolados de solos de áreas de mineração de bauxita no crescimento inicial de espécies nativas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 1, p. 141–150, fev. 2008.

SCHNEIDER, J. et al. Anatomy and ultrastructure alterations of *Leucaena leucocephala* (Lam.) Inoculated with mycorrhizal fungi in response to arsenic-contaminated soil. **Journal of Hazardous Materials**, v. 262, p. 1245–1258, 2013.

SCHROEDER, M. S.; JANOS, D. P. Plant growth , phosphorus nutrition , and root morphological responses to arbuscular mycorrhizas , phosphorus fertilization , and intraspecific density. **Mycorrhiza**, v. 15, p. 203–216, 2005.

SILVA, R. F. et al. Comunidade de fungos micorrízicos arbusculares em solo cultivado com eucalipto, pinus e campo nativo em solo arenoso, São Francisco de Assis, RS. **Ciência Florestal**, v. 18, n. 3, p. 353–361, 2008.

SILVEIRA, A. P. D. DA; GOMES, V. F. F. Micorrizas Arbusculares em Plantas Frutíferas Tropicais. In: **Microbiota do Solo e Qualidade Ambiental**. Campinas: Instituto Agrônômico Campinas, 2007.

SIQUEIRA, J. O. et al. Significance of phenolic compounds in plant-soil-microbial systems. **Critical Reviews in Plant Sciences**, v.10, n 1, p. 63-121, 1991.

SIQUEIRA, J. O. Micorrizas Arbusculares. In: ARAUJO, R. S.; HUNGRIA, M. (Ed.). **Microrganismos de importância agrícola**. Brasília: EMBRAPA SPI, 1994.

SIQUEIRA, J. O. et al. Arbuscular mycorrhizal inoculation and superphosphate application influence plant development and yield of coffee in Brazil. **Mycorrhiza**, v. 7, n. 6, p. 293–300, 1998.

SIQUEIRA, J. O.; LAMBAIS, M. R.; STÜRMER, S. L. Fungos micorrízicos arbusculares: características, associação simbiótica e aplicação na agricultura. **Biotecnologia Ciência e Desenvolvimento**, p. 12–21, 2002.

SIQUEIRA, J. O.; SAGGIN-JÚNIOR, O. J. Dependency on arbuscular mycorrhizal fungi and responsiveness of some Brazilian native woody species. **Mycorrhiza**, v. 11, p. 245–255, 2001.

SKIRY CZ, A. et al. Canga biodiversity , a matter of mining. **Frontiers in Plant Science**, v. 5, n. 653, p. 1–9, 2014.

SOARES, C. R. F. S.; CARNEIRO, M. A. C. Micorrizas arbusculares na recuperação de áreas degradadas. In: SIQUEIRA, J. O. (Ed.). **Micorrizas: 30 anos de pesquisa no Brasil**. Lavras: Editora da UFLA, 2010. p. 441–474.

STÜRMER, S. L. A history of the taxonomy and systematics of arbuscular mycorrhizal fungi belonging to the phylum Glomeromycota. **Mycorrhiza**, v. 22, p. 247–258, 2012.

STÜRMER, S. L.; SIQUEIRA, J. O. Diversidade de fungos micorrízicos arbusculares em ecossistemas brasileiros. In: MOREIRA, F. M. S. SIQUEIRA, J. O.; BRUSSAARD, L. (Ed.). **Biodiversidade do solo em ecossistemas brasileiros**. Lavras: Editora da UFLA, 2008. p. 537–584

STÜRMER, S. L.; SIQUEIRA, J. O. Species richness and spore abundance of arbuscular mycorrhizal fungi across distinct land uses in Western Brazilian Amazon. **Mycorrhiza**, v. 21, p. 255–267, 2011.

STÜRMER, S. L.; SIQUEIRA, J. O. Fungos micorrízicos. In: MOREIRA, F. M. S. et al. (Ed.). **O ecossistema solo: componentes, relações ecológicas e efeitos na produção vegetal**. Lavras: Editora da UFLA, 2013. p. 289–310.

SWIFT, M. J. et al. O inventário da diversidade biológica do solo: conceitos e orientações gerais. In: MOREIRA, F. M. S.; HUISING, E. J.; BIGNELL, D. E. (Eds.). **Manual de biologia dos solos tropicais: amostragem e caracterização da biodiversidade**. Lavras: Editora da UFLA, 2010. p. 23–42.

VAN DER HEIJDEN, M. G. A. et al. Mycorrhizal fungal diversity determines plant biodiversity, ecosystem variability and productivity. **Nature**, v. 396, p. 69–72, 1998.

VANCE, C. P.; UHDE-STONE, C.; ALLAN, D. L. Phosphorus acquisition and use : critical adaptations by plants for securing a nonrenewable resource. **New Phytologist**, v. 157, p. 423–447, 2003.

VILELA, L. A. F. et al. Arbuscular mycorrhizal fungus in microbial activity and aggregation of a Cerrado Oxisol in crop sequence. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 38, p. 34–42, 2014.

WARDLE, D. A et al. Ecological linkages between aboveground and belowground biota. **Science**, v. 304, p. 1629–1633, 2004.

WHITE, J. A.; MUNN, L. C.; WILLIAMS, S. E. Edaphic and reclamation aspects of vesicular-arbuscular mycorrhizae in wyoming red desert soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 53, n. 1, p. 86, 1989.

ZANETTI, R.; LOUZADA, J. Bioindicadores de impactos ambientais. In: MOREIRA, F. M. S. et al. (Ed.). **O ecossistema solo: componentes, relações ecológicas e efeitos na produção vegetal**. Lavras: Editora da UFLA, 2013. p. 139–168.

ZANGARO, W.; MOREIRA, M. Micorrizas arbusculares nos biomas Floresta Atlântica e Floresta Araucária. In: SIQUEIRA, J. O. (Ed.). **Micorrizas: 30 anos de pesquisa no Brasil**. Lavras: Editora da UFLA, 2010. p. 279–310.

**SEGUNDA PARTE – ARTIGO**

**DENSIDADE E DIVERSIDADE DE ESPOROS DE FUNGOS  
MICORRÍZICOS ARBUSCULARES EM ÁREAS DO QUADRILÁTERO  
FERRÍFERO<sup>(1)</sup>**

**DENSITY AND DIVERSITY OF MYCORRHIZAL FUNGI  
SPORES IN THE QUADRILÁTERO FERRÍFERO AREA**

Anita Fernanda dos Santos Teixeira <sup>\*(2)</sup>, Sidney Luiz Stürmer<sup>(3)</sup>, Marco Aurélio Carbone Carneiro<sup>(4)</sup> & Fatima Maria de Souza Moreira<sup>(4)</sup>

<sup>(1)</sup>Parte da dissertação de mestrado da primeira autora.

<sup>\*(2)</sup> Mestranda em Ciência do Solo, bolsista Capes – Universidade Federal de Lavras – Departamento de Ciência do Solo DCS/UFLA – CEP 37200-000 – Lavras MG, anitateixeira@posgrad.ufla.br

<sup>(3)</sup> Departamento de Ciências Naturais (DCN), Universidade Regional de Blumenau (FURB), Cx.P. 1507, 89010-971 Blumenau, SC, Brasil.

<sup>(4)</sup> Laboratório de Microbiologia do Solo, Departamento de Ciência do Solo, Universidade Federal de Lavras, Caixa Postal 3037, 37200-000 Lavras, Minas Gerais, Brasil.

Artigo formatado conforme as normas da Revista Brasileira de Ciência do Solo (RBCS).



## TÍTULO

DENSIDADE E DIVERSIDADE DE ESPOROS DE FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES EM ÁREAS DO QUADRILÁTERO FERRÍFERO

## RESUMO

Os Fungos Micorrízicos Arbusculares (FMAs) interagem com grande parte das plantas e, iniciada a simbiose, ambos os envolvidos são beneficiados, facilitando revegetação de áreas em reabilitação. A diversidade desses fungos pode variar dentre diferentes ambientes e ser influenciada pela vegetação e por características do solo. O presente estudo teve por objetivo avaliar a densidade de esporos e diversidade de FMAs em área reabilitada após mineração de ferro e no seu entorno. A coleta de solo foi realizada na mina Córrego do Meio, em Sabará – MG, em áreas de pilha de rejeito (área de reabilitação), canga, cerrado, mata e de eucalipto. Foram realizadas análises química e física e extração de esporos de 100 mL de solo, para análises e identificação taxonômica das espécies de FMAs. Riqueza de espécies (R), índice de diversidade de Shannon ( $H'$ ) e equitabilidade (J) foram estimados. Análise de componentes principais (PCA) foi feita para verificar relação entre espécies de FMAs e atributos do solo. A densidade de esporos encontrada foi alta e não diferiu estatisticamente entre as áreas avaliadas. Foram encontradas 31 espécies de FMAs em todas as áreas, sendo esse o primeiro relato de ocorrência no Brasil de *Acaulospora nivalis* e *Acaulospora alpina*. *Acaulospora mellea*, *Acaulospora morrowiae* e *Glomus bastonete* foram Generalistas, e essa última espécie apresentou a maior abundância relativa em todas as áreas. A maior diversidade foi encontrada em pilha de rejeito ( $H'$  2,02) e a menor em canga ( $H'$  0,582). Alguns atributos químicos do solo se associaram à distribuição das espécies, fato que não foi observado para atributos físicos. A maior diversidade de espécies em pilha de rejeito pode facilitar o processo de reabilitação dessa área.

**Palavras-chave:** pilhas de rejeito; micorrizas; canga; áreas em reabilitação; mineração.

**ABSTRACT**

*The soil is home to great diversity of organisms. The arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) interact with most of the plants and started symbiosis, both involved are benefited, facilitates revegetation in rehabilitation areas. The diversity of these fungi may vary among different environments and be influenced by vegetation and soil characteristics. This study aimed to evaluate the spore density and diversity of AMF in rehabilitated area after iron mining and its surroundings. The soil samples were taken in the Córrego do Meio mine, in Sabará – MG, in tailings pile areas (rehabilitation area), canga, cerrado, forest and eucalyptus. We performed chemical and physical soil analysis and spores extracted of 100 mL of soil analyzes and for taxonomic identification of the AMF. Species richness (R), Shannon diversity index (H') and evenness (J) were estimated. Principal component analysis (PCA) was performed to verify the relationship between AMF and soil properties. The spore density found was high and did not differ statistically between the evaluated areas. We found 31 species of AMF in all areas, and this being the first occurrence reporting in Brazil of *Acaulospora nivalis* and *Acaulospora alpina*. *Acaulospora mellea*, *Acaulospora morrowiae* and *Glomus bastonete* were generalists, and the latter species showed the highest relative abundance in all areas. The greatest diversity was found in tailings pile (H'<sup>2</sup>,02) and the lowest in canga (H' 0,582). Some soil chemical properties were associated with distribution of species, a fact that was not observed for physical attributes. The greatest diversity of species in tailings pile can facilitate the process of rehabilitation of this area.*

**Keywords:** *tailing piles, mycorrhizae, canga, rehabilitation areas, mining.*

## INTRODUÇÃO

A mineração é um dos setores básicos da economia do Brasil. Dentre os principais minérios, o Ferro apresenta posição de destaque em relação à exportação (Chaves et al., 2001). O Quadrilátero Ferrífero, localizado na porção centro-sul do Estado de Minas Gerais, se destaca não só no plano econômico como no histórico-cultural nacional, por ser um dos segmentos mais antigos da paisagem brasileira (Carvalho Filho et al., 2010). Essa é uma das mais importantes regiões de mineração de Ferro do mundo (Spier et al., 2003). Entretanto, a mineração causa mudanças que geram impactos ambientais locais e globais, como a mudança no ciclo dos elementos e da cobertura vegetal do solo, que provocam perda de biodiversidade (Siqueira et al., 2007).

Os Fungos Micorrízicos Arbusculares (FMAs) pertencem ao Filo Glomeromycota (Schüßler et al., 2001), e estabelecem simbiose com plantas em relação mutualística, dela recebendo fotossintatos e proporcionando à mesma, diversos benefícios fisiológicos e nutricionais (Siqueira et al., 2002). O micélio fúngico também auxilia na agregação do solo, seja por efeito físico ou por secreção de substâncias (Vilela et al., 2014).

Por serem biotróficos obrigatórios, os FMAs estão sujeitos a sofrer impactos quando há retirada da vegetação e intervenções no solo de uma área, como ocorre em áreas de mineração. A remoção da camada superficial do solo para a retirada do minério quebra a estrutura do solo e expõe os propágulos de FMAs, provocando a morte dos mesmos. As hifas fúngicas são as primeiras a perderem sua capacidade de crescimento,

seguidas pelas raízes colonizadas. Dessa forma permanecem no solo os esporos de FMAs, que são os propágulos que apresentam maior resistência a este tipo de estresse (Siqueira et al., 2007; Soares e Carneiro, 2010).

O estabelecimento da simbiose entre plantas e FMAs se faz importante do ponto de vista ambiental por facilitar a recuperação de áreas em reabilitação (Siqueira et al., 2007; Soares e Carneiro, 2010). Os propágulos de FMAs estão presentes em áreas degradadas e, uma vez estabelecida a simbiose, a rede de hifas atua de diversas formas. Há formação de agregados de partículas do solo, seja por efeito físico (empacotamento) ou pela produção de substâncias agregantes (como glomalina), e aumento da capacidade de absorção de nutrientes, (com destaque para o fósforo), o que favorece a ciclagem dos mesmos (Martins et al., 1999; Siqueira et al., 2002; Moreira e Siqueira, 2006; Rillig e Mummey, 2006).

A diversidade de FMAs por si só se faz importante e dá vislumbre da complexidade a ser entendida dentro da comunidade desses microrganismos (Bever et al., 2001). Espécies florestais têm sido responsivas à inoculação com esses microbiontes (Siqueira et al., 1998; Santos et al., 2008; Soares e Carneiro, 2010), cuja maior riqueza de espécies pode ser determinante na biodiversidade vegetal (van der Heijden et al., 1998).

Demonstrada a maior adaptabilidade do inóculo nativo às condições do substrato (Pralon e Martins, 2001), a densidade e diversidade de esporos de FMAs em determinada área pode contribuir para o processo de recuperação de impactos nessa, como os causados pela

mineração. Desta forma, o presente estudo foi realizado com objetivo de avaliar a densidade e diversidade de esporos de FMAs em área de mineração de ferro em processo de reabilitação, denominada pilha de rejeitos, e em diferentes áreas no seu entorno, com ambientes não minerados de canga, mata, eucalipto e cerrado, na mina Córrego do Meio, em Sabará – MG, Brasil.

## **MATERIAIS E MÉTODOS**

O estudo foi realizado em diferentes áreas da mina Córrego do Meio (19°51'41.23"S; 43°48'11.13"O), pertencentes à empresa Vale (Sabará – MG). A extração de minério ferro nessa mina foi totalmente desativada no ano de 2006. As cinco áreas avaliadas (Figura 1), descritas no Quadro 1, se localizam na unidade morfoestrutural do Quadrilátero Ferrífero e estão inseridas na sub-bacia hidrográfica do Rio das Velhas.

O clima predominante da região é tropical de altitude, Cwa de acordo com a classificação de Köppen, caracterizado por verões quentes e úmidos e invernos secos e frios. A precipitação média anual está em torno de 1700 mm, com pequeno período seco (Figura 2) e temperatura média em torno de 22°C.

As amostras foram coletadas conforme (Huisling et al., 2008) para amostragem de microssimbiontes e fungos do solo. No período de 23 a 27 de setembro de 2013, quatro repetições compostas por 12 subamostras de solo foram coletadas em cada área, dispostas como mostrado na Figura 3. Em cada subamostra foram realizadas duas extrações com auxílio de trado, na profundidade de 0 a 20 cm.

Os pontos centrais dos locais de coleta foram georreferenciados e plotados no mapa (Figura 4). As amostras compostas de solo foram homogeneizadas, armazenadas em sacos plásticos e colocadas em isopor para transporte até o Laboratório de Biologia, Microbiologia e Processos Biológicos do Solo da Universidade Federal de Lavras (UFLA), onde ficaram armazenadas em câmara fria a 4°C até início do processamento. Parte de cada amostra foi enviada para os Laboratórios de Análises de Fertilidade do solo do DCS/UFLA para caracterizações química e física (Quadro 2). As extrações de esporos foram realizadas seguindo a técnica de decantação e peneiramento por via úmida (Gerdemann e Nicolson, 1963) combinada à técnica de centrifugação em água e em sacarose 50% (Jenkins, 1964).

Foram realizadas duas extrações de cada amostra, cada qual contendo volume de 50 mL de solo, as quais tiveram as contagens somadas, totalizando 100 mL de solo. Após extração, a amostra foi levada ao ultrassom por dez segundos para limpeza dos esporos.

Os esporos viáveis foram pipetados sob lupa e separados em morfotipos conforme cor, tamanho e forma. Lâminas para avaliação microscópica foram montadas segundo Bagyaraj e Stürmer, (2010) com todos os representantes de cada morfotipo. A identificação por análise taxonômica e contagem de esporos de cada espécie foi realizada em microscópio. As características dos esporos foram comparadas às das descrições das espécies na homepage do INVAM (<http://invam.wvu.edu/>), e às de artigos originais para identificação das espécies.

As espécies de FMAs foram classificadas quanto à presença nas áreas avaliadas de acordo com a frequência de isolamento (FI) nessas (Assis et al., 2014) como Generalistas (G), quando ocorrem nas cinco áreas avaliadas; Intermediárias (I), ocorrem em duas a quatro áreas, e Exclusivas (E), quando ocorrendo em apenas uma área. A abundância relativa foi dada pela porcentagem do número total de esporos da área que a espécie FMA representa.

Curvas coletor foram construídas através de 50 simulações da riqueza acumulativa observada ao longo das amostras utilizando softwares EstimateS (versão 9.1) (Colwell, 2013) e Statistica (versão 12.0) (StatSoft, 2013), afim de verificar se o número de repetições foi capaz amostrar a diversidade da área.

Para avaliação da densidade de esporos foi aplicado teste Scott-Knott ao nível de 5% de significância, com dados transformados em log de X, utilizando o software estatístico Assistat (Silva, 2015). Utilizando o software de análise de dados científicos PAST (PAleontological STatistics) (Hammer et al., 2001), foram estimados: 1- Riqueza de espécies (R); 2- Índice de diversidade Shannon (H') [ $H' = -\sum_i p_i (\log p_i)$ ] com o valor de pi dado pela quociente do número de indivíduos de determinada espécie pelo número de indivíduos total da amostra] e 3- Equitabilidade (J) ( $J = \frac{H'}{H_{m\acute{a}x.}}$ , onde o Hmáx representa o valor máximo de H' que é  $\ln S$ , comparando desta forma H' com a distribuição das espécies observadas que maximiza a diversidade).

No software Canoco versão 4.5 (Braak, Ter e Smilauer, 1998) foi realizada Análise de Correspondência Destendenciada (DCA) para

determinar o comprimento do gradiente (CG). Uma vez que o CG obtido pela análise de DCA foi menor que três, a Análise de Componentes Principais (PCA) foi realizada para demonstrar a ordenação das espécies de FMAs encontradas nas cinco áreas avaliadas e para identificar quais atributos do solo mais se relacionaram a elas. As cinco áreas avaliadas, os atributos físicos e químicos do solo e as espécies de FMAs foram transformados em coordenadas correspondentes à sua projeção sobre os eixos de ordenação, ou autovalores, que representam o peso de cada variável em cada componente (eixo) e com um coeficiente de correlação variando entre -1 e +1. Neste trabalho, foi considerado um autovalor de  $\geq 0.4$  para indicar uma alta associação das componentes principais.

## **RESULTADOS**

Alta esporulação foi verificada na área. A densidade de esporos média não apresentou diferença estatística entre as áreas. Os valores de densidade média de esporos e respectivos desvios padrão estão representados na Figura 5.

A maior riqueza média de espécies de FMAs (Figura 5) foi encontrada em PR, enquanto CN apresentou a menor riqueza média de espécies dentre as áreas. A área de PR também apresentou maior riqueza total de espécies (R) além de maior equitabilidade J (Quadro 3), valor este que indica maior uniformidade de distribuição de indivíduos das diferentes espécies nessa área.



O número médio de espécies coletadas por amostra foi mais baixo em canga e mais alto nas pilhas de rejeito. Esses valores correspondem aos de R encontrados nessas áreas (Quadro 3).

As curvas coletor (Figura 6) de todas as áreas avaliadas tenderam à assíntota, mostrando que baixo número de espécies seria incrementado com o aumento do esforço amostral (número de amostras). Portanto o número de amostras coletadas foi adequado, e capturou em grande parte a diversidade dessas áreas.

Foram identificadas, no total, 31 diferentes espécies (Quadro 3), distribuídas em 12 diferentes gêneros, além de esporos da família Gigasporaceae. A maior parte das espécies encontradas (13 espécies) pertence ao gênero *Acaulospora*, representando mais de 43% do total de espécies. *Glomus* foi o segundo gênero mais encontrado, com cinco espécies de FMAs.

Os gêneros *Ambispora*, *Archaeospora*, *Cetraspora*, *Dentiscutata*, *Gigaspora*, *Paraglomus* e *Redeckera*, além dos esporos da família Gigasporaceae, dos quais não foi possível a identificação em nível de gênero, representaram menos que 2% do total de esporos. Dentre os outros cinco gêneros, (mais de 98% dos esporos) (Figura 7), *Glomus* apresentou a maior número de esporos em todas as áreas. Entretanto, a espécie *Glomus* bastonete, com maior abundância relativa em todas as áreas (Quadro 3), representou de 76 (PR) a mais de 98% (demais áreas) dos esporos desse gênero, se destacando, portanto, em todas as áreas avaliadas.

Os menores valores de riqueza de espécies (R) e índice de diversidade de Shannon (H') (Quadro 3) foram obtidos em CN,

mostrando menor diversidade de espécies de FMAs nessa área em relação às demais.

Entre as espécies encontradas em mais de uma área, apenas quatro e com FI < 10% (*Rhizophagus fasciculatus*, *Acaulospora lacunosa*, *A. sp0* e *Ambispora leptoticha*) não foram encontradas em PR, onde foram encontrados os maiores valores de R, H' e equitabilidade (J). A área de PR também apresentou o maior número de espécies de FMAs exclusivas (seis).

Dentre as espécies de FMAs encontradas, esse é o primeiro relato de ocorrência no Brasil de *Acaulospora nivalis* e *Acaulospora alpina*.

Não foram encontradas descrições de espécies nas quais *Acaulospora sp0*, *Acaulospora sp1*, *Glomus sp0*, *Glomus sp1* e *Glomus bastonete* se enquadrassem, sendo as quatro primeiras, provavelmente espécies novas e/ou ainda não descritas. Dessa forma, análise molecular se faz necessária para identificação dessas espécies. A espécie *Glomus bastonete* apresenta característica similares a *Glomus macrocarpum* Tul. & Tul, porém por essa espécie ter sido descrita em 1845, quando ainda não havia tantos recursos para análise de detalhes, não se pode ter certeza da identidade da mesma, assim optou-se denominá-la de bastonete, por essa apresentar muitos esporos com esse formato.

*Acaulospora mellea*, *A. morrowiae* e *Glomus bastonete* foram encontradas em todos os ambientes, sendo, portanto, consideradas Generalistas nas áreas estudadas.

Treze espécies de FMAs Exclusivas foram encontradas. Maior quantidade de Exclusivas foi verificada em PR, um total de seis, sendo *Acaulospora alpina*, *Acaulospora nivalis*, *Acaulospora scrobiculata*,

*Acaulospora* sp1, *Acaulospora tuberculata* e *Septoglosum viscosum*. CE apresentou quatro espécies exclusivas, de quatro diferentes gêneros, sendo essas *A. trappei*, *Dentiscutata heterogama*, *Redeckera fulva* e *Paraglosum occultum*. Nos ambientes de MT, EC e CN foi encontrada apenas uma espécie exclusiva, respectivamente *Rhizophagus diaphanus*, *Glomus* sp1 e *Dentiscutata biornata*.

O resultado da PCA (Figura 8) demonstra que alguns fatores (atributos do solo) foram altamente associados à ocorrência das espécies de FMAs, atributos esses que apresentaram valores maiores ou iguais a |0,4|, nas componentes principais (PC) 1 e 2.

A PCA mostra que as quatro componentes principais foram responsáveis por 72,7% da variação total. A primeira e a segunda componente principal (Fator 1 e Fator 2, Figura 8) foram responsáveis por 32,4% e 13,1% da variação total, respectivamente, totalizando 45,5%.

Dentre os atributos do solo avaliados, nenhum dos fatores físicos apresentou alta associação na análise das componentes principais, ao contrário dos químicos pH, P, SB, S, K, M.O., B e Cu.

O fator 1 (PC1), que em sua variação positiva é influenciado por pH, P, SB, e S, e em seus valores negativos, por K, M.O. e Cu, segregou verticalmente o ambiente PR das demais áreas (Figura 8). Isso indica que o ambiente em reabilitação é diferente dos demais, principalmente em relação a mais altos valores de pH, P, SB, e S (Quadro 1), quando comparados com os demais ambientes. Os outros ambientes foram mais associados pelo fator 1 aos teores de M.O., K e Cu, fato que condiz com os maiores valores desses atributos encontrados nessas áreas.

A maior parte das espécies encontradas (18) está associada ao ambiente PR e essas se relacionaram com maior ou menor intensidade com os atributos que o segregaram. Da mesma forma, a distribuição das outras 14 espécies se relaciona com maior ou menor intensidade com os atributos químicos associados às demais áreas.

O fator 2 (PC 2) divide horizontalmente a Figura 8 e é relacionado principalmente aos teores de B e K. Essa PC dividiu os quatro pontos amostrais de PR em dois setores, mostrando a variabilidade, mesmo dentro do sistema em reabilitação. Isso pode ser devido ao possível uso de materiais de diferentes origens para o preenchimento das cavas. A PC 2 também separou alguns pontos amostrais de EC e CE. MT e CN apresentaram maiores teores médios de K e todos os pontos desses ambientes ficaram no mesmo grupo, mostrando a maior semelhança entre as unidades amostrais. Isso pode ser devido a esses ambientes serem ambientes naturais com pouca ou nenhuma ação antrópica.

As espécies *Rhizophagus clarus*, *Acaulospora colombiana*, *A. herrerae*, *Diversispora eburnea*, *Glomus* sp0, *A. nivalis*, *A. sp1*, *G. microaggregatum*, *G. magnicaule* e *A. morrowiae* estão mais associadas aos ambientes PR3 e PR4, enquanto *A. scrobiculata*, *Septoglomus viscosum*, *Cetraspora pellucida*, *A. spinosa*, *A. alpina*, *A. walkeri* e *A. tuberculata* estão mais associadas às condições em PR2 e PR5. *Gigaspora* sp, apesar de estar mais associada aos ambientes de PR, se apresentou bem próxima à linha de encontro dos fatores, assim como *G. magnicaule* e *A. morrowiae*, que se encontraram bem próximas à linha do fator 1. Isso significa que a associação com esses ambientes não é tão forte.

Associadas mais fortemente a CE, EC, CN e MT simultaneamente estão esporos da família Gigasporaceae, *Ambispora leptoticha*, *Rizophagus fasciculatus*, *Acaulospora* sp0, *Glomus bastonete*, *A. mellea* e *A. lacunosa*. As demais espécies não foram citadas devido à sua ocorrência estar associada a um único ambiente.

Apesar de *Glomus bastonete* ter se apresentado menos associado à PR, ele ainda corresponde a parte expressiva dos esporos encontrados nessa área, entretanto a porcentagem representada por esse nas demais áreas foi maior, enquanto PR se mostrou a área com maior equitabilidade (Quadro 3).

## DISCUSSÃO

Apesar de a densidade de esporos não ter sido estatisticamente diferente entre as áreas, a densidade encontrada foi alta. Menor densidade de esporos é relatada em ecossistemas naturais (Stürmer e Siqueira, 2011), o que pode ser devido à estabilidade desses, que permite que espécies de FMAs com menor capacidade de esporulação possam sobreviver (Siqueira et al., 1989). Entretanto, mesmo ecossistemas estáveis podem sofrer perturbações ambientais que podem influenciar no ciclo de vida desses fungos e aumentar a esporulação. O fato de a amostragem ter sido realizada em setembro, após o período com menor incidência de chuvas pode ter influenciado nos valores de densidade de esporos obtidos, pois déficit hídrico pode estimular a esporulação de FMAs (Ferreira et al., 2012).

Os valores encontrados para densidade de esporos em CE foram maiores que os encontrados por Siqueira et al., (1989), entretanto, Cordeiro et al. (2005) encontraram densidade superior à encontrada nesse estudo. As variações entre as densidades de esporos encontradas em áreas de mesmo tipo de bioma podem ser relacionadas a condições específicas em cada ambiente estudado.

Melloni et al. (2003), em área de mineração de bauxita, e Siqueira et al. (1989) em agrossistemas no estado de Minas Gerais, encontraram valores de densidade de esporos inferiores para ambientes com eucalipto. A maior densidade de esporos nessa área pode ser devida à resposta de FMAs associados ao eucalipto, planta tolerante ao alumínio e, conseqüentemente, à saturação por alumínio muito alta. Borie e Rubio, (1999) observaram resposta em esporulação 300 vezes maior em plantas tolerantes ao alumínio em solos que não receberam calagem, em relação aos que receberam.

A diferença de riqueza de espécies entre as áreas, variando de nove em CN a 20 em PR, (totalizando 31 espécies mais uma família) pode ser atribuída à heterogeneidade de habitats (Carvalho, et al., 2012), com os atributos químicos influenciando a ocorrência de espécies de FMAs. Devemos considerar que a riqueza de espécies de FMAs em comunidades poderá não ser totalmente identificada pela coleta de esporos, pois podem existir espécies com baixa ou nenhuma esporulação na área (Rosendahl, 2008).

Treze espécies de FMAs encontradas foram Exclusivas. Essa ocorrência exclusiva em determinadas áreas pode estar relacionada a

condições específicas que podem favorecer a esporulação dessas espécies na área (Rosendahl, 2008).

A alta abundância relativa da espécie *Glomus* bastonete pode ter contribuído para menores valores de equitabilidade (J), uma vez que esse é influenciado pela homogeneidade de distribuição de número de indivíduos nas espécies.

Apesar de distúrbios afetarem as propriedades do solo, podendo diminuir a diversidade de FMAs (Lins et al., 2006), a maior riqueza de espécies e maior a diversidade  $H'$  foram encontrados PR, revegetada com capim gordura que, apesar de não demonstrar resposta à inoculação, é hospedeiro para multiplicação destes fungos em solo degradado na presença de P (Carneiro et al., 1999). Maiores valores de riqueza de espécies (R), diversidade de Shannon ( $H'$ ) e equitabilidade (J) em PR indicam que a diversidade de FMAs não só foi recuperada, como também foi incrementada na área em reabilitação.

Menor riqueza de espécies foi encontrada por Kiernan et al. (1983) em solos de mineração de carvão nos Estados Unidos, Raman et al. (1993) em solos de mineração de magnesita na Índia, Mehrotra (1998) em solos de mineração de carvão na Índia, Melloni et al. (2003) em área de mineração de bauxita e por Mergulhão et al. (2010) em áreas de mineração de gesso e preservada, e, tendo esses autores encontrado de seis a treze espécies de FMAs nas áreas avaliadas.

A menor riqueza de espécies de FMAs e menor diversidade ( $H'$ ) encontradas em CN pode ser devido a esse tipo de ambiente apresentar condições ambientais que dificultam o estabelecimento de plantas (Skirycz et al., 2014), o que afeta também a diversidade desses

microrganismos, pois, à medida que esses fungos apresentam biotroficidade obrigatória, a estabilidade do ecossistema quanto à presença constante de hospedeiros pode garantir a sobrevivência de algumas espécies de FMAs (Siqueira et al., 1989).

A diversidade encontrada em CN, mesmo que menor em relação às demais áreas avaliadas, pode ser importante para estabelecimento da simbiose com plantas e consequente conservação desse ambiente. Estudos de interação de FMAs e rizóbio (Matias et al., 2009) realizados com plantas nativas utilizadas para recuperação de áreas de canga, observaram colonização micorrízica mesmo em plantas que não haviam sido inoculadas previamente com FMAs, tendo identificado, em rizosfera de *Centrosema coriaceum* sem inoculação e em ambiente preservado, a ocorrência de *Acaulospora laevis*, *A. spinosa*, *Gigaspora margarita* e *Scutellospora verrucosa*, sendo que espécie do gênero *Gigaspora* também foi encontrada nesse estudo.

Dentre as seis espécies encontradas na área de mineração de bauxita em reabilitação estudada por Melloni et al. (2003), duas (*A. colombiana* e *A. scrobiculata*) também foram encontradas em PR. Nenhuma das 20 espécies de FMAs encontradas em PR foram encontradas em área de mineração de magnesita na Índia (Raman et al., 1993), o que pode ser devido ao fato do pH no ambiente avaliado variar entre 8.0-8.7, faixa de pH que difere da grande maioria encontrada em solos brasileiros.

No presente estudo, foram encontradas cinco espécies não descritas (*Acaulospora*. sp0, *A.* sp1, *Glomus* sp0, *G.* sp1 e *G.* bastonete). esse fato tem sido comumente relatado em ecossistemas brasileiros, que



ainda apresentam levantamentos mais regionalizados de diversidade desses fungos (Stürmer e Siqueira, 2008).

O gênero mais abundante em todas as áreas foi *Glomus*, seguido por *Diversispora* e *Acaulospora* em PR e por *Acaulospora* nas outras áreas (Figura 7). Os fungos Glomeranos passaram por um longo período de evolução, distribuição e dispersão desde seu surgimento, fato que pode justificar a maior predominância do gênero *Glomus* em número. *Acaulospora*, o segundo gênero mais abundante em todas as áreas, exceto PR, tem sido também o segundo gênero mais representativo em ecossistemas florestais na Caatinga (Stürmer e Siqueira, 2008). A ocorrência de gêneros mais raros de FMAs pode ser relacionada com o habitat, já que espécies podem ser comuns ou raras dependendo das condições ambientais onde se encontram (Rosendahl, 2008).

Na PCA, alguns fatores químicos apresentaram alta relação (autovalor  $\geq 0,4$ ) com os eixos de ordenação, enquanto os fatores físicos exerceram baixa relação. Essa maior relação de alguns atributos químicos pode ser devida à heterogeneidade das áreas estudadas, sendo caracterizadas por diferentes graus de interferência antrópica e diferentes padrões de vegetação. Carvalho et al. (2012), estudando ambientes rupestres, encontrou maior relação dos atributos físicos sobre a ordenação dos eixos.

Menores valores de pH segregaram MT, juntamente com as outras áreas não mineradas, da área em reabilitação (PR). Moreira et al. (2009) também encontraram menores valores médios de pH em mata secundária velha e primária na região amazônica e influência desse na ordenação dos eixos, estudando diferentes áreas. É sabido que a correção da acidez do

solo pode afetar a esporulação de espécies de FMAs e promover modificações na estruturação das comunidades desses, entretanto a resposta varia entre as espécies (Siqueira et al., 1990).

*Glomus bastonete* foi a espécie que se mostrou mais distante da área influenciada por pH, S e P, o que indica que sua maior esporulação não seja relacionada com incrementos nos valores desses. Por outro lado, a maior parte das espécies de *Acaulospora* foi influenciada por esses fatores e, apesar de estudos mostrarem que esse gênero geralmente está associado a menores valores de pH (Siqueira et al., 1989), o pH utilizado como referência é inferior a 6,5 e os valores encontrados nos solos analisados são inferiores a esse. A espécie *A. morrowiae* se encontra bem próxima à linha do fator 1, o que significa que ela não está fortemente associada a esse fator ao qual P está altamente associado. Isso corrobora os resultados de Rocha et al. (1994), que coloca essa espécie como indiferente ao teor desse elemento.

As espécies de FMAs encontraram-se mais próximas dos ambientes aos quais mais se correlacionaram (Figura 8). Cada área estudada apresentou certa diversidade de espécies mais associadas a si, entretanto podem haver outros FMAs associados que não foram captados. A diversidade de espécies de FMAs pode influenciar a comunidade vegetal, incrementando-a ao longo de estádios sucessionais (Stürmer & Siqueira, 2008). Dessa forma, a maior riqueza de espécies, diversidade ( $H'$ ) e a maior equitabilidade ( $J$ ) em PR podem favorecer o estabelecimento de diversas plantas utilizadas para recuperação de áreas degradadas, podendo essa área então, avançar no processo de reabilitação.

## **CONCLUSÕES**

1 – A densidade de esporos encontrada foi alta e não diferiu estatisticamente entre as áreas avaliadas.

2 – A área de Pilha de rejeitos em reabilitação com capim gordura apresentou maior número de espécies de FMAs Exclusivas e maior diversidade de FMAs, o que pode facilitar o processo de recuperação da mesma.

3 – Entre as áreas avaliadas, a área de canga apresentou a mais baixa diversidade de FMAs.

4 – Alguns atributos químicos, como pH, S, P, K, SB, M.O., Cu e B foram mais relacionados à distribuição de diferentes espécies nas áreas, enquanto os atributos físicos avaliados não se relacionaram.

## **AGRADECIMENTOS**

Ao projeto CRA – RDP – 00136 – 10 (FAPEMIG/ FAPESP/ FAPESPA/ VALE S. A.), “Diversidade de plantas e de organismos do solo com potencial biotecnológico e indicadores de recuperação ambiental em Minas Gerais”, Vale, pelo apoio financeiro. À Capes, CNPq e FAPEMIG por auxílios financeiros.

## **REFERÊNCIAS**

Alvarez VH, Novais RF De, Barros NF De, Cantarutti RB, Lopes AS. Interpretação dos resultados das análises de solos. In: Ribeiro AC, Guimarães PTG, Alvarez VH, organizadores. *Recom para o uso corretivos e Fertil em Minas Gerais - 5º Aproximação*. Viçosa, MG: CFSEMG; 1999. p. 25–32.

Assis PCR, Saggin Júnior OJ, Paulino HB, Stürmer SL, Siqueira JO, Carneiro MAC. Fungos micorrízicos arbusculares em campos de murundus após a conversão para sistemas agrícolas no cerrado. *Rev Bras Ciência do Solo*. 2014;38:1703–1711.

Bagyaraj JD, Stürmer SL. Fungos Micorrízicos Arbusculares (FMAs). In: Moreira FMS, Huising EJ, Bignell DE, organizadores. *Man Biol dos solos Trop amostragem e Caracter da biodiversidade*. Lavras: Editora da UFLA; 2010. p. 368.

Bever JD, Schultz PA, Pringle A, Morton JB. Arbuscular mycorrhizal fungi : more diverse than meets the eye , and the ecological tale of why. *Bioscience*. 2001;51:923–932.

Carneiro MAC, Siqueira JO, Curi N, Moreira FMS. Efeitos da inoculação de fungos micorrízicos arbusculares e da aplicação de fósforo no estabelecimento de forrageiras em solo degradado. *Pesqui Agropecu Bras*. 1999;34:1669–1677.

Carvalho F De, de Souza FA, Carrenho R, Moreira FMDS, Jesus EDC, Fernandes GW. The mosaic of habitats in the high-altitude Brazilian rupestrian fields is a hotspot for arbuscular mycorrhizal fungi. *Appl Soil Ecol*. 2012;52:9–19.

Chaves AP, Johnson B, Fernandes F, Sirotheau GJ de C, Lima MHR, Barreto ML, Villas Bôas RC, Nahass S. *Mineração e desenvolvimento sustentável: Desafios para o Brasil* [Internet]. Barreto ML, organizador. Rio de Janeiro: CETEM/MCT; 2001.

Colwell RK. EstimateS: Statistical estimation of species richness and shared species from samples. [Internet]. Version 9. 2013.

Cordeiro MAS, Carneiro MAC, Paulino HB, Saggin-júnior OJ. Colonização e densidade de esporos de fungos micorrízicos em dois solos do cerrado sob diferentes sistemas de manejo. *Pesqui Agropecuária Trop*. 2005;35:147–153.

Ferreira DA, Carneiro MAC, Saggin OJ. Fungos micorrízicos arbusculares em um latossolo vermelho sob manejos e usos no Cerrado. *Rev Bras Cienc do Solo*. 2012;36:51–61.

Filho ADC, Curi N, Shinzato E. Relações solo - paisagem no Quadrilátero Ferrífero em Minas Gerais. *Pesqui Agropecuária Bras*. 2010;45:903–916.

Gerdemann JW, Nicolson TH. Spores of mycorrhizal *Endogone* species extracted from soil by wet sieving and decanting. *Trans Br Mycol Soc. British Mycological Society*; 1963;46:235–244.

Hammer Ø, Harper DAT, Ryan PD. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis [Internet]. *Palaeontologia Electronica* 4; 2001. p. 9.

Huising EJ, Coe R, Cares JE, Louzada JNC, Zanetti R, Moreira FMS, Susilo F, Konaté S, van Noordwijk M, Huang SP. Estratégia e modelo de amostragem para avaliar a biodiversidade do solo. In: Moreira FMS, Huising EJ, Bignell DE, organizadores. *Man Biol dos solos trop amostragem e caracter da biodiversidade*. Lavras: Editora da UFLA; 2008. p. 43–78.

INVAM. International Culture Collection of Arbuscular Mycorrhizal Fungi [Internet]. 2014.

Jenkins WR. A rapid centrifugal-flotation technique for separating nematodes from soil. *Plant Dis Rep.* 1964;48:692.

Kiernan JM, Hendrix JW, Maronek DM. Endomycorrhizal fungi occurring on orphan strip mines in Kentucky. *Can. J. Bot.* 1983. p. 1798–1803.

Lins CEL, Cavalcante UMT, Sampaio EVSB, Messias AS, Maia LC. Growth of mycorrhized seedlings of *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit. in a copper contaminated soil. *Appl Soil Ecol.* 2006;31:181–185.

Martins C, Miranda J, Miranda L. Contribuição de fungos micorrízicos arbusculares nativos no estabelecimento de *Aristida setifolia* Kunth em áreas degradadas do Cerrado. *Pesqui Agropecuária Bras.* 1999;34:665–674.

Matias SR, Pagano MC, Muzzi FC, Oliveira CA., Carneiro AA, Horta SN, Scotti MR. Effect of rhizobia, mycorrhizal fungi and phosphate-solubilizing microorganisms in the rhizosphere of native plants used to recover an iron ore area in Brazil. *Eur J Soil Biol.* 2009;45:259–266.

Mehrotra VS. Arbuscular mycorrhizal associations of plants colonizing coal mine spoil in India. *J Agric Sci.* 1998;130:125–133.

Melloni R, Siqueira JO, Moreira FMS. Fungos micorrízicos arbusculares em solos de área de mineração de bauxita em reabilitação. *Pesqui Agropecuária Bras.* 2003;38:267–276.

Mergulhão ACES, Burity HA, Goto BT, Maia LC. Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in a gypsum mining impacted semiarid area. *Acta Bot Brasilica.* 2010;24:1052–1061.

Moreira FMS, Nóbrega RSA, Jesus EDC, Ferreira DF, Pérez DV. Differentiation in the fertility of Inceptisols as related to land use in the upper Solimões river region, western Amazon. *Sci Total Environ*. Elsevier B.V.; 2009;408:349–355.

Moreira FMS, Siqueira JO. *Microbiologia e Bioquímica do solo*. 2º ed. Editora da UFLA; 2006.

Pralon a. ., Martins M. Utilização do resíduo industrial ferkal na produção de mudas de *Mimosa caesalpiniaefolia*, em estéril de extração de argila, inoculadas com fungos micorrízicos arbusculares e rizóbio. *Rev Bras Ciência do Solo*. 2001;25:55–63.

Raman N, Nagarajan N, Gopinathan S, Sambandan K. Mycorrhizal status of plant species colonizing a magnesite mine spoil in India. *Biol Fertil Soils*. 1993;16:76–78.

Rillig MC, Mummey DL. Mycorrhizas and soil structure. 2006;41–53.

Rocha MR da, Oliveira E de, Carvalho G de. Efeitos de doses de fósforo e fungos MVA no crescimento e nutrição mineral da tangerineira “Cleopatra” (*Citrus reshivi* Hort ex Tan) em sementeira. *Pesqui Agropecuária Bras*. 1994;29:725–731.

Rosendahl S. Communities, populations and individuals of arbuscular mycorrhizal fungi. *New Phytol*. 2008. p. 253–266.

Santos JGD, Siqueira JO, Moreira FM de S. Eficiência de fungos micorrízicos arbusculares isolados de solos de áreas de mineração de bauxita no crescimento inicial de espécies nativas. *Rev Bras Ciência do Solo*. 2008;32:141–150.

Schüßler A, Schwarzott D, Walker C. A new fungal phylum, the Glomeromycota: phylogeny and evolution. *Mycol Res.* 2001;105:1413–1421.

Silva FAS. Programa estatístico: ASSISTAT [Internet]. Campina Grande – PB: DEAG – CTRN – UFCG; 2015. p. Cópia atualizada em 03/01/2015.

Siqueira JO, Carneiro MAC, Curi N, Rosado SC da S, Davide AC. Mycorrhizal colonization and mycotrophic growth of native woody species as related to successional groups in Southeastern Brazil. *For Ecol Manage.* 1998;107:241–252.

Siqueira JO, Colozzi-filho A, Oliveira EDE. Ocorrência de micorrizas vesicular-arbusculares em agro e ecossistemas do estado de Minas Gerais. *pes.* 1989;24:1499–1.

Siqueira JO, Lambais MR, Stürmer SL. Fungos micorrízicos arbusculares: características, associação simbiótica e aplicação na agricultura. *Biotechnol Ciência e Desenvolv.* 2002;12–21.

Siqueira JO, Rocha WF, Oliveira E, Colozzi-Filho A. The relationship between vesicular-arbuscular mycorrhiza and lime: Associated effects on the growth and nutrition of brachiaria grass (*Brachiaria decumbens*). *Biol Fertil Soils.* 1990;10:65–71.

Siqueira JO, Soares CRFS, Santos JGD, Schneider J, Carneiro MAC. Micorrizas e a degradação do solo: caracterização, efeitos e ação recuperadora. *Tópicos em Ciência do Solo.* SBCS, 2007. p. 219–306.

Skirycz A, Castilho A, Chaparro C, Carvalho N, George T, Siqueira JO. Canga biodiversity , a matter of mining. *Front Plant Sci.* 2014;5:1–9.



Soares CRFS, Carneiro MAC. Micorrizas arbusculares na recuperação de áreas degradadas. In: Siqueira JO, organizador. Micorrizas 30 anos Pesqui no Bras. Lavras: Editora da UFLA; 2010. p. 441–474.

Spier CA, de Oliveira SMB, Rosière CA. Geology and geochemistry of the Águas Claras and Pico Iron Mines, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. *Miner Depos.* 2003;38:751–774.

StatSoft. STATISTICA (data analysis software system), version 12. [Internet]. 2013.

Stürmer SL, Siqueira JO. Diversidade de fungos micorrízicos arbusculares em ecossistemas brasileiros. In: Moreira FM de S, Siqueira JO, Brussaard L, organizadores. Biodiversidade do solo em ecossistemas Bras. Lavras: Editora da UFLA; 2008. p. 537–584.

Stürmer SL, Siqueira JO. Species richness and spore abundance of arbuscular mycorrhizal fungi across distinct land uses in Western Brazilian Amazon. *Mycorrhiza.* 2011;21:255–267.

Ter Braak CJF, Smilauer P. Canoco reference manual and user's guide. New York: Microcomputer Power; 1998.

Van der Heijden MGA, Klironomos JN, Ursic M, Moutoglis P, Streitwolf-Engel R, Boller T, Wiemken A, Sanders IR. Mycorrhizal fungal diversity determines plant biodiversity, ecosystem variability and productivity. *Nature.* 1998;396:69–72.

Vilela LAF, Saggin Júnior OJ, Paulino HB, Siqueira JO, Santos VL da S, Carneiro MAC. Arbuscular mycorrhizal fungus in microbial activity and aggregation of a Cerrado Oxisol in crop sequence. *Ciência e Agrotecnologia.* 2014;38:34–42.



Quadro 1. Abreviação (Abrev), descrição das áreas avaliadas e identificação dos pontos de coleta na mina Córrego do Meio.

Abrev	Área	Descrição	Varição de Altitude (m)	Pontos de Coleta
PR	Pilha de rejeitos	Área em processo de recuperação ambiental após mineração de ferro, revegetada com capim gordura ( <i>Melinis minutiflora</i> ).	1041 a 1060	PR2, PR3, PR4 e PR5
CN	Canga	Ambiente rupestre bastante preservado sobre afloramentos rochosos.	1196 a 1201	CN1, CN2, CN4 e CN6
CE	Cerrado	Vegetação de cerrado preservada e com baixo grau de antropismo.	992 a 1006	CE1, CE2, CE3 e CE4
EC	Eucalipto	Área de reflorestamento vegetada predominantemente com <i>Eucalyptus</i> spp.	926 a 971	ECE1, EC2, EC3 e EC4
MT	Mata	Vegetação secundária em diferentes estágios de regeneração natural, originalmente pertencente ao Bioma Mata Atlântica	880 a 966	MT6, MT7, MT8 e MT9

Quadro 2. Teores médios das análises químicas e físicas nas áreas pilha de rejeito com capim (PR), canga (CN), cerrado (CE), eucalipto (EC) e mata (MT).

	pH H <sub>2</sub> O	K ---mg dm <sup>-3</sup> ---	P -----cmolc dm <sup>-3</sup> -----	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	t	T	V -----%-----	m	M.O. g Kg <sup>-1</sup>	P rem mg L <sup>-1</sup>
PR	5,9 m	32,5 b	6,6 Mb	1,1 b	0,4 b	0,1 Mb	1,5 Mb	1,6 b	1,7 b	3,1 b	48,9 m	7,4 Mb	13,3 b	17,1
CN	4,5 b	56,0 m	3,8 Mb	0,8 b	0,1 Mb	1,5 A	22,5 MA	1,1 b	2,6 m	23,6 MB	5,2 Mb	57,8 A	95,7 MB	14,6
CE	4,9 b	48,0 m	1,5 Mb	0,5 b	0,1 Mb	1,3 A	6,5 A	0,7 b	2,1 b	7,3 m	10,9 Mb	63,4 A	34,7 m	20,8
EC	4,7 b	39,5 b	1,7 Mb	0,1 Mb	0,1 Mb	2,6 MA	12,1 MA	0,3 Mb	2,9 m	12,5 B	2,9 Mb	87,5 MA	50,9 MB	12,6
MT	4,6 b	68,5 m	1,9 Mb	0,6 b	0,4 b	1,7 A	9,8 MA	1,2 b	2,9 m	11,0 B	10,5 Mb	60,7 A	47,7 B	17,8
		Zn	Fe	Mn	Cu	B	Argila	Silte	Areia					
		-----mg dm <sup>-3</sup> -----										-----dag Kg <sup>-1</sup> -----		
PR		0,61 b	43,33 B	41,91 A	0,74 m	0,19 b	20,50	32,75	46,75					
CN		1,80 B	236,72 A	17,10 A	0,70 b	0,25 b	20,50	17,50	62,00					
CE		0,88 b	102,74 A	22,46 A	2,10 A	0,09 Mb	27,50	36,75	35,75					
EC		0,77 b	122,66 A	18,26 A	2,76 A	0,12 Mb	35,75	34,00	30,25					
MT		8,56 A	94,55 A	67,83 A	3,03 A	0,15 b	30,50	42,25	27,25					

Classificação dos teores de nutrientes (Alvarez et al., 1999): A: alto; MA: muito alto; B: bom; MB: muito bom; m: médio; b: baixo; Mb: muito baixo.

Quadro 3. Abreviação (Abrev) e espécie de FMAs, abundância relativa (A) e frequência de isolamento (FI), em pilha de rejeito com capim (PR), cerrado (CE), canga (CN), eucalipto (EC) e mata (MT), e equitabilidade (J), índices de Shannon-Wiener (H') e riqueza total de espécies (R) nessas áreas.

Abrev	Espécies de FMA s	PR	CE	CN	EC	MT	FI
A							
Família Glomeraceae Pirozynski & Dalpé emend Walker &							
Glo.bas	<i>Glomus bastonete</i>	33,1	87,46	84,85	82	81,4	G
Glo.mag	<i>Glomus magnicaule</i> Hall	0,58	0,40	-	0,55	0,05	I
Glo.mic	<i>Glomus microaggregatum</i> Koske, Gemma & Olexia	0,11	-	0,04	-	0,09	I
Glo.sp0	<i>Glomus</i> sp0	9,61	-	-	0,68	-	I
Glo.sp1	<i>Glomus</i> sp1	-	-	-	0,37	-	E
S.vis	<i>Septoglomus viscosum</i> (Nicolson) Walker, Redecker, Stille &	11,19	-	-	-	-	E
R.clar	<i>Rhizophagus clarus</i> (Nicolson & Schenck) Walker &	8,66	1,44	-	0,28	0,18	I
R.dia	<i>Rhizophagus diaphanus</i> (Morton & Walker) Walker &	-	-	-	-	1,82	E
R.faz	<i>Rhizophagus fasciculatus</i> (Thaxter) Walker & Schuessler	-	0,06	-	0,31	-	I
Família Gigasporaceae Morton & Benny							
Gigaspor	Gigasporaceae	-	0,35	-	0,09	0,05	I
Gig.sp	<i>Gigaspora</i> sp Gerd. & Trappe	0,16	-	0,53	-	-	I
C.pel	<i>Cetraspora pellucida</i> (Nicol. & Schenck) Oehl, F.A. Souza &	0,74	-	-	-	0,05	I
D.bio	<i>Dentiscutata biornata</i> (Spain, Sieverd. & Toro) Sieverd., Souza	-	-	0,08	-	-	E
D.het	<i>Dentiscutata heterogama</i> (Nicol. & Gerd.) Sieverd., Souza &	-	0,40	-	-	-	E
Família Diversisporaceae Walker & Schuessler							
D.ebu	<i>Diversispora eburnea</i> (Kenn, Stutz & Morton) Walker &	22,28	-	1,51	8,26	0,41	I
R.ful	<i>Redeckera fulvum</i> (Berk. & Broome) Walker & Schuessler	-	0,06	-	-	-	E

Quadro 3, conclusão.

Abrev	Espécies de FMA s	PR	CE	CN	EC	MT	FI
	Família Acaulosporaceae Morton & Benny			A			
A.alp	<i>Acaulospora alpina</i> Oehl, Sykorova & Sieverd	1,00	-	-	-	-	E
A.col	<i>Acaulospora colombiana</i> (Spain & Schenck) Kaonongbua,	1,32	0,92	-	0,18	-	I
A.her	<i>Acaulospora herrerae</i> Furrázola, Goto, Silva, Sieverd. & Oehl	0,48	-	-	0,03	-	I
A.lac	<i>Acaulospora lacunosa</i> Morton	-	-	0,04	-	0,05	I
A.mel	<i>Acaulospora mellea</i> Spain & Schenck	1,48	1,96	10,79	1,57	4,81	G
A.mor	<i>Acaulospora morrowiae</i> Spain & Schenck	3,64	1,50	0,95	3,51	0,95	G
A.niv	<i>Acaulospora nivalis</i> Oehl, Palenz., Sánchez, Silva & Sieverd.	0,42	-	-	-	-	E
A.scro	<i>Acaulospora scrobiculata</i> Trappe	2,75	-	-	-	-	E
A.sp0	<i>Acaulospora</i> sp0	-	2,54	1,29	2,07	9,71	I
A.sp1	<i>Acaulospora</i> sp1	0,16	-	-	-	-	E
A.spi	<i>Acaulospora spinosa</i> Walker & Trappe	0,90	-	-	-	0,18	I
A.tub	<i>Acaulospora tuberculata</i> Janos e Trappe	0,32	-	-	-	-	E
A.wal	<i>Acaulospora walkeri</i> Kramad. & Hedger	1,11	-	-	-	0,18	I
	Família Archaeosporales Morton & Redecker						
A.trap	<i>Archaeospora trappei</i> (Ames & Linderman) Morton &	-	1,96	-	-	-	E
	Família Ambisporaceae Walker, Vestberg & Schuessler						
A.lep	<i>Ambispora leptoticha</i> (Schenck & Sm.) Walker, Vestberg &	-	0,06	-	0,09	0,05	I
	Família Paraglomeraceae Morton & Redecker						
P.occ	<i>Paraglomus occultum</i> (Walker) Morton & Redecker	-	0,87	-	-	-	E
<b>H'</b>		2,02	0,650	0,582	0,77	0,73	-
<b>J</b>		0,6744	0,246	0,265	0,29	0,27	-
<b>R</b>		20	14	9	14	15	-

\* Presença da espécie, já que muitos esporos estão presentes no interior de outro. - Não encontrado. G, Generalista; E, Exclusiva; I, Intermediária

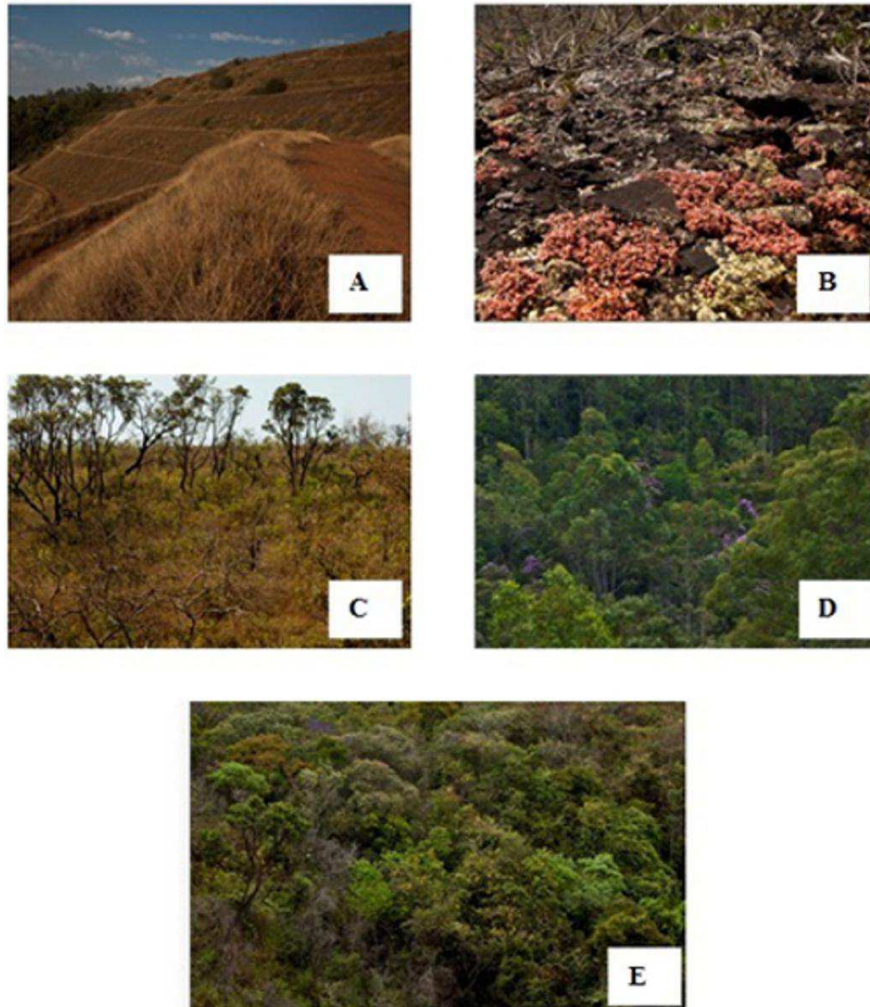


Figura 1. Áreas avaliadas na mina Córrego do Meio, Sabará – MG, Brasil; A: pilha de rejeito; B:canga; C: cerrado, D: eucalipto e E: mata.

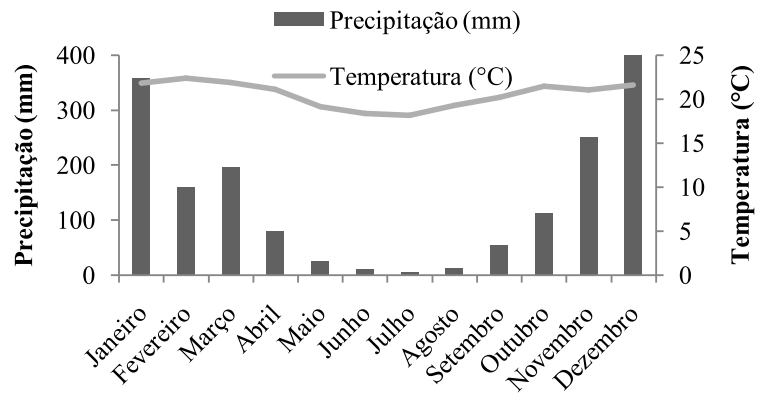


Figura 2. Precipitação e temperatura média compensada para estação de Belo Horizonte, ao longo dos meses, no período de 2000 a 2013.

Fonte: INMET

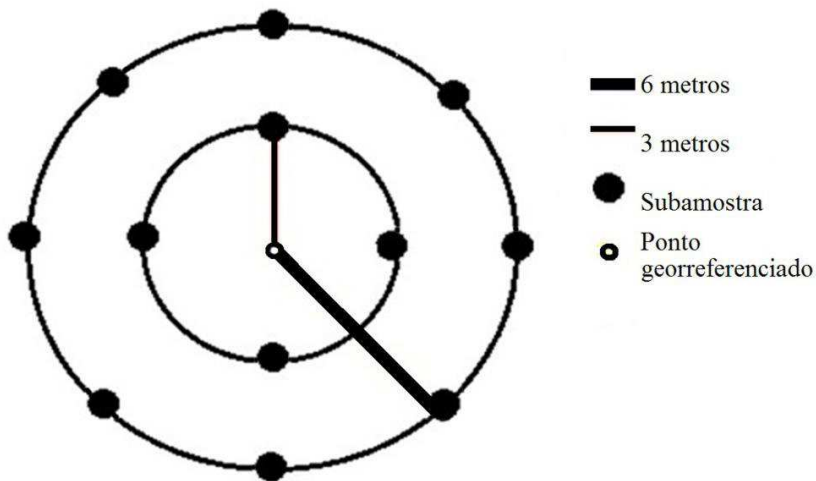


Figura 3. Esquema de amostragem de solo



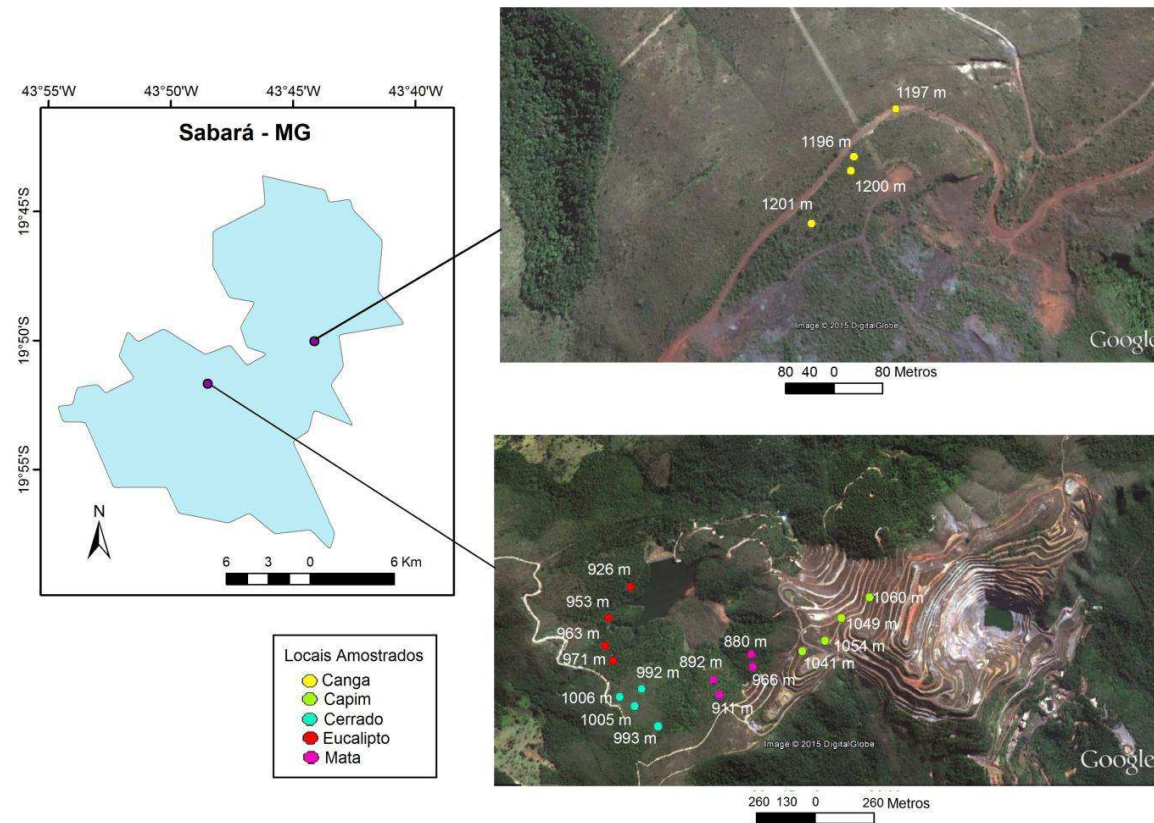


Figura 4. Pontos de coleta na mina Córrego do Meio e respectivas cotas.

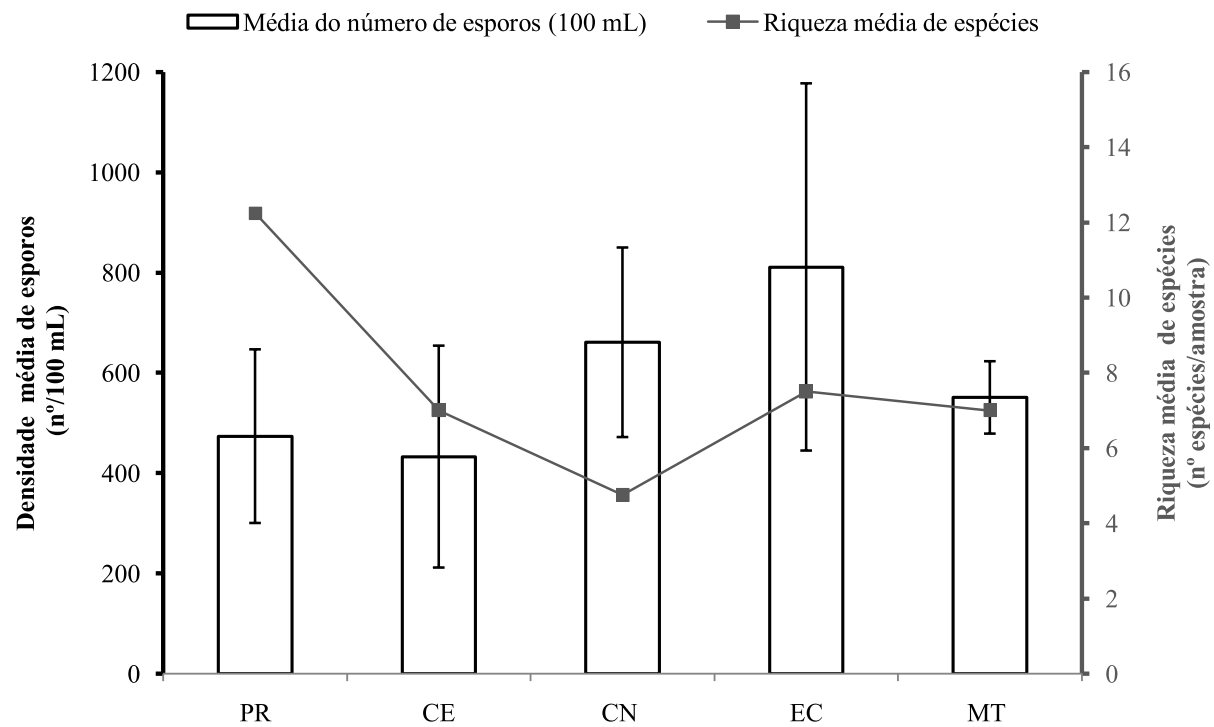


Figura 5. Densidade média de esporos e riqueza média de espécies de FMAs e respectivos desvios padrão em pilha de rejeito com capim (PR), cerrado (CE), canga (CN), eucalipto (EC) e mata (MT).

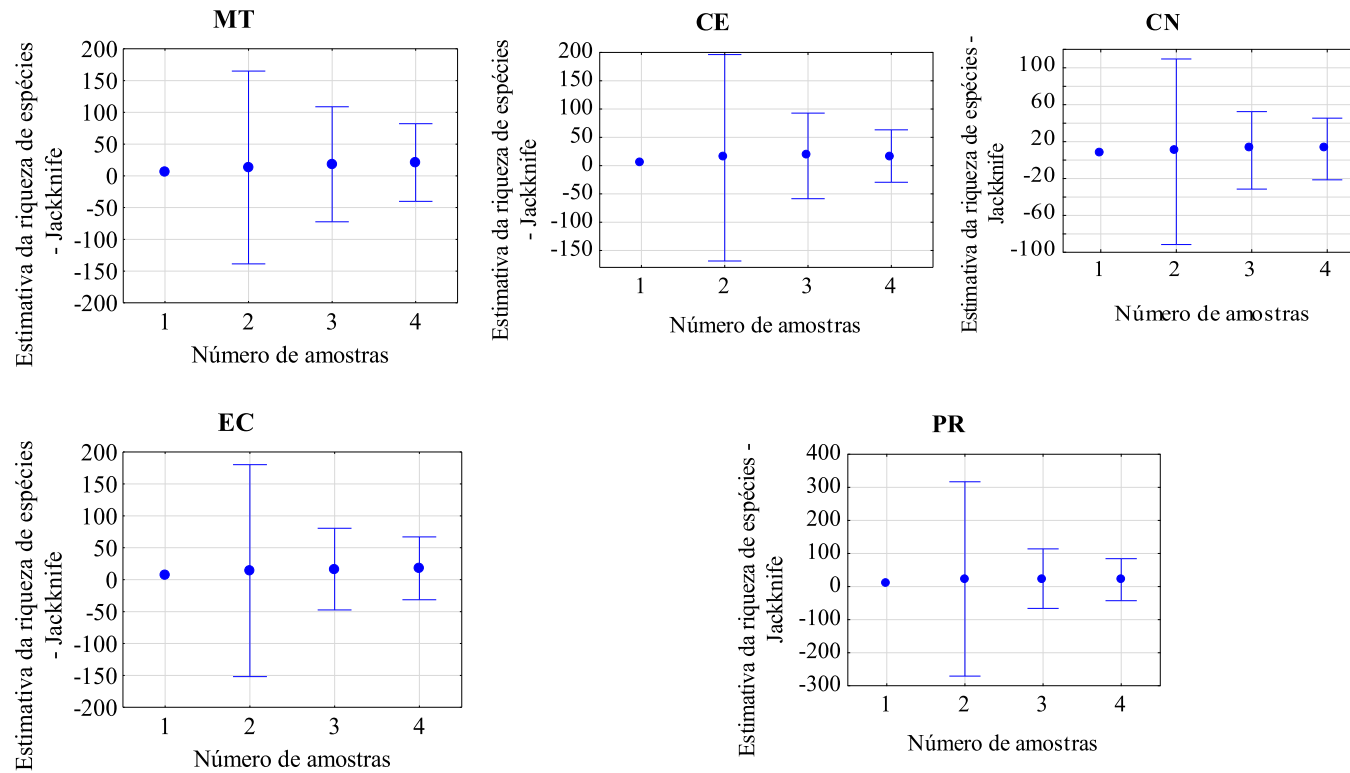


Figura 6. Curva coletora em pilha de rejeito com capim (PR) e canga (CN) cerrado (CE); eucalipto (EC) e mata (MT).

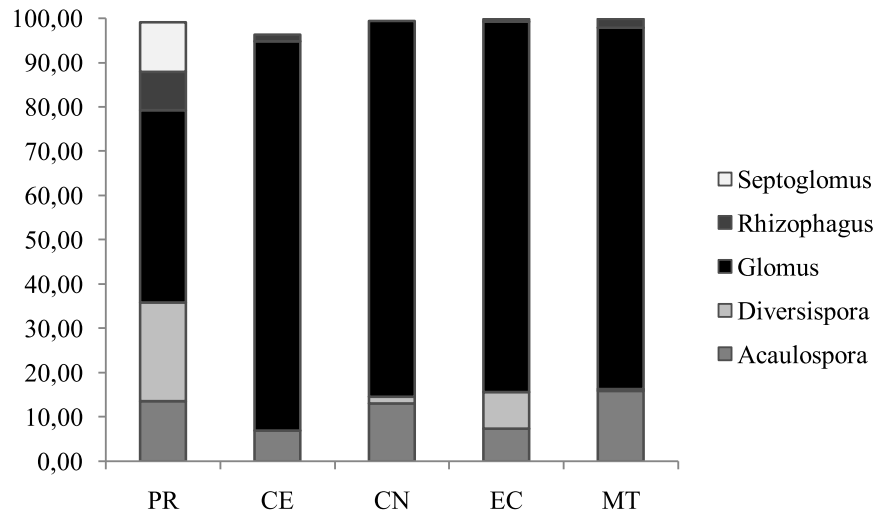


Figura 7. Gêneros mais abundantes encontrados nas áreas estudadas. PR – pilha de rejeito; CE – cerrado; CN – canga; EC – eucalipto e MT – mata.

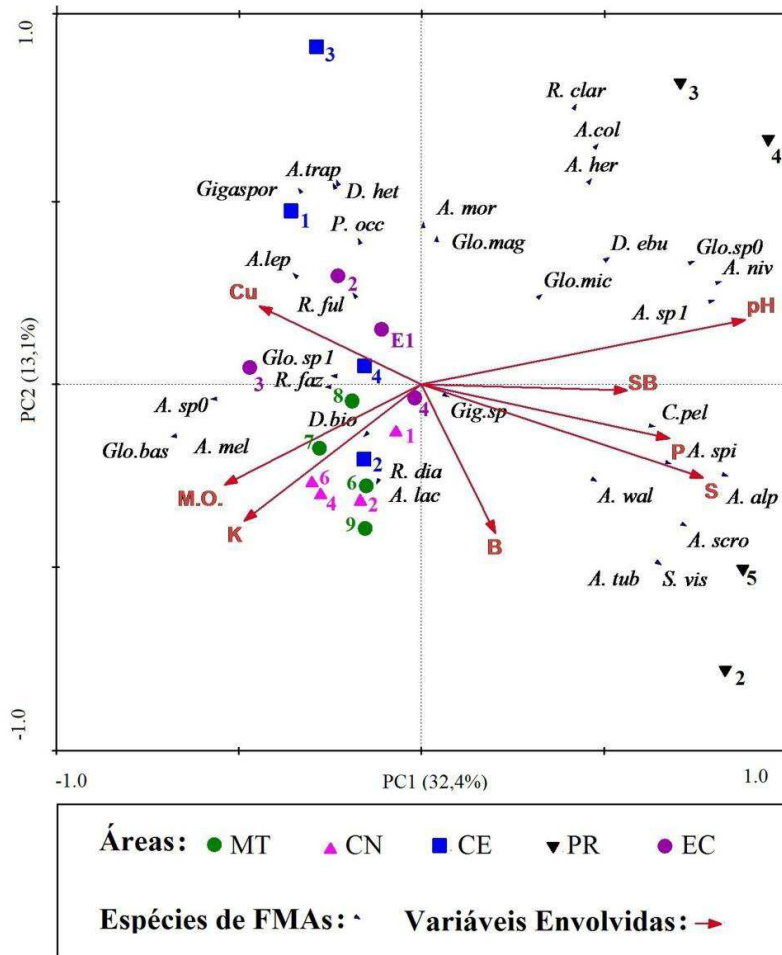


Figura 8. Diagrama de ordenação (PCA) de atributos relacionados com os eixos de ordenação ( $\geq 0.4$  valor próprio) para MT, CN, CE, PR e EC e com 32 espécies de FMAs encontradas. As espécies de FMAs estão abreviadas como na lista no Quadro 3.

## ANEXOS

Anexo 1. Resultados das análises químicas para cada amostra de alguns atributos em pilha de rejeito com capim (PR), canga (CN), cerrado (CE), eucalipto (EC) e mata (MT).

Amostra	pH	S	P	SB	M.O.	K	B	Cu
	H <sub>2</sub> O	---dag/kg---		cmol/dm <sup>3</sup>	dag/kg	-----mg/dm <sup>3</sup> -----		
PR 2	5,90	42,41	3,53	0,69	1,07	36,00	0,21	0,39
PR 3	5,80	15,56	4,81	1,04	1,18	16,00	0,17	0,53
PR 4	6,10	30,47	7,21	3,02	1,41	48,00	0,21	1,66
PR 5	6,00	27,31	11,05	1,88	1,64	30,00	0,15	0,36
CN 1	5,20	10,78	1,42	1,16	7,34	62,00	0,19	0,37
CN 2	4,10	12,14	8,31	1,73	14,14	50,00	0,26	0,36
CN 4	4,30	16,61	2,91	0,84	10,28	54,00	0,24	0,61
CN 6	4,40	18,26	2,60	0,55	6,53	58,00	0,31	1,45
CE 1	4,90	10,78	2,60	0,61	4,45	44,00	0,10	2,45
CE 2	4,90	11,23	1,42	0,92	3,14	48,00	0,13	1,91
CE 3	4,90	11,23	0,84	0,50	3,41	40,00	0,06	2,10
CE 4	5,10	11,23	1,13	1,05	2,87	60,00	0,06	1,95
EC 1	4,70	17,15	1,42	0,29	5,26	42,00	0,10	3,61
EC 2	4,70	18,26	1,42	0,31	5,09	42,00	0,13	2,54
EC 3	4,80	15,05	1,42	0,31	4,76	44,00	0,13	2,26
EC 4	4,70	19,40	2,60	0,58	5,26	30,00	0,13	2,64
MT 6	4,70	12,14	1,71	0,79	3,70	74,00	0,19	2,54
MT 7	4,70	10,34	1,42	0,55	3,99	60,00	0,13	2,16
MT 8	4,50	9,06	2,00	1,45	5,43	60,00	0,15	5,05
MT 9	4,70	13,08	2,60	1,91	5,96	80,00	0,13	2,36

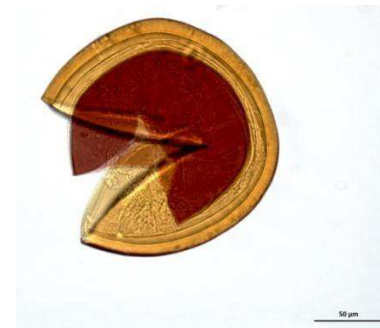
Anexo 2. Fotos das espécies de FMAs encontradas nas áreas estudadas na mina Córrego do Meio, Sabará – MG (Escala 50  $\mu$ m).



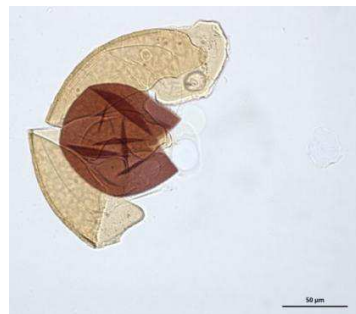
*Acaulospora alpina*



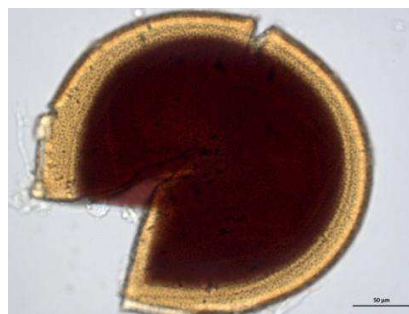
*Acaulospora herrerae*



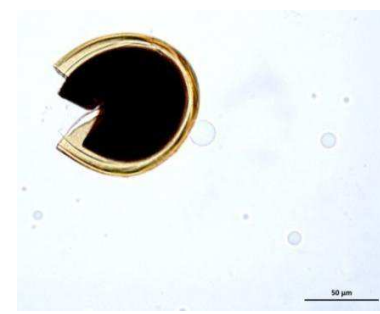
*Acaulospora mellea*



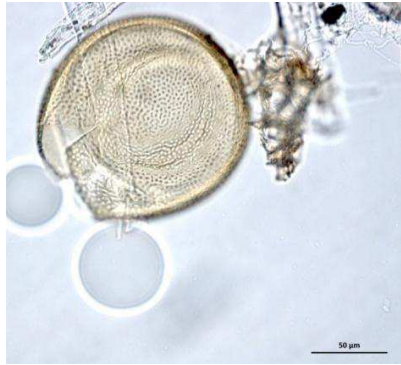
*Acaulospora colombiana*



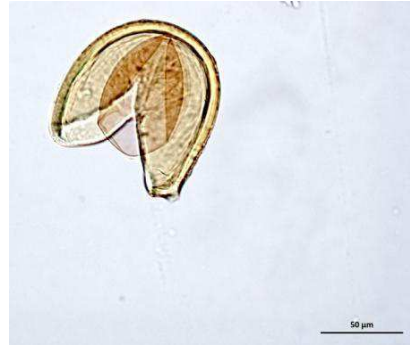
*Acaulospora lacunosa*



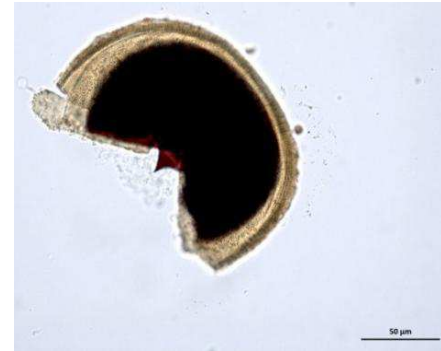
*Acaulospora morrowiae*



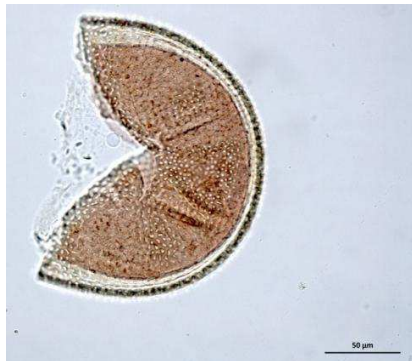
*Acaulospora nivalis*



*Acaulospora sp0*



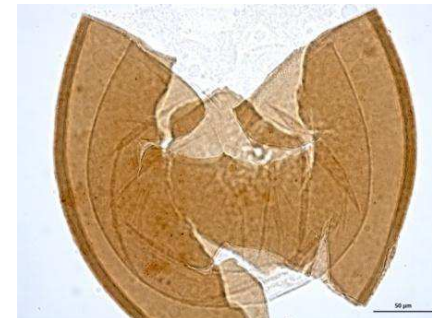
*Acaulospora spinosa*



*Acaulospora scrobiculata*



*Acaulospora sp1*

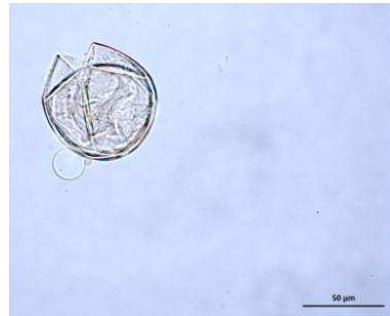


*Acaulospora tuberculata*

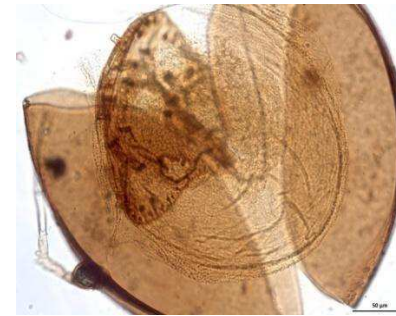




*Acaulospora walkeri*



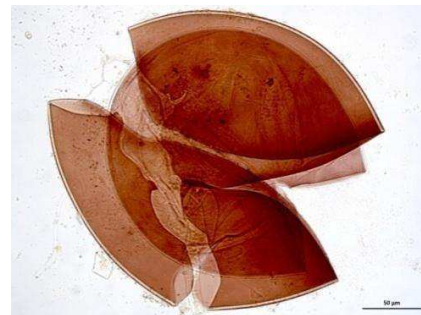
*Archaeospora trappei*



*Dentiscutata biornata*



*Ambispora leptoticha*



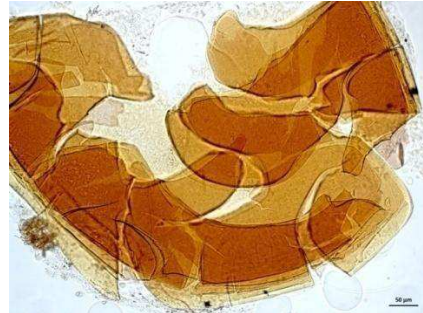
*Cetraspora pellucida*



*Dentiscutata heterogama*



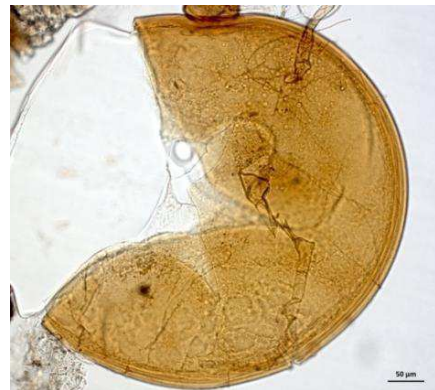
*Diversispora ebúrnea*



Gigasporaceae



*Glomus magnicaule*



*Gigaspora* sp



*Glomus bastonete*



*Glomus microaggregatum*



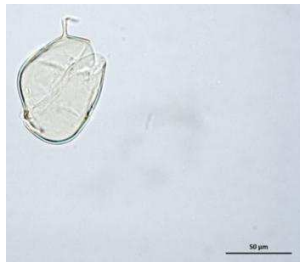
*Glomus sp0*



*Redeckera fulva*



*Rhizophagus diaphanus*



*Paraglomus occultum*



*Rhizophagus clarus*



*Rhizophagus fasciculatus*



*Septoglomus viscosum*