



AMANDA DE JESUS FERNANDES

**DENSIDADE DE ESPOROS DE FUNGOS MICORRÍZICOS
ARBUSCULARES EM ÁREAS AFETADAS PELA DEPOSIÇÃO
DE MINÉRIO DE FERRO**

LAVRAS – MINAS GERAIS

2023

**DENSIDADE DE ESPOROS DE FUNGOS MICORRÍZICOS
ARBUSCULARES EM ÁREAS AFETADAS PELA DEPOSIÇÃO DE MINÉRIO DE
FERRO**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Universidade Federal de
Lavras como requisito parcial para
obtenção do grau de bacharel em
Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Marco Aurélio
Carbone Carneiro

Coorientadora: Jessyca Adriana Gomes
Florêncio

LAVRAS – MINAS GERAIS

2023

**DENSIDADE DE ESPOROS DE FUNGOS MICORRIZICOS
ARBUSCULARES DE AREAS EM AREAS AFETADAS PELA DEPOSIÇÃO DE
MINERIO DE FERRO**

**DENSIT OF MICORRHYZAL FUNGAL SPORE ARBUSCULARS IN AREAS
AFFECTED BY IRON ORE DEPOSITION**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Universidade Federal
de Lavras como requisito parcial para
obtenção do grau de bacharel em
Agronomia.

Aprovado em 24 de novembro de 2023.

Dra. Anita Fernanda dos Santos Teixeira, UFLA

Dr. Éder Rodrigues Batista, UFLA

Dr. Jessé Valentim dos Santos, UFLA

**PROF. DR. MARCO AURÉLIO CARBONE CARNEIRO
ORIENTADOR**

LAVRAS – MINAS GERAIS

2023

Agradecimentos:

Agradeço primeiramente a Deus pela dádiva da vida, aos meus familiares e amigos pelo apoio e confiança que sempre depositaram em mim. Ao meu orientador Marco Aurélio e minha coorientadora Jessyca pela oportunidade, bem como a todas as pessoas da equipe do Laboratório de Microbiologia da UFLA que me acolheram de braços abertos durante o período de realização das análises. Agradeço e dedico este trabalho principalmente à minha mãe Ana Maria, que Deus levou para a morada dos justos, mas sigo consciente que de alguma forma ela está imensamente feliz com a conclusão desta etapa da minha vida, sem seu amor, dedicação e apoio incondicional, nada seria possível.

Minha imensa gratidão a todos os envolvidos!

RESUMO

Em 2020, um ano após o rompimento da Barragem da Mina Córrego do Feijão, chuvas intensas atingiram o Estado de Minas Gerais e foram registrados elevados níveis de precipitação afetando as margens do Rio Paraopeba. Os sedimentos que possivelmente já estavam depositados no fundo do rio foram remobilizados e alagaram as áreas ao seu entorno, incluindo áreas agrícolas com diferentes usos e manejos do solo. Esses sedimentos possuem composição química que, em um primeiro momento, pode afetar microrganismos do solo, incluindo fungos micorrízicos arbusculares (FMAs). Neste contexto, cabe avaliar quais os efeitos na comunidade de FMAs nos solos das áreas que foram inundadas pelo Rio Paraopeba. Dessa forma, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o efeito da deposição de sedimentos do Rio Paraopeba na densidade de esporos de FMAs em áreas de pastagem. Essas áreas estão localizadas no estado de Minas Gerais, nos municípios de Brumadinho, Betim e Mario Campos. Foram coletadas amostras em cinco áreas. Em cada área foram realizadas coletas de três torrões de solo, de forma a preservar a planta (braquiária) do ambiente natural. Foram realizadas também coletas de solo nessas áreas (afetadas e não afetadas pela inundação), em cada município para avaliação química e bioquímica do solo. Experimento para verificação de FMAs foi conduzido em casa de vegetação através de cultivo-armadilha. Foi realizada a verificação da densidade de esporos dos pontos amostrais considerados afetados e não afetados pelas águas do rio Paraopeba e os dados foram avaliados estatisticamente utilizando-se o teste T Student. Com base na densidade de FMAs, foi possível concluir que, comparando as áreas afetadas e não afetadas pela inundação, não houve diferença significativa. Portanto os FMAs foram capazes de se multiplicar e sobreviver em áreas afetadas pela inundação e poderão contribuir com o restabelecimento das áreas ao fazerem simbiose com as raízes de plantas presentes naquele ambiente.

Palavras-chave: precipitação; inundação; fungos micorrízicos arbusculares

ABSTRACT

In 2020, a year after the collapse of the Córrego do Feijão Mine Dam, heavy rains hit the state of Minas Gerais and high levels of rainfall were recorded, greatly affecting the banks of the Paraopeba River. Sediment that had possibly already been deposited at the bottom of the river was remobilized and flooded the surrounding areas, including agricultural areas with different land uses, occupations and management. These sediments have a chemical composition that can initially affect soil microorganisms, including arbuscular mycorrhizal fungi (AMFs). In this context, it is important to evaluate the effects on the AMF community in the soils of the areas that were flooded by the Paraopeba River. The aim of this study was to evaluate the effect of sediment deposition from the Paraopeba River on the density of spores of arbuscular mycorrhizal fungi (AMFs) in pasture areas, located in the municipalities of Brumadinho, Betim and Mario Campos, by collecting from five areas. Three clods of soil were collected from each area in order to preserve the plant (brachiaria) from the natural environment. Soil was also collected from these areas (affected and unaffected by the flooding), in each municipality, to assess the soil's chemistry and biochemistry. The experiment was conducted in a greenhouse using a trap culture. The spore density of the sampling points considered to be affected and unaffected by the waters of the Paraopeba River was checked and statistically analyzed using the Student's t-test. Based on the density of mycorrhizal fungi, it was possible to conclude that comparing the areas affected and unaffected by flooding there was no significant difference, so the AMFs were able to multiply and survive in areas affected by flooding and could contribute to the development and symbiosis with the roots of plants present in that environment.

Keywords: tailings dam; precipitation; inundation; arbuscular mycorrhizal fungi

Figuras:

Figura 1: A) Conjunto de peneiras de malha 0,71 mm e 0,25 mm

B) Sobrenadante sendo vertido no conjunto de peneiras

C) Peneira menor de malha 0,02 mm

Figura 2 : A) Sobrenadante após a primeira etapa de centrifugação

B) Adição de sacarose 50% no tubo de centrifugação.

C) Sobrenadante contendo a sacarose sendo vertido após segunda etapa de centrifugação.

Figura 3: Placa canelada

Tabelas:

Tabela 1: Localização e utilização das áreas em que foram coletadas amostras de solo

Tabela 2: Atributos químicos dos pontos amostrais, situados nos municípios de Brumadinho, Mário Campos e Betim

Tabela 3: Atributos físicos dos pontos amostrais, situados nos municípios de Brumadinho, Mário Campos e Betim

Gráficos:

Gráfico 1: Análise da densidade de esporos de fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) nas áreas de referência e áreas afetadas pela inundação do Rio Paraopeba.

Gráfico 2: Média e Desvio Padrão das áreas de referência e afetadas pela inundação do Rio Paraopeba.

Siglas:

DCS – Departamento de Ciência do Solo

FMAs – Fungos micorrízicos arbusculares

MA – Micorrizas arbusculares

MG – Minas Gerais

UFLA – Universidade Federal de Lavras

Sumário

1. INTRODUÇÃO.....	11
2. OBJETIVOS.....	13
2.1. Objetivo geral.....	13
3. REFERENCIAL TEÓRICO.....	13
3.1 Contexto histórico e importância econômica da mineração em Minas Gerais..	13
3.1.1 Impactos ambientais decorrentes da mineração.....	15
3.1.2 Fungos micorrízicos	16
3.1.3 Fungos micorrízicos arbusculares na nutrição mineral de plantas.....	17
3.1.4 Micorrizas na sucessão vegetal e reabilitação de áreas degradadas.....	18
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	19
4.1. Delineamento experimental.....	19
4.2. Obtenção e caracterização do substrato.....	19
4.3. Avaliação da densidade de esporos.....	22
5. ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	24
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	26
7. CONCLUSÃO.....	28
8. REFERÊNCIAS.....	29

1. INTRODUÇÃO

A Mina Córrego do Feijão ficava localizada a cerca de 40 km da capital de Minas Gerais, na região conhecida como Complexo Paraopeba, na cidade de Brumadinho. Em sua estrutura a mina continha sete barragens que armazenavam os rejeitos provenientes do beneficiamento do minério. No dia 25 de janeiro de 2019 houve o rompimento da barragem BI, extravasando em seu entorno aproximadamente 13 milhões de m³ de rejeito de minério de ferro. Tal situação afeta adversamente todos os compartimentos ambientais e a sociedade. Os danos envolvem a contaminação do meio físico, perdas humanas, desabrigados, perda de qualidade da água, prejuízos à saúde e/ou agravamento de quadros clínicos, perecimento de espécies, entre outros (REIS et al., 2020).

Em relação a Brumadinho, 13 milhões de m³ de rejeito afetaram 18 municípios e atingiram o ribeirão Ferro-Carvão, desaguando no rio Paraopeba (afluente do rio São Francisco), percorrendo uma extensão de 250 km (Fundação Oswaldo Cruz, 2019). Vale ressaltar que o Rio Paraopeba é considerado uma importante bacia fluvial da região metropolitana de Belo Horizonte, sendo classificado pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) como um rio de classe II. Segundo a resolução nº 357, de 17 de março de 2005, enquadram-se nesta classe as águas destinadas ao consumo humano, proteção das comunidades aquáticas, natação, irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques e jardins, com os quais o público possa a vir ter contato direto, aquicultura e atividade de pesca.

Em janeiro de 2020, um ano após o rompimento da barragem da Mina Córrego Feijão, fortes chuvas foram registradas em Minas Gerais. O intenso volume de chuvas provocou o transbordamento do Rio Paraopeba. Desta forma os sedimentos contidos na bacia atingiram todo o entorno, possibilitando a deposição e possível contaminação de áreas até então agricultáveis. As perturbações e estresses ambientais podem afetar os micro-organismos presentes no solo, que estão sujeitos às mudanças nas propriedades físicas e químicas deste habitat (SILVA & ESPOSITO, 2010), ocasionando danos severos uma vez que a microbiota do solo está diretamente ligada a diversos fatores que beneficiam o sistema solo como um todo, pois auxiliam em sua formação, decomposição de matéria orgânica, ciclagem de nutrientes, controle de patógenos e consequentemente melhor desenvolvimento vegetal.

Atributos microbiológicos, tais como: biomassa, atividade (respiração, ATP, atividade enzimática etc.), contagem direta e indireta da população microbiana, quantificação de microrganismos específicos (fungos micorrízicos, bactérias fixadoras de N₂, etc.), podem ser usados nas avaliações de estado de equilíbrio de áreas submetidas a diferentes ações antrópicas (TRINDADE et al., 2000). Entre os microrganismos do solo com papel benéfico estão os fungos micorrízicos arbusculares (FMAs), que incrementam o estabelecimento e a nutrição vegetal na maioria dos ecossistemas terrestres (ALLEN, 1996).

Estes fungos fazem associação mutualística com a maioria das espécies vegetais, onde ambos os organismos se beneficiam uma vez que as plantas suprem o fungo com compostos com C (fixado via processos fotossintéticos pelo simbionte autotrófico), enquanto fungos provêm as plantas de nutrientes (MOREIRA & SIQUEIRA, 2002). Além disso há evidências de que fungos micorrízicos apresentam ocorrência abundante em solos contaminados (STÜRMER & SIQUEIRA, 2006) e a associação com raízes de plantas promove maior equilíbrio ao ecossistema e auxilia na recuperação de áreas degradadas pois auxilia na estruturação do solo, no crescimento radicular e desenvolvimento de espécies vegetais.

Portanto este estudo tem como objetivo avaliar o efeito da inundação do Rio Paraopeba na densidade de Fungos Micorrízicos Arbusculares (FMAs) visando um futuro planejamento de ações com base nos resultados encontrados.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

Avaliar a densidade de fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) de cinco áreas de pastagens com cultivo estabelecido principalmente por capim *Pennisetum purpureum* e *Brachiaria spp.* após o transbordamento do rio Paraopeba em 2020 e deposição de sedimentos no solo.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Contexto histórico e importância econômica da mineração em Minas Gerais

Define-se mineração como uma atividade de extração de minerais que possuem valor econômico, que propicia a fabricação de utensílios e ferramentas essenciais para a sobrevivência humana (NUNES et al., 2010). A importância da mineração na economia brasileira é histórica. A atividade pontua a trajetória sociopolítica do país, tendo estado presente, de diferentes formas, durante os três regimes políticos pelos quais o Brasil passou de 1.500 até hoje (Colônia, Império e República) (FERNANDES & ARAÚJO, 2016). O principal minério existente no país é o ferro, apresentando um faturamento de R\$ 250 bilhões em 2021 (INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO, 2022). As maiores jazidas de minério de ferro estão situadas no estado de Minas Gerais, onde a região conhecida como Quadrilátero Ferrífero, situada na região centro-sul do estado, sempre foi a principal província mineral produtora de minério de ferro no Brasil (OMASHI & YASUJIRO, 2015).

O ciclo mineral no Brasil se divide em dois períodos, o primeiro ciclo se refere à descoberta do ouro em grande quantidade, do século XVII até seu declínio no século XIX. Já o segundo ciclo teve início em 1950, com a descoberta do manganês, petróleo, minério de ferro

e outros minerais. Foi nesse período que o atual parque mineral foi construído (BARRETO, 2001). Já no século XXI, nos anos 2000, o Brasil se viu diante do “boom da mineração”, que se caracterizou pela alta demanda por minerais (principalmente ferro), o que elevou o preço do produto e fez com que os estados brasileiros recebessem grandes investimentos no setor da mineração (ARAUJO & SANTOS, 2015).

Desde o Brasil Colônia, o estado de Minas Gerais foi o que mais recebeu investimentos no setor e a atividade mineradora foi responsável por grande parte do povoamento e construções de muitas cidades no estado. Pode-se dizer que o estado de Minas Gerais só surgiu pela ação dos bandeirantes em busca de metais preciosos (LIMA, 2007). Segundo o Instituto Brasileiro de Mineração (IBRAN), o estado foi responsável por 42% do faturamento global da indústria de mineração brasileira em 2021. Isto se deve muito à região do Quadrilátero Ferrífero, uma área geológica cuja forma se assemelha a um quadrado, e que perfaz uma área de aproximadamente 7000 km², estendendo-se entre Ouro Preto a sudeste e Belo Horizonte, a noroeste (ROESER et al., 2010). Atualmente, além de abrigar grandes minerações de ferro e ouro, o Quadrilátero Ferrífero também abriga vários empreendimentos de mineração que exploram jazidas de outros tipos de rochas e minerais como por exemplo, topázio e bauxita (MARENT et al., 2011).

Mediante a importância da mineração não só em Minas Gerais, mas em todo território nacional, pela expressiva participação no mercado nacional e internacional, fica evidente que é necessário o incentivo à atividade. A mineração representa um dos setores básicos da economia nacional, podendo contribuir com a melhoria do bem-estar e da qualidade de vida da população quando mantém níveis de proteção ecológica e padrões de qualidade, além de programas que minimizem os impactos ambientais causados por esta prática (FARIAS et al., 2002).

3.1.1 Impactos ambientais decorrentes da mineração

A relação do homem com a natureza é constituída ao longo da história e em estreita interação, resultando no que se pode chamar de historicidade da humanidade, com base no meio de sobrevivência e na exploração dos recursos minerais (HUNT & SHERMAN, 1978). Para Farias (2002), a história do Brasil tem íntima relação com a busca e o aproveitamento dos seus recursos minerais, que sempre contribuíram como importantes insumos para a economia nacional, fazendo parte da ocupação territorial e da história nacional.

De acordo com o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), impacto ambiental é definido no artigo 1º da Resolução Conama-001 como: “[...] qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam o bem-estar e a saúde da população; as atividades socioeconômicas; a biota; as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente; e a qualidade dos recursos ambientais”. Praticamente toda atividade de mineração implica supressão de vegetação ou impedimento de sua regeneração (MECHI & SANCHES, 2010); há remoção de camadas de solo, prejuízo aos lagos e reservatórios à jusante do empreendimento, poluição do ar e sonora, desequilíbrios nos ecossistemas com destruição de habitats naturais de muitas espécies animais e vegetais, além de prejuízos diversos à saúde humana.

A prática de extração mineral exerce aspectos positivos e negativos para as localidades que vivenciam esta rotina de atividades desenvolvidas por empresas do ramo. Há geração de emprego, renda, movimentação econômica, elevada arrecadação municipal, ações de responsabilidade social e ambiental visando financiar iniciativas locais ligadas à cultura e desenvolvimento social, e outros aspectos como pontos positivos da extração mineral. Por outro lado, como aspectos negativos são gerados problemas de poluição, desmatamento, assoreamento de rios, contaminação do solo e água por produtos químicos e a produção de rejeitos (SILVA, BOAVA & MACEDO, 2016). Nesse sentido, se torna evidente a necessidade de uma aplicação de medidas que visem atenuar e até evitar certos impactos causados pela mineração, de modo que se torne viável atender às necessidades da geração atual, sem colocar em perigo o presente e o futuro da população e do ambiente. (CAVALCANTI et al., 2019).

De todos os grupos de organismos edáficos, os microrganismos formam o grupo mais abundante, diverso e funcionalmente importante. São essenciais para muitos processos bioquímicos e ecológicos que garantem a manutenção das funções do ecossistema (SHOEMAKER et al., 2017). Segundo Silveira et al (2006) os microrganismos estão diretamente envolvidos nos ciclos dos nutrientes no solo e aliada à quantificação de bactérias e fungos totais a avaliação, de determinados grupos microbianos dá indicação de como os processos bioquímicos estão ocorrendo.

3.1.2 Fungos micorrízicos

A associação entre raízes e determinados fungos do solo, denominada micorriza, ocorre na maioria das espécies vegetais superiores (SOUZA et al., 2006). De acordo com Berbara (2006), atualmente são reconhecidos seis tipos diferentes de associações micorrízicas, sendo algumas delas muito específicas, encontradas em apenas algumas famílias de plantas terrestres (Arbuscular-, Arbutóide-, Ericóide-, Ecto-, Monotrópide- e Orquidoide). A micorriza é formada pela raiz hospedeira, o micélio intra-radicular (incluindo a interface simbiótica), o micélio extra radicular (rede de hifas do solo) e os esporos (MERRYWEATHER & FITTER 1998).

Quanto à origem dessa simbiose, sabe-se, pelo estudo de fósseis, que o surgimento das plantas na superfície terrestre ocorreu entre 460 e 500 milhões de anos, enquanto a divisão Glomeromycota (que contém todos os fungos MA) já era encontrada há 600 milhões de anos (BERBARA et al., 2006). A evolução da micorriza arbuscular parece ter acontecido nos trópicos, mas sua ocorrência é generalizada nas plantas e nos diversos ecossistemas, sendo considerada uma simbiose universal (PIROZYNSKI, 1981). Embora os fungos micorrízicos estejam presentes em quase todos os solos, sua população pode ser reduzida ou inexistente naqueles em pousio ou inundados e nos alterados pela agricultura intensiva ou mineração (BRUNDRETT, 1991).

Como decorrência da imensa quantidade de hifas produzidas por FMAs, existe significativo impacto sobre a estruturação e estabilidade de agregados em solos (JASTROW et al., 1998). Essa função é importante, porque a estruturação do solo modifica a capacidade de mobilização de nutrientes, o conteúdo de água, a penetração

de raízes e o potencial erosivo dos solos. Os FMAs conferem também incrementos à resistência de plantas diante do ataque patogênico (HWANG et al., 1992), tolerância ao estresse hídrico, melhor eficiência fotossintética (BROWN & BETHLENFALWAY, 1987).

3.1.3. Fungos micorrízicos arbusculares na nutrição mineral de plantas

A recuperação de áreas degradadas ou impactadas pela atividade humana pode ser facilitada pelos efeitos benéficos das micorrizas sobre a nutrição de plantas, principalmente com relação à absorção de P, que é um nutriente de plantas e um recurso natural não-renovável (BERBARA et al., 2006). A relação micorrízica é expressão de um evento mutuamente benéfico: plantas suprem o fungo com compostos com C (fixado via processos fotossintéticos pelo simbionte autotrófico), enquanto fungos provêm as plantas de nutrientes (MOREIRA & SIQUEIRA, 2002). A exploração das simbioses micorrízicas surgiu, assim, como alternativa de menor impacto ambiental ao uso de produtos químicos para auxiliar o estabelecimento e o crescimento das plantas (OLIVEIRA & GIANCHINI, 1999).

Segundo Berbara (2006), a simbiose é possível graças ao fato de o fungo produzir hifas intra- e extra radiculares capazes de absorver elementos minerais do solo e transferi-los ao ambiente radicular, onde são absorvidos. Estudos em espécies vegetais diversas, em várias partes do mundo, mostram que plantas micorrizadas geralmente absorvem maiores quantidades de macro e micronutrientes, como também outros elementos como Br, Cl, Na, Al, Si e metais pesados (MATOS et al., 1999).

Devido à sua ubiquidade, essa simbiose tem sido considerada a mais importante de todas as que envolvem plantas. Essa associação é simbiótica, ou seja, os organismos coexistem em um mesmo ambiente físico, raiz e solo, e mutualística, porque, em geral, ambos os simbiontes se beneficiam da associação. Ela é considerada como mutualista nutricional, na qual a planta supre o fungo com energia para crescimento e manutenção via produtos fotossintéticos, enquanto o fungo provê a planta com nutrientes e água. Nesse sentido, essa simbiose amplia a capacidade de absorção de nutrientes por parte do simbionte autotrófico e, conseqüentemente, a sua competitividade interespecífica e

produtividade (BERBARA et al., 2006).

3.1.4 Micorrizas na sucessão vegetal e reabilitação de áreas degradadas

Sabe-se que os FMAs podem aumentar a aptidão das plantas a diferentes ambientes, assumindo, desta forma, importante papel na restauração ecológica, preservação e manutenção de espécies em extinção. (BARROETAVENA et al., 1998). Essa consideração está baseada em experimentos que demonstram o papel dessa simbiose no resultado da competição e sucessão de plantas, bem como na hipótese de que a evolução de plantas terrestres tem sido dependente da presença dessa simbiose (ALLEN et al., 2003).

O micélio de FMAs frequentemente interconecta o sistema radicular de plantas vizinhas da mesma espécie ou de espécies distintas. Nesse sentido, a maioria das plantas está interligada por uma rede de hifas micorrízicas comum, durante alguma fase do seu ciclo de vida (NEWMAN, 1988). As consequências dessa trama micelial para a competição interespecífica em comunidades vegetais sugerem que ela seja elemento importante na definição da sucessão vegetal (BERBARA et al., 2006).

Em áreas de mineração, a retirada da vegetação natural, a intensa movimentação do solo e o acréscimo de considerável volume de rejeitos, elevando, em alguns casos, o nível de metais pesados no solo, contribuem para o distúrbio do local (SOUZA & SILVA 1996), causando grande impacto sobre os microrganismos, a vegetação e os processos funcionais do ecossistema (VALSECCHI et al. 1995).

Algumas técnicas utilizando a colonização radicular ou esporos têm sido empregadas para quantificar os propágulos infectivos de FMAs no solo. SIEVERDING (1991) sugere que os níveis de colonização micorrízica podem variar de acordo com a espécie de planta, as condições do solo e as espécies de FMA presentes no local. Ainda segundo esse autor, a simples contagem de esporos serviria apenas para enumerar os propágulos infectivos de FMAs no solo sob certas circunstâncias, tais como após longo período sem vegetação, ou depois de longa estação seca, e só pode ser relacionada ao potencial de infectividade se for conhecida a condição dos esporos, ou seja, se estão vivos, mortos ou dormentes (LIU & LUO 1994).

A universalidade da associação micorrízica arbuscular (BÉCARD et al., 2004), aliada ao papel desempenhado pelas comunidades de microrganismos do solo quanto a

melhoria das condições edáficas e crescimento de plantas (BEVER, 2003), podem constituir ferramenta biotecnológica na recuperação de ambientes degradados. Porém, para a efetiva utilização, o papel da simbiose em áreas em processo de reabilitação deve ser definido, de forma a contribuir para melhoria das características físicas e biológicas, bem como na redução dos custos de recuperação de sistemas impactados.

4. MATERIAL E MÉTODO

4.1. Delineamento experimental

O experimento foi conduzido em delineamento em blocos inteiramente casualizados, no esquema fatorial 5x2, tendo duas variáveis sendo elas áreas de referência e áreas afetadas de 5 pontos amostrais, tendo 3 repetições, 30 parcelas e duração de 150 dias.

4.2. Obtenção e caracterização do substrato

Foram coletadas amostras de 3 torrões de solo de 5 áreas inundadas pela enchente do Rio Paraobepa em outubro de 2021. As 5 áreas estão localizadas no fuso 23, nas seguintes coordenadas UTM indicadas na tabela 1.

Tabela 1: Localização e utilização das áreas em que foram coletadas amostras de solo:

Pontos	Municípios	Longitude	Latitude	Uso do solo
P0	Brumadinho	589047.25	7768652.32	Pousio/Cana-de-açúcar
P20	Brumadinho	586862	7771389	Pastagem/Mata ciliar
P79	Mário Campos	583470	7781802	Pastagem/Horticultura
E4	Mário Campos	583959.17	7782085.53	Pousio/Horticultura
P2149	Betim	572251.19	7794612.38	Pastagem

Fonte: Jessyca Adriana, 2023

Os torrões foram retirados do solo junto com a espécie predominante de cada área, normalmente *brachiária spp. e Pennisetum Purpureum spp.* (capim Napier), preservando as raízes para simular o ambiente natural. Desta forma foram amostradas tanto planta quanto solo. As amostras foram separadas e plantadas em vasos de 2 dm³ de volume e misturadas com solo estéril na proporção de 2:1, sendo 2 porções de solo estéril para 1 porção de solo do ambiente natural. Foram semeadas, em cada vaso, sementes de braquiária para uniformização das espécies de plantas. As sementes utilizadas tiveram a dormência quebrada em ácido sulfúrico por 5 minutos. Para estabelecimento das plantas, a irrigação foi realizada com água destilada sempre seguindo a capacidade de campo do solo.

As amostras de solo foram encaminhadas para análises químicas e físicas no Laboratório de Análises de Solo da Universidade Federal de Lavras (UFLA), apresentando os atributos mostrados nas Tabelas 2 e 3, onde a tabela 2 apresenta os atributos físicos do solo, e a tabela 3 os atributos químicos do solo.

Tabela 2: Atributos físicos dos pontos amostrais, situados nos municípios de Brumadinho, Mário Campos e Betim:

Atributos físicos	P0 REF	P0 AF	P20 REF	P20 AF	P79 REF	P79 AF	E04 REF	E04 AF	P2149 REF	P2149 AF
Areia	77	78	17	41	87	40	77	60	49	53
Silte	9	9	35	41	6	43	8	21	26	21
Argila	14	12	48	18	7	17	15	19	25	16

Fonte: Jessyca Adriana, 2023

Tabela 3: Atributos químicos dos pontos amostrais, situados nos municípios de Brumadinho, Mário Campos e Betim:

Atributos Químicos	P0 REF	P0 AF	P20 REF	P20 AF	P79 REF	P79 AF	E04 REF	E04 AF	P2149 REF	P2149 AF
PH	5,08	5,48	5,51	6,97	5,53	6,00	5,43	5,77	5,34	5,83
Ca(cmol _c /dm ³)	0,94	1,07	2,71	8,97	1,00	2,07	1,55	2,07	1,93	2,22
Mg(cmol _c /dm ³)	0,43	0,41	0,81	0,90	0,48	0,62	0,38	0,46	0,75	1,27
K (mg/dm ³)	47,03	34,63	63,84	33,12	41,01	24,66	88,99	46,00	62,52	263,77
H+Al	3,88	2,75	5,50	2,53	2,86	2,04	3,58	3,30	3,85	3,14
Al (cmol _c /dm ³)	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
Fe (mg/kg)	183,33	232,67	1973,67	1183,67	296,67	187,33	531,33	275,00	214,00	176,33
Mn (mg/kg)	154,33	165,00	152,67	103,00	134,00	95,00	145,33	158,33	320,33	81,00
Zn (mg/kg)	13,00	12,33	56,67	45,00	30,67	53,33	36,67	38,00	34,00	34,33
P (mg/dm ³)	2,03	2,50	1,57	5,53	4,23	8,83	13,23	6,73	3,57	6,10
N (dag/kg)	11,00	9,19	12,03	26,40	21,55	24,89	7,52	14,20	15,04	23,56
S (dag/kg)	0,73	0,77	1,19	2,45	1,46	2,13	1,89	2,05	1,39	1,78
MOS (dag/kg)	1,67	1,26	2,24	1,34	0,69	1,49	1,61	1,15	1,26	1,12
SB(cmol _c /dm ³)	1,49	1,58	3,68	3,79	1,58	2,75	2,16	2,65	2,84	7,30
CTC pH 7 (cmol _c /dm ³)	5,37	4,33	9,18	6,33	4,44	4,79	5,73	5,96	6,69	4,16
V (%)	28,21	36,28	39,91	59,87	35,81	57,40	37,66	45,63	42,51	56,15

Fonte: Jessyca Adriana, 2023. SB: Soma de Bases Trocáveis; CTC (T): Capacidade de Troca Catiônica a pH 7,0; V: Saturação por bases; MOS: Matéria orgânica do solo; H+Al: Acidez potencial ou total.

4.3. Avaliação da densidade de esporos

A avaliação da densidade de esporos consistiu em etapas determinadas pelo método de Gerdemann e Nicolson (1963). Desta forma 50 g de solo foram extraídos dos vasos na casa de vegetação e levados para o laboratório de Microbiologia do Solo da Universidade Federal de Lavras (UFLA), sendo transferido para um balde plástico, submetido a adição de água sendo destorroados e agitados manualmente. Após a agitação, o material permaneceu em repouso por aproximadamente 1 minuto para decantação das partículas mais grosseiras de solo. Após este procedimento a suspensão foi vertida em peneiras de malha de 0,71 mm e 0,25 mm (Figura 1A) respectivamente. O mesmo procedimento foi repetido por 4 vezes e, ao final, a suspensão foi vertida em uma peneira menor de abertura 0,020 mm (Figura 1B) para ser posteriormente colocado em tubos para ser levada à centrifugação (Figura 1C).



Figura 1: Primeira etapa do método de Gerdemann e Nicolson (1963) para extração de esporos de FMAs. A: conjunto de peneiras de malha 0,071 e 0,020 respectivamente. B: Sobrenadante sendo vertido no conjunto de peneiras. C: Peneira menor de malha 0,020 mm.

Fonte: Da autora, 2022.

Os materiais vertidos nos tubos de centrifugação foram pesados, padronizados em número par, e levados à centrifugação à 3.000 rpm por 3 minutos. Este procedimento permitiu que os esporos permanecessem decantados junto ao substrato no fundo dos tubos, enquanto o sobrenadante, contendo as partículas mais leves, foi cuidadosamente descartado (Figura 2A). Posteriormente foi adicionado aos tubos solução de sacarose 50%. O material no fundo foi homogeneizado e novamente os tubos foram pesados, padronizados e levados à centrifuga na velocidade de 2.000 rpm por 2 minutos (Figura 2B). Nesta segunda etapa a sacarose, por sua maior densidade, permite que os esporos de FMAs fiquem suspensos no sobrenadante. Após esta etapa, o sobrenadante é vertido

novamente sobre a peneira de 0,020 mm (Figura 2C). O material coletado é enxaguado e transferido cuidadosamente, com auxílio de uma pisseta, para potes plásticos, onde ficam armazenados até a verificação dos esporos em microscópio estereoscópio.



Figura 2: Segunda etapa do método de Gerdemann e Nicolson (1963) para extração de esporos de FMAs. A: sobrenadante após a primeira etapa de centrifugação sendo vertido; B: adição de sacarose 50% no tubo de centrifugação após homogeneização; C: Sobrenadante contendo a sacarose sendo vertido em peneira para ser enxaguado após a centrifugação.

Fonte: Da autora, 2022.

Para a avaliação dos esporos, o conteúdo dos potes é transferido para uma placa canelada com uma linha de demarcação que facilita a contagem dos esporos nas canaletas (Figura 3). De modo a auxiliar a contagem dos esporos, um contador digital Digitimer foi utilizado. A visualização foi feita em microscópio estereoscópio Zeiss.



Figura 3: Placa canelada para facilitar a contagem dos esporos de Fungos micorrízicos arbusculares (FMA's)

Fonte: Autoria própria, 2022.

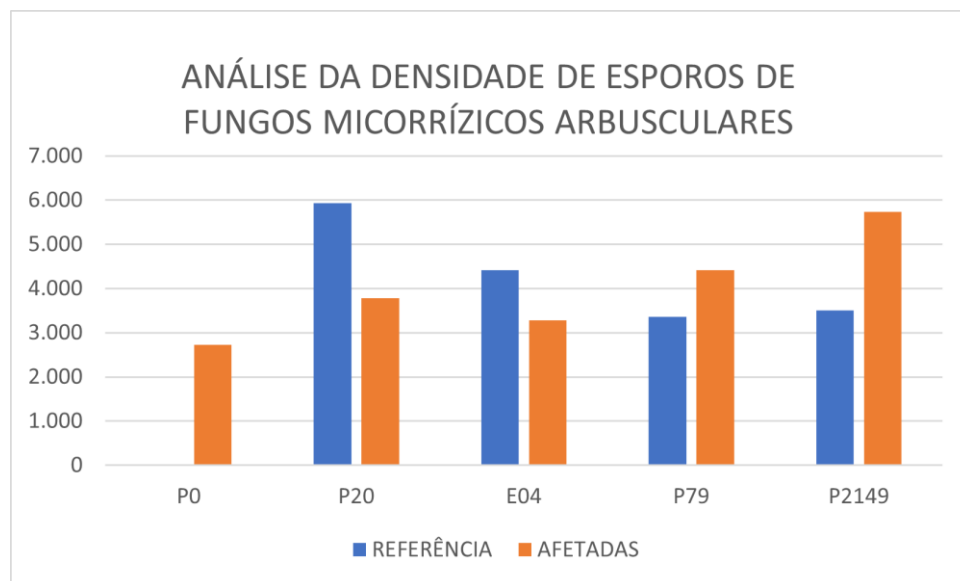
5. ANÁLISE ESTATÍSTICA

As análises de teste t pareado foram realizadas com base nos dados de quantidades de esporos de fungos micorrízicos encontrado em áreas afetadas e não afetadas pelas enchentes Rio Paraopeba. As análises foram realizadas utilizando o software R (R versão 3.4.0, 2017), utilizando o pacote spatstat. Mais detalhes sobre este pacote podem ser vistos em Baddeley e Turner (2005).

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Através da extração de esporos de fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) pelo Método de extração de Gedermann e Nicolson, foram encontrados os seguintes valores de densidade de esporos de fungos, disposto no gráfico 1.

Gráfico 1: Análise da densidade de esporos de fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) nas áreas afetadas e não afetadas (referência):



Fonte: Da autora, 2023

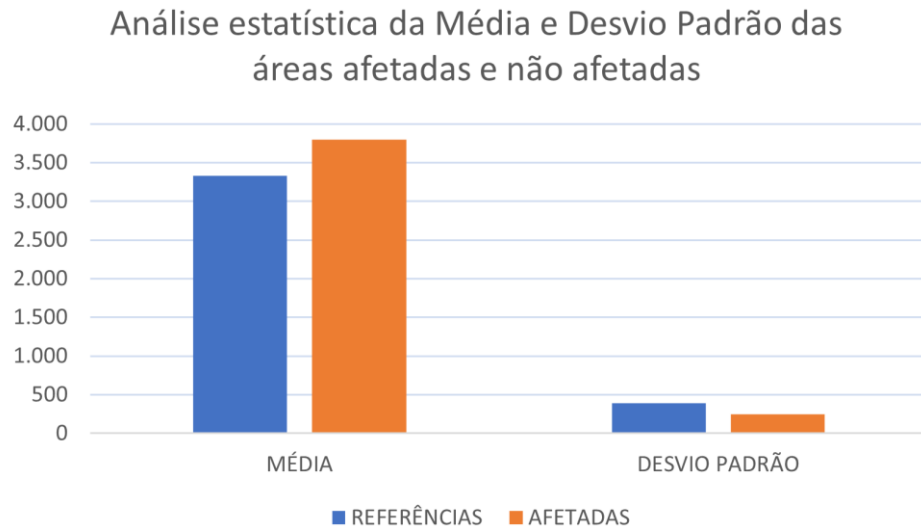
Percebe-se que na área P2149, a densidade de esporos é maior na área afetada que na área de referência, e a área P20 contém significativo teor de Ferro, conforme visto nas tabelas 2 e 3, de análise dos atributos químicos e físicos do solo, o que podemos sugerir que seja ser devido à maior porcentagem de argila, uma vez que solos mais argilosos possuem em sua composição óxidos de Ferro, como goetita e hematita, o que podemos verificar que mesmo após a inundação do rio Paraopeba, contendo rejeitos de minério, há presença de esporos de Fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) nestas áreas mostrando que esses fungos têm mantido a associação com raízes das plantas no ambiente afetado, confirmando a afirmação de Riviero-Becerril et al. (2002, citado por REPETTO et al., 2003) que diz que a colonização das raízes das plantas por Fungos Micorrízicos Arbusculares (FMAs) apresenta impacto significativo na expressão de genes de diversas plantas que codificam proteínas presumivelmente envolvidas na tolerância a metais pesados/desintoxicação.

Além disso nestas áreas, verifica-se a presença de espécies de *Brachiária spp* e *Pennisetum Purpureum spp*, popularmente conhecido como Capim Napier. Segundo Smith & Read (1997), as gramíneas associam-se a fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) que exercem grande influência sobre estas plantas, constituindo-se em importantes componentes bióticos do ecossistema. Esta associação amplia o potencial de absorção pelo sistema radicular, facilitando a absorção de íons e de água do solo, o que pode aumentar a capacidade extratora das plantas (KLAUBERG-FILHO et al., 2005) e a ação filtrante e purificadora do solo (SAFIR et al., 1990).

Já avaliando a média e desvio padrão das diferenças das áreas afetadas e áreas de referência dos solos amostrados, observou-se que os seguintes resultados disposto no gráfico 2, onde a média das diferenças (\bar{d}) da área de referência foi de 3.228 e das áreas afetadas 3.796, enquanto o Desvio Padrão (Dp) foi de 389,2 nas áreas de referência e 244,9 nas áreas afetadas.

Interpreta-se que o valor de Desvio Padrão (Dp) nas áreas afetadas foi maior que nas áreas de referência, portanto isso significa que esta área apresenta resultado mais homogêneo.

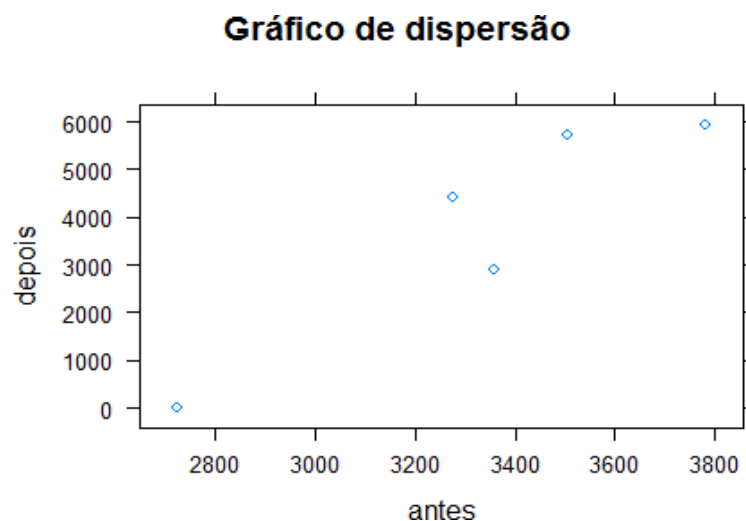
Gráfico 2: Média e Desvio Padrão das áreas de referência e afetadas pela inundação do Rio Paraopeba:



Fonte: Da autora, 2023

Em um gráfico de dispersão (gráfico 3), considerando antes como sendo as áreas de referência e depois como sendo as áreas afetadas, podemos concluir que conforme aumenta a densidade da área de referência aumenta-se a densidade da área afetada, ou seja existe relação de dependência entre essas áreas.

Gráfico 3: Gráfico de dispersão que ilustra a relação de dependência entre as áreas de referência e afetadas pela inundação do Rio Paraopeba.



Fonte: Da autora, 2023

No software R, o p valor foi maior que adotamos (0.05), sendo assim podemos aceitar a hipótese nula do teste t e podemos concluir que as médias são significativamente iguais e podemos adotar p teste t de Student, em que $t_{tab} = 2,13$ e de $t_0 = 0,5012$, portanto não rejeitamos H_0 , logo podemos afirmar com 90% de confiança que não houve diferença significativa entre as áreas de referência e afetadas.

Esse resultado comprova o que foi dito por diversos autores que fungos micorrízicos arbusculares tem ocorrência abundante em solos contaminados (GAUR & ADOLEYA, 2004; SILVA et al., 2005; STUMER & SIQUEIRA, 2006). Os fungos formadores de micorriza arbuscular (FMAs) são cosmopolitas, com ocorrência abundante mesmo em áreas com elevado grau de degradação e são encontrados em quase todas as famílias de espécies herbáceas e arbóreas, especialmente aquelas de interesse para recuperação ambiental. Apesar de a poluição química afetar negativamente vários processos do ciclo de vida dos FMAs, tais como germinação de esporos, crescimento de hifas e colonização radicular, tem-se verificado a ocorrência de vários isolados fúngicos aparentemente adaptados ao excesso de metais pesados em diversas regiões do mundo (CABRAL et al., 2010).

Portanto mediante o resultado encontrado, podemos sugerir que é válido futuros trabalhos na área evidenciando as espécies de fungos micorrízicos arbusculares (FMAs), para que se conheça e possa explorar ainda mais a capacidade de fitorremediação destes organismos nestas áreas afetadas pela inundação do Rio Paraopeba. Uma vez que segundo Cabral et al., (2010) a introdução de FMAs em ambientes contaminados pode exercer efeito positivo na tolerância das plantas a elementos tóxicos, atuando como agentes de proteção para as mesmas, além de aumentar a extração dos metais pesados do solo. Este processo é de grande interesse para a fitorremediação, visto que a maioria das plantas forma micorriza mesmo em condições de elevada contaminação por metais.

7. Conclusão

A área P20 apresenta pastagem como uso do solo, sendo estas evidenciadas por espécies de *brachiária spp* e *Pennisetum Purpureum spp* (capim Napier) e apresentou maior porcentagem de argila e também de esporos de fungos micorrízicos arbusculares, o que leva a conclusão que estes fungos se associam mais fortemente com as raízes de gramíneas e também como resposta para o alto teor de ferro nesta área.

Nas áreas P79 e P2149 que também apresenta pastagem como uso do solo foram encontrados densidade maior que fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) nas áreas afetadas pela inundação do rio comparada a densidade das áreas de referência no mesmo ponto, mais uma vez concluindo a forte associação das raízes de gramíneas com estes fungos.

Mediante a análise estatística, conclui-se que não houve diferença significativa de densidade de esporos de fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) entre as áreas de referência e áreas afetadas pela inundação do Rio Paraopeba e que também à medida que aumenta a densidade de esporos das áreas de referência aumenta também a densidade de esporos das áreas afetadas e que as áreas afetadas possuem densidade mais homogênea em relação à áreas de referência. Portanto, trabalhos futuros visando análise biológica em áreas de inundação, identificação de espécies de fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) e testes com as mesmas são fundamentais para melhor compreensão do papel destes fungos nos ambientes avaliados.

REFERÊNCIAS

ALLEN, M. F. The ecology of arbuscular mycorrhizas: a look back into the 20th century and a peek into the 21st. *Mycological Research*, Cambridge, v. 100, p. 769-782, 1996.

ALLEN, Edith B. et al. Impacts of early-and late-seral mycorrhizae during restoration in seasonal tropical forest, Mexico. *Ecological Applications*, v. 13, n. 6, p. 1701-1717, 2003. DOS SANTOS, Fabiana Borges Teixeira; ARAÚJO, Fabiana Oliveira. ST 4 Territórios minerários- desafios da gestão compartilhada e do fechamento de Minas. O caso de Minas Gerais. *Anais ENAMPUR*, v. 16, n. 1, 2015.

ARAÚJO, Fabiana Oliveira; SANTOS, Fabiana Borges Teixeira. Territórios minerários – desafios da gestão compartilhada e do fechamento de minas. o caso de Minas Gerais. *Anais do XVI ENANPUR*. Belo Horizonte, 2015.

BARRETO, M. L. Mineração e desenvolvimento sustentável: desafios para o Brasil. CETEM/MCT, Brasil. 2001

BÉCARD, G. et al. Partner communication in the arbuscular mycorrhizal interaction. *Canadian Journal of Botany*, v. 82, n. 8, p. 1186-1197, 2004.

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

BEVER, J.D. 2003. Soil community feedback and the coexistence of competitors: conceptual frameworks and empirical tests. *New Phytologist* 157:465-473.

BROWN, Milford S.; BETHLENFALVAY, Gabor J. Glycine-glomus-rhizobium symbiosis: VI. Photosynthesis in nodulated, mycorrhizal, or N-and P-fertilized soybean plants. *Plant Physiology*, v. 85, n. 1, p. 120-123, 1987.

BRUNETT, M. Mycorrhizas in natural ecosystems. *Advanced Ecological Research*, v.21, p.171-313, 1991

CABRAL, Lucélia et al. Retenção de metais pesados em micélio de fungos micorrízicos arbusculares. *Química Nova*, v. 33, p. 25-29, 2010.

CONAMA – CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE, resolução CONAMA N° 357 de 17 de março de 2005.

DE SOUZA CAVALCANTI, Danielly Larissa Andrade et al. IMPORTÂNCIA ECONÔMICA DO QUADRILÁTERO FERRÍFERO EM MINAS GERAIS E PERSPECTIVAS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL.

DOS REIS, Deyse Almeida et al. Geochemical evaluation of bottom sediments affected by historic mining and the rupture of the Fundão dam, Brazil. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 27, p. 4365-4375, 2020.

FARIAS, C. E. G. Mineração e meio ambiente no Brasil. Relatório CGEE. 40 p., 2002.

FERNANDES, Francisco Rego Chaves; ARAUJO, Eliane Rocha. Mineração no Brasil: crescimento econômico e conflitos ambientais.

FUNDAÇÃO OSWALDO CRUZ Nota técnica: avaliação dos impactos sobre a saúde do desastre da mineração da Vale (Brumadinho, MG), 2019.

GAUR, A.; ADHOLEYA, A. Prospects of arbuscular mycorrhizal fungi in phytoremediation of heavy metal contaminated soils. *Current Science*, v.86, p.528-534, 2004.

HWANG, S.F.; CHANG, K.F. & CHAKRAVARTY, P. Effects of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi on the development of Verticillium and Fusarium wilts of alfalfa. *Plant Dis.*, 76:239-243, 1992

HUNT, E. K; SHERMAN, H. J. História do pensamento Econômico. 2 ed. Petrópolis RJ:Voices,19

IBRAM, Instituto Brasileiro de Mineração Relatório Anual de Atividades: janeiro 2021 a dezembro 2021. Brasília, 2022. Disponível em: <<http://www.ibram.org.br/>>. Acesso em: 22/04/22.

KLAUBERG-FILHO, O.; SIQUEIRA, J.O.; MOREIRA, F.M.S.; SOARES, C.R.F.S.; SILVA, S. Ecologia, função e potencial de aplicação de fungos micorrízicos arbusculares em condições de excesso de metais pesados. In: VIDAL-TORRADO, P.; ALLEONI, L.R.F.; COOPER, M.; SILVA, A.P.; CARDOSO, E.J. (Ed.). Tópicos em ciência do solo. Viçosa: UFV; Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005. p.85-144

LIMA, Maria Helena Machado Rocha. A indústria extrativa mineral: algumas questões socioeconômicas.

LIU, R.J. & LUO, X.S. 1994. A new method to quantify the inoculum potential of arbuscular mycorrhizal fungi. *New Phytologist* 128:89-92.

JASTROW, J. D.; MILLER, R. M.; LUSSENHOP, J. Contributions of interacting biological mechanisms to soil aggregate stabilization in restored prairie. *Soil Biology and Biochemistry*, v. 30, n. 7, p. 905-916, 1998.

MARENT, B. R.; LAMOUNIER, W. L; GONTIJO, B. M. Conflitos ambientais na Serra do Gandarela, Quadrilátero Ferrífero – MG: mineração x preservação. *Revista Geografias*, v.7 n.1,pp. 99-113. 2011.

MATOS, R. M. B.; DA SILVA, E. M. R.; LIMA, E. Fungos micorrízicos e nutrição de plantas. Embrapa Agrobiologia-Documentos (INFOTECA-E), 1999.

MECHI, Andréa; SANCHES, Djalma Luiz. Impactos ambientais da mineração no Estado de São Paulo. Estudos avançados, v. 24, p. 209-220, 2010.

MERRYWEATHER, J.W. & FITTER, A. 1998. The arbuscular mycorrhizal fungi of *Hyacinthoides non-scripta*. II. Seasonal and spatial patterns of fungal populations. *New Phytologist* 138:131-142

MINAS GERAIS, Governo do estado. Mineração: O maior e mais tradicional Estado minerador do Brasil. 2013.

MOREIRA, F.M.S. & SIQUEIRA, J.O. Microbiologia e bioquímica do solo. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 2002. v.1. 625p

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

MUNKVOLD, L.; KJOLLER, R.; VESTBERG, M.; ROSENDAHL, S. & JAKOBSEN, I. High functional diversity within species of arbuscular mycorrhizal fungi. *New Phytol.*, 164:357-364, 2004.

NEWMAN, E.I. Mycorrhizal links between plants: their functioning and ecological significance. *Adv. Ecol. Res.*, 18:243-270, 1988

NUNES, Paulo Henrique Farias. Mineração, meio ambiente e desenvolvimento sustentável: aspectos jurídicos e socioeconômico.

MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O.; BRUSSAARD, L. (Ed.). Soil biodiversity in Amazonian and other Brazilian ecosystems. Wallingford: CABIPub., 2006. p.206-236..

OLIVEIRA, V.L.; GIANCHINI A.J. Ecologia e aplicação de ectomicorrizas. In: Siqueira, J.O. (Coord.). Inter-relação fertilidade: biologia do solo e nutrição de plantas. Viçosa: SBCS, Lavras: UFLA/DCS, 1999, p.775-796

OMACHI, Geraldo Yasujiro. Estudos para o aumento da vida útil das minas de minério de ferro do Quadrilátero Ferrífero, MG. 2015. 83 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mineral) - Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2015.

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

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

REPETTO, O.; BESTEL-CORRE, G.; DUMAS-GAUDOT, E.; BERTA, G.; GIANINAZZI-PEARSON, V. & GIANINAZZI, S. Targeted proteomics to identify cadmium-induced protein modifications in *Glomus mosseae*-inoculated pea roots. *New Phytol.*, 157:555-567, 2003.

ROESER, H. M. P.; ROESER, P. A. O Quadrilátero Ferrífero - MG, Brasil: aspectos sobre

sua história, seus recursos minerais e problemas ambientais relacionados. *Geonomos*, v. 18, n. 1, p. 33 – 37, 2010.

SAFIR, G.R.; SIQUEIRA, J.O.; BURTON, T.M. Vesiculararbuscular mycorrhizae in a wastewater-irrigated oldfield ecosystem in Michigan. *Plant and Soil*, v.121, p.187-196, 1990.

SHOEMAKER, William R.; LOCEY, Kenneth J.; LENNON, Jay T. A macroecological theory of microbial biodiversity. *Nature ecology & evolution*, v. 1, n. 5, p. 0107, 2017.

SIEVERDING, E. 1991. Vesicular-arbuscular mycorrhiza management in tropical agrosystems. *Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ)*, Eschborn, Germany
SILVA, Gécica Auxiliadora da. Refugiados de Bento Rodrigues: estudo fenomenológico sobre o desastre de Mariana, MG. 2016.

SILVA, Gessica; BOAVA, Diego; MACEDO, Fernanda. REFUGIADOS DE BENTO RODRIGUES: ESTUDO FENOMENOLÓGICO SOBRE O DESASTRE DE MARIANA, MG. In: *Anais do Congresso Brasileiro de Estudos Organizacionais*. 2016.

SILVA, M; ESPOSITO, E. O papel dos fungos na recuperação ambiental. In: Exposito, E., Azevedo, J.L. *Fungos: Uma introdução à biologia, bioquímica e biotecnologia*. 2ª ed. Caxias do Sul: Educs, 2010

SMITH, S.E.; READ, DJ. *Mycorrhizal symbiosis*. London: Academic Press, 1997. 589p.

SILVEIRA, R. B. et al. Atributos microbiológicos e bioquímicos como indicadores da recuperação de áreas degradadas, em Itajubá/MG. *Cerne, Lavras*, v. 12, n.1, p. 48-55, 2006.

SMITH, S.E. & READ, D.J. *Mycorrhizal symbiosis*. 3.ed. London, Academic Press, 2008. 785p.

SOUZA, F.A. & SILVA, E.M.R. 1996. Micorrizas arbusculares na revegetação de áreas degradadas. In *Avanços em fundamentos e aplicação de micorrizas* (J.O. Siqueira, ed.). UFLA/DCS e DCF, Lavras, p.255-290.

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

STÜRMER, S.L.; SIQUEIRA, J.O. Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in Brazilian ecosystems. In: MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O.; BRUSSAARD, L. (Ed.). *Soil biodiversity in Amazonian and other Brazilian ecosystems*. Wallingford: CABIPub., 2006. p.206-236.

TRINDADE, A. V.; GRAZZIOTTI, P. H.; TÓTOLA, M. R. Utilização de características microbiológicas na avaliação da degradação ou recuperação de uma área sob mineração de ferro. *Revista brasileira de ciência do solo*, v. 24, p. 683-688, 2000.

VALSECCHI, G., GIGLIOTTI, C. & FARINI, A. 1995. Microbial biomass, activity, and organic matter accumulation in soils contaminated with heavy metals. *Biology and Fertility of Soils* 20:253-259.

VIANA, João Herbert Morteira et al. A fração glomalina e a estabilidade de agregados de diferentes Latossolos. XVIII Reunião brasileira de manejo e conservação do solo e da água. Novos caminhos para agricultura conservacionista no brasil, 2010.