

**SUELI GOMES FERNANDES**

**FERTILIDADE DO SOLO E ATIVIDADE MICORRÍZICA EM ÁREAS DE  
AGRICULTORES FAMILIARES NO NORTE DE MINAS GERAIS**

Dissertação apresentada ao curso de Mestrado em Ciências Agrárias do Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Ciências Agrárias.

**Orientador:** Prof. Luiz Arnaldo Fernandes

**Montes Claros**

**2011**

**Fernandes, Sueli Gomes.**

**G363  
2011**

**Fertilidade do solo e atividade micorrízica em áreas de agricultores familiares no norte de Minas Gerais / Sueli Gomes Fernandes. Montes Claros, MG: ICA/UFMG, 2011.  
74 f: il.**

**Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias, área de concentração em Agroecologia) Universidade Federal de Minas Gerais, 2011.**

**Orientador: Prof. Luiz Arnaldo Fernandes.**

**Banca examinadora: Cynthia Torres de Toledo Machado, Reginaldo Arruda Sampaio, Luiz Arnaldo Fernandes.**

**Inclui bibliografia: f. 66-74.**

**1. Solos – Norte de Minas Gerais. 2. Agricultura familiar. I. Fernandes, Sueli Gomes. II. Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Ciências Agrárias. III. Título.**

**CDU: 631.4**

**Elaborada pela BIBLIOTECA COMUNITÁRIA DO ICA/UFMG**

**SUELI GOMES FERNANDES**

**FERTILIDADE DO SOLO E ATIVIDADE MICORRÍZICA EM ÁREAS DE  
AGRICULTORES FAMILIARES NO NORTE DE MINAS GERAIS**

Aprovada em 28 de março de 2011.



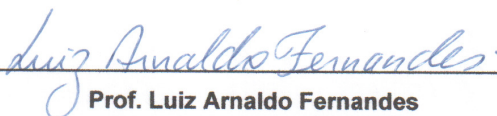
---

**Cynthia Torres de Toledo Machado  
(Embrapa Cerrados)**



---

**Prof. Regynaldo Arruda Sampaio  
(ICA/UFMG)**



---

**Prof. Luiz Arnaldo Fernandes  
Orientador (ICA/UFMG)**

**Montes Claros**

**2011**

## AGRADECIMENTOS

A Deus, que, creio, me deu toda a sustentação necessária para a realização desta pesquisa.

Aos pesquisadores João Roberto Correia, Marina de Fátima Vilela e demais as oportunidades junto à Embrapa Cerrados, cujo projeto me possibilitou a realização desta pesquisa e a atenção durante todo esse tempo.

À pesquisadora da Embrapa Cerrados, Cynthia Torres de Toledo Machado, um instrumento de Deus na minha vida, o meu agradecimento profundo, a disponibilidade, o apoio, o cuidado e o carinho em todo o tempo.

Ao Prof. Luiz Arnaldo a orientação e a experiência de compartilharmos esta pesquisa.

Ao pesquisador Cícero Donizete Pereira a colaboração na determinação da glomalina e à Amanda do Nascimento o suporte na condução do bioensaio, ambos da Embrapa Cerrados.

Ao técnico Itamar Garcia Ignácio, da Embrapa Agrobiologia, a identificação taxonômica dos fungos micorrízicos.

Aos agricultores da Comunidade Água Boa 2, todo o carinho, o acolhimento e os ensinamentos valiosos, os quais contribuíram muito para a minha formação acadêmica. O respeito dado à terra e à natureza por esses agricultores é um exemplo de vida.

À Universidade Federal de Minas Gerais e ao Instituto de Ciências Agrárias, a oportunidade e a formação.

Finalmente, à Thâmara, minha amiga especial, o apoio, a companhia e as palavras confortantes.

## RESUMO

Propriedades agrícolas representativas da Comunidade Água Boa 2 em Rio Pardo de Minas (MG) foram caracterizadas, quanto aos aspectos químicos, físicos e à atividade de fungos micorrízicos arbusculares (FMAs). Para a avaliação da fertilidade, da densidade de esporos, da colonização radicular e dos teores de glomalina, foram coletadas amostras de solo, na profundidade de 0-20 cm, em quatorze subsistemas caracterizados como de baixo uso de insumos ou em transição agroecológica, em abril de 2010. O potencial de inóculo micorrízico (MIP) foi determinado por meio de bioensaio em casa de vegetação, disposto em delineamento inteiramente casualizado, com 3 repetições. A identificação das espécies de FMAs foi feita a partir de amostras de solo, provenientes do bioensaio e de culturas-armadilha. Os subsistemas apresentaram boa diversidade de espécies de FMAs, que foram influenciadas pelas condições de fertilidade das áreas e pelas plantas hospedeiras implantadas, que, por sua vez, influenciaram a densidade de esporos e no potencial de infecção radicular. Os teores de glomalina foram baixos e estiveram relacionados às características texturais dos solos. A partir desta pesquisa, foi possível identificar a necessidade de incorporação de práticas adequadas de manejo dos solos dessas propriedades, como a adubação verde, a utilização de plantas de cobertura e a rotação de culturas.

**Palavras-chave:** Fertilidade do solo. Simbiose micorrízica. Agricultores familiares. Práticas agroecológicas.

## ABSTRACT

Farms properties in the community of Agua Boa 2, Rio Pardo de Minas (Minas Gerais) were characterized, according to the chemical, physical and activity of the arbuscular mycorrhizal fungi (AMF). For fertility evaluation, spores density, root colonization and levels of glomalin, soil samples were collected in a depth of 0-20 cm, in fourteen subsystems characterized as low input or agroecological transition, in 2010, in April. The mycorrhizal inoculum potential was determined by bioassay in a greenhouse, arranged in a completely randomized design, with three replications. The identification of AMF species was realized by soil samples of bioassay and trap cultures. The subsystems exhibit a good diversity of AMF species that were affected by fertility conditions areas and deployed by the host plants, which affected spore density and potential for root infection. The levels of glomalin were low and it was related to textural soil characteristics. From this study, it was possible to identify the necessity of accessible and proper practices incorporation to manage these soil properties such as green fertilization, cover plants and crop rotation.

**Keywords:** Soil fertility. Mycorrhizal symbiosis. Familiar farmers. Agroecological practices.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<b>FIGURA 1 -</b>	Localização do município de Rio Pardo de Minas (MG) e da Comunidade Água Boa 2 .....	<b>27</b>
<b>FIGURA 2 -</b>	Placa canaletada para observação e contagem de esporos de fungos micorrízicos.....	<b>32</b>
<b>FIGURA 3 -</b>	Implantação de bioensaio em casa de vegetação..	<b>33</b>
<b>FIGURA 4 -</b>	Esporos de espécies de FMAs identificadas; <i>Acaulospora mellea</i> (A); <i>Gigaspora</i> sp. (B); <i>Archeospora leptoticha</i> (C); <i>Glomus tortuosum</i> . (D) .....	<b>45</b>
<b>QUADRO 1 -</b>	Termo de classificação, abreviação, processo de extração e significado das quatro frações de glomalina.....	<b>25</b>
<b>QUADRO 2 -</b>	Principais características das propriedades e subsistemas amostrados.....	<b>29</b>

## LISTA DE TABELAS

1 -	Características químicas e físicas dos solos das áreas das principais lavouras em 7 propriedades agrícolas familiares da Comunidade Água Boa 2, em Rio Pardo de Minas-MG....	37
2 -	Espécies isoladas e riqueza específica de FMAs sob diferentes cultivos em propriedades agrícolas da Comunidade Água Boa 2.....	44
3 -	Freqüência de ocorrência e classificação das espécies de FMAs encontradas sob diferentes cultivos em propriedades agrícolas da Comunidade Água Boa 2.....	50
4 -	Potencial de inóculo micorrízico de áreas sob diferentes cultivos em propriedades agrícolas da comunidade Água Boa 2, em Rio Pardo de Minas,--MG.....	52
5 -	Glomalina facilmente extraível de solo sob diferentes cultivos em propriedades agrícolas da Comunidade Água Boa 2, em Rio Pardo de Minas-MG.....	57
6 -	Coefficientes de correlação de Pearson entre as variáveis estudadas sob diferentes cultivos em propriedades agrícolas da Comunidade Água Boa 2, em Rio Pardo de Minas - MG.....	61

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

<b>B -</b>	Boro
<b>C -</b>	Carbono
<b>Ca -</b>	Cálcio
<b>CTC -</b>	Capacidade de Troca Catiônica
<b>Cu -</b>	Cobre
<b>Fe -</b>	Ferro
<b>FMA s -</b>	Fungos Micorrízicos Arbusculares
<b>K -</b>	Potássio
<b>LEIA -</b>	Agricultura de Baixo Uso de Insumos Externos
<b>LEISA -</b>	Agricultura Sustentável e de Baixo Uso de Insumos Externos
<b>Mg -</b>	Magnésio
<b>MIP -</b>	Potencial de Inóculo Micorrízico
<b>Mn -</b>	Manganês
<b>NMP -</b>	Número Mais Provável
<b>P -</b>	Fósforo
<b>P rem -</b>	Fósforo Remanescente
<b>S -</b>	Enxofre
<b>Zn -</b>	Zinco

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>11</b>
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>13</b>
2.1	Agricultura de baixo uso de insumos externos e a transição para sistemas agroecológicos.....	13
2.2	Importância das associações micorrízicas em sistemas agroecológicos.....	16
2.3	Potencial de inóculo de fungos micorrízicos nativos.....	19
2.3.1	Métodos de determinação.....	21
2.3.2	Níveis críticos de propágulos de FMAs.....	26
<b>3</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>27</b>
3.1	Áreas de estudo.....	27
3.2	Amostragem e coleta de solo.....	30
3.3	Determinação da densidade de esporos.....	30
3.4	Determinação do potencial de inóculo micorrízico (MIP). ..	32
3.5	Identificação das espécies de fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) .....	33
3.6	Determinação da glomalina facilmente extraível.....	34
3.7	Análises estatísticas.....	35
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>36</b>
4.1	Caracterização química e física de solos sob cultivos em propriedades agrícolas da comunidade Água Boa 2: ..	36
4.2	Ocorrência de fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) nas propriedades agrícolas sob diferentes cultivos e manejos: .....	43
4.3	Estimativas de potencial de inóculo micorrízico (MIP), a partir da contagem de esporos e do potencial médio de infecção dos solos nas propriedades agrícolas, sob diferentes cultivos e manejos.....	51

4.4	Determinação da glomalina facilmente extraível (EE-BRSP) .....	56
4.5	Relações entre os parâmetros de FMAs e as condições químicas e físicas dos solos, as práticas de manejo e as espécies vegetais cultivadas: .....	60
4.6	Proposição de práticas de manejo do solo e das culturas que visem à multiplicação dos FMAs no solo, em conformidade com as necessidades e condições locais: .....	63
5	<b>CONCLUSÃO</b> .....	65
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	66

## 1 INTRODUÇÃO

Os pequenos produtores, por diversos fatores, têm enfrentado muitas limitações para alcançarem uma produtividade adequada nos seus agroecossistemas. Os seus sistemas produtivos, em sua maioria, são caracterizados como de subsistência ou semisubsistência, não dispondo, portanto, de recursos para a aquisição de sementes, de fertilizantes ou de equipamentos que possam reduzir essas limitações.

Assim, tecnologias elementares da agricultura, como a realização de correções de solo e adubações baseadas em análise de solo, não são utilizadas. Essa é uma situação que se repete nas diferentes regiões do país.

Dessa forma, no âmbito da pequena propriedade, essas restrições tendem a ser enfrentadas com práticas de convivência, ou seja, na busca de soluções, o pequeno agricultor procura conviver com as limitações ambientais, ao invés de reduzi-las.

Relações simbióticas e práticas agrícolas que diminuam a dependência de insumos externos e viabilizem a produtividade de sistemas agrícolas familiares são necessárias e demandam um manejo diferenciado do solo, das culturas e dos insumos, com enfoque agroecológico. Para tanto, estratégias que incluam processos biológicos naturais no solo, como a micorriza, uma associação simbiótica, não patogênica, entre fungos benéficos e específicos do solo e raízes de plantas superiores, podem representar uma alternativa viável de manejo.

Os fungos micorrízicos arbusculares - FMAs ocorrem naturalmente nos solos e são componentes naturais dos sistemas de produção agrícola. A maioria das plantas tem suas raízes colonizadas por esses fungos e, uma vez estabelecida, a micorriza arbuscular contribui no crescimento dessas culturas, sobretudo em solos com baixo teor de nutrientes, como os do cerrado.

Esse aspecto é particularmente importante em sistemas de produção familiar, cujos solos são intensamente cultivados e apresentam, normalmente, baixa fertilidade. Portanto, a micorriza é um componente

natural importante dos agroecossistemas, desempenhando um papel fundamental na sua funcionalidade e na sustentabilidade.

Dessa forma, o objetivo desta pesquisa foi caracterizar, qualitativa e quantitativamente, a população de FMAs em áreas cultivadas em propriedades de pequenos agricultores de uma comunidade no Território do Alto Rio Pardo (MG), relacionando a ocorrência e predominância desses fungos às espécies vegetais predominantes, às condições de fertilidade dos solos e ao manejo dos agroecossistemas.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Agricultura de baixo uso de insumos externos e a transição para sistemas agroecológicos

Nos últimos anos novos conceitos e definições surgem para caracterizar a agricultura familiar. Os agricultores familiares já foram chamados de pequenos produtores, pequenos agricultores, colonos, camponeses, entre tantas outras definições. Para muitos estudiosos, entre eles Abramovay (1998), o conceito de agricultor familiar engloba todas as definições anteriores. Para outros, no entanto, esse conceito é muito amplo, dificultando o seu entendimento.

Há um consenso, no entanto, de que os sistemas de cultivo praticados por esses agricultores, antes denominados sistemas agrícolas tradicionais, diversificados e adaptados a cada localidade, evoluíram ao longo do tempo e foram encontrando equilíbrio entre a sociedade humana e a sua base de recursos. Caracterizavam-se, em sua maioria, pela produção de subsistência da família e da comunidade e pelos modos de cooperação altamente desenvolvidos entre os membros da comunidade.

Na medida em que as condições para a realização da agricultura mudaram, por causa do crescimento populacional ou da influência de valores de fora, os sistemas agrícolas também mudaram. Sistemas originalmente voltados para a subsistência tornaram-se cada vez mais orientados para o mercado, e o aprimoramento dos meios de comunicação levou ao aumento da demanda por bens de consumo.

A incorporação das tecnologias na agricultura frequentemente ocorreu de forma inadequada à realidade do meio rural, seja pela maneira como se deu essa implantação, seja pela natureza das tecnologias introduzidas com conseqüências sociais e impactos sobre o meio físico altamente negativos (PAULUS; SCHLINDWEIN, 2001).

Considerando-se que os sistemas agrícolas se adaptaram à realidade de cada região e se desenvolveram conforme a disponibilidade de recursos existentes, Reijntjes *et al.* (1999) propõem novas definições para os sistemas

agrícolas tradicionais, dentre as quais, a LEIA - Agricultura de Baixo Uso de Insumos Externos se caracteriza pelo uso cada vez mais intensificado dos recursos locais, com pouco ou nenhum emprego de insumos externos, até chegar-se ao ponto em que ocorre uma degradação dos recursos naturais.

Diante da necessidade dos agricultores que praticam a LEIA desenvolverem formas produtivas e sustentáveis de agricultura, Reijntjes *et al.* (1999) sugerem ainda a LEISA - Agricultura Sustentável e de Baixo Uso de Insumos Externos. Essa preconiza a aplicação do conhecimento agroecológico tanto de cientistas como de agricultores, para que os insumos externos e internos possam ser combinados de tal maneira que os recursos naturais sejam conservados e aprimorados, que a produtividade e a segurança sejam aumentadas e que sejam evitados os efeitos ambientais negativos.

No contexto da agroecologia, uma agricultura sustentável é aquela que consegue estabelecer a menor dependência de inputs comerciais, usando os recursos renováveis localmente acessíveis, mantendo, a longo prazo, a capacidade produtiva, preservando a diversidade biológica e cultural, utilizando os conhecimentos da própria população local, além de produzir tanto para o consumo interno como, também para o externo conforme admite Lenz (2005).

Altieri (2002) considera como pontos fundamentais a preservação e a ampliação da biodiversidade na agricultura para a autoregulação e a sustentabilidade. A agroecologia tem como prioridade fazer interagir ecologicamente, os componentes biológicos, fazendo com que esses fomentem a fertilidade dos solos, a produção das culturas e a produtividade. Ainda, segundo o autor, para isso ser possível, é de fundamental importância para a sustentabilidade da produção, o equilíbrio entre as plantas, fatores bióticos e abióticos.

Assim, quanto mais diversificados e integrados forem os sistemas de cultivos e criações, mais próximos estarão da sustentabilidade ambiental desejada e possível. Portanto, a meta não pode parar na substituição de insumos, mas deve ser o redesenho dos agroecossistemas, tendo em conta

o conjunto das relações bióticas e abióticas que ocorrem nos sistemas manejados pelo homem (CAPORAL, 2009a, b).

Segundo Gliessman (2000), os seguintes princípios podem servir como bases orientadoras nesse processo de transformação: mover-se de um manejo de nutrientes cujo fluxo de massa passa por meio dos sistemas, para um manejo baseado na reciclagem de nutrientes, com uma crescente dependência em relação a processos naturais, tais como a fixação biológica de nitrogênio e as relações com fungos micorrízicos. Usar fontes renováveis de energia, em vez das não renováveis. Eliminar o uso de insumos sintéticos não renováveis oriundos de fora da unidade produtiva, que podem potencialmente causar danos ao ambiente ou à saúde dos agricultores e dos consumidores.

Na agroecologia, é central o conceito de transição agroecológica, entendida como um processo gradual e multilinear de mudança. Essa ocorre por meio do tempo, nas formas de manejo dos agroecossistemas, que, na agricultura, tem como meta a passagem de um modelo agroquímico de produção e de outros sistemas degradantes do meio ambiente (que podem ser mais ou menos intensivos no uso de insumos industriais) a estilos de agriculturas que incorporem princípios e tecnologias de base ecológica (CAPORAL, 2009a, b).

Ainda, segundo o autor, essa ideia de mudança se refere a um processo de evolução contínua e crescente no tempo, porém sem ter um momento final determinado. Porém, por se tratar de um processo social, isto é, por depender da intervenção humana, a transição agroecológica implica não somente na busca de uma maior racionalização econômico-produtiva, com base nas especificidades biofísicas de cada agroecossistema, mas também numa mudança nas atitudes e valores dos atores, seja nas suas relações sociais, seja nas suas atitudes com respeito ao manejo e à conservação dos recursos naturais.

O estudo dos princípios e dos processos ecológicos forma a base da agroecologia. São essenciais para determinar se uma prática ou decisão de manejo agrícola é sustentável e se essa estratégia a longo prazo formará uma base ecológica. Definida a estratégia, podem ser desenvolvidas práticas

que reduzam os insumos externos comprados, diminuindo o impacto desses, quando utilizados, fazendo com que os agricultores sustentem os seus cultivos e as suas comunidades produtoras. A abordagem ecológica focaliza componentes (experiências) particulares dos agricultores, mas, se utilizada mais amplamente, pode ajudar a examinar o desenvolvimento histórico das atividades agrícolas em uma região, tornando-se, assim, a base para práticas mais sustentáveis adaptadas a cada região.

Dentre os princípios ecológicos fundamentais da LEISA, sugeridos por Reijntjes *et al.* (1999), idênticos aos da agroecologia, inclui-se assegurar condições propícias para o crescimento das plantas, especialmente por meio do manejo da matéria orgânica e da intensificação da vida no solo, além de otimizar a disponibilidade de nutrientes e balancear o seu fluxo.

Para isso, torna-se necessário restabelecer as relações biológicas que podem ocorrer naturalmente na unidade produtiva, como a simbiose entre FMAs e plantas. Em ambientes como os de áreas agrícolas familiares, que, em sua maioria, apresentam limitações físicas da paisagem, é importante estabelecer combinações mais apropriadas entre padrões de cultivo e o potencial produtivo dos agroecossistemas, evitando, assim, práticas que possam reduzir ou simplificar as associações micorrízicas.

## **2.2 Importância das associações micorrízicas em sistemas agroecológicos**

As micorrizas representam uma variedade de associações mutualísticas entre raízes e fungos, cuja separação em grupo ou tipo pode variar dependendo do autor ou do enfoque dado (SIQUEIRA; MOREIRA, 2002). A classificação simplificada das micorrizas em ecto e endomicorriza permite distinguir aquela que se desenvolve apenas ligeiramente no córtex e amplamente na superfície externa da raiz da planta hospedeira (ecto) daquela que se estabelece essencialmente no córtex da raiz (endo) (MIRANDA, 2008) e, ainda, as ectendomicorrizas, que apresentam alto grau de penetração intracelular, especialmente na parte mais velha da raiz (SIQUEIRA; MOREIRA, 2002).

Entretanto, conforme explica Miranda (2008), as diferenças existentes entre tipos de fungos e plantas hospedeiras, assim como nas estruturas especializadas formadas nessa associação, permitem a classificação mais específica da micorriza, destacando-se os tipos: ectomicorriza, micorriza arbutoide, micorriza monotrofoide, ectendomicorriza, micorriza ericoide, micorriza orquidóide e micorriza arbuscular.

Dentre essas associações, as micorrizas arbusculares ou endomicorrizas (Divisão Glomeromycota) são particularmente importantes nos ambientes com restrições ambientais relacionadas à fertilidade dos solos, uma vez que as hifas dos fungos, que ocorrem naturalmente nos solos e são componentes naturais dos sistemas de produção agrícola, promovem um aumento na área explorada pelo sistema radicular das plantas, absorvendo, mais facilmente, nutrientes de baixa mobilidade. Heijden *et al.* (1998) admitem que a comunidade de FMAs dos solos é considerada um dos fatores mais importantes para a manutenção da biodiversidade e a funcionalidade dos ecossistemas.

Essa associação torna-se de extrema importância em solos de baixa fertilidade ou degradado, onde micorrizas do tipo arbuscular favorecem o estabelecimento das plantas, maximizam o uso de nutrientes no solo, como o fósforo (P), cobre (Cu) e zinco (Zn), aumentam a fixação biológica de nitrogênio nas leguminosas e promovem a sustentabilidade do ambiente (JOHNSON; PFLEGER, 1992).

Esses fungos encontram-se amplamente distribuídos na maioria dos ecossistemas, desde florestais aos desérticos, em regiões tropicais temperadas e árticas e representam a mais ampla associação entre plantas e fungos encontrada na natureza (SOUZA; SILVA, 1996). O caráter mutualista das micorrizas contribuiu para a evolução e a sobrevivência das plantas terrestres e dos próprios fungos que existem desde há 400 milhões de anos (SMITH; READ, 1997).

Em condições naturais, a grande maioria das espécies de plantas apresenta-se colonizada por esses fungos, que potencializam a absorção de nutrientes especialmente de fósforo nos solos tropicais, caracterizados por

baixos teores de nutrientes disponíveis e alta capacidade de fixação de fósforo (MOSSE, 1981; SIEVERDING, 1991; SIQUEIRA, 1994).

De acordo com Smith e Read (1997), uma das possíveis explicações para os benefícios na nutrição fosfatada é que as hifas dos fungos micorrízicos são capazes de absorver o P da solução do solo e translocá-lo para as raízes, em processo muito mais rápido que a difusão desse elemento pelo solo. Dessa forma, são capazes de transpor as zonas de depleção de P que se formam em volta das raízes.

A condição de baixa fertilidade do solo favorece o estabelecimento das micorrizas arbusculares (MAs), onde a esporulação e a colonização são máximas, enquanto que essas são inibidas em condição de elevada fertilidade. Conforme Miranda (1986), as micorrizas não aumentam o teor total de nutrientes no solo, mas permitem que a planta explore as suas reservas.

Além dos efeitos nutricionais, um outro aspecto de excepcional relevância dos FMAs é a função na conservação e na agregação do solo, particularmente importante na região em que esta pesquisa foi desenvolvida, com solos de textura predominantemente arenosa ou média e com sérias limitações hídricas (CORREIA, 2005; MACHADO *et al.*, 2007). O efeito dos sistemas micorrízicos na promoção da agregação do solo é considerado por Miller e Jastrow (1992) como um dos principais.

A melhoria na estabilidade dos agregados é devido ao efeito físico da rede de hifas desses fungos envolvendo as partículas de solo, juntamente com a produção, por essas mesmas hifas, de quantidades significativas de uma glicoproteína insolúvel, chamada genericamente “glomalina” (WRIGH; UPADHYAYA, 1996), produzida por hifas de todos os FMAs (WRIGHT *et al.*, 1996). A glomalina promove a cimentação dos componentes do solo (WRIGHT; UPADHYAYA, 1998) e solos mais agregados são mais resistentes aos processos erosivos, possuem melhor aeração e infiltração de água mais eficiente.

Em conformidade com Miranda (2008), a maioria das culturas cultivadas em solos de cerrado possui as suas raízes colonizadas naturalmente por FMAs, tais como: soja, feijão, milho, sorgo, trigo, arroz,

cana, café, cacau, seringueira, citros, mandioca, batata doce, além de gramíneas, de leguminosas forrageiras e de várias espécies florestais. A comunidade dos FMAs sob esses cultivos é bastante variável, tanto em número quanto em diversidade de espécies, uma vez que as espécies vegetais possuem diferentes graus de dependência micorrízica (MIRANDA, 2008).

Miranda (2008) relata que a população dos fungos sob vegetação nativa é inferior à de solos cultivados, informando também que um grande número de plantas nativas da região do cerrado se associa com os FMAs, entre gramíneas, leguminosas e espécies arbóreas como pequi e buriti. Possivelmente, a menor população de fungos micorrízicos em ambientes de mata nativa se justifique pelo maior equilíbrio e menor perturbação dessa em relação aos sistemas cultivados. Em ambientes cultivados, em função de diversas intervenções durante o processo de cultivo, as plantas tornam-se mais dependentes à micorrização. Além disso, a maior rotatividade de plantas nesses sistemas aumentaria as possibilidades de multiplicação de espécies de FMAs.

No entanto, Miranda e Miranda (2001) explicam que o manejo dos fungos micorrízicos arbusculares requer, basicamente, informações, quanto à sua identidade e à ocorrência no reino vegetal, assim como ao conhecimento da sua biologia e do seu desenvolvimento na raiz, uma vez que as diversas espécies desses fungos diferenciam-se quanto à sua efetividade simbiótica.

### **2.3 Potencial de inóculo de fungos micorrízicos nativos**

Embora os FMAs ocorram de maneira generalizada na natureza, a distribuição das espécies e das populações, bem como a eficiência dos mesmos são desuniformes e bastante variáveis (SIQUEIRA, 1994). Estudos das comunidades de FMAs e de suas respectivas populações é uma etapa fundamental para diferentes abordagens de pesquisa sobre micorrizas arbusculares.

Esses podem ser realizados por meio de levantamentos da densidade e da diversidade de fungos micorrízicos arbusculares (FMAs), com o objetivo

de se conhecer as condições biológicas dos solos. Além da identificação das espécies, uma importante tarefa em estudos ecológicos é estimar o número de propágulos infectivos, o que determina a capacidade do solo em formar micorrizas nas raízes de plantas suscetíveis, conforme admite Araújo (2008).

Complementando a relação solo-planta-micorganismo, Siqueira *et al.* (1991) consideram, em sentido mais amplo, que fungo eficiente é aquele que, em dadas condições de fertilidade do solo, consegue sobreviver, colonizar as raízes, competir com outros microrganismos, incluindo outros fungos micorrízicos arbusculares, produzir grande volume de micélio, estabelecendo relação mutualista eficiente com a planta.

O conhecimento dos efeitos das práticas agrícolas sobre a população de FMAs nativos consiste em uma das alternativas viáveis para aumentar os benefícios desses simbiossomas para a produção agrícola, sobretudo em agroecossistemas onde não há a aplicação de recursos para a potencialização das áreas produtivas, como as da Comunidade Água Boa 2. Segundo Abbott e Robson (1991), o conhecimento da densidade de propágulos infectivos, da capacidade infectiva e efetividade dos FMAs nativos é fundamental para o desenvolvimento de estudos sobre ecologia e manejo desses fungos, bem como para auxiliar na introdução de fungos exóticos ao sistema.

Considerando-se que os FMAs nativos são mais adaptados aos fatores estressantes do meio que os isolados de outros locais, supõe-se que a maximização dos efeitos benéficos destes fungos pode ser conseguida por meio do manejo dos fungos nativos (MOREIRA; SIQUEIRA, 2002). Isso pode ser alcançado, por meio de inúmeras práticas, como a rotação de culturas e cultivo mínimo, que podem aumentar a densidade de propágulos e a colonização micorrízica das culturas. Entretanto não se descarta a possibilidade de sucesso de FMAs introduzidos, desde que devidamente selecionados (DODD *et al.*, 1983).

O estabelecimento da colonização de raízes compatíveis e metabolicamente ativas é condição essencial para que o fungo possa se multiplicar (BONFANTE; BIANCIOTTO, 1995). A sua propagação se dá por meio dos esporos, do micélio e de fragmentos de raízes colonizadas,

coletivamente denominados propágulos, que ao infectarem as raízes da planta hospedeira, podem se desenvolver e dar origem a novos propágulos. Em condições naturais, tem-se verificado que os fragmentos de raízes colonizados e o micélio presente no solo são, em geral, mais infectivos do que os esporos, como descrevem Smith e Read (1997).

O termo potencial de inóculo é definido, portanto, como o número de propágulos fúngicos viáveis, responsáveis pela infecção radicular inicial da planta hospedeira, ou seja, é um parâmetro que tem sido utilizado para avaliar a qualidade do inóculo (LIU; LUO, 1994). A abundância e a viabilidade de propágulos de fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) – esporos, micélio extra-radicular e pedaços colonizados de raiz – determinam a persistência dos FMAs no solo, em situações adversas, como as decorrentes de modificações no uso do solo (SILVA *et al.*, 2001).

Entre as metodologias empregadas para a quantificação da ocorrência de FMAs, as mais utilizadas são: (a) extração e contagem de esporos (GERDEMANN; NICOLSON, 1963); (b) avaliação da colonização radicular (GIOVANETTI; MOSSE, 1980), (c) estimativa da densidade de propágulos infectivos (esporos, micélio extra-radicular e fragmentos de raízes colonizadas) presentes no solo, por meio da técnica do Número Mais Provável - NMP (PORTER, 1979). Essas metodologias apresentam pontos positivos e negativos e fornecem informações, que, muitas vezes, se complementam (ABBOTT; ROBSON, 1991).

### **2.3.1 Métodos de determinação**

#### **a) Extração e contagem de esporos:**

A diversidade dos FMAs a campo tem sido tradicionalmente estimada pelo número de esporos das diferentes espécies encontradas. A identificação dos fungos se dá após os mesmos terem esporulado no início de sua fase reprodutiva, pela separação dos esporos do solo ou do substrato onde se está cultivando a planta hospedeira (MACHADO *et al.*, 2010). Esses são o principal tipo de inóculo, mas, muitas vezes, a densidade deles não se relaciona com a formação micorrízica nos solos, devido à influência de vários

outros fatores, inclusive da planta hospedeira e de fatores climáticos e edáficos (BRUNDRETT, 1991).

Embora a abundância de esporos no solo não seja um indicativo da associação micorrízica, a ausência dos esporos também não indica, necessariamente, a ausência do fungo, pois há um espaço de tempo entre a associação micorrízica e a esporulação. Por esse fato, muitos fungos não podem ser identificados com precisão a partir do esporo coletado no campo, mas fornecem um indicativo da população presente no solo (BENEDETTI *et al.*, 2005).

Os procedimentos para a separação dos esporos do solo são simples e se baseiam em suspensão do material (solo e raízes) em água, com posterior peneiramento, decantação e centrifugação. A metodologia clássica de extração de esporos por peneiramento úmido foi descrita por Gerdemann e Nicolson (1963) e, desde então, vem sendo utilizada com algumas variações. Descrições detalhadas de outros procedimentos são encontradas em Schenck (1984, em Pacioni (1994) e em Tommerup (1994).

#### b) Colonização de raízes:

As raízes das plantas não sofrem alterações morfológicas, em decorrência da colonização pelos fungos micorrízicos arbusculares. Assim, observações ao microscópio são necessárias para determinar e quantificar a infecção micorrízica, após as raízes finas serem clarificadas e coradas. Sieverding (1991) ressalta a necessidade da coloração pelo fato do micélio e outras estruturas fúngicas serem hialinas ou transparentes e de difícil detecção, passíveis de serem confundidas com estruturas de fungos saprofitos ou parasitas. A coloração facilita a caracterização das estruturas e a sua diferenciação, mas estruturas de outros fungos além dos FMA podem ser coradas também, requerendo certa experiência do observador.

O método clássico de coloração foi desenvolvido por Phillips e Hayman (1970), sendo relativamente simples. Essa metodologia ainda é utilizada, com modificações propostas para a redução de uso de produtos tóxicos, como o fenol componente da solução corante de azul de tripano (KOSKE; GEMMA, 1989; MIRANDA, 2008), para a clarificação e a coloração de raízes mais

lignificadas (SCHENCK, 1984), para espécies lenhosas e para espécies arbóreas exóticas e nativas do cerrado, dentre outras. Essas últimas foram desenvolvidas no Laboratório de Micorrizas da Embrapa Cerrados e são descritas detalhadamente por Miranda (2008).

Após a coloração, a avaliação da colonização radicular em percentagem de segmentos de raízes que contenham estruturas fúngicas se dá por meio da técnica da intercessão radicular, proposta por Giovannetti e Mosse (1980).

c) Potencial de inóculo micorrízico - MIP:

O MIP pode ser determinado por meio de bioensaios, em casa de vegetação (MOORMAN; REEVES, 1979). Conforme Sieverding (1991), que descreve esse método de forma sintética, amostras representativas de solo rizosférico de diferentes áreas são armazenadas em pequenos vasos, utilizando-se uma planta teste micotrófica. As raízes das plantas são, então, coletadas, após um período definido e a porcentagem de infecção radicular pelos FMAs é quantificada. A planta-teste é colonizada pela população de FMAs nativos, numa proporção correspondente ao potencial de infectividade da população de FMAs.

A utilização desse método elimina algumas desvantagens do uso direto do método de quantificação da colonização radicular, como a variabilidade da infecção, devido aos diferentes estágios de crescimento da planta hospedeira no campo. Esse bioensaio fornece valores relativos (% infecção de raízes), os quais diferem, quando as condições de crescimento das plantas-teste em casa de vegetação (alta luminosidade, temperatura, etc.) são alteradas em sucessivos experimentos.

O método é simples e o experimento pode ser conduzido com equipamentos básicos de laboratório.

d) Número mais provável (NMP)

A técnica de diluição denominada NMP foi idealizada por McCrady (1915), para estimar densidade da população microbiana, sem necessidade de contagem direta. Ela é baseada na teoria das probabilidades e consiste na

constatação da presença ou da ausência de crescimento do micro-organismo em porções individuais, oriundas da diluição seriada de uma amostra de solo. De forma pioneira, Porter (1979) empregou a técnica do NMP para estimar o número de propágulos infectivos de FMAs e comparou os resultados com os obtidos pela técnica de extração e contagem de esporos por peneiramento via úmida e posterior contagem em microscópio estereoscópio, conforme descrito por Souza *et al.* (1999).

e) Glomalina:

Trata-se de uma glicoproteína insolúvel, que foi então denominada glomalina por Wright *et al.* (1996), em referência à sua ocorrência exclusiva na ordem glomales, que abrangia os FMAs, conforme classificação dos Glomeromycetes à época (PURIN; KLAUBERG FILHO, 2010). A glomalina é produzida pelas hifas de todos os FMAs, mas não por outros grupos de fungos do solo (WRIGHT *et al.*, 1996), que atua efetivamente na cimentação das partículas do solo (WRIGHT; UPADHYAYA, 1998), incrementando a estabilidade dos agregados, já promovida pelo efeito físico das redes de hifas fúngicas extra-radulares que envolvem e interligam as partículas do solo.

Na condição de glicoproteína, a glomalina possui quantidades expressivas de carbono (C), representando elevada proporção do C orgânico do solo e perfazendo quantidades muito superiores daquele armazenado na biomassa microbiana (RILLIG *et al.*, 2001), constituindo, portanto, um indicador sensível das mudanças nos teores de C dos solos advindas das práticas de manejo e uso das terras, estando também envolvida no sequestro de C (RILLIG *et al.*, 1999; RILLIG *et al.*, 2003).

Segundo Purin e Klauberg Filho (2010), em 1996, Wright e Upadhyaya testaram diferentes condições para aperfeiçoar a extração e a quantificação da glomalina e, com base nos resultados obtidos, introduziram, dois anos mais tarde, os termos de classificação da glomalina, conforme QUADRO 1.

## QUADRO 1

Termo de classificação, abreviação, processo de extração e significado das quatro frações de glomalina

Termo	Abreviação	Extração	Significado
Easily Extractable Glomalin (glomalina facilmente extraível)	EEG	Extrator de baixa molaridade (citrato de sódio 20mM pH 7,0) e apenas um ciclo curto de autoclavagem (30 minutos, 121°C)	Fração quantitativa pelo método de Bradford. Acreditava-se que EEG representaria proteínas mais recentemente produzidas e também mais susceptíveis à atividade de decomposição por estarem concentradas predominantemente na superfície dos agregados
Total Glomalin (glomalina total)	TG	Extrator de alta molaridade (citrato de sódio 50mM, pH 8,0) e ciclos sucessivos de autoclavagem (121°C, 60 minutos)	Fração quantificada pelo método de Bradford. Representava a quantidade total de proteína no solo, tanto na superfície como no interior dos agregados
Immunoreactive Easily Extractable Glomalin (glomalina facilmente extraível imuno-reativa)	IREEG	-	Parte da fração EEG que exhibe imunoreatividade com um anticorpo em ensaio de ELISA
Immunoreactive Total Glomalin (glomalina total imuno-reativa)	IRTG	-	Parte da fração TG que exhibe imunoreatividade com um anticorpo em ensaio de ELISA

Fonte: WRIGHT; UPADHYAYA, 1998

A determinação da glomalina se dá mais frequentemente pela extração em citrato de sódio e análise pelo reagente de Bradford ou por ELISA (JANOS *et al.*, 2008; ROSIER *et al.*, 2006; WRIGHT; UPADHYAYA, 1998). A maioria das pesquisas que vêm sendo desenvolvidas, inclusive no Brasil, envolve quantificação de glomalina em amostras de solo. Trata-se, portanto, de um método indireto. Isso requer cautela, ao estabelecer correlações entre glomalina e outros atributos do solo.

Para Rilling *et al.* (2003), em função de seus benefícios para o solo e para o meio ambiente, é importante aumentar o teor de glomalina no solo, o que pode ser feito por meio de práticas agrícolas que beneficiem o estabelecimento da micorriza arbuscular.

### 2.3.2 Níveis críticos de propágulos de FMAs

A diversidade, a densidade e o potencial de infectividade dos propágulos de FMA no solo estão relacionados indiretamente com as condições ecológicas de cada ecossistema (MAIA; TRUFEM, 1990) e diretamente com a fisiologia do fungo (MORTON, 1993), estando a colonização micorrízica ligada ao genótipo da planta e do fungo, assim como ao ambiente.

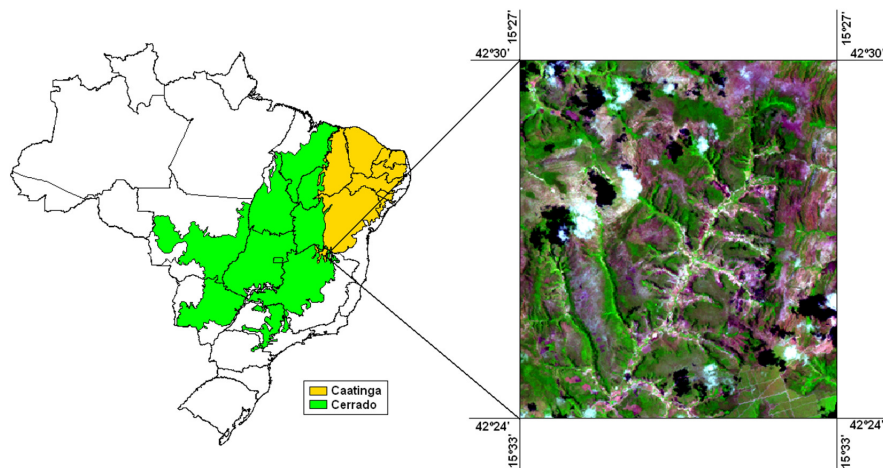
Em regiões áridas e semiáridas, por exemplo, a baixa fertilidade dos solos gera elevada dependência das plantas pelos FMAs, que minimizam os estresses hídricos e a deficiência de nutrientes, como explicam Tarafdar e Praveen-Kumar (1996).

Sieverding (1991) considerou como nível crítico de deficiência de propágulos de FMA no solo, aquele abaixo do qual não há resposta do hospedeiro. Assim, esse nível varia de acordo com a espécie de fungo e o grau de dependência da planta à micorrização. Dessa forma, é difícil separar os fatores mais importantes nessa interação, embora esteja definido que, em campo, as concentrações de propágulos de FMAs são correlacionadas, principalmente, com a cobertura vegetal e às condições do solo.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Áreas de estudo

A presente pesquisa foi realizada no município de Rio Pardo de Minas, na Comunidade Água Boa 2 (FIG. 1). Aproximadamente 10% do total de propriedades agrícolas representativas dessa comunidade, cujos sistemas de produção variam entre agricultura de baixo uso de insumos e transição para a agricultura de base ecológica, foram as áreas de estudo do presente trabalho. Com base em estudos anteriores conduzidos por Correia (2005), Machado (2007) e Fernandes (2008), nessa comunidade, foram selecionadas 7 propriedades ou estabelecimentos agrícolas como objeto de estudo, situadas(os) de acordo com as seguintes coordenadas geográficas, em UTM: propriedade 1 (774079 L e 8284504 N); propriedade 2 (774060 L e 8283115 N); propriedade 3 (773882 L e 8282741 N); propriedade 4 (774481 L e 8283653 N); propriedade 5 (774651 L e 8283741 N); propriedade 6 (775318 L e 8285331 N) e propriedade 7 (775558 L e 8283422 N).



**FIGURA 1** - Localização do município de Rio Pardo de Minas - MG e da Comunidade Água Boa 2

A comunidade está localizada em área de transição entre os biomas cerrado e caatinga, cujo clima já é considerado semiárido (precipitação e temperatura com médias de 890 mm/ano e 24° C, respectivamente), com uma altitude variando de 820 m a 1017 m. Os solos da Comunidade Água Boa 2 foram classificados como Cambissolos Flúvicos, Neossolos Flúvicos e Gleissolos Háplicos, todos situados próximos aos cursos d'água, em área de relevo plano a suave ondulado cuja textura varia de arenosa a média (CORREIA, 2005).

As características gerais dos sistemas de produção das propriedades estabelecidas por meio de diagnóstico das práticas de manejo (FERNANDES, 2008) são apresentadas no QUADRO 2.

## QUADRO 2

### Principais características das propriedades e subsistemas amostrados

Propriedade	Principais atividades produtivas	Nível tecnológico	Subsistemas amostrados	Sistema de produção
1	Diversas espécies frutíferas, hortaliças, espécies anuais, perenes e semiperenes	Preparo manual do solo, manejo restos culturais, cultivo em consórcios, rotações, uso esporádico de adubação química, uso de adubação orgânica e caldas naturais	Lavouras de milho, cana e pequena área de café sombreado por ingá	Transição
2	Diversas espécies frutíferas, hortaliças, espécies anuais, perenes e semiperenes	Preparo manual do solo, manejo restos culturais, cultivo em consórcios, rotações, uso esporádico de adubação química, uso de adubação orgânica e caldas naturais	Plantio de cana; faixas cultivadas com milho e outras em pousio; lavoura de mandioca; plantio de mandioca consorciada com abacaxi	Transição
3	Poucas espécies frutíferas, hortaliças, espécies anuais, perenes e semiperenes	Preparo manual do solo, manejo restos culturais, cultivo em consórcios, rotações, uso esporádico de adubação química, uso de adubação orgânica e caldas naturais	Lavouras de feijão, mandioca e guandu	Transição
4	Poucas espécies frutíferas, hortaliças, espécies anuais, perenes e semiperenes	Preparo manual do solo, manejo restos culturais, cultivo pouco diversificado, uso esporádico de adubação química	Lavoura de mandioca	Baixo uso de insumos externos
5	Poucas espécies anuais, perenes e semiperenes	Preparo manual do solo, eventuais queimas de restos culturais, cultivo pouco diversificado	Faixas cultivadas com milho e mandioca	Baixo uso de insumos externos
6	Poucas espécies frutíferas, hortaliças, espécies anuais, perenes e semiperenes	Preparo manual do solo, cultivo pouco diversificado	Lavoura de feijão catador	Baixo uso de insumos externos
7	Poucas espécies frutíferas, hortaliças, espécies anuais, perenes e semiperenes	Preparo manual do solo, manejo restos culturais, cultivo em consórcios, rotações, uso esporádico de adubação química	Plantio de guandu consorciado com mandioca	Transição

### **3.2 Amostragem e coleta de solo**

As amostragens foram realizadas em abril de 2010, no final do período chuvoso na região, quando foram coletadas em cada propriedade, com a participação dos agricultores, amostras de solo em pontos e áreas considerados por eles como sendo as principais lavouras ou subsistemas de produção, cujas coordenadas geográficas foram coletadas por meio de receptores GPS.

Cada subsistema foi dividido em 3 partes ou subáreas, segundo gradiente de declividade. Em cada uma dessas 3 partes, coletaram-se, aleatoriamente, 8 subamostras, na camada de 0-20 cm de profundidade, em pontos contidos dentro e fora da região de abrangência da rizosfera das espécies vegetais. Essas 8 sub-amostras de cada subárea foram então homogeneizadas, dando origem a uma amostra composta de cada subárea, que foi destinada às análises química (macro e micronutrientes) e física (granulometria) do solo, conforme Embrapa (1997) e à extração da glomalina (WRIGHT; UPADHYAYA, 1996). Portanto, de cada subsistema ou lavoura, foram obtidas 3 amostras compostas constituídas de 8 pontos de coleta. Seguindo esse mesmo padrão de amostragem, também coletou-se solo apenas da porção rizosférica das plantas, sendo esse solo destinado à avaliação de densidade de esporos (GERDEMANN; NICOLSON, 1963) e de potencial de inóculo de fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) (MOORMAN; REEVES, 1979; SIEVERDING, 1991). As amostras foram acondicionadas em sacos plásticos e encaminhadas ao Laboratório de Análise de Solos do Instituto de Ciências Agrárias da UFMG, em Montes Claros-MG e ao Laboratório de Micorrizas da Embrapa Cerrados em Planaltina-DF, para a realização das análises química e física e determinações de FMAs, respectivamente.

### **3.3 Determinação da densidade de esporos**

As amostras de solo rizosférico originais foram peneiradas (malha de 2 mm) e, dessas, foram retiradas duas subamostras de 50 ml para a extração e

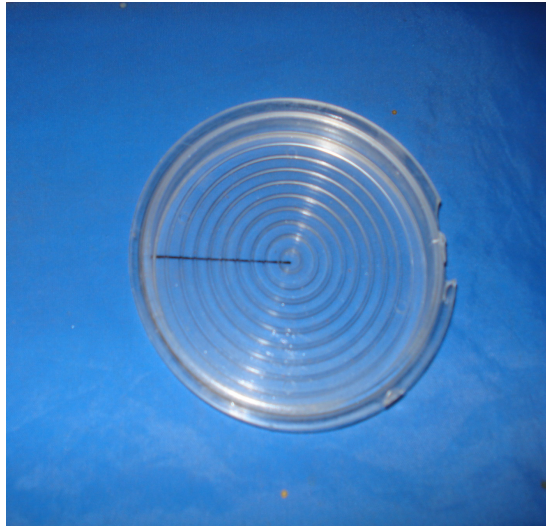
o isolamento dos esporos de FMAs, utilizando-se a metodologia de peneiramento úmido, adaptada de Gerdemann e Nicolson (1963) e de Coolen (1979), descrita por Miranda (2008).

Essas subamostras foram homogeneizadas em aproximadamente 700 ml de água, em um becker de 1000ml, com auxílio de um agitador mecânico, a 200 rpm por 10 minutos e, posteriormente, deixado em repouso por 10 segundos. O sobrenadante foi cuidadosamente vertido sobre peneiras de malha 710  $\mu\text{m}$  e 53  $\mu\text{m}$ , acopladas em ordem decrescente, retendo-se o material pesado no fundo do becker. O processo foi repetido por mais quatro vezes, descartando-se, finalmente, o resíduo.

O material retido na peneira de 53  $\mu\text{m}$  foi recolhido em água destilada e transferido para um tubo de centrifugação de 60 ml. Adicionou-se ao tubo, em seqüência, 1g de caulim, submetendo-o à agitação a 200 rpm por 2 minutos, para homogeneização. Após centrifugação a 200 rpm, por 2 minutos, os esporos permaneceram presos ao fundo do tubo pelo efeito do caulim e o sobrenadante foi descartado.

Após a eliminação do sobrenadante, a suspensão dos esporos foi realizada, adicionando-se uma solução de sulfato de magnésio ( $D= 1200$ ). Após homogeneização mecânica, o tubo foi centrifugado a 2000 rpm por 5 minutos e o sobrenadante, transferido para peneira de 53  $\mu\text{m}$ . Posteriormente, o material da peneira foi lavado com água destilada, com o auxílio de uma piceta, e transferido para placas canaletadas para a observação e a contagem dos esporos, com o auxílio de microscópio estereoscópico.

A densidade de esporos, expressa em números de esporos/50 ml do solo, de cada subsistema ou lavoura, foi obtida pela média do número de esporos em cada ponto de coleta.



**FIGURA 2** - Placa canaletada para observação e contagem de esporos de fungos micorrízicos

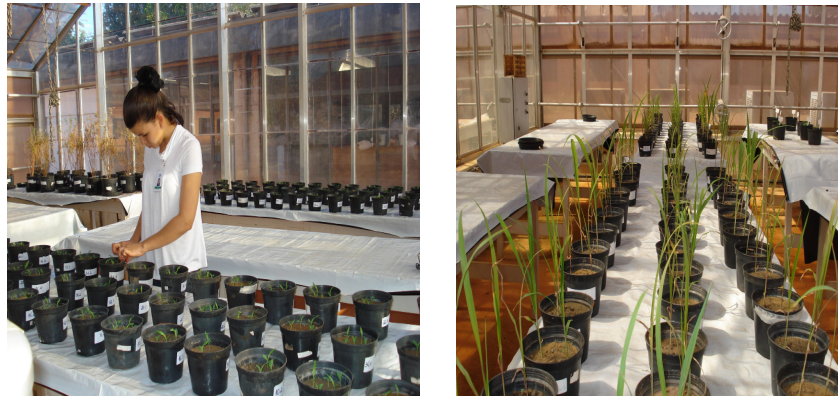
### **3.4 Determinação do potencial de inóculo micorrízico (MIP)**

As amostras de solo coletadas nas sete propriedades foram empregadas na estimativa do potencial de inóculo de FMAs pelo método proposto por Moorman e Reeves (1979) e descrito em Sieverding (1991), denominado “potencial médio de infecção”, por meio de bioensaio em casa de vegetação. Foram propostas adaptações na metodologia original, que prevê diluições e amostragens em intervalos regulares de tempo (30, 60 e 90 dias, correspondendo a 4, 8 e 12 semanas), a partir da contagem do número de esporos nas amostras originais, considerada baixa em algumas situações, indicando reduzido potencial de inóculo. Optou-se, portanto, para a presente pesquisa, não realizar as diluições no solo original e efetuar a coleta das raízes para a determinação da colonização por volta da 10<sup>a</sup> semana após a semeadura da planta-teste.

Assim, o bioensaio foi conduzido conforme descrição a seguir. Duas replicatas de cada uma das três amostras de solo rizosférico das áreas de cada área foram acondicionadas em vasos de 600 cm<sup>3</sup>, onde foram colocadas 5 sementes de sorgo (*Sorghum bicolor*), escolhida como planta

teste micotrófica. Os tratamentos foram dispostos em delineamento inteiramente casualizado, com 3 repetições. A irrigação foi realizada diariamente, com água destilada, conforme necessidade das plantas. Foram mantidas 3 plantas por vaso após o desbaste e a parcela experimental foi constituída das duas replicatas de cada amostra das 7 áreas, totalizando 84 vasos.

As raízes das plantas foram colhidas após um período de 10 semanas e a porcentagem de infecção das raízes foi quantificada. As raízes foram clarificadas com KOH, acidificadas com HCl e coradas com azul de tripano, seguindo a metodologia proposta por Phillips e Hayman (1970). A porcentagem de colonização das raízes foi determinada pelo método da interseção em placas sob microscópio estereoscópico, conforme metodologia de Giovanetti e Mosse (1980), modificada por Miranda (2008).



**FIGURA 3** - Implantação de bioensaio em casa de vegetação

### **3.5 Identificação das espécies de fungos micorrízicos arbusculares (FMAs)**

Para a identificação das espécies, foram retiradas amostras do solo usado no bioensaio e solo proveniente de culturas-armadilha. As culturas-armadilha foram preparadas, adaptando-se a metodologia descrita em Miranda (2008) com os solos de cada área misturados com areia esterilizada,

na proporção de 1:1 (1 parte de solo rizosférico: 1 parte de areia), usando como hospedeiros sorgo e estilosantes, em vasos mantidos em casa de vegetação, por 3 meses.

Os esporos provenientes do solo dos vasos-armadilha foram extraídos, conforme descrição anterior e foram montados em lâminas com PVLG (álcool polivinílico em lactoglicerol) ou com reagente de Melzer e PVLG, na proporção 1:1 e observados ao microscópio. Na identificação das espécies, realizada pelo técnico Itamar Garcia Ignácio no Laboratório de Micorrizas da Embrapa Agrobiologia, em Seropédica-RJ, optou-se por uma abordagem mais conservativa ao identificá-las. Para tanto, foram consultados o Manual para Identificação de Fungos Micorrízicos Arbusculares (SCHENCK; PÉREZ, 1990) e a página da Coleção Internacional de Fungos Micorrízicos Arbusculares.

A partir da distinção morfológica dos esporos por espécie, estimou-se segundo Sturmer e Siqueira (2010), a riqueza específica, por meio do Índice de Margalef ( $D_{mg} = S-1/\ln N$ ), que estima a diversidade de espécies que ocorre em cada tratamento (cultivo e/ou propriedade), onde S é o número total de espécies de FMAs e N, o número total de esporos de FMAs; a frequência de ocorrência das espécies, que descreve a porcentagem de amostras, a partir das quais uma espécie particular foi recuperada) e a classificação de espécies, conforme metodologia proposta por Zhang *et al.* (2004), em dominantes ( $FO > 50\%$ ), muito comuns ( $30\% < FO \leq 50\%$ ), comuns ( $10\% < FO < 30\%$ ) e raras ( $FO \leq 10\%$ ) e a densidade de esporos ( $n^\circ$  esporos/unidade de volume de solo).

### **3.6 Determinação da glomalina facilmente extraível**

Na presente pesquisa, a fração determinada foi a EE-BRSP (Proteína facilmente extraível reativa pelo método de Bradford). A extração da glomalina (EE-BRSP) das amostras de solo foi realizada com citrato de sódio e, posteriormente, quantificada pela reação de Bradford, seguindo a metodologia de Wright e Upadhyaya (1996). Essa determinação foi realizada

no Laboratório de Microbiologia do solo da Embrapa Cerrados, em Planaltina-DF.

Amostras de solo de cada propriedade foram pesadas e colocadas em estufa a 60° C, por 48 horas, para secagem. Em seguida, pesou-se 1 g de solo em tubos Falcon, com capacidade para 50 ml. Foram feitas replicatas de cada amostra de solo. Adicionaram-se 8 ml de tampão citrato de sódio 20 mM, pH 7,0, em cada tubo, os quais foram autoclavados por 30 minutos a 121° C. Em seguida, os frascos foram centrifugados a 5000 rpm por 10 minutos.

Para determinar a concentração de glomalina (EE-BRSP), pipetaram-se 100 µL do extrato em tubo de ensaio, adicionando-se 2 ml do reagente de Bradford aos tubos. Após esse procedimento, os tubos foram levados para agitação em vortex, aguardando-se 10 minutos para iniciar leitura de absorbância em espectrofotômetro a 595 nm.

### **3.7 Análises estatísticas**

Os dados de contagem de esporos dos FMAs foram transformados em  $[\log (x + 1)]$  e os de porcentagem de colonização, em  $\arcsen (x/100)^{0,5}$  antes das análises estatísticas. As médias relacionadas às variáveis densidade de esporos e teor de glomalina foram submetidas à análise de variância e comparação de médias pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. Já as médias dos dados de porcentagem de colonização foram comparadas pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade. Correlações entre as determinações de FMAs e atributos químicos e físicos do solo foram realizadas por meio do coeficiente de correlação de Pearson e teste t.

## **4 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **4.1 Caracterização química e física de solos sob cultivos em propriedades agrícolas da comunidade Água Boa 2:**

A fertilidade dos solos das áreas estudadas, de maneira geral, apresentou-se baixa. Os resultados das análises de solo das 7 propriedades encontram-se na TAB. 1.

**TABELA 1**

Características químicas e físicas dos solos das áreas das principais lavouras em 7 propriedades agrícolas familiares da Comunidade Água Boa 2, em Rio Pardo de Minas-MG

ATRIB. DO SOLO	PROPRIEDADES AGRÍCOLAS													
	1		2		3		4		5		6		7	
	milho	cana	café	cana	milho e pousio	mandioca	mandioca e abacaxi	feijão	mandioca	guandu	mandioca	milho e mandioca	feijão catador	guandu e mandioca
pH água	6,1A	6,4A	4,6Bx	6,1A	6,3A	7,6MA	6,2A	7,2MA	6,0B	6,2A	5,3Bx	5,4Bx	5,6B	6,1A
P	5,0MBx	2,4MBx	2,9MBx	1,1MBx	2,5MBx	30,0M	2,7MBx	23,1M	5,3MBx	3,5MBx	3,9MBx	3,0MBx	1,3MBx	1,0MBx
P rem	35B	18,6Bx	27,3M	33,4B	35,8B	33,2B	36,2B	34,2B	34,2B	33,4B	35,7B	35B	33,8B	34B
K	55M	19,6Bx	53,6M	45M	66M	109B	82B	70,3M	44M	39Bx	40,6Bx	51M	113B	64,3M
Ca	2,00M	2,5B	1,2M	2,8B	1,3M	4,0B	2,6B	4,2MB	1,5M	1,5M	1,2M	1,2M	1,2M	1,6M
Mg	1,8MB	1,4B	0,5M	1,6MB	0,9M	1,2B	1,0B	2,3MB	0,9M	1,0B	0,7M	0,6M	0,9M	0,8M
H+Al	2,55M	3,2M	12,4MB	4,9M	1,9Bx	1,0MBx	1,7Bx	1,3Bx	2,0Bx	2,0Bx	5,4B	6,1B	9,3MB	5,2B
SB	4,0B	4,0B	1,9M	4,5B	2,4M	5,5B	3,9B	6,7MB	2,5M	2,6M	2,1M	1,9M	2,4M	2,6M
t	4,0M	4,0M	2,8M	4,5M	2,4M	5,5B	3,9M	6,7B	2,5M	2,6M	2,4M	2,2Bx	2,7M	2,6M
M	0MBx	0MBx	33M	0MBx	0MBx	0MBx	0MBx	0MBx	0MBx	0MBx	14MBx	11,6MBx	10MBx	10MBx
T	6,5M	7,3M	14,4B	9,5B	4,3Bx	6,6M	5,7M	8,0M	4,6M	4,7M	7,5M	8,1M	11,8B	7,8M
V	61,3B	56,3M	14MBx	48M	55M	83MB	68B	83,6MB	55,3M	56M	31,3Bx	25,6Bx	21Bx	34,6Bx
Mat. Org.	3,1M	3,7M	3,7M	4,6B	2,3M	3,5M	3,1M	4,6B	2,5M	2,6M	3,0M	9,3MB	3,4M	3,3M
S	4,3MBx	5,8M	4,7Bx	3,6MBx	2,0MBx	0,9MBx	1,2MBx	1,8MBx	1,2MBx	1,7MBx	3,1MBx	1,4MBx	1,3MBx	1,1MBx
Fe	453,3A	567A	573,3A	300,6A	32,6B	11,3Bx	47,6A	79A	257A	246,6A	329,3A	157,6A	40,3B	41,6B
Cu	1,3B	1,6B	1,6B	1,9A	0,9M	0,9M	1,1M	0,8M	0,8M	0,9M	1,7B	1,5B	1,1M	0,9M
Mn	14,9A	15,3A	22,2A	47,2A	59,1A	79,9A	60,6A	71,5A	29,8A	37,8A	43,5A	31,8A	24,5A	49,8A
Zn	0,6Bx	0,9Bx	1,6B	1,8B	1,4M	2,7A	2,1B	6,1A	1,8B	2,4A	1,7B	1,8B	0,6Bx	0,9Bx
B	0,1Bx	0,1Bx	0,2Bx	0,1Bx	0,1Bx	0,3Bx	0,2Bx	0,4M	0,1Bx	0,1Bx	0,1Bx	0,1Bx	0,1Bx	0,1Bx
Areia	79,4Ar	83,7Ar	78,8Ar	72Ar	84,7Ar	84,1Ar	83,4Ar	82,7Ar	87,4Ar	86,7Ar	82Ar	74,7Ar	74,1Ar	78,8Ar
Silte	9,3	9,3	8,6	13	7,3	9,3	9,3	10	6,6	7,3	10,0	17,3	15,3	10,6
Argila	11,3	10	12,6	15	8,0	6,6	7,3	7,3	6,0	6,0	8,0	8,0	10,6	10,6

\*P (Mehlich), P rem: mg/l; K: mg/kg; Ca, Mg, Al, H+Al, SB, t, T: cmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup>; m, V: % e matéria orgânica, areia, silte e argila: dag/kg; Micronutrientes: mg/dm<sup>3</sup>. MBx: Mto baixo, Bx: baixo, B: bom, M: médio, MB: muito bom, MA: muito alto, A: alto, Ar: arenoso

Conforme levantamento realizado por Correia (2005), os solos mais cultivados na comunidade são Cambissolos Flúvicos, Neossolos Flúvicos e Gleissolos Háplicos, todos situados próximos aos cursos d'água, em área de relevo plano a suave ondulado, apesar de, naturalmente, apresentarem baixa fertilidade.

Tratando-se dos valores de pH, há classes de reação, nas quais os solos são inseridos em função do pH medido em água e, para o estado de Minas Gerais, são estabelecidos 7 níveis (ALVAREZ *et al.*, 1999), dentro dos quais as amostras de solo das propriedades foram enquadradas (TAB. 1).

Nas propriedades analisadas, as amostras de solo estiveram distribuídas entre os níveis de acidez elevada, média e fraca ou de alcalinidade fraca. A maioria das amostras coletadas apresentou acidez média. O menor valor de pH encontrado entre as amostras foi 4,6 (acidez elevada) e o valor máximo foi de 7,6 (alcalinidade fraca).

Embora tenha apresentado certa variação, o pH dos solos amostrados não se constituiu em fator limitante para a produtividade dos solos estudados, uma vez que a maioria inseriu-se na faixa adequada, que, segundo Alvarez *et al.* (1999), compreende os valores de 5,5 a 6,0.

Para o estado de Minas Gerais, são utilizados 5 níveis para a interpretação geral dos valores de Al trocável, bem como de H + Al, fornecidos pelas análises de solo (ALVAREZ. *et al.*, 1999).

Os teores muito baixos de Al foram encontrados em maior proporção (93%). Quanto aos teores de H + Al, houve variação nos níveis de muito alto a muito baixo (TAB. 1). Os baixos valores de alumínio trocável contribuíram para os níveis considerados adequados de pH, valores esses, diferentes daqueles encontrados para a maioria dos solos de Minas Gerais e, notadamente, para os da região de vegetação de cerrado, que, geralmente, apresentam elevada acidez e altos valores de alumínio trocável (ALVAREZ *et al.*, 1999). Os valores adequados de pH, certamente, são uma condição favorável à produtividade das lavouras, sobretudo em sistemas com baixo uso de insumos, como os da Comunidade Água Boa 2.

Para a interpretação dos teores de fósforo (P) Mehlich 1, potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) encontrados nas análises, foram utilizadas as

classes gerais de fertilidade estabelecidas para o estado de Minas Gerais. Para a interpretação da disponibilidade de P, devem ser utilizadas medidas relacionadas à capacidade tampão, como o teor de argila ou o valor de fósforo remanescente dos solos (ALVAREZ *et al.*, 1999).

Para os valores de fósforo remanescente (P rem), verificou-se que 85% das amostras apresentaram valores superiores a 30 mg.l<sup>-1</sup> (TAB. 1). Quanto maior o valor de P rem de um solo, menor a capacidade de fixação de fosfatos do mesmo, em função do teor de argila e da mineralogia dessa fração. Pelos valores de P rem das amostras, pode-se inferir que os solos apresentaram moderada a baixa capacidade de adsorção de fósforo.

Na TAB. 1, é apresentada também a classificação de fertilidade do solo quanto à disponibilidade de fósforo para as plantas (P Mehlich 1), em função dos respectivos valores de P rem. Verifica-se que a maioria das amostras apresentou muito baixa disponibilidade de P para as plantas pelo extrator Mehlich 1, ou seja, alta resposta à adubação fosfatada.

A deficiência desse elemento constituiu-se um dos principais problemas de fertilidade dos solos das áreas amostradas na Comunidade Água Boa 2. Para Sousa e Lobato (2002), essa situação condiz com a realidade dos solos da região do cerrado. Os baixos teores do nutriente nas áreas podem ser explicados pela baixa reserva de nutrientes comum aos solos dominados mineralogicamente pelo quartzo e pelos teores medianos de matéria orgânica nessas áreas.

Em termos de adubação fosfatada, considerando-se a textura mais arenosa (TAB. 1) e os valores médios de P rem, ou seja menor capacidade de adsorção de P pela fração argila, espera-se uma menor fixação de fósforo, proveniente dos fertilizantes minerais ou orgânicos. Nessas condições, espera-se um menor tempo para elevar a disponibilidade de fósforo de muito baixa para boa, com o manejo da fertilidade.

Para a disponibilidade de K, a maioria das amostras apresentou teores próximos da faixa considerada adequada, que, para Alvarez *et al.* (1999), compreende os valores de 31 a 40 mg/dm<sup>3</sup>, caso a capacidade de troca catiônica (CTC) a pH 7,0 seja menor e 51 a 80 mg/dm<sup>3</sup>, caso a CTC a pH 7,0 seja maior ou igual a 4,0 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>.

Em conformidade com as classes de interpretação para o Estado de Minas Gerais (ALVAREZ, V. *et al.*, 1999), as amostras apresentaram níveis de K que variaram de baixos a bons. Para Correia (2005), os teores consideráveis de K nos solos da comunidade estão relacionados ao material de origem, predominantemente formado por quartzitos micáceos e xistos diversos, inclusive intercalações de filitos, que constituem fontes de potássio. Considerando-se que esses solos são boa parte produto de transporte flúvio lacustre de sedimentos, sendo pouco desenvolvidos pedogeneticamente, a contribuição de fragmentos de rocha passa a ser significativa.

Para Ca e Mg, as áreas amostradas apresentaram teores que variaram de médios a muito bons, de acordo com as classes de interpretação definidas para o estado de Minas Gerais (ALVAREZ. *et al.*, 1999). Nesse caso, a necessidade de correção para ajuste desses valores e de problemas de acidez observados seria uma prioridade apenas em casos pontuais, onde os valores desses elementos foram mais baixos. Para tanto, as dosagens de corretivos devem ser cuidadosamente calculadas.

Nesses solos, os teores de Mg apresentaram-se um pouco mais adequados do que os teores de Ca (TAB. 1), demonstrando que cuidados devem ser tomados, quando da recomendação de calagens, procurando utilizar o calcário adequado, conforme o caso.

Pelos valores estabelecidos para o estado de Minas Gerais (ALVAREZ *et al.*, 1999), as amostras apresentaram valores de soma de bases (S) que variaram de médios a muito bons (TAB. 1). Esses valores são considerados adequados, no entanto esses solos devem ser cuidadosamente manejados. Práticas que possibilitem a manutenção desses cátions no solo, como o aumento dos teores de matéria orgânica, são fundamentais.

Os valores obtidos para a CTC também são comparados aos estabelecidos para o Estado de Minas Gerais (ALVAREZ *et al.*, 1999), dentre os quais, a maioria das amostras apresentou valores médios (TAB. 1), tanto para a CTC efetiva (t) quanto para a CTC a pH 7,0 (T).

Segundo Sousa e Lobato (2002), a manutenção dos cátions  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$ , na camada arável do solo, depende, diretamente, da geração de cargas negativas na superfície de minerais e constituintes orgânicos do solo.

Como os solos do cerrado são bastante intemperizados, sua fração argila é pobre em cargas e uma CTC adequada depende, em essência, da matéria orgânica do solo. Isso é especialmente importante em solos arenosos, como os da Comunidade Água boa 2, cujos teores de argila são baixos e os nutrientes são mais facilmente perdidos pela lixiviação.

Os valores de saturação por bases (V), atribuídos às amostras também são especificados na TAB. 1, sendo que, aproximadamente, metade das amostras apresentou valores superiores a 50%. A caracterização desses solos que apresentaram  $V > 50\%$  como eutróficos não apresentou relação direta com os teores de argila. Duas áreas apresentaram saturação por bases correspondentes a 83 e 83,6%, no entanto apresentaram teores de argila correspondentes a 6,6 e 7,3 dag/kg, respectivamente.

Conforme Correia (2005), os teores mais elevados de areia na maioria desses solos não permitem utilizar a saturação de bases e saturação de alumínio como referência de fertilidade, uma vez que, nessa textura, esses valores não permitem exprimir a riqueza em nutrientes desses solos. No entanto, como será discutido adiante, os solos apresentam teores significativos de matéria orgânica, que podem ser responsáveis pelos valores de CTC e de saturação por bases encontrados na presente pesquisa.

Para a interpretação dos resultados das análises de solo, quanto aos níveis de matéria orgânica no estado de Minas Gerais, foram estabelecidos níveis descritos em Alvarez *et al.* (1999). Considerando-se esses níveis, a maioria das amostras apresentou teores considerados médios de matéria orgânica (TAB. 1).

A maioria dos agricultores da Comunidade Água Boa 2 aproveita os restos culturais para a incorporação ao solo. Alguns utilizam pequenas quantidades de adubação orgânica, o que pode ter contribuído para os valores de matéria orgânica encontrados. Esses teores poderiam ter sido mais elevados, se as culturas normalmente implantadas nessas propriedades fornecessem uma quantidade maior de resíduos. A granulometria mais grosseira, comum aos solos da comunidade e as condições climáticas locais induzem a uma decomposição completa e relativamente rápida, tornando-se

necessário um volume considerável desse material para que os solos atinjam níveis mais elevados de matéria orgânica.

Atributos como a CTC e a retenção de umidade são altamente favorecidos pela presença da matéria orgânica. Nesse sentido, maiores cuidados de manejo são exigidos e, para isso, práticas como o manejo adequado dos restos culturais, a adubação verde, a utilização de plantas de cobertura e a rotação de culturas devem merecer especial atenção nessas áreas.

Entre os micronutrientes, predominaram altas concentrações de ferro (Fe) e manganês (Mn), indicando problemas de toxidez, em algumas áreas. A maior parte das amostras apresentou níveis de cobre (Cu) bons e médios. Enxofre (S), zinco (Zn) e boro (B) foram os micronutrientes cujas concentrações foram mais baixas em todas as áreas, conforme classificação de Alvarez *et al.* (1999).

Para os solos das áreas estudadas, a contribuição do material de origem, onde predominam quartzitos micáceos e xistos diversos, com intercalações de filitos, parece ter sido significativa, já que esses solos não receberam nenhum tipo de adubação química e a contribuição da adubação orgânica parece ter sido mínima, uma vez que ainda é pouca utilizada pelos agricultores.

As amostras foram agrupadas em classes texturais, de acordo com os critérios adotados no estado de Minas Gerais (ALVAREZ *et al.*, 1999) e a distribuição das classes texturais se deu, conforme TAB. 1, dentre as quais, todas as amostras apresentaram textura arenosa.

Em trabalho realizado na região de estudo, Correia (2005) constatou a predominância de quartzitos e xistos diversos, materiais característicos de rochas do Supergrupo Espinhaço, mostrando a forte relação existente entre a granulometria grosseira predominante nos solos da comunidade e o material de origem. Possivelmente, esse atributo tenha exercido influência significativa sobre os demais atributos avaliados, sobretudo na disponibilidade de macronutrientes e nos teores de matéria orgânica.

De maneira geral, a textura apresentou-se como parâmetro bastante utilizado pelos agricultores na diferenciação das áreas de plantio, as quais se

caracterizaram, basicamente, por áreas de baixada e de tabuleiro, com predominância de camadas distintas de granulometria. A maior diferenciação nas proporções granulométricas ocorreu em áreas de baixadas, certamente, influenciada pela posição do solo na paisagem, caracterizando áreas de acúmulo de sedimentos.

Observou-se, pelos relatos dos agricultores, que essas eram preferidas para o uso agrícola, pois estavam, quase sempre, associadas à presença de umidade. Estudando a relação entre o relevo e as classes texturais do solo numa microbacia do agreste paraibano, Santos *et al.* (2002) observaram situação semelhante, em que os agricultores preferiam áreas menos declivosas, nas quais predominava textura mais grosseira para o cultivo de culturas anuais (milho, feijão e mandioca). Essa preferência se deu não só pela menor declividade, como também por serem áreas de acúmulo de sedimento (solos mais férteis), pela facilidade de preparo do solo e por manterem a umidade por períodos mais longos.

A textura é um dos mais estáveis atributos dos solos e possui grande impacto na disponibilidade de nutrientes e retenção de água. Daí a necessidade de manejo adequado que permita promover agregação, acumulação de matéria orgânica e retenção de água.

#### **4.2 Ocorrência de fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) nas propriedades agrícolas sob diferentes cultivos e manejos:**

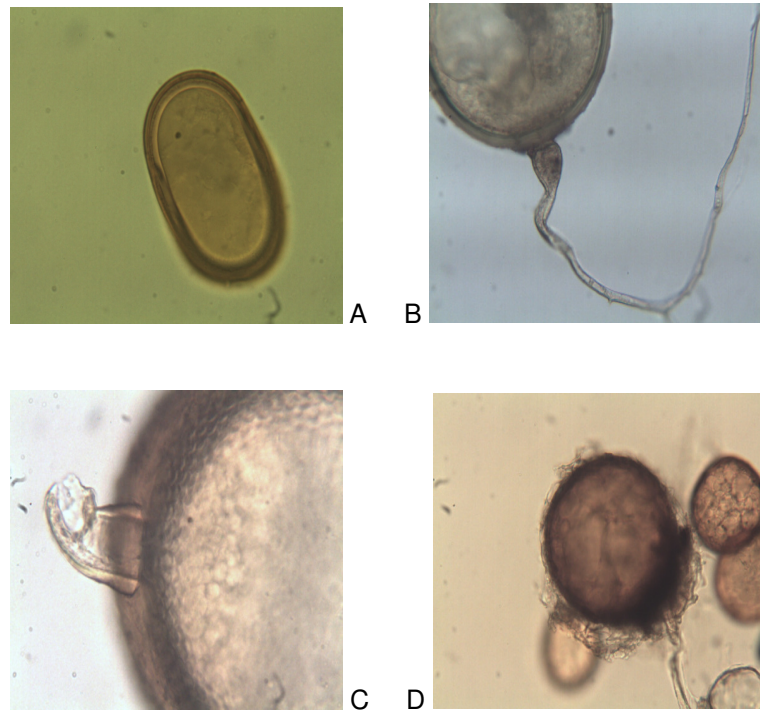
Um total de 31 espécies de FMAs foram recuperadas de 42 amostras de solo provenientes das 7 propriedades amostradas (TAB. 2), das quais 10 foram identificadas como espécies pertencentes à família *Acaulosporaceae*, 1 espécie não conhecida da família *Ambisporaceae*, 1 espécie da família *Archeosporaceae*, 10 espécies da família *Glomeraceae*, 9 espécies da família *Gigasporaceae*, conforme ilustra a FIG. 4.

TABELA 2

Espécies isoladas e riqueza específica de FMAs sob diferentes cultivos em propriedades agrícolas da Comunidade Água Boa 2

ESPÉCIES	PROPRIEDADES														NS	
	1			2				3			4	5	6	7		
	*Mi	Ca	Cf	Ca	MP	Ma	MA	Fe	Ma	Gu	Ma	MM	Fe	GM		
<i>Acaulospora scrobiculata</i>	x		x	x	x	x	x	x	x	x		x	x	x	x	13
<i>Acaulospora rehmi</i>	x				x				x	x					x	5
<i>Acaulospora laevis</i>	x															1
<i>Acaulospora sp.</i>		x		x												2
<i>Acaulospora foveata</i>			x													1
<i>Acaulospora alpina</i>			x						x							2
<i>Acaulospora mellea</i>		x		x		x		x								4
<i>Acaulospora tuberculata</i>						x			x		x				x	4
<i>Acaulospora undulata</i>						x										1
<i>Acaulospora cavernata</i>						x										1
<i>Ambispora sp.</i>								x				x				2
<i>Archeospora leptoticha</i>				x			x	x	x				x	x		6
<i>Entrophospora colombiana</i>	x			x												2
<i>Entrophospora sp.</i>	x															1
<i>Glomus microaggregatum</i>		x					x									2
<i>Glomus diaphanum</i>			x									x				2
<i>Glomus formosanum</i>						x										1
<i>Glomus clarum</i>	x	x											x			3
<i>Glomus claviforme</i>	x				x	x	x									4
<i>Glomus etunicatum</i>	x	x	x		x	x	x	x	x	x	x		x	x	x	12
<i>Glomus macrocarpum</i>			x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	12
<i>Glomus tortuosum</i>	x	x	x			x		x				x				6
<i>Glomus sp.</i>			x													1
<i>Glomus lamellosum</i>												x				1
<i>Gigaspora sp.</i>				x	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	10
<i>Scutellospora heterogama</i>	x	x	x	x	x	x	x			x	x	x				10
<i>Scutellospora pellucida</i>							x									1
<i>Scutellospora gregária</i>							x	x		x						3
<i>Scutellospora sp.</i>				x												1
<i>Scutellospora fulgida</i>	x	x		x	x	x	x		x	x	x	x	x	x	x	12
<i>Scutellospora calospora</i>				x	x				x				x			4
<b>Nº de espécies</b>	11	7	10	11	10	13	11	9	10	9	8	9	8	8		
<b>Índice de Margalef</b>	1,36	0,74	1,19	1,68	1,44	1,55	1,31	0,99	1,07	1,04	1,19	1,03	1,14	0,93		

\*Mi – Milho; Ca – Cana; Cf – Café; MP – Milho/Pousio; Ma – Mandioca; MA – Mandioca/Abacaxi; Fe – feijão; Gu – Guandu; MM – Milho/Mandioca; GM – Guandu/Mandioca; NS – Número de subsistemas em que a espécie foi encontrada.



**FIGURA 4** - Esporos de espécies de FMAs identificadas; *Acaulospora mellea* (A); *Gigaspora* sp. (B); *Archeospora leptoticha* (C); *Glomus tortuosum*. (D)

A relação das espécies de FMAs e os respectivos sistemas em que foram detectadas, bem como a riqueza específica encontram-se relacionados na Tabela 2. Os gêneros *Acaulospora*, *Glomus* e *Scutellospora* representaram 84% de todas as espécies, cuja ocorrência foi registrada na maioria dos cultivos avaliados. A mandioca foi o cultivo sob o qual observou-se o maior número de espécies. A espécie *Acaulospora scrobiculata* ocorreu em todos os cultivos, à exceção do cultivo de cana na propriedade 1. Nove espécies foram identificadas uma única vez em um ou outro cultivo.

Na propriedade 1, foram identificadas 19 espécies diferentes: *Acaulospora scrobiculata*, *Acaulospora rehmi*, *Acaulospora laevis*, *Acaulospora* sp., *Acaulospora foveata*, *Acaulospora alpina*, *Acaulospora mellea*, *Entrophospora colombiana*, *Entrophospora* sp., *Glomus microaggregatum*, *Glomus diaphanum*, *Glomus clarum*, *Glomus clavisporum*,

*Glomus etunicatum*, *Glomus macrocarpum*, *Glomus tortuosum*, *Glomus sp.*, *Scutellospora heterogama*, *Scutellospora fulgida*.

Na propriedade 2, foram identificadas 22 espécies diferentes: *Acaulospora scrobiculata*, *Acaulospora rehunii*, *Acaulospora sp.*, *Acaulospora mellea*, *Acaulospora tuberculata*, *Acaulospora undulata*, *Acaulospora cavernata*, *Archeospora leptoticha*, *Entrophospora colombiana*, *Glomus microaggregatum*, *Glomus formosanum*, *Glomus clavisporum*, *Glomus etunicatum*, *Glomus macrocarpum*, *Glomus tortuosum*, *Gigaspora sp.*, *Scutellospora heterogama*, *Scutellospora pellucida*, *Scutellospora gregária*, *Scutellospora sp.*, *Scutellospora fulgida*, *Scutellospora calospora*.

Na propriedade 3, foram identificadas 15 espécies diferentes: *Acaulospora scrobiculata*, *Acaulospora rehunii*, *Acaulospora alpina*, *Acaulospora mellea*, *Acaulospora tuberculata*, *Ambispora sp.*, *Archeospora leptoticha*, *Glomus etunicatum*, *Glomus macrocarpum*, *Glomus tortuosum*, *Gigaspora sp.*, *Scutellospora heterogama*, *Scutellospora gregária*, *Scutellospora fulgida*, *Scutellospora calospora*.

Na propriedade 4, foram identificadas 7 espécies diferentes: *Acaulospora scrobiculata*, *Acaulospora tuberculata*, *Glomus etunicatum*, *Glomus macrocarpum*, *Gigaspora sp.*, *Scutellospora heterogama*, *Scutellospora fulgida*.

Na propriedade 5, foram identificadas 9 espécies diferentes: *Acaulospora scrobiculata*, *Ambispora sp.*, *Glomus diaphanum*, *Glomus macrocarpum*, *Glomus tortuosum*, *Glomus lamellosum*, *Gigaspora sp.*, *Scutellospora heterogama*, *Scutellospora fulgida*.

Na propriedade 6, foram identificadas 8 espécies diferentes: *Acaulospora scrobiculata*, *Archeospora leptoticha*, *Glomus clarum*, *Glomus etunicatum*, *Glomus macrocarpum*, *Gigaspora sp.*, *Scutellospora fulgida*, *Scutellospora calospora*.

Na propriedade 7, foram identificadas 8 espécies diferentes: *Acaulospora scrobiculata*, *Acaulospora rehunii*, *Acaulospora tuberculata*, *Archeospora leptoticha*, *Glomus etunicatum*, *Glomus macrocarpum*, *Gigaspora sp.*, *Scutellospora fulgida*.

Estudos de ocorrência dos FMAs em diferentes ecossistemas brasileiros revelam a presença de 79 espécies descritas (CARRENHO *et al.*, 2010; STURMER *et al.*, 2006), das quais em torno de 67% foram registradas em diferentes solos da região dos cerrados (MIRANDA, 2008; STURMER; SIQUEIRA, 2006). Algumas das espécies identificadas também possuem ocorrência registrada em área de semiárido brasileiro, conforme trabalhos realizados por Silva (2000), Yano-Melo (2002) e Perlatti (2010), dentre outros.

O número total de espécies identificadas na presente pesquisa representa aproximadamente 40% do total de espécies descritas em ecossistemas brasileiros. Trata-se de uma porcentagem muito significativa, considerando-se que a área de amostragem foi muito restrita.

Sturmer e Siqueira (2006) realizaram um levantamento em 28 estudos que avaliaram o número de espécies em agrossistemas e constataram a presença de 9 a 25 espécies por estudo, o que evidencia que as comunidades nativas de FMAs são bastante variadas em relação à composição de espécies, pois a ocorrência dessas é influenciada pela vegetação e pelo ambiente.

Na presente pesquisa, a heterogeneidade de espécies encontradas nas áreas amostradas, característica dos diversos ecossistemas brasileiros, encontrada nas áreas estudadas pode, a princípio, se justificar pela característica de transição entre os biomas cerrado e caatinga, onde se localiza a Comunidade Água Boa 2.

Assim, há que se considerar a influência das espécies hospedeiras cultivadas pelos agricultores na seletividade de espécies de FMAs. A maior frequência de algumas espécies pode ser devido à adaptação das mesmas ao ambiente rizosférico das plantas hospedeiras implantadas nos subsistemas.

Embora a simbiose micorrízica seja considerada como não específica, há, entre os fungos micorrízicos e a planta hospedeira, o que se denomina “habilidade discriminatória”, que determina as variações de infectividade, eficiência e efetividade para as combinações fungo, planta e condições ambientais (PAULA *et al.*, 1988).

O índice de Margalef, que estimou a riqueza de espécies em cada cultivo, mostrou maior representatividade, embora considerada baixa (STURMER; SIQUEIRA, 2010), nos subsistemas de cana e mandioca, 1,68 e 1,55, respectivamente, ambos na mesma propriedade 2 (TAB. 2).

A micorrização em cana (SIQUEIRA; FRANCO, 1988) ocorre naturalmente, mas essa se apresenta em menor intensidade, dada a dependência mais baixa da cana à simbiose. No entanto o ambiente de cultivo pode ter apresentado condições propícias à maior diversidade de FMAs. Embora a cultura seja implantada, normalmente, em sistema de cultivo solteiro, a área é rodeada por diversas espécies de plantas nativas do cerrado, como o ingá e o araçá, e cultivadas, como café, feijão, mandioca, frutíferas, guandu, ou seja, é um ambiente muito diversificado e a dependência micorrízica não reflete, necessariamente, a capacidade de multiplicação dos fungos.

Atributos da planta, como comprimento e massa de raízes e relação raiz/parte aérea controlam, além da fertilidade dos solos (sobretudo a disponibilidade de P), a dependência micorrízica, apresentando com essa última uma relação inversa (KOIDE *et al.*, 1988).

Observou-se que, em todos os subsistemas estudados na Comunidade Água Boa 2, os agricultores tendem a introduzir as mesmas culturas nos sistemas de consórcio e rotação, e, mesmo que essas culturas sejam dependentes da simbiose micorrízica, elas podem ter selecionado determinadas espécies de fungos nesses solos, favorecendo uma menor diversidade de espécies de FMAs e condicionando os menores índices observados em cada cultivo ou subsistema.

A predominância dos gêneros *Acaulospora* e *Glomus* na comunidade de FMAs recuperadas dos 14 subsistemas avaliados na Comunidade Água Boa 2 corrobora o que foi observado em outros sistemas tropicais por Souza *et al.* (2003), Sturmer e Siqueira (2006), Zangaro *et al.* (2007) e Sturmer e Siqueira (2010). Esses gêneros são predominantemente mais adaptados a solos submetidos a diferentes variações nos teores de seus atributos, demonstrando serem espécies resistentes a perturbações ambientais, conforme verificado por Fernandes (1987) e Carrenho (1998), inclusive ao

baixo nível de fertilidade dos solos, conforme análises de solo correspondentes (TAB.1), onde se verificam deficiências de nutrientes como o P e alguns micronutrientes.

Outro fator importante que condiciona a ocorrência de FMAs e predominância de determinados gêneros é o pH dos solos. Um estudo relatado em Sieverding (1991) mostra que, em regiões tropicais, em condições de pH < 5,5, predominou a espécie *Entrophospora colombiana*, enquanto que *Glomus mosseae* e *Gigaspora margarita* preferiram solos com pH > 5,5. O mesmo estudo mostra que espécies de *Acaulospora* (*longula*, *morrowae*, *myriocarpa* e *scrobiculata*), de *Glomus* (*aggregatum*, *versiforme*) e *Scutellospora pellucida*, ocorreram em condições mais flexíveis de pH, com valores variando de 4,0 a 8,0. Miranda (2008) relata que, em solos de cerrado, espécies como *Glomus manihotis*, *Paraglomus brasilianum* e *Scutellospora gregaria* foram encontradas em solos com pH variando de 3,8 a 6,2, apresentando também flexibilidade às condições de acidez.

Fernandes (1987) reitera essa alta capacidade adaptativa de várias espécies de *Glomus* e *Acaulospora* em relação ao pH e também em relação aos teores de Ca + Mg e aos de Al trocáveis. Possivelmente, essas condições tenham favorecido a ocorrência desses fungos, já que as análises de solo correspondentes (TAB. 1) apresentaram variações nos teores desses nutrientes.

Quanto à frequência de ocorrência das espécies de FMAs, apresentada na TAB. 3, seis espécies obtiveram a maior frequência, ou seja, foram identificadas em praticamente todas as amostras analisadas. Foram elas: *Acaulospora scrobiculata*, *Glomus etunicatum*, *Glomus macrocarpum*, *Gigaspora sp.*, *Scutellospora heterogama* e *Scutellospora fulgida*. As mesmas 6 espécies ocorreram em 13, 12, 12, 10, 10 e 12 cultivos, respectivamente. *Acaulospora scrobiculata*, *Glomus etunicatum*, *Glomus macrocarpum* foram as espécies classificadas como dominantes, por ocorrerem em 8, 7 e 6 cultivos, respectivamente, reafirmando a alta adaptabilidade dessas espécies a adversidades ambientais, as quais se incluem entre as mais comuns em áreas de cerrado (MIRANDA, 2008).

**TABELA 3**

Freqüência de ocorrência e classificação das espécies de FMAs encontradas sob diferentes cultivos em propriedades agrícolas da Comunidade Água Boa 2

ESPÉCIES	Freqüência de ocorrência (%) e classificação das espécies (D= dominantes; MC= muito comuns; C= comuns; R= raras)													
	1			2				3			4	5	6	7
	*Mi	Ca	Cf	Ca	MP	Ma	MA	Fe	Ma	Gu	Ma	MM	Fe	GM
<i>Acaulospora scrobiculata</i>	100D	-	50MC	100D	100D	75D	100D	50MC	75D	100D	50MC	25C	50MC	100D
<i>Acaulospora rehmsii</i>	25C	-	-	-	25C	-	50MC	-	25C	25C	-	-	-	25C
<i>Acaulospora laevis</i>	25C	-	25C	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Acaulospora sp.</i>	-	25C	-	25C	-	25C	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Acaulospora foveata</i>	-	-	25C	-	-	50MC	-	-	25C	25C	-	-	-	-
<i>Acaulospora alpina</i>	-	-	25C	-	-	-	25C	-	50MC	-	-	-	-	-
<i>Acaulospora mellea</i>	25C	-	75D	25C	-	25C	-	25C	-	-	-	-	-	-
<i>Acaulospora tuberculata</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	25C	-	50MC	-	-	75D
<i>Acaulospora undulata</i>	-	-	-	-	-	25C	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Acaulospora cavernata</i>	-	-	-	-	-	25C	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Ambispora sp.</i>	-	-	-	-	-	-	-	25C	-	-	-	25C	-	-
<i>Archeospora leptoticha</i>	-	-	-	50MC	-	-	50MC	50MC	25C	-	25C	-	50MC	25C
<i>Entrophospora colombiana</i>	25C	-	-	25C	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Entrophospora sp.</i>	25C	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Glomus microaggregatum</i>	-	25C	-	-	-	-	25C	-	-	-	-	-	-	-
<i>Glomus diaphanum</i>	-	-	25C	-	-	-	-	-	-	-	-	25C	-	-
<i>Glomus formosanum</i>	-	-	-	-	-	25C	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Glomus clarum</i>	50MC	25C	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	25C	-
<i>Glomus claviforme</i>	25C	-	-	-	25C	50MC	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Glomus etunicatum</i>	100D	75D	25C	-	50MC	75D	75D	100D	100D	100D	50MC	-	50MC	50MC
<i>Glomus macrocarpum</i>	-	-	100D	50MC	50MC	75D	50C	75D	50MC	75D	50MC	50MC	100D	100D
<i>Glomus tortuosum</i>	50MC	75D	25C	-	-	75D	-	50MC	-	-	-	-	-	-
<i>Glomus sp.</i>	-	-	25C	-	-	25C	-	-	-	-	-	25C	-	-
<i>Glomus lamellosum</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	25C	-	-
<i>Gigaspora sp.</i>	-	-	-	25C	75D	-	50MC	25C	75D	25C	100D	50MC	50MC	50MC
<i>Scutellospora heterogama</i>	75D	100D	25C	75D	25C	25C	25C	-	-	50MC	25C	75D	-	-
<i>Scutellospora pellucida</i>	-	-	-	-	-	-	25C	-	-	-	-	-	-	-
<i>Scutellospora gregaria</i>	-	-	-	-	-	-	25C	25C	-	25C	-	-	-	-
<i>Scutellospora sp.</i>	-	-	-	25C	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Scutellospora fulgida</i>	25C	25C	-	50MC	100D	75D	75D	-	75D	25C	50MC	75D	50MC	50MC
<i>Scutellospora calospora</i>	-	-	-	25C	25C	-	-	-	-	-	25C	-	50MC	-
<i>Scutellospora scutata</i>	50MC	-	-	-	-	50MC	-	-	-	25C	50MC	-	-	-
<i>Scutellospora reticulata</i>	-	-	-	-	25C	-	-	-	-	-	-	-	-	-

\*Mi – Milho; Ca – Cana; Cf – Café; MP – Milho/Pousio; Ma – Mandioca; MA – Mandioca/Abacaxi; Fe – feijão; Gu – Guandu; MM – Milho/Mandioca; GM – Guandu/Mandioca.

Para Carrenho (1998), *Glomus* e *Acaulospora* apresentam maior capacidade de adaptação a solos submetidos a diferentes variações nos teores de matéria orgânica, de calagem, de textura, entre outros fatores, demonstrando, mais uma vez, serem espécies resistentes a perturbações ambientais.

Analisando a influência de características de fertilidade dos solos sobre as micorrizas, Saggin Júnior e Siqueira (1996) afirmam que a disponibilidade de fósforo no solo é o fator edáfico mais importante sobre o funcionamento da simbiose micorrízica. Partindo-se de um solo extremamente deficiente em P, uma pequena aplicação desse nutriente pode levar a um aumento de colonização micorrízica, mas o efeito mais consistente e comum é o da aplicação de P no solo reduzir, acentuadamente, a colonização micorrízica. E para a matéria orgânica, a maior deposição dessa no solo aumenta a diversidade de fungos micorrízicos no solo.

#### **4.3 Estimativas de potencial de inóculo micorrízico (MIP), a partir da contagem de esporos e do potencial médio de infecção dos solos nas propriedades agrícolas, sob diferentes cultivos e manejos**

A densidade de esporos, a partir das amostras originais coletadas nas áreas, bem como a porcentagem de infecção radicular de FMAs, determinada em bioensaio em casa de vegetação, encontram-se na TAB. 4.

TABELA 4

Potencial de inóculo micorrízico de áreas sob diferentes cultivos em propriedades agrícolas da comunidade Água Boa 2, em Rio Pardo de Minas,--MG

<b>Estimativas de potencial de inóculo micorrízico<sup>(1)</sup></b>			
<b>Propriedades e subsistemas avaliados</b>	<b>Densidade de esporos nas amostras originais (n<sup>o</sup>/50 ml solo)</b>	<b>Potencial médio de infecção (% de colonização radicular)</b>	
1	Milho	397A	21,9 D
	Cana	94 B	29,8 C
	Café	66 C	21,3 D
2	Cana	93 B	23,5 D
	Milho e pousio	131B	33,4 B
	Mandioca	127B	33,0 B
	Mandioca e abacaxi	93 B	26,4 C
3	Feijão	45 C	15,1 E
	Mandioca	26 C	31,1 C
	Guandu	49 C	45,2 A
4	Mandioca	36 C	39,0 B
5	Milho e mandioca	72 C	32,0 B
6	Feijão catador	56 C	30,7 C
7	Guandu e mandioca	30 C	29,0 C
<b>CV (%)</b>		<b>22,27</b>	<b>23,38</b>

(1) Dados originais. Análises estatísticas realizadas com dados transformados em  $\log(x+1)$  para contagem de esporos e em  $\arcsin(x/100)^{0.5}$  para a % de infecção radicular. Médias seguidas pelas mesmas letras nas colunas não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott,  $p \leq 5\%$  para contagem de esporos e pelo teste de Duncan,  $p \leq 5\%$ , para a % de colonização radicular.

Houve variação entre os cultivos na densidade de esporos, sendo que o milho foi o subsistema sob o qual o número de esporos foi maior, diferindo-se dos demais subsistemas, enquanto o menor número foi identificado na área com plantio de mandioca. A contagem totalizou um máximo de 397 esporos na área do milho e um mínimo de 26 esporos, para a mandioca.

As amostras provenientes dos subsistemas avaliados apresentaram uma média de número de esporos/50 ml de solo de 186, 111, 40, 36, 72, 56 e 30 esporos, para as propriedades 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7, respectivamente.

Além da influência das culturas utilizadas nesses subsistemas, caracterizadas como dependentes da simbiose micorrízica, observaram-se peculiaridades no manejo desses agroecossistemas, como nas propriedades 1 e 2, que apresentaram maiores médias. Esses agricultores fazem um melhor uso de suas áreas, priorizando uma maior diversificação das culturas implantadas, mantendo o solo sempre coberto. Essas práticas melhoram as condições do solo e favorecem a ocorrência e a atividade dos micro-organismos.

O milho é uma cultura considerada como altamente dependente da micorrização (MIRANDA; MIRANDA, 2001) e promotora da multiplicação desses fungos, o que, provavelmente, favoreceu a quantidade de esporos identificados na área. A mandioca é uma espécie ainda mais dependente da associação micorrízica que o milho (MIRANDA, 2008), por possuir sistema radicular formado por raízes grossas e poucas ramificações, entretanto essa pode ser uma característica que não favoreça a multiplicação dos esporos.

As plantas, em função da estrutura de seus sistemas radiculares, apresentam diferentes graus de dependência micorrízica e também de capacidade de multiplicar os FMAs. Assim, podem alterar a quantidade de estruturas dos fungos micorrízicos arbusculares, como os esporos no solo (MIRANDA *et al.*, 2005). Nos solos, cuja população nativa do fungo é baixa, o cultivo de plantas com elevado grau de dependência micorrízica aumenta essa população no solo e beneficia os cultivos subsequentes (MIRANDA; MIRANDA, 2001).

Para Miranda e Miranda (2004), ao manejar os sistemas de produção para favorecer a simbiose micorrízica, recomenda-se utilizar sempre plantas dependentes da micorriza arbuscular, no processo de rotação ou que essas sejam certamente usadas no cultivo seguinte ao cultivo de plantas menos ou não dependentes da associação. O manejo utilizado no subsistema de milho, sobre o qual se obteve o maior número de esporos e onde se intercalam culturas, como o milho, feijão e guandu, consorciadas entre si, pode ser um exemplo disso. Provavelmente, a quantidade de esporos identificados na área tenha sido favorecida por essas culturas consideradas altamente dependentes da micorrização.

Já a área da mandioca, assim como as demais áreas em que se observou menor densidade de esporos, são caracterizadas como áreas de monocultivo frequente. Provavelmente, a diversidade de cultivos tenha favorecido os microrganismos dos solos, em especial os fungos micorrízicos, o que pode conferir maior sustentabilidade dos sistemas mais diversificados em relação aos de monocultivo.

Os solos da maioria dos subsistemas avaliados promoveram, na planta teste, uma porcentagem de colonização micorrízica com variações entre si. As médias de porcentagem de colonização radicular, dentre os subsistemas avaliados foram de: 24, 29, 30, 39, 32, 30 e 29%, para as propriedades 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7, respectivamente (TAB. 4).

Todos os subsistemas apresentaram uma taxa inferior a 50%, cuja variação esteve entre 15,1 e 45,2%. O guandu e o feijão foram as culturas sobre as quais observaram-se o maior e o menor potencial de inóculo, respectivamente (TAB. 4), ambas na mesma propriedade.

Na área cultivada com o feijão, observou-se uma maior quantidade de matéria orgânica (TAB. 1), em função da aplicação de adubo orgânico. No entanto essa é uma espécie caracterizada como pouco micotrófica e com menor capacidade de multiplicação de FMAs. Já no subsistema de guandu, não houve aplicação de adubo orgânico, contudo essa é uma espécie considerada como mais micotrófica e multiplicadora desses fungos.

Souza *et al.* (1999), avaliando o efeito de pré-cultivos com adubos verdes sobre o potencial de inóculo de FMAs e produção de mandioca, observaram taxas de colonização em plantas de guandu de 51,4% e de 39,1%, em plantas de sorgo. Segundo os autores, a baixa taxa de colonização encontrada nas plantas de sorgo, possivelmente ocorreu pelo fato de essas já terem completado o seu ciclo por ocasião da avaliação. Em geral, diferenças no potencial de inóculo de solos ou inoculantes, sobre a taxa de colonização radicular, são detectadas no início do ciclo de crescimento das plantas.

Essa condição pode ter favorecido a baixa taxa de colonização radicular observada na planta teste, cultivada em solos coletados nos subsistemas avaliados, uma vez que, à época da amostragem do solo, a

maioria das culturas encontrava-se em fase final de desenvolvimento. Além disso, outros fatores, como fisiologia da raiz, suscetibilidade e competitividade nutricional das plantas hospedeiras e diferentes mecanismos de sobrevivência dos FMAs (SOUZA *et al.*, 2003), assim como pluviometria, temperatura e período de insolação (BRUNDRETT *et al.* 1996) interferem na colonização micorrízica, que, no presente ensaio, estima o potencial de inóculo.

A vantagem do método MIP, utilizado para estimar o potencial de inóculo de FMAs nessas áreas, é que se pode isolar a influência da espécie ou genótipo vegetal em condições de campo. Nesta pesquisa, consideraram-se as diferentes espécies vegetais cultivadas como tendo sido os "pré-cultivos" das amostras de solo utilizadas no bioensaio.

Abbott e Robson (1991) e Balota *et al.* (1999) relatam que a diferença na colonização entre plantas da mesma espécie entre locais diferentes, geralmente, está relacionada às condições de fertilidade do solo. Pode ser que teores maiores ou menores de alguns nutrientes (TAB. 1) tenham influenciado a colonização da planta teste pelos FMAs nessas áreas.

Cordeiro *et al.* (2005) observam que comparar a porcentagem de raízes colonizadas entre diferentes espécies de plantas é difícil, devido à compatibilidade diferenciada com as espécies de FMAs existentes no solo e à variação nas características genéticas das plantas que determinam a sua dependência às micorrizas. Embora se conheça a dependência das plantas hospedeiras à micorrização, pouco se conhece sobre a especificidade dos FMAs a essas plantas.

Os dados obtidos mostraram correspondência entre os métodos utilizados para estimar o potencial de inóculo dos FMAs, ou seja, baixa densidade de esporos e baixa porcentagem de colonização radicular. No entanto percebe-se que o benefício da associação nessas condições de nenhum uso de adubos ou corretivos e condições de fertilidade tão limitantes, ainda que seja pequeno, é de grande importância para a manutenção dos níveis de produtividade das lavouras. Deve-se considerar que esses subsistemas ano a ano são cultivados intensamente e que a retirada de nutrientes do solo ocorre de uma forma muito mais intensa do que a

reposição dos mesmos. Além disso, as eventuais correções e adubações são realizadas sem nenhuma recomendação técnica.

Percebe-se, portanto, que a ocorrência e a sobrevivência dos FMAs, bem como a multiplicação dos mesmos foram influenciadas positivamente pelos baixos níveis de fertilidade encontrados nessas áreas, que, por sua vez, aumentam a dependência das plantas à associação micorrízica, como descrito por Miranda (2008). No entanto níveis mínimos de nutrientes são necessários para promover a associação simbiótica, como afirma Miranda (2008). Os níveis muito baixos de alguns nutrientes podem ter sido um fator limitante.

#### **4.4 Determinação da glomalina facilmente extraível (EE-BRSP)**

Os teores da glomalina facilmente extraível encontram-se descritos na TAB. 5. Houve diferença estatística para os diferentes subsistemas avaliados, sendo que as amostras provenientes do subsistema cultivado com cana obtiveram o maior teor ( $1,811 \text{ mg g}^{-1}$  solo), enquanto que o menor teor ( $0,758 \text{ mg g}^{-1}$  solo) foi observado nas amostras provenientes do subsistema caracterizado pelo cultivo do milho e pousio, ambas na mesma propriedade. Teores mais elevados, embora estatisticamente semelhantes, também foram encontrados em amostras provenientes dos subsistemas de cana, de café, de feijão e de mandioca.

TABELA 5

Glomalina facilmente extraível de solo sob diferentes cultivos em propriedades agrícolas da Comunidade Água Boa 2, em Rio Pardo de Minas-MG

Propriedades e subsistemas avaliados		Glomalina (mg g <sup>-1</sup> )
1	Milho	1,213 B
	Cana	1,350 B
	Café	1,471 B
2	Cana	1,811 A
	Milho e pousio	0,758 D
	Mandioca	0,818 D
	Mandioca e abacaxi	0,889 D
3	Feijão	1,315 B
	Mandioca	0,996 C
	Guandu	0,884 D
4	Mandioca	1,342 B
5	Milho e mandioca	1,217 C
6	Feijão catador	1,271 B
7	Guandu e mandioca	1,212 B
<b>CV (%)</b>		<b>9,04</b>

Médias seguidas pelas mesmas letras nas colunas não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott,  $p \leq 5\%$ .

Em uma ampla e recente revisão sobre o tema, Purin e Klauberg Filho (2010) relatam que certas práticas de cultivo apresentam potencial para alterar as quantidades de glomalina no solo. Trabalhos conduzidos por Purin (2005) e Purin *et al.* (2006), em sistemas de produção de maçã convencional e orgânico e pastagem, mostraram menor teor de glomalina no sistema convencional em relação aos demais. Silva (2006) observou o aumento de 80-90% nos teores de glomalina, com o uso de vermicomposto em relação à adubação química.

A presente pesquisa consistiu de uma única época e profundidade de amostragem, realizadas, respectivamente, ao final do período chuvoso e na profundidade 0 – 20 cm, o que pode representar uma faixa muito ampla para

refletir adequadamente os processos biológicos do solo, conforme observações de Purin e Klauberg Filho (2010).

Estudos realizados por Borie *et al.* (2000), Rilling *et al.* (2003) e Borie *et al.* (2006) destacam a importância de se quantificar os teores de C orgânico dos solos, para a melhor determinação dos teores de glomalina. Na presente pesquisa, quantificaram-se os teores de matéria orgânica, os quais se apresentaram médios (TAB. 1), na maioria dos subsistemas avaliados. Purin e Klauberg Filho (2010) destacam, ainda, que inferências diretas entre aumento de matéria orgânica do solo e quantidade de proteína podem ser arriscadas. Entretanto os baixos teores de glomalina observados nesta pesquisa parecem relacionar-se com a quantidade de matéria orgânica encontrada, já que teores mais elevados de matéria orgânica favorecem a atividade de micro-organismos do solo.

Wright e Upadhyaya (1996) estabeleceram relação entre a quantidade de glomalina e os atributos físicos do solo, demonstrando a significativa contribuição dessa proteína na estabilidade de agregados.

Wright e Upadhyaya (1998), Rilling *et al.* (2003) e Purin (2005) observaram correlação negativa entre agregação e glomalina, justificando que a glomalina não exerce efeito, quando a porcentagem de agregação é alta. Os autores explicam que a agregação dos solos em questão é promovida primariamente por produtos como carbonatos e matéria orgânica, enquanto agentes biológicos teriam uma participação secundária nesse cenário de alta estabilidade física do solo.

Nas áreas estudadas nesta pesquisa, os solos são predominantemente arenosos, com médios teores de matéria orgânica, onde espera-se menor estabilidade e, portanto, maior contribuição da glomalina na sua estrutura física. Os teores de glomalina observados foram relativamente baixos, quando comparados com os diversos estudos citados, realizados em solos cultivados.

Estudos desenvolvidos em solos dos Estados Unidos demonstraram que as concentrações dessa proteína podem variar de 2 a 15 mg g<sup>-1</sup> de solo em climas temperados (WRIGHT *et al.*, 1996; WRIGHT; UPADHYAYA, 1998) e ultrapassar os 60 mg g<sup>-1</sup> em solos tropicais (RILLING *et al.*, 2001).

Fatores inerentes ao manejo dos solos também podem influenciar, significativamente, a quantidade de glomalina no solo, tais como: o revolvimento (WRIGHT *et al.*, 1999), que pode acelerar a decomposição da fração orgânica do solo, romper o micélio fúngico, reduzindo a produção de proteína e selecionar espécies de FMAs dominantes em um determinado sistema, as quais possuem baixas taxas de produção da glomalina (PURIN; KLAUBERG FILHO, 2010), pelo uso de espécies com reduzida extensão de colonização radicular em sistemas de rotação (WRIGHT; ANDERSON, 2000) e pelas baixas concentrações de elementos como fósforo, potássio, cálcio e alumínio (RILLING *et al.*, 2003).

Os solos das áreas estudadas apresentaram, em geral, fertilidade razoável, mas limitações de alguns nutrientes (TAB.1) e são cultivados por meio do preparo manual, além disso, a maioria das culturas implantadas apresenta alta dependência micorrízica. Esses fatores por si só poderiam propiciar teores mais elevados de glomalina nos solos, desde que a atividade simbiótica estivesse funcionando efetiva e eficientemente. O baixo potencial de inóculo observado indica que isso pode não estar ocorrendo. Além disso, em função da baixa disponibilidade de áreas, esses solos são intensamente cultivados a cada ano, utilizando-se sempre as mesmas culturas nos sistemas de rotação e causando, ainda, o rompimento das hifas, fundamentais na produção de glomalina.

Embora a maioria das propriedades avaliadas não adote o monocultivo, a diversidade de plantas utilizadas ainda não é suficiente para produzir biomassa, de forma a manter os teores de matéria orgânica em quantidade adequada para assegurar a atividade da microbiota do solo, incluindo os FMAs. Além disso, a textura predominantemente arenosa, aliada às temperaturas elevadas na região favorecem a rápida decomposição da matéria orgânica nessas áreas.

#### **4.5 Relações entre os parâmetros de FMAs e as condições químicas e físicas dos solos, as práticas de manejo e as espécies vegetais cultivadas:**

As correlações entre os atributos químicos e físicos do solo e as variáveis determinadas para FMAs encontram-se na TAB. 6. Maiores correlações positivas foram observadas para a glomalina em relação aos atributos químicos e físicos do solo. Dentre as correlações positivas, a mais elevada foi verificada para o percentual de argila (0,81). Para as correlações negativas, a mais elevada verificou-se para o percentual de areia (-0,76). Para a maioria dos atributos químicos e físicos do solo, na densidade de esporos e potencial médio de infecção por FMAs, não houve significância entre as correlações.

TABELA 6

Coeficientes de correlação de Pearson entre as variáveis estudadas sob diferentes cultivos em propriedades agrícolas da Comunidade Água Boa 2, em Rio Pardo de Minas-MG

Atributos químicos, físicos e biológicos do solo	Densidade de esporos	Potencial médio de infecção	Glomalina
pH em água	0,14ns	0,08ns	-0,40*
P Mehlich	0,04ns	0,20ns	-0,26ns
Potássio	0,03ns	0,13ns	-0,33ns
Cálcio	0,10ns	0,45ns	0,01ns
Magnésio	0,40ns	0,56*	0,21ns
Acidez potencial	-0,22ns	0,14ns	0,55**
Soma de bases	0,21ns	0,52*	0,06ns
CTC efetiva	0,19ns	0,59*	0,13ns
Saturação Alumínio	-0,25ns	0,09ns	0,37ns
CTC potencial	-0,15ns	0,43**	0,70*
Saturação bases	0,27ns	0,16ns	-0,44*
Matéria Orgânica	-0,09ns	0,17ns	0,32ns
Enxofe	0,36ns	0,27ns	0,57*
Boro	-0,09ns	0,50*	-0,09ns
Zinco	-0,28ns	0,31ns	-0,04ns
Ferro	0,26ns	0,13ns	0,51*
Manganês	-0,23ns	0,05ns	-0,40*
Cobre	0,09ns	0,11ns	0,76*
Areia	-0,08ns	0,35ns	-0,76**
Silte	-0,09ns	0,11ns	0,44*
Argila	0,25ns	0,48*	0,81**
Densidade de esporos	1,00**	-0,27ns	-0,06ns
Potencial de infecção	-0,27ns	1,00**	-0,48*

Nota: \*\*, \* e ns significativo a 5%, 10% e não significativo pelo teste t, respectivamente.

Diversos estudos têm estabelecido a relação entre a glomalina e os atributos físicos do solo (RILLING *et al.*, 2003; WRIGHT; UPADHYAYA, 1996; WRIGHT; UPADHYAYA, 1998; ZATORRE, 2009). Wright e Upadhyaya (1998) verificaram que, para alguns solos norte-americanos, a glomalina não exerce efeito sobre a agregação, quando a estabilidade é maior que 80%. Rilling *et al.* (2003) também observaram ausência de correlação entre a glomalina e agregação em um solo siltoso na Espanha. Nesses casos, os autores explicam que a agregação dos solos em questão é promovida primariamente por produtos como carbonatos e matéria orgânica; enquanto

agentes biológicos teriam uma participação secundária nesse cenário de alta estabilidade física do solo.

A glomalina é uma estimativa indireta da ocorrência de FMAs e nem sempre se correlaciona com o potencial de inóculo de FMAs, que, na presente pesquisa, apresentou-se baixo. Pela sua alta estabilidade, a glomalina persiste mais no solo do que as próprias hifas. Nas condições de avaliação dos solos da presente pesquisa, é difícil mensurar a influência de um fator isolado, como a textura do solo, na atividade de FMAs.

Embora as áreas estudadas apresentem solos predominantemente arenosos, parte delas se localiza em áreas de baixadas e/ou próximas aos cursos d'água, o que confere certa variação na textura desses solos, em função do acúmulo de sedimentos, caracterizados, portanto, como aluviais. Nessas áreas, normalmente mais úmidas, observaram-se solos com teores um pouco mais elevados de argila em relação às outras áreas.

Essa correlação positiva entre a glomalina e os teores de argila pode ser evidenciada também pelo teor de glomalina encontrado na área com cultivo de cana, na propriedade 2, correspondente a  $1,811 \text{ mg.g}^{-1}$  de solo (TAB. 5), teor mais elevado em relação aos outros subsistemas. Essa é uma área de baixada, mais úmida e um pouco mais argilosa, conforme TAB. 1. Possivelmente, essas características tenham criado um ambiente propício à atividade dos FMAs.

Para Sieverding (1991), solos arenosos são, normalmente, mais porosos, quentes, secos e de baixa fertilidade do que solos de textura mais fina e essas condições têm efeitos diretos e indiretos sobre os FMAs. Conforme trabalhos conduzidos por Carrenho *et al.* (2007), a boa aeração é um pré-requisito para o ótimo desenvolvimento dos FMAs. Provavelmente, esse é um fator favorável nas áreas estudadas, mas outras condições podem ter sido mais limitantes à maior atividade desses fungos.

Segundo Mummey *et al.* (2006), mudanças nos fatores bióticos e abióticos do solo, como pH, composição química do solo, microbiota do solo e outros, podem afetar a interação entre fungos e planta hospedeira e, assim, afetar a atividade desses fungos. Como a maioria dos subsistemas da presente pesquisa é caracterizada como de baixo uso de insumos e de

transição para sistemas agroecológicos, acredita-se que, à medida que se aumenta a complexidade das relações dentro desses subsistemas, por meio da diversidade de plantas hospedeiras, rotações e consórcios adequados, aumento da matéria orgânica, dentre outros, maior será o potencial e a contribuição dos FMAs nessas áreas.

#### **4.6 Proposição de práticas de manejo do solo e das culturas que visem à multiplicação dos FMAs no solo, em conformidade com as necessidades e condições locais:**

A contribuição dos FMAs nas áreas agrícolas da Comunidade Água Boa 2 pode ser de fundamental importância para potencializar a produtividade das mesmas. Observou-se que a condição dos solos é de vulnerabilidade, bem como há restrição a recursos internos (biomassa, fertilizantes orgânicos, etc.) e externos (corretivos e fertilizantes minerais) promotores da melhoria desses solos. Isso se explica pela pouca disponibilidade de área para cultivo, que condicionou o uso intensivo ao longo dos anos, entre outros fatores.

Certamente, o impacto sobre essas áreas fosse maior, com o uso de práticas como o preparo mecânico dos solos, o uso excessivo de defensivos químicos em geral, queima dos restos culturais e plantas espontâneas, monocultivos frequentes, além da ocorrência de fatores inerentes ao clima como chuvas excessivas, que causariam alagamentos e carregamento de sedimentos dos solos ou secas prolongadas.

Estudos conduzidos anteriormente por Correia (2005), Machado *et al.* (2007) e Fernandes (2008) não identificaram o uso dessas práticas na Comunidade Água Boa 2. Os resultados ora apresentados por esta pesquisa corroboram os descritos por esses autores, de que são áreas de baixo uso de insumos, em sua maioria, mas que utilizam algumas práticas de cultivo que sustentaram esses agroecossistemas, de acordo com o conhecimento de cada agricultor, ao longo dos anos de cultivo.

Observou-se, ainda, que são solos mais facilmente manejados, em função da sua textura leve, quando comparados aos solos mais pesados,

com altos teores de argila. Além disso, inseriram-se numa faixa adequada de pH e apresentaram baixos teores de Al. Nutrientes como o K, Ca, Mg, Mn e o Fe apresentaram teores consideráveis, conforme se verifica pelo resultado das análises de fertilidade (TAB. 1).

Possivelmente, a suscetibilidade apresentada, sobretudo pelos baixos teores de alguns nutrientes, será revertida ao longo dos anos, à medida que se aumente o fluxo de biomassa nesses solos. Embora as culturas sejam implantadas em sistemas de consórcios, rotações e utilização dos restos culturais, como cobertura morta, esses ainda são sistemas simples e as espécies utilizadas têm a finalidade de produção de grãos para o consumo. Ou seja, não podem ser incorporadas ao solo na fase em que apresentam maior disponibilidade de nutrientes, como na fase de florescimento.

Para tanto, é de fundamental importância a introdução de espécies, como os adubos verdes, que, devidamente manejados, contribuem para o aumento da fertilidade dos solos, visto que algumas espécies caracterizam-se por elevada produção de biomassa. Além disso, a maioria delas apresenta simbiose com os FMs e esses, por sua vez, potencializam a sua contribuição, quando associados com micro-organismos, como as bactérias fixadoras de nitrogênio.

Como a maioria das espécies utilizadas nas áreas pesquisadas, foi identificada como dependente de micorrização, diversos arranjos podem ser propostos, utilizando espécies nativas, bem como as cultivadas anuais e perenes, de forma a aproveitar melhor as áreas disponíveis. As limitações observadas podem perfeitamente ser traduzidas para práticas específicas que otimizem, entre outros processos agroecológicos, aqueles relacionados ao aumento do teor de matéria orgânica, à melhoria da estruturação e à atividade biológica do solo.

## 5 CONCLUSÃO

Os subsistemas avaliados apresentaram boa diversidade de espécies de FMAs.

A ocorrência de FMAs foi influenciada pela adaptabilidade das espécies de FMAs às condições de fertilidade apresentada pelos solos e pela especificidade às plantas hospedeiras utilizadas.

Os subsistemas apresentaram baixo potencial de inóculo e a densidade de esporos bem como o potencial de colonização radicular foram influenciados pelas espécies vegetais mais micotróficas.

Os teores de glomalina foram baixos e apresentaram relação com as características texturais dos solos.

## REFERÊNCIAS

- ABBOTT, L. K.; ROBSON, A. D. Factors influencing the occurrence of vesicular-arbuscular mycorrhizas. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 35, n. 2/3, p. 121-150, abr. 1991.
- ABRAMOVAY, R. **Paradigmas do capitalismo agrário em questão**. 2. ed. Campinas: Hucitec, 1998.
- ALTIERI, M. A. **Agroecologia: bases científicas para uma agricultura sustentável**. Guaíba: Agropecuária, 2002. 592 p.
- ALVAREZ, V.; NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F.; CANTARUTTI, R. B.; LOPES, A. S. Interpretação dos resultados das análises de solo. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. V. H. (Eds.). **Recomendações para o uso de fertilizantes e corretivos em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa, MG, 1999. Cap. 5, p. 25-32.
- ARAÚJO, F. S. **Potencial de inóculo de fungos micorrízicos arbusculares em seis sistemas de uso do solo na região semi-árido do Nordeste Brasileiro**. 2008. 54 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia, Sistemas agrossilvopastoris no Semi-Árido) - Universidade Federal de Campina Grande, 2008.
- BALOTA, R. L.; LOPES, E. S.; HUNGRIA, M.; DOBEREINER, J. Ocorrência de bactérias diazotróficas e fungos micorrízicos arbusculares na cultura da mandioca. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 34, n. 7, p. 1265-1276, jul. 1999.
- BENEDETTI, T.; ANTONIOLLI, Z. I.; GIRACCA, E. M. N.; STEFFEN, R. B. Diversidade de fungos micorrízicos arbusculares na cultura do milho após uso de espécies de plantas de cobertura de solo. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v. 4, n. 1, p. 44-55, jan./jun. 2005.
- BONFANTE, P.; BIANCIOTTO, V. Presymbiotic versus symbiotic phase in arbuscular endomycorrhizal fungi: morphology and cytology. In: VARMA, A.; HOCK, B. (Eds.) **Mycorrhiza: structure, function, molecular biology and biotechnology**. Berlin: Springer-Verlag, 1995. p. 229-247.
- BORIE, F. R.; RUBIO, R.; MORALES, A.; CASTILLO, C. Relationships between arbuscular mycorrhizal hyphal density and glomalin production with physical and chemical characteristics of soils under no-tillage. **Revista Chilena de História Natural**, Santiago, v. 73, n. 4, p. 749-756, dez. 2000.
- BORIE, F. R.; RUBIO, R.; ROUANET, J. L.; MORALES, A.; BORIE, G.; ROJAS, C. Effect of tillage systems on soil characteristics, glomalin and mycorrhizal propagules in a Chilean Ultisol. **Soil and Tillage Research**, v. 88, n. 1/2, p. 253-261, July, 2006.

BRUNDRETT, M. C. Mycorrhizas in natural ecosystems. In: BEGON, M.; FITTER, A. H.; MACFADYEN, A. (Eds.). **Advances in Ecological Research**, London: Academic Press Limited, 1991. v. 21. p. 171-313.

BRUNDRETT, M. C.; ASHWATH, N.; JASPER, D. A. Mycorrhizas in the Kakadu region of tropical Australia. **Plant and Soil**, v. 184, n. 1, p. 173-184, 1996.

CAPORAL, F. R. **Agroecologia: uma nova ciência para apoiar a transição a agriculturas mais sustentáveis**. Brasília, DF, 2009b. 30 p.

CAPORAL, F. R. **Em defesa de um plano nacional de transição agroecológica: compromisso com as atuais e nosso legado para as futuras gerações**. Brasília, DF, 2009a. 36 p.

CARRENHO, R. **Influência de diferentes espécies de plantas hospedeiras e fatores edáficos no desenvolvimento de fungos micorrízicos (FMA)**. 1998. 226 f. Tese (Doutorado em Biologia Vegetal) – Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1998.

CARRENHO, R.; COSTA, S. M. G.; BALOTA, E. L.; COLOZZI FILHO, A. Fungos micorrízicos arbusculares em agrossistemas brasileiros. In: SIQUEIRA, J. O.; SOUZA, F. A.; CARDOSO, E. J. B. N.; TSAI, S. M. (Eds.). **Micorrizas: 30 anos de pesquisa no Brasil**. Lavras: Ed. UFLA, 2010. 716 p.

CARRENHO, R.; TRUFEM, S. F. B.; BONONI, V. L. R.; SILVA, E. S. The effect of different soil properties on arbuscular mycorrhizal colonization of peanuts, sorghum and maize. **Acta Botanica Brasilica**, v. 21, n. 3, p. 723-730, jul./set. 2007.

COOLEN, W. A. Methods for the extraction of *Meloidogyne* spp. and other nematodes from roots and soil. In: LAMBERTI, F.; TAYLOR, C. E. (Eds.). **Root-knot nematodes (Meloidogyne species): systematics, biology and control**. London: Academic, 1979. p. 317-329.

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

CORREIA, J. R. **Pedologia e conhecimento local: proposta metodológica de interlocução entre saberes construídos por pedólogos e agricultores em área de Cerrado em Rio Pardo de Minas, MG**. 2005. 234 f. Tese (Doutorado em Agronomia, Ciência do Solo) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2005.

DODD, J. C.; KRIKUN, J.; MASS, J. Relative effectiveness of indigenous populations of vesicular mycorrhizal fungi from four sites in the Negev. **Israel Journal of Botany**, v. 32, n. 1, p. 10-16, 1983.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.

FERNANDES, A. B. **Micorrizas vesículo-arbusculares em cafeeiro da região sul do estado de Minas Gerais**. 1987. 98 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia, Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, 1987.

FERNANDES, S. G. **Fertilidade e fungos micorrízicos em solos de áreas de agricultores familiares e a sua relação com as práticas de manejo**. 2008. 119 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) - Universidade Federal de Minas Gerais, Montes Claros, 2008.

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

GIOVANETTI, M.; MOSSE, B. An evaluation of techniques to measuring vesicular arbuscular mycorrhizal infection in roots. **New Phytologist**, Oxford, v. 84, p. 489-500, 1980.

GLIESSMAN, S. R. **Field and laboratory investigations in agroecology**. Boca Raton: CRC Press LLC, 2000. 330 p.

HEIJDEN, M. G. A.; KLIRONOMOS, J. N.; URSIC, M.; MOUTOGLIS, P.; STREITWOLF-ENGEL, R.; BOLLER, T.; WIEMKEN, A.; SANDERS, I. R. Mycorrhizal fungal diversity determines plant biodiversity, ecosystem variability and productivity. **Nature**, London, v. 396, p. 69-72, Nov. 1998.

INTERNATIONAL CULTURE COLLECTION OF ARBUSCULAR AND VESICULAR-ARBUSCULAR MYCORRHIZAL FUNGI - INVAM. [2010?]. Disponível em: <<http://invam.caf.wvu.edu/fungi/taxonomy/classification.htm>>. Acesso em: 18 nov. 2010.

JANOS, D. P.; GARAMSZEGLI, S.; BELTRAN, B. Glomalin extraction and measurement. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 40, n. 3, p. 728-739, Mar. 2008.

JOHNSON, N. C.; PFLEGER, F. L. Vesicular-arbuscular mycorrhizae and cultural stresses. In: BETHLENFALVAY, R. G.; LINDERMAN. (Eds.). **Mycorrhizae in sustainable agriculture**. Madison: ASA/CSSA/SSSA, 1992. 124 p.

KOIDE, R. T.; LI, M.; LEWIS, J.; IRBY, C. Role of mycorrhizal infection in the growth and reproduction of wild vs. cultivated plants. **Oecologia**, Berlin, v. 77, n. 4, p. 537-543, 1988.

KOSKE, R. E.; GEMMA, J. N. A modified procedure for staining roots to detect VA mycorrhizas. **Mycological Research**, Cambridge, v. 92, n. 4, p. 488-505, June, 1989.

LENZ, M. H. **Viabilidade agroeconômica da produção orgânica de plantas condimentares para o desenvolvimento sustentável em propriedades familiares do Vale do Rio Pardo, RS**. 2005. 100 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Regional) – Universidade de Santa Cruz do Sul – UNISC, Santa Cruz do Sul, 2005.

LIU, R. J.; LUO, X. S. A. A new method to quantify the inoculum potential of arbuscular mycorrhizal fungi. **New Phytologist**, Oxford, v. 128, n. 1, p. 89-92, Sep. 1994.

MACHADO, C. T. T.; FERNANDES, S. G.; VILELA, M. F.; CORREIA, J. R. **Caracterização preliminar dos sistemas de produção na Comunidade Água Boa II em Rio Pardo de Minas (MG), para fins de planejamento do uso das terras segundo a aptidão agro-ecológica e extrativista**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS DE PRODUÇÃO – AGRICULTURA FAMILIAR, POLÍTICAS PÚBLICAS E INCLUSÃO SOCIAL. 7., 2007, Fortaleza. Anais... Fortaleza: SBSP, Embrapa Agroindústria Tropical; Embrapa Caprinos; Banco do Nordeste, 2007. 1 CD-Rom.

MACHADO, C. T. T.; PEREIRA, C. D.; LOPES, V. Fungos micorrízicos arbusculares: pesquisa e desenvolvimento para a agricultura. In: FALEIRO, F. G.; ANDRADE, S. R. M.; REIS JUNIOR, F. B. (Eds.). **Biotecnologia Aplicada a Agropecuária**, 2010. 727 p.

MAIA, L. C.; TRUFEM, S. F. B. Fungos micorrízicos vesículo-arbusculares em solos cultivados no Estado de Pernambuco, Brasil. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 13, n. 2, p. 89-95, 1990.

MCCRADY, M. H. The numerical interpretation of fermentation-tubes results. **Journal of Infection Disease**, Illinois, v. 17, n. 1, p. 183-212, July, 1915.

MILLER, R. M.; JASTROW, J. D. The role of mycorrhizal fungi in soil conservation. In: BETHLENFALVAY, J. G.; LINDERMAN, R. G. (Eds.). **Mycorrhizae in sustainable Agriculture**. Madison: American Society of Agronomy, 1992. p. 29-44. (Special Publication, 54).

MIRANDA, J. C. C. **Micorriza arbuscular: ocorrência e manejo**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2008. 169 p.

MIRANDA, J. C. C. **Utilização de micorrizas na agricultura**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 1986. 16 p. (Embrapa Cerrados. Documentos, 20).

MIRANDA, J. C. C.; FIALHO, J. F.; MIRANDA, L. N. **Importância da micorriza arbuscular para o cultivo da mandioca na Região do Cerrado**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2005. 4 p. (Embrapa Cerrados. Comunicado Técnico, 119).

MIRANDA, J. C. C.; MIRANDA, L. N. **Dependência micorrízica de diferentes culturas anuais, adubos verdes e pastagens em solos de Cerrado**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2004. 4 p. (Comunicado Técnico, 114).

MIRANDA, J. C. C.; MIRANDA, L. N. **Seleção e recomendação de uso de espécies de fungos micorrízicos arbusculares**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2001. 3 p. (Comunicado Técnico, 52).

MOORMAN, T.; REEVES, S. B. The role of endomycorrhizae in revegetation practices in the semi-arid west. II. A bioassay to determine the effect of land disturbance on endomycorrhizal populations. **American Journal of Botany**, v. 66, n. 1, p. 14-18, Jan. 1979.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: Ed. UFLA, 2002. 626 p.

MORTON, J. B. Problems and solutions for the integration of glomalean taxonomy, systematic biology, and the study of endomycorrhizal phenomena. **Mycorrhiza**, v. 2, n. 3, p. 97-109, Oct. 1993.

MOSSE, B. **Vesicular-arbuscular mycorrhizal research for tropical agriculture. Hawaii**: Hawaii Institute of Tropical Agriculture and Human Resources. Hawaii: University of Hawaii, 1981. 82 p. (Research Bulletin, 194).

MUMMEY, D. L.; RILLING, M. C.; SIX, J. Endogeic earthworms differentially influence bacterial communities associated with different soil aggregate size fractions. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 38, n. 7, p. 1608-1614, July. 2006.

PACIONI, G.; Wet sieving and decanting techniques for the extraction of spores of vesicular: arbuscular fungi. In: NORRIS, J. R.; READ, D. J.; VARMA, A. K. **Methods in microbiology: techniques for mycorrhizal research**. London: Academic Press, 1994. p. 777-782.

PAULA, M. A.; SIQUEIRA, J. O.; OLIVEIRA, L. H.; OLIVEIRA, E. Efetividade simbiótica relativa em soja de populações de fungos endomicorrízicos nativos e de isolados de *Glomus Macrocarpum* e *Gigaspora Margarita*. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 12, n. 1, p. 25-31, 1988.

PAULUS, G.; SCHLINDWEIN, S. L. Agricultura sustentável ou (re)construção do significado de agricultura?. **Revista Agroecologia e Desenvolvimento Rural Sustentável**, Porto Alegre, v. 2, n. 3, jul./set. 2001.

PERLATTI, F. **Diversidade de fungos micorrízicos arbusculares no solo de agroecossistemas e mata nativa em ambiente semiárido no Ceará**. 2010. 90 f. Dissertação (Mestrado em Biologia, Ecologia e Recursos Naturais) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2010.

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

PORTER, W. M. The "Most Propable Number" method for enumerating infective propagules of vesicular arbuscular mycorrhizal fungi in soil. **Australian Journal of Soil Research**, Victoria, v. 17, n. 3, p. 515-519, 1979.

PURIN, S. **Fungos micorrízicos arbusculares: atividade, diversidade e aspectos funcionais em sistemas de produção de maçã**. 2005. 147 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias, Produção Vegetal) - Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2005.

PURIN, S.; KLAUBERG FILHO, O.; STURMER, S. L. Mycorrhizae activity and diversity in conventional and organic apple orchards from Brazil. **Soil Biology Biochemistry**, v. 38, n. 7, p. 1831-1839, July, 2006.

PURIN, S.; KLAUBERG FILHO, O. Glomalina: nova abordagem para entendermos a biologia dos fungos micorrízicos arbusculares. In: SIQUEIRA, J. O.; SOUZA, F. A.; CARDOSO, E. J. B. N.; TSAI, S. M. (Eds.). **Micorrizas: 30 anos de pesquisa no Brasil**. Lavras: Ed. UFLA, 2010. 716 p.

REIJNTJES, C.; HAVERKORT, B.; WATERS-BAYER, A. **Agricultura para o futuro: uma introdução à agricultura sustentável e de baixo uso de insumos externos**. 2. ed. Rio de Janeiro: ASPTA; Holanda: ILEIA, 1999. 324 p.

RILLIG, M. C.; FIELD, C. B.; ALLEN, M. F. Soil biota responses to long-term atmospheric CO<sub>2</sub> enrichment in two California annual grassland. **Oecologia**, Berlin, v. 119, n. 4, p. 572-577, 1999.

RILLIG, M. C.; RAMSEY, P. W.; MORRIS, S.; PAUL, E. A. Glomalin, an arbuscular-mycorrhizal fungal soil protein, responds to land-use change. **Plant and Soil**, The Hague, v. 253, n. 1/2, p. 293-299, June, 2003.

RILLIG, M. C.; WRIGHT, S. F.; NICHOLS, K. A.; SCHMIDT, W. F.; TORN, M. S. Large contribution of arbuscular mycorrhizal fungi to soil carbon pools in tropical forest soils. **Plant and Soil**, The Hague, v. 233, n. 1/2, p. 167-177, June, 2001.

ROSIER, C. L.; HOYE, A. T.; RILLIG, M. C. Glomalin-related soil protein: assessment of current detection and quantification tools. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 38, n. 8, p. 2205-2211, Aug. 2006.

SAGGIN JÚNIOR, O. J.; SIQUEIRA, J. O. Micorrizas arbusculares em cafeeiro. In: Siqueira, J. O. (Ed.). **Avanços em fundamentos e aplicações de micorrizas**. Lavras: DCS/DCF, 1996. p. 203-254.

SANTOS, A. C.; SALCEDO, I. H.; CANDEIAS, A. L. B. Relação entre o relevo e as classes texturais do solo na microbacia hidrográfica de Vaca Brava, PB. **Revista Brasileira de Cartografia**, n. 54, p. 86-94, 2002.

SCHENCK, N. C (Ed.). **Methods and principles of mycorrhizal research**. 2<sup>nd</sup>ed. St. Paul: The American Phytopathological Society, 1984. 244 p.

SCHENK, N. C.; PÉREZ, Y. **Manual for the identification of VA mycorrhizal fungi**. Gainesville: Synergistic Publications, 1990. 245 p.

SIEVERDING, E. **Vesicular-arbuscular mycorrhiza management in tropical agrosystems**. Eschborn: Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit, 1991. 371 p.

SILVA, F. S. B. **Fase assimiótica, produção, infectividade e efetividade de fungos micorrízicos arbusculares em substratos com adubos orgânicos**. 2006. 248 f. Tese (Doutorado em Biologia dos Fungos) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2006.

SILVA, G. A. **Potencial de infectividade de fungos micorrízicos arbusculares oriundos de área de caatinga nativa e degradada por mineração**. 2000. Dissertação (Mestrado em Biologia dos Fungos) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2000.

SILVA, G. A.; MAIA, L. C.; SILVA, F. S. B.; LIMA, P. C. F. Potencial de infectividade de fungos micorrízicos arbusculares oriundos de área de caatinga nativa e degradada por mineração, no Estado da Bahia, Brasil. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 24, n. 2, p. 135-143, jun. 2001.

SIQUEIRA, J. O.; FRANCO, A. A. **Biotecnologia do solo: fundamentos e perspectivas**. Brasília, DF: MEC/ABEAS; Lavras: ESAL/FAEPE, 1988. 236 p.

SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S. **Biologia e bioquímica do solo**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2002. 291 p.

SIQUEIRA, J. O. Micorrizas arbusculares. In: ARAÚJO, R. S.; HUNGRIA, M. (Eds.). **Microrganismos de importância agrícola**. Brasília, DF: Embrapa CNPAF, 1994. p. 51-194. (Documentos, 44).

SIQUEIRA, J. O.; NAIR, M. G.; HAMMERSCHMDT, R.; SAFIR, G. R. Significance on phenolic compounds in plant-soil-microbial systems. **Critical Reviews in Plant Sciences**, Knoxville, v. 10, n. 1, p. 63-121, 1991.

SMITH, S. E.; READ, D. J. **Mycorrhizal symbiosis**. 2. ed. California: Academic, 1997. 605 p.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. **Cerrado: correção do solo e adubação**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2002. 416 p.

SOUZA, F. A.; TRUFEM, S. F. B.; ALMEIDA, D. L.; SILVA, E. M. R.; GUERRA, J. G. M. Efeito de pré-cultivos sobre o potencial de inóculo de fungos micorrízicos arbusculares e produção da mandioca. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 34, n. 10, p. 1913-1923, out. 1999.

SOUZA, F. A.; SILVA, E. M. R. Micorrizas arbusculares na revegetação de áreas degradadas. In: SIQUEIRA, J. O. (Ed.). **Avanços em fundamentos e aplicação de micorrizas**. Lavras: UFLA, 1996. p. 255-290.

SOUZA, R. G.; MAIA, L. C.; SALES, M. F.; TRUFEM, S. F. B. Diversidade e potencial de infectividade de fungos micorrízicos arbusculares em área de caatinga, na Região de Xingo, Estado de Alagoas, Brasil. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 26, n. 1, p. 49-60, mar. 2003.

STURMER, L. S.; SIQUEIRA, J. O. Species richness and spore abundance of arbuscular mycorrhizal fungi across distinct land uses in Western Brazilian Amazon. *Mycorrhiza*, v. 21, n. 4, p. 255-267, May, 2010.

STURMER, S. L.; KLAUBERG FILHO, O. K.; QUEIROZ, M. H.; MENDONÇA, M. M. Occurrence of arbuscular mycorrhizal fungi in soils of early stages of a secondary succession of Atlantic Forest in South Brazil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 20, n. 3, p. 513-52, Sep. 2006.

STURMER, S. L.; SIQUEIRA, J. O. Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in Brazilian ecosystems. In: MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O.; BRUSSAARD, L. (Eds.). **Soil Biodiversity in Amazonian and other Brazilian ecosystems**. London: CABI, 2006. p. 206-236.

TARAFDAR, J. C.; PRAVEEN-KUMAR. The role of vesicular arbuscular fungi on crop, tree and grasses grown in an arid environment. *Journal of Arid Environment*, v. 34, n. 2, p. 197-203, Oct. 1996.

TOMMERUP, I. C. Methods for the study of the population biology of vesicular–arbuscular mycorrhizal fungi. In: NORRIS, J. R.; READ, D. J.; VARMA, A. K. **Methods in microbiology: techniques for mycorrhizal research**. London: Academic Press, 1994. p. 483-511.

WRIGHT, S. F.; ANDERSON, R. L. Aggregate stability and glomalin in alternative crop rotations for the central Great Plains. **Biology and Fertility Soils**, v. 31, n. 3/4, p. 249-253, 2000.

WRIGHT, S. F.; FRANKEE-SNYDER, M.; MORTON, J. B. Time-course study and partial characterization of a protein on hyphae of arbuscular mycorrhizal fungi during active colonization of roots. **Plant and Soil**, v. 181, p. 193-203, 1996.

WRIGHT, S. F.; STARR, J. L.; PALTINEANU, I. C. Changes in aggregate stability and concentration of glomalin during tillage management transition. **Soil Science Society of America Journal**, v. 63, n. 1, p. 1825-1829, 1999.

WRIGHT, S. F.; UPADHYAYA, A. A survey of soils for aggregate stability and glomalin, a glycoprotein produced by hyphae of arbuscular mycorrhizal fungi. **Plant and Soil**, v. 198, p. 97-107, 1998.

WRIGHT, S. F.; UPADHYAYA, A. Extraction of an abundant and unusual protein from soil and comparison with hyphal protein of arbuscular mycorrhizal fungi. **Soil Science**, v. 161, n. 9, p. 1-12, 1996.

YANO-MELO, A. M. **Biologia de fungos micorrízicos arbusculares em solos salinizados**. 2002. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2002.

ZHANG, Y.; GUI, L. D.; LIU, R. J. Survey of arbuscular mycorrhizal fungi in deforested and natural forest land in the subtropical region of Dunjiangyan, southwest China. **Plant Soil**, v. 261, n. 1/2, p. 257-263, Apr. 2004.

ZANGARO, W.; NISHIDATE, F. R.; VANDRESEN, J.; ANDRADE, G.; NOGUEIRA, M. A. Root mycorrhizal colonization and plant responsiveness are related to root plasticity, soil fertility and successional status of native woody species in southern Brazil. **Journal of Tropical Ecology**, v. 23, n. 1, p. 53-62, 2007.

ZATORRE, N. P. **Influência da mudança do uso do solo em ecossistema na Amazônia sul ocidental**. 2009. 85 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia, Ciência do Solo) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2009.