



FRANCIANE DINIZ COGO

**DOSES DE GESSO E DISTRIBUIÇÃO EM
PROFUNDIDADE NO SOLO DE FUNGOS
MICORRÍZICOS ARBUSCULARES E
GLOMALINA EM CAFEIRO NO CERRADO**

LAVRAS - MG

2016

FRANCIANE DINIZ COGO

**DOSES DE GESSO E DISTRIBUIÇÃO EM PROFUNDIDADE NO SOLO
DE FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES E GLOMALINA EM
CAFEIEIRO NO CERRADO**

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

Prof. Dr. Marco Aurélio Carbone Carneiro
Orientador

**LAVRAS - MG
2016**

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

Cogo, Franciane Diniz.

Doses de gesso e distribuição em profundidade no solo de fungos
micorrízicos arbusculares e glomalina em cafeeiro no cerrado /

Franciane Diniz Cogo. – Lavras : UFLA, 2016.

102 p. : il.

Tese(doutorado)–Universidade Federal de Lavras, 2016.

Orientador: Marco Aurélio Carbone Carneiro.

Bibliografia.

1. *Coffea arabica*. 2. Composição taxonômica. 3. Agregação.
Universidade Federal de Lavras. II. Título.

FRANCIANE DINIZ COGO

**DOSES DE GESSO E DISTRIBUIÇÃO EM PROFUNDIDADE NO SOLO
DE FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES E GLOMALINA EM
CAFEIEIRO NO CERRADO**

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

APROVADA em 28 de abril de 2016.

Prof. Dr. Geraldo César de Oliveira	UFLA
Prof. Dr. Orivaldo José Saggin-Júnior	EMBRAPA
Prof. Dr. Edicarlos Damacena Souza	UFMT
Prof. Dr. Helder Barbosa Paulino	UFG

Prof. Dr. Marco Aurélio Carbone Carneiro
Orientador

LAVRAS - MG

2016

O melhor mestre é o estudo. A melhor disciplina é o trabalho.

(Machado de Assis)

Aos meus pais, Ilma de Souza Diniz Cogo e Homero Cogo, pelos ensinamentos
e infinita bondade.

Às minhas irmãs, Flávia e Fernanda, e à minha sobrinha Ana, pois são a razão da
minha vida.

DEDICO!

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Lavras (UFLA) e ao Departamento de Ciência do Solo (DCS), pela oportunidade concedida para realização do Curso Doutorado.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de estudos, e apoio financeiro da Fundação de Amparo a Pesquisa em Minas Gerais (FAPEMIG) e a Coordenação de aperfeiçoamento de pessoal de nível superior (Capes).

Aos professores do Departamento de Ciência do Solo da UFLA, pelos ensinamentos transmitidos, colaboração e harmoniosa convivência.

Ao professor Dr. Marco Aurélio Carbone Carneiro, pela orientação, seus ensinamentos e apoio na realização deste trabalho.

Ao professor, Dr. Geraldo Cesar Oliveira, pela valiosa participação e disponibilização da área experimental para a realização deste trabalho.

À professora, Dra. Fátima Maria de Souza Moreira, Coordenadora da Pós-Graduação do DCS e à Sr^a. Dirce, secretária da Coordenação, pelo apoio constante.

Ao Dr. Paulo Tácito Gontijo Guimarães, pesquisador da EPAMIG, pelas sugestões para o trabalho, e à Joice Cristina Costa e Alessandro de Oliveira, da Empresa Agropecuária Piumhi, pela disponibilização da Fazenda Experimental, respectivamente.

Aos funcionários do Departamento de Ciência do Solo.

Às colegas, Andressa de Paula Neves e Erika Andressa da Silva pela ajuda nas amostragens de solo.

E a todos aqueles que, diretamente ou indiretamente, contribuíram para a minha superação profissional e pessoal.

RESUMO GERAL

A tese está dividida em duas partes, sendo a primeira uma introdução geral e a segunda, dois artigos. O primeiro artigo apresenta uma revisão bibliográfica sobre os fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) e a cultura do cafeeiro. Este artigo substitui o referencial teórico obrigatório na tese. Sua proposta é a uma revisão bibliográfica quantitativa e qualitativa, empregando-se meta-análise e revisão crítica dos avanços e tendências. A revisão mostrou a importância dos FMAs para o crescimento, nutrição de plantas e produção de grãos de cafeeiro. É evidente a existência de uma lacuna na avaliação dos diferentes manejos, adotados na cultura do cafeeiro e seus efeitos nos FMAs e a necessidade de ampliar as pesquisas, particularmente, em condições de campo, para se conferir a contribuição real dos FMAs como biofertilizantes, bioestimulante e biocontrole para o cafeeiro. O segundo artigo é um estudo sobre o impacto de crescentes doses de gesso agrícola, sobre a distribuição espacial de fungos micorrízicos arbusculares, glomalina e agregados do solo cafeeiro no Cerrado. Para tanto, avaliaram-se a densidade de esporos, riqueza de espécies, frequência de ocorrência, colonização radicular, glomalina no solo e nos agregados do solo, produtividade e teores de fósforo foliar e no grão. A riqueza total recuperada, na área sob cafeeiro, foi de 13 espécies de FMAs, sendo 9 espécies, na estação chuvosa e 10 espécies, na seca. Na estação chuvosa, a espécie *Claroideoglossum etunicatum* foi recuperada apenas no tratamento que recebeu 7 t ha⁻¹ de gesso agrícola, na profundidade 0,20-0,40m e *Rhizophagus intraradices* somente no tratamento com 56 t ha⁻¹ de gesso agrícola, na profundidade 0-0,40-0,60m; e, na estação seca, as espécies *Acaulospora* sp. e *Glomus tortuosum* foram recuperadas no tratamento que recebeu 7 t ha⁻¹ de gesso agrícola, na profundidade 0-0,20m; e a *Gigaspora* sp. foi recuperada, em todas as doses de gesso agrícola e profundidade, nas duas estações. A aplicação de crescentes doses de gesso agrícola no solo sob cafeeiro não afetou a densidade de esporos e a riqueza de FMAs. A colonização radicular foi superior na profundidade 0-0,20m nas duas estações. Os teores proteína do solo facilmente extraível (PSGFE) diminuíram, linearmente, com o aumento da dose de gesso agrícola e aumentaram com a profundidade na estação chuvosa. Os agregados do solo com Ø > 2,0 mm apresentaram os maiores teores de PSGFE nas duas estações.

Palavras-chave: *Coffea arabica* L.. Produtividade. Composição da comunidade. Taxonomia. Proteína do solo. Glomeromycota e sulfato de cálcio.

GENERAL ABSTRACT

The thesis is divided into two parts, the first being a general introduction, and the second two articles. The first article presents a literature review on the mycorrhizal fungi (AMF) and coffee plantations. This article replaces the required theoretical framework in the thesis. His proposal is a quantitative and qualitative literature review, using meta-analysis and critical review of developments and trends. The review showed the importance of mycorrhizal fungi for growth, plant nutrition and production of coffee beans. It is clear that there is a gap in the evaluation of different management methods, adopted in coffee and its effects on AMF and the need to expand the research, particularly under field conditions to give the real contribution of AMF as biofertilizers, biostimulant and biocontrol for coffee. The second paper is a study on the impact of high doses of phosphogypsum on the spatial distribution of mycorrhizal fungi and Glomalin and aggregates of the coffee ground in the Cerrado. Therefore, ensure reviewed the spore density, species richness, frequency of occurrence, root colonization, Glomalin soil and soil aggregate productivity and leaf phosphorus and grain. The total wealth recovered in the area under coffee, was 13 AMF species, 9 species in the rainy season and 10 species in the dry. In the rainy season, the Claroideoglomus Glomus species was recovered only treatment he received 7 t ha⁻¹ of phosphogypsum in depth 0,20-0,40m and Rhizophagus intraradices only in the treatment with 56 t ha⁻¹ of phosphogypsum in 0-0,40-0,60m depth; and in the dry season, the species Acaulospora sp. and Glomus tortuosum were recovered at the treatment he received 7 t ha⁻¹ of phosphogypsum in depth 0-0,20m; and Gigaspora spp. It was recovered at all doses of gypsum and depth, the two stations. The application of high doses of gypsum in the soil under coffee did not affect spore density and richness of AMF. The root colonization was superior in depth 0-0,20m in two seasons. The protein content of the soil easily extractable (PSGFE) decreased linearly with increasing dose of phosphogypsum and increased with depth in the rainy season. The soil aggregates with Ø > 2.0 mm had the highest PSGFE levels in two seasons.

Keywords: Coffea arabica L.. Productivity. Community composition. Taxonomy. Protein soil. Glomeromycota and calcium sulfate.

LISTA DE FIGURAS

SEGUNDA PARTE- ARTIGOS

ARTIGO 1

- Figura 1 Valores médios para colonização e número de esporos de diferentes estudos. Entre parênteses encontra-se o número de estudos analisados para número de esporos e colonização radicular, respectivamente.....36

ARTIGO 2

- Figura 1 Colonização radicular nas estações chuvosa (A) e seca (B) em função da aplicação de doses crescentes de gesso agrícola em cafeeiro nas profundidades 0-0,20m, 0,20-0,40m e 0,40-0,60m.....82
- Figura 2 Proteína do solo relacionada à glomalina facilmente extraível (PSGFE) na estação seca para as doses crescentes de gesso agrícola (B) e para as profundidades 0-0,20m, 0,20-0,40m e 0,40-0,60m (A). Obs. Médias seguidas da mesma letra não diferem pelo teste de Scott-Knott ($P < 0,05$).....86
- Figura 3 Proteína do solo relacionada à glomalina facilmente extraível (PSGFE) em classes de agregados do solo nas estações chuvosa (A) e seca (B) na profundidade 0-0,20m em função da aplicação de doses crescente de gesso em cafeeiros. Obs. Médias seguidas da mesma letra não diferem pelo teste de Scott-Knott ($P < 0,05$).....87
- Figura 4 Teores foliares de fósforo em cafeeiro em função da aplicação de doses crescentes de gesso em cafeeiros.....89

Figura 5 Análise de componente principais para PSGFE (GL), densidade de esporos (DE), colonização (CL), riqueza (R), produtividade, teores de P foliar e no grão nas estações chuvosa (A) e seca (B) em função da aplicação de doses crescentes de gesso agrícola em cafeeiro nas profundidades 0-0,20m (20), 0,20-0,40m (40) e 0,40-060m (60). 94

LISTA DE QUADROS

SEGUNDA PARTE- ARTIGOS

ARTIGO 2

Quadro 1	Atributos químicos do solo.	74
Quadro 2	Quantidade de fósforo (P), enxofre (S) e cálcio (Ca) equivalente a calagem, gessagem, adubação da cova de plantio e tratamentos.	75
Quadro 3	Riqueza de FMAs, frequência de ocorrência (Fr%) e densidade relativa esporos nas estações chuvosa e seca nas profundidades 0-0,20m (20); 0,20-0,40m (40) e 0,40-060m (60) em função da aplicação de doses crescentes de gesso agrícola em cafeeiro.	79
Quadro 4	Densidade de esporos e riqueza de FMAs nas estações chuvosa e seca em função da aplicação de doses crescentes de gesso agrícola em cafeeiro e tratamento referência nas profundidades 0-0,20m; 0,20-0,40m e 0,40-0,60m.	81
Quadro 5	Proteína do solo relacionada à glomalina facilmente extraível (PSGFE) na estação chuvosa em função da aplicação de doses crescente de gesso agrícola em cafeeiro nas profundidades 0-0,20m, 0,20-0,40m e 0,40-0,60m.	84
Quadro 6	Médias para teores de fósforo no grão em cafeeiro em função da aplicação de doses crescentes de gesso em cafeeiros.	88
Quadro 7	Matriz de correlação.	90
Quadro 8	Loadings para as componentes principais na estação chuvosa e seca em função da aplicação de doses crescentes de gesso agrícola em cafeeiro nas profundidades 0-0,20m (20), 0,20-0,40m (40) e 0,40-060m (60).	93

LISTA DE TABELAS

SEGUNDA PARTE- ARTIGOS

ARTIGO 1

Tabela 1	Distribuição por país, locais de realização do estudo e objetivos das pesquisas.....	30
Tabela 2	Teste I^2 , tamanho do efeito (TE), erro padrão (EP) e intervalo de confiança (IC) para os parâmetros de crescimentos das mudas de cafeeiro e produção de grãos.....	41
Tabela 3	Teor de Fósforo (%) na parte aérea de cafeeiros inoculados ou não com FMAs, Tamanho do efeito (TE), intervalo de confiança (IC), para mudas em casa de vegetação.....	43
Tabela 4	Fósforo (g/planta) aplicado na cova durante plantio, produção de grãos (g/planta) em cafeeiro inoculado ou não com FMAs, Tamanho do efeito (TE), intervalo de confiança (IC).	46

SUMÁRIO

PRIMEIRA PARTE	13
1 INTRODUÇÃO	13
1.1 Objetivos	14
1.2 Organização da tese	15
REFERÊNCIAS	17
SEGUNDA PARTE – ARTIGOS	21
ARTIGO 1 - MICORRIZAS ARBUSCULARES EM CAFEIEIRO: REVISÃO E META- ANÁLISE	21
ARTIGO 2 - DOSES DE GESSO E DISTRIBUIÇÃO EM PROFUNDIDADE NO SOLO DE FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES E GLOMALINA EM CAFEIEIRO NO CERRADO	69

PRIMEIRA PARTE

1 INTRODUÇÃO

Generalidades

A cafeicultura progride com tecnologias para aumentar a produção de café, sendo adotadas alternativas regionais. A aplicação de doses de gesso agrícola tem sido uma opção escolhida por alguns cafeicultores do Cerrado do Suldoeste mineiro, como alternativa para minimizar os efeitos de déficits hídricos na camada superficial do solo por favorecer o aprofundamento do sistema radicular do solo (CARDUCCI et al., 2014b; 2015).

Estudos em cafeeiros em algumas áreas do Cerrado mineiro com doses crescentes de gesso agrícola tem mostrado aumentos na concentrações de Ca^{2+} na solução do solo (RAMOS et al., 2013), distribuição radicular mais uniforme, especialmente, na direção vertical do perfil do solo atingindo maiores profundidades, em média, 0,87m de profundidade em cafeeiro jovens (SERAFIM et al., 2013a e b; RAMOS et al., 2013; CARDUCCI et al., 2014b; 2015), menor susceptibilidade à desagregação (SILVA et al., 2013; 2014) e redução do déficit hídrico da cultura (SERAFIM, 2013a e b).

Este sistema, utilizado por alguns cafeicultores do Cerrado mineiro, é caracterizado pela aplicação de crescentes doses de gesso agrícola, cultivo de braquiária, nas entrelinhas dos cafeeiros, espaçamento semiadensado, com em média 5.333 plantas por hectare, preparo e correção do sulco de plantio de do solo até 0,60m de profundidade, plantio antecipado do cafeeiro, na segunda quinzena de outubro e na primeira quinzena de novembro, variedades de porte baixo e uso de tração animal na realização dos tratos cultural, monitoramento do estado nutricional das plantas e adubações com base em análise foliar realizadas no período de dezembro a abril (SERAFIM, 2011).

Os avanços de pesquisas sobre os atributos químicos e físicos em cafeeiro com doses crescentes de gesso agrícola têm contribuído para subsidiar o seu uso nessas áreas, no entanto, há, ainda, carência de informações quanto a atributos biológicos, como a comunidade de fungos micorrízicos arbusculares (FMAs).

Os FMAs são de ocorrência comum em cafezais (CARDOSO, 1978; ARIAS et al., 2012). Promovem a maior exploração do solo e, conseqüentemente, aumento da absorção de nutrientes e água (AUGE, 2001), para a planta hospedeira, principalmente, os nutrientes pouco móveis como o Zn, Cu e, especialmente, o fósforo (SANCHEZ et al., 2005; GAMPER et al., 2004; CARDOSO et al., 2003; LABIDI et al., 2012). Em troca, a planta fornece fotoassimilados (SIQUEIRA et al., 2010).

Os FMAs contribuem para o rápido estabelecimento, desenvolvimento (SIQUEIRA et al., 1993; SAGGIN-JÚNIOR et al., 1995), acréscimo da absorção de nutrientes para a planta e, conseqüentemente, o aumento da biomassa vegetal (TRISTÃO et al., 2006) e produção de grão (COLOZZI-FILHO et al., 1994). Outro benefício da atividade dos FMAs no solo é a produção de glomalina, uma glicoproteína (WRIGHT e UPADHYAYA, 1998; RILLIG, 2004; GILLESPIE et al., 2011), de vida longa no solo (RILLIG et al., 2001), fortemente relacionada com a estabilidade de agregados (WRIGHT E UPADHYAYA, 1998; RILLIG et al., 2002).

O conhecimento das relações entre doses crescentes de gesso agrícolas, com a composição da comunidade de FMAs e glomalina, como agente de ligação das partículas do solo em agregados, será útil para subsidiar a aplicação desta prática utilizada por cafeicultores no Cerrado mineiro.

1.1 Objetivos

Os objetivos deste estudo foram avaliar os impactos de crescentes das doses de gesso agrícola, sobre a distribuição espacial de fungos micorrízicos

arbusculares, glomalina e agregados do solo sob cafeeiros no cerrado do suldoeste mineiro.

1.2 Organização da tese

A tese está dividida em duas partes, sendo a primeira uma introdução geral e a segunda, dois artigos.

No primeiro artigo apresenta-se uma revisão bibliográfica sobre os fungos micorrízicos arbusculares e a cultura do cafeeiro. Este artigo substitui o referencial teórico obrigatório na tese, tendo sido formatado para atender às normas de publicação em revista científica. Sua proposta é uma revisão de bibliográfica quantitativa e qualitativa, empregando-se meta-análise e revisão crítica dos avanços e tendências.

No segundo artigo, é realizado um estudo sobre os efeitos da aplicação de doses crescentes de gesso agrícola sobre a comunidade FMAs nas profundidades 0-0,20, 0,20-0,40 e 0,40-0,60m. Para tanto, avaliaram-se a densidade de esporos, riqueza de espécies, frequência de ocorrência, colonização radicular, glomalina no solo e nos agregados do solo, produtividade e teores de fósforo foliar e no grão.

REFERÊNCIAS

ARIAS, R. M. et al. Diversity and abundance of arbuscular mycorrhizal fungi spores under different coffee production systems and in a tropical montane cloud forest patch in Veracruz, Mexico, **Agroforestry Systems**, Dordrecht, v.85, p.179–193, 2012.

AUGÉ, R. M. Water relations, drought and vesicular-arbuscular mycorrhizal symbiosis. **Mycorrhiza**, Berlin, v.11, p. 3-42, 2001.

CARDOSO I. M. et al. Distribution of mycorrhizal fungal spores in soils under agroforestry and monocultural coffee systems in Brazil. **Agroforestry Systems**, Dordrecht, v.58, p.33–43, 2003.

CARDOSO, E. J. B. N. Ocorrência de micorriza em café. **Summa Phytopathol**, Botucatu, v.4, n.2-4, p.136-137, 1978.

CARDUCCI, C.E. et al. Gypsum effects on the spatial distribution of coffee roots and the pores system in oxidic Brazilian Latosol. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.145, p.171-180, 2015.

CARDUCCI, C. E. et al. Distribuição espacial das raízes de cafeeiro e dos poros de dois Latossolos sob manejo conservacionista. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.18, p.270-278, 2014a.

CARDUCCI, C. E. et al. Spatial variability of pores in oxidic latosol under a conservation management system with different gypsum doses. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.38, p45-460, 2014b.

COLOZZI-FILHO. A. et al. Efetividade de diferentes fungos endomicorrízicos na formação, crescimento pós-transplante e produção do cafeeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.29, p.1397-1406, 1994.

GAMPER, H. et al. Arbuscular mycorrhizal fungi benefit from 7 years of free air CO₂ enrichment in well-fertilized grass and legume monocultures. **Global Change Biology**, v.10, p.189-199, 2004.

GILLESPIE, W. A. et al. Glomalin-related soil protein contains nonmycorrhizal-related heat-stable proteins, lipids and humic materials. **Soil Biology and Biochemistry**, Elmsford, v.43, p.766–777, 2011.

LABIDI, S. Role of arbuscular mycorrhizal symbiosis in root mineral uptake under CaCO_3 stress. **Mycorrhiza**, Berlin, v.22, p.337–345, 2012.

RAMOS, B. et al. doses de gesso em cafeeiro: influência nos teores de cálcio, magnésio, potássio e pH na solução de um Latossolo vermelho distrófico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.37, p.1018-1026, 2013.

RILLIG, M. C. et al. Artificial climate warming positively affects arbuscular mycorrhizae but decreases soil aggregate water stability in an annual grassland, **Oikos**, v.97, p.52-58, 2002.

RILLIG, M.C. et al. Large contribution of arbuscular mycorrhizal fungi to soil carbon pools in tropical forest soils. **Plant and Soil**, The Hague, v. 233, p.167–177, 2001.

RILLIG, M. C. Arbuscular mycorrhizae, glomalin and soil quality. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v.84, p.355–363, 2004.

SAGGIN-JÚNIOR. O. J. et al. Colonização do cafeeiro por diferentes fungos micorrízicos: Efeito na formação das mudas e no crescimento em solo fumigado. **Revista brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v.19, p.213-220, 1995.

SANCHEZ, C. et al. Comportamiento de 15 cepas de hongos micorrizogenos (HMA) sobre el desarrollo de posturas de cafeto en un suelo pardo gleyzoso. **Revista Forestal Latino americana**, Mérida, v.38, p.83–95, 2005.

SERAFIM, M. et al. Sistema conservacionista e de manejo intensivo do solo no cultivo de cafeeiros na região do Alto São Francisco, MG: estudo de caso. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v.27, p.964-977, 2011.

SERAFIM, M. E. et al. Qualidade física e intervalo hídrico ótimo em latossolo e cambissolo, cultivados com cafeeiro, sob manejo conservacionista do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.37, p.733-742, 2013b.

SERAFIM, M. E et al. Potencialidades e limitações de uso de latossolos e cambissolos, sob sistema conservacionista em lavouras cafeeiras. **Bioscience Journal**, Viçosa, v.29, p.1640-1652, 2013a.

SILVA, E. A et al. Doses crescentes de gesso agrícola, estabilidade de agregados e carbono orgânico em Latossolo do Cerrado sob Cafeicultura. **Revista de Ciências Agrárias**, Recife, v.56, p.25-32, 2013.

SILVA, E. A. et al. Aggregate stability by the "high energy moisture characteristic" method in an oxisol under Differentiated Management. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.38, p.1633-1642, 2014.

SIQUEIRA, J. O. et al. Crescimento de mudas e produção do cafeeiro sob influência da inoculação com fungos micorrízicos e aplicação de superfosfato. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.17, n.1, p.53-60, 1993.

SIQUEIRA, J. O. et al. **Micorrizas: 30 anos de pesquisa no Brasil**. Lavras: Editora UFLA, v.1, p.279-310, 2010.

TRISTÃO, F. S. M. et al. Fungos micorrízicos arbusculares na formação de mudas de cafeeiro, e, substrato orgânico comerciais. **Bragantia**, Campinas, v.65, n.4, p.649-658, 2006.

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

SEGUNDA PARTE – ARTIGOS

**ARTIGO 1 - MICORRIZAS ARBUSCULARES EM
CAFEIRO:REVISÃO E META- ANÁLISE**

(VERSÃO PRELIMINAR).

Normas da Revista *Coffee of Science*

Franciane Diniz Cogo¹, Marco Aurélio Carbone Carneiro², Paulo Tácito Gontijo
Guimarães³, Orivaldo José Saggin Júnior⁴, José Oswaldo Siqueira⁵

¹Universidade Federal de Lavras/UFLA - Departamento de Ciência do Solo/DCS-
Cx. P. 3037-37.200-000 - Lavras - MG - fdcogo@yahoo.com.br

²Universidade Federal de Lavras/UFLA - Departamento de Ciência do Solo/DCS-
Cx. P. 3037-37.200-000 - Lavras - MG - marcocarbone@dcs.ufla.br

³Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais/EPAMIG - Cx. P. 176 - 37.200-
000 - Lavras - MG - paulotgg@ufla.epamig.br

⁴Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Centro Nacional de Pesquisa de
Agrobiologia- Cx. P. 74505 – 23.891-000 - Seropédica-RJ- orivaldo.saggin@embrapa.br

⁵Instituto Tecnológico Vale, rua Boaventura da Silva , 955-66.055-090 -Belém -PA-
jose.oswaldo.siqueira@itv.org

Resumo: O cafeeiro, planta de importância econômica mundial, apresenta elevado grau de micotrofia para a absorção de nutrientes, em especial de fósforo cujas fontes são escassas, requeridas em grande quantidade em solos tropicais. Os fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) em cafeeiros tem sido objeto de estudo há mais de três décadas e por isso é relevante analisar esses estudos de maneira quantitativa e qualitativa, empregando-se meta-análise e revisão crítica dos avanços e tendências. Nesta revisão são discutidos aspectos como distribuição geográfica, ecologia, efeitos no crescimento vegetal, nutrição mineral, micotrofismo, eficiência simbiótica e suas aplicações, com especial ênfase nas pesquisas realizadas no Brasil. Empregando as bases de dados eletrônicas Cab Abstracts, Springerlink, Science Direct, Scielo, Scopus, ISI, Lilascs, Woldcat, foram 73 estudos analisados entre artigos, dissertações e teses. A meta-análise mostrou a importância dos FMAs para o crescimento, nutrição de plantas e produção de grãos. No entanto, fica evidente ainda uma lacuna na avaliação dos diferentes manejos adotados na cultura do cafeeiro e seus efeitos nos FMAs e a necessidade de ampliar as pesquisas, em condições de campo para se conferir a contribuição real dos FMAs como biofertilizantes, bioestimulante e biocontrole para o cafeeiro.

Termos para indexação: *Coffea arabica* L., crescimento de plantas, produtividade, fungos micorrízicos, eficiência simbiótica, nutrição mineral.

1 Introdução

A ocorrência de fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) é comum em cafezais, sendo identificadas naturalmente em viveiro (SIQUEIRA et al., 1987) e campo (BEENHOUWER et al., 2015; ARIAS et al., 2012). A espécie *Coffea arabica* L. apresenta elevado grau de dependência micorrízica (SIQUEIRA;

COLOZZI-FILHO, 1986), principalmente em solos com baixo teor de P disponível (KAHILUOTO; KETOJA e VESTBERG, 2012).

Os FMAs formam uma associação simbiótica endofíticas biotrófica e mutualista, desenvolvida como as e raízes das plantas vasculares (SIQUEIRA, 1993b; BRUNDRETT, 2002; SCHULZ; BOYLE, 2005). Esses fungos colonizam o córtex das raízes, com penetração inter e intracelular sem alterações morfológicas visuais, por meio de modificações nas hifas formando os arbúsculos, vesículas e esporos (SIQUEIRA, 1993b; LAMBAIS, 1996). As hifas extrarradiculares conseguem penetrar no solo, em microambientes, local em que as raízes não alcançam e favorecem o fornecimento de água e nutrientes para a planta hospedeira (TRISTÃO; ANDRADE e SILVEIRA, 2006; SAGGIN-JÚNIOR et al., 1995), em especial os poucos móveis no solo, tendo destaque o fósforo (ALBÁN et al., 2013).

O fósforo destaca-se entre os nutrientes, cuja absorção é beneficiada pelos FMAs, por se tratar de um íon de difusão lenta no solo (HINSINGER, 2001) e devido à forte, fixação com os óxidos de ferro e alumínio, reduzindo assim a eficiência das adubações fosfatadas (STÜMER; SIQUEIRA et al., 2013). Além disso, as fontes de fósforo são escassas no Brasil e o nutriente é requerido em grande quantidade em solos tropicais. Outros elementos essenciais absorvidos pelos FMAs são o zinco (ANDRADE et al., 2009), cobre (COLOZZI-FILHO et al., 1994; SIQUEIRA; COLOZZI-FILHO e SAGGIN-JÚNIOR, 1994) e nitrogênio (HODGE; CAMPBELL; FITTER, 2001) na forma de nitrato e amônio (HOOKER; BLACK, 1995). E também proporciona a proteção direta da planta à toxidez de manganês (SAGGIN-JÚNIOR et al., 1992), cobre e zinco (ANDRADE; SILVEIRA; MAZZAFERA., 2010). Essa melhor nutrição das plantas proporcionada pelos FMAs promovem incremento da biomassa vegetal (TRISTÃO; ANDRADE e SILVEIRA, 2006) e consequente elevação da produção (COLOZZI-FILHO et al., 1994). Os FMAs

proporcionam outros efeitos benéficos como o aumento na tolerância à doenças (VAAST; CASWELL-CHEN e ZASOSKI, 1998), deficit hídrico (ANAYA et al., 2011) e maior agregação do solo (CARNEIRO et al., 2015).

Considerando os benefícios proporcionados pelos FMAs, e a dependência de micorrízica dos cafeeiros, e o grande número de pesquisas realizadas para avaliar essa associação, torna-se interessante reunir todos os estudos de maneira qualitativa e quantitativa. Uma opção seria o uso de uma revisão sistemática com meta-análise que consiste em uma revisão quantitativa que agrega e sintetiza a literatura sobre um assunto, apoiada por métodos estatísticos (OLKIN, 1995). Utilizando os FMAs foram realizadas três revisões meta-análises (BARTO; RILLIG et al., 2010; LEHMANN et al., 2010; MAYERHOFER; KERNAGHAN e HARPER., 2012). A análise de Barto e Rillig (2010) basearam-se em 99 experimentos extraídos de 33 publicações para verificar a influência da herbivoridade na transferência de carbono para FMAs. Lehmann et al., (2010) estudaram a importância do ano de publicação e a resposta dos FMAs quanto a colonização radicular e a eficiência na aquisição do fósforo. E, Mayerhofer; Kernaghan e Harper (2012) determinaram os efeitos da inoculação de fungos endófitos de raiz na biomassa vegetal e da concentração de nitrogênio.

As revisões acima não apresentam foco em uma cultura agrícola específica, como a cultura do cafeeiro. Apesar de existir um número considerável de estudos sobre FMAs e a cultura do cafeeiro, esses dados ainda não foram reunidos, organizados e sintetizados em uma revisão utilizando a ferramenta de meta-análise. Assim, uma revisão com meta-análise sobre os FMAs e a cultura do cafeeiro, não apresenta somente um valor informativo, mas também proporciona potencial para sinalizar os novos avanços e tendências para este campo de pesquisa. Portanto, esse trabalho teve por objetivo apresentar uma revisão com meta-análise utilizando estudos com fungos micorrízicos

arbusculares em cafeeiros. Nesta são discutidos aspectos como distribuição geográfica, ecologia, efeitos no crescimento vegetal, nutrição mineral, micotrofismo, eficiência simbióticas e suas aplicações, com especial ênfase nas pesquisas realizadas no Brasil. Avanços e tendências para as futuras pesquisas também são descritos, devem sinalizar os caminhos para que o uso desta tecnologia seja introduzida como uma prática de manejo na cadeia produtiva do cafeeiro.

2 Material e métodos

2.1 Coleta de dados

As bases de dados eletrônicas Cab Abstracts, Springer, Scielo, Scopus, ISI, Lilascs, Woldcat, revistas impressas, dissertações e teses foram utilizadas para construir o banco de dados, buscando referências entre os anos de 1978 até 2015. Os termos chaves utilizados para a pesquisa foram [Fungos micorrízicos arbusculares*(cafeeiro ou *Coffea arabica* ou desenvolvimento de plantas ou nutrição vegetal ou nutrição fosfatada ou inoculação no campo ou persistência ou disseminação ou efeitos na planta ou disponibilidade de fósforo; ou mudas de cafeeiro ou mudas em viveiro ou mudas no campo ou disponibilidade de nutriente ou simbiose)] e [Cafeeiro* (micorrizas ou fósforo ou colonização radicular ou endomicorrizas ou fungos micorrízicos indígenas ou simbiose ou inoculação de micorrizas)].

A extração de dados foi realizada a partir da análise individual de cada publicação, coletando-se: país de origem, locais de realização (laboratório, campo e casa de vegetação ou viveiro), objetivos (biofertilizantes, biocontrole, flutuação sazonal, persistência no campo, produtividade e identificação taxonômica), colonização radicular, número de esporos, espécies de FMAs e parâmetros do cafeeiro (altura de planta, diâmetro de caule, biomassa vegetal, teor de fósforo da parte aérea). Para todas as variáveis relacionadas com

crescimento de planta foi considerada a presença (tratamento) e ausência das micorrizas (controle).

Quando uma publicação relatou mais de uma variável foram tratadas cada uma como experiência separada, e quando a tese ou dissertação apresentava os dados publicados em artigos, estes foram considerados apenas uma vez. A efetivação deste estudo, análise e interpretação foi embasada em “Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses: The PRISMA Statement” (MOHER et al., 2009), que consiste em um suporte por meio de diretrizes e *checklist*.

2.1 Análise de dados

Análise qualitativa

Os dados coletados à partir do país de origem, locais de realização, objetivos, colonização radicular, número de esporos e espécies de FMAs foram analisados utilizando o método de análise qualitativa estruturante do conteúdo (BARDIN, 1994). Esta técnica consiste exploração do material e tratamento dos resultados, a partir da qual se torna possível uma reconstrução de resultados significativos e válidos, à fim de gerar aprofundamento e a interpretação da realidade, permitindo assim a realização da inferências (SILVA; GOBBI e SIMÃO, 2005)

Análise quantitativa

Para a colonização e número de esporos calculou-se o erro padrão da média, quando se tratava de mais de um experimento, para demonstrar a variabilidade entre os estudos (BANZATO; KRONKA, 2013).

A comparação do efeito dos FMAs sobre os parâmetros de crescimento do cafeeiros, foi calculado o tamanho do efeito (TE) em cada estudo. Este valor é obtido a partir de uma análise que é resumo as diferenças entre grupos experimentais e controle (HARTUNG; KANAPP e SINHA 2008). O tamanho do efeito permite medir o efeito global (efeito significativo do tratamento

comparado com o controle) e sua variância associada (GUREVITCH; HEDGES 1999; HEDGES; GUREVITCH e CURTIS et al., 1999). Os tamanhos do efeito (TE) foram calculados pela razão entre X^E (tratamentos experimentais) e X^C (tratamento controle) (NEYELOFF; FUCHS e MOREIRA, 2012).

A escolha do TE é justificado por este apresentar significado biológico direto. Valores superiores a 1 sinalizam aumento do efeito nas variáveis com a inoculação (resposta positiva), valores entre 0 e 1 indicam uma diminuição (resposta negativa), e 1 é neutro (tratamentos com inoculação igual ao tratamento sem inoculação). Também foi calculado o tamanho do efeito individualmente para cada espécie de FMA estudada em função do teor de fósforo na parte aérea e produção de grãos.

Os tamanhos de efeito foram estimados usando uma planilha Microsoft Excel (NEYELOFF; FUCHS e MOREIRA, 2012). Realizaram-se todas as análises assumindo efeito aleatório. Este modelo considera a variação dentro e entre de cada estudo, pois apesar das diferenças, considerando que os estudos eram conectados por meio de uma distribuição de probabilidade normal (RODRIGUES, ZIEGELMAN 2010). O modelo de efeitos aleatórios foi descrito como: onde $Y_j = \Theta_m + Z_j + E_j$ E_j é o erro aleatório do estudo j , Z_j é o efeito aleatório de cada estudo j e Θ_m é a medida meta-analítica.

Para efetivação deste modelo calculou-se o tamanho do efeito (TE), o erro padrão (S_x), o intervalo de confiança (IC) individual e peso (P) individual e peso de cada grupo.

$$TE = \frac{X^E}{X^C}; S_x = \frac{S}{\sqrt{n}}; IC = X \pm (1,96) \frac{S}{\sqrt{n}}; P = \frac{1}{\sqrt{S_x}}$$

Para validar os pressupostos básicos de análise de variância foram realizados os testes de I^2 (medida de inconsistência para verificar a heterogeneidade de variâncias) sendo descrito como: $I^2 = \frac{Q-(J-1)}{Q} \times 100$ onde

I^2 a medida de inconsistência, Q a estatística do teste de Cochran e J o número de estudos (HIGGINS; THOMPSON, 2002).

O teste I^2 descreve o percentual de variação entre os estudos, por meio de valores que variam entre 0% a 100%, sendo os valores negativos igualados a zero. Valores próximos a 0% indicam a não heterogeneidade entre os estudos, próximos de 25% indicam baixa; de 50% moderada e de 75% indicam alta heterogeneidade (HIGGINS; THOMPSON, 2002).

3 Revisão dos estudos publicados

A busca na literatura a partir da lista de títulos de cada base de dados e outras fontes impressas identificou 10.037 referências bibliográficas; destes, 291 artigos foram selecionados a partir dos títulos e resumos. No entanto, excluiu-se 218 publicações pois não preencheram os critérios de validação para inclusão em uma meta-análise. Por exemplo, alguns estudos não continham a planta controle (não inoculada com FMAs), informação necessária para a realização das análises meta-analíticas. E algumas publicações tratavam de outras culturas agrícola, e outras não apresentavam a espécie de FMAs inoculada. Por fim, obteve-se 61 artigos, 10 dissertações e 3 teses que preencheram os critérios de validade para inclusão na meta-análise (material suplementar 1).

3.1 Distribuição por país, objetivos e locais de realização dos estudos

As pesquisas com FMAs e a cultura do cafeeiro foram conduzidas no Brasil, Colômbia, Cuba, Estados Unidos da América, Etiópia, Índia, México, Nigéria, Porto Rico, Venezuela e Yêmen (Tabela 1). Apesar das primeiras observações sobre a presença de FMAs no cafeeiro (*Coffea arabica*L.) terem sido realizadas por Janse (1897) na ilha Java, somente, depois de quase 80 anos foi demonstrado experimentalmente a importância destes fungos para essa cultura, sendo que 1978 as pesquisas avançaram.

No Brasil, os primeiros estudos foram realizados por Cardoso (1978) com a descrição e avaliação da presença de FMAs em mudas de viveiros do

estado de São Paulo. Em seguida, Lopes et al., (1983b) no Instituto Agrônomo de Campinas-SP como parte de sua Tese de Doutorado. Esses estudos motivaram o início dos estudos em vários outros laboratórios do Brasil (CALDEIRA, CHAVES e ZAMBOLIM, 1983a, b). Na Universidade Federal de Lavras – UFLA, as investigações sobre FMAs em cafeeiros começaram na década de 80 pelo Prof. Dr. José Oswaldo Siqueira seguindo as etapas de diversidade, ecologia, efeitos no crescimento, nutrição e a aplicação, representando uma grande contribuição para o esclarecimento científico e tecnológico da importância desta simbiose para a cafeicultura.

A maioria dos estudos foram realizados no Brasil, sendo 53,6 % deles foram realizados na Universidade Federal de Lavras, seguido por 17,1 % Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz da Universidade de São Paulo (ESALQ). Essa maior contribuição brasileira no estudo de FMAs em cafeeiro, deve-se ao fato do Brasil ser um dos maiores produtores mundiais de café com uma área plantada de 1.775,6 mil hectares (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB, 2015), associado ao fato dos solos brasileiros apresentarem baixo teor de P disponível e elevada fixação de P nos óxidos de ferro e alumínio (LOPES; COX, 1977) e elevado grau de dependência micorrízica dos cafeeiros (SIQUEIRA; COLOZZI FILHO, 1986a).

Os estudos sobre FMAs e a cultura do cafeeiro compreendem três locais de realização: casa de vegetação (54%), campo (44%) e laboratório (2%) (Tabela 1). A maioria destes estudos realizados em casa de vegetação tratam da função biofertilizadora dos FMAs (87%) para a cultura do cafeeiro, principalmente nos estádios iniciais de mudas no viveiro.

Tabela 1 Distribuição por país, locais de realização do estudo e objetivos das pesquisas

País	Objetivos das pesquisas	Local de estudo		
		Campo	Casa de vegetação	Laboratório
Brasil	Biofertilizante	Colozzi- Filho et al., 1994; Siqueira et al., 1998	Cardoso, 1978; Caldeira, Chaves e Zambolim 1983a; Lopes et al., 1983b; Colozzi-Filho e Siqueira 1986; Siqueira e Colozzi-Filho, 1986a; Clemente 1988; Souza,Oliveira e Cardoso, 1989; Antunes, Silveira e Cardoso, 1988; Souza et al., 1991; Saggin-Júnior et al., 1992; Siqueira et al., 1993a; Colozzi- Filho et al., 1994; Saggin-Júnior et al., 1994; Siqueira, Colozzi-Filho, Saggin-Júnior, 1994; Saggin Júnior et al., 1995a; Saggin Júnior, 1995b; Siqueira et al., 1995; Siqueira et al., 1998; Konrad, 2003; Tristão; Andrade, Silveira, 2006; Andrade, Silveira e Mazzafera, 2010; França et al., 2014	-
	Biocontrole	-	Pereira (1994)	-
	Estabelecimento	-	Siqueira, Colozzi-Filho 1986a	-
	Flutuação sazonal	Balota e Lopes, 1996b; Bonfim et al., 2010	-	-
	Persistência	Balota e Lopes., 1996 ^a	-	-
	Produtividade	Siqueira et al., 1993a; Colozzi- Filho et al., 1994; Siqueira et al., 1998	-	-
	Taxonomia	Caldeira; Chaves e Zambolim, 1983b; Lopes et al., 1983a; Siqueira et al., 1986b; Souza et al., 1987; Fernandes e Siqueira, 1989; Oliveira et al., 1990; Andrade et al., 1995; Colozzi-Filho; Cardoso, Siqueira et al., 1987; 2000; Cardoso et al., 2003; Theodoro et al., 2003; Azevedo, 2005; Fernandes, 2009; Texeira et al., 2010; Alves et al., 2014	-	-
Colômbia	Biofertilizante	-	Arango; Ochoa e Rocledo, 1989	-
	Taxonomia	Castro e Conde et al., 2012	-	-
Cuba	Biofertilizante	-	Sánchez et al., 2005; Rivera et al., 2010; Esmoris et al., 2011	-

“Tabela 1, conclusão”

País	Objetivos da pesquisa	Local de estudo		
		Campo	Casa de vegetação	Laboratório
EUA	Biofertilizante	-	Vaast e Zasoski., 1991; Vaast e Zasoski, 1992	Vaast, Zasoski e Bledsoe,1996
	Biocontrole	-	Vaast, Caswell-Chen e Zasoski, 1998	-
Etiópia	Taxonomia	Chanie, 2006; Muleta et al., 2007; Muleta, Assefa e Nemomissa, 2008; Beenhower et al., 2015	-	-
Índia	Biofertilizante	-	Biradar et al., 2006	-
	Biocontrole	-	Thangaraju et al., 2008	-
	Taxonomia	Lakshmiathy, Balakrishna e Bayaraj, 2012	-	-
México	Biofertilizante	-	Aguilar, 2002; Aguirre- Medina et al., 2011; Anaya et al., 2011	-
	Taxonomia	Trejo et al. , 2011; Arias et al., 2012	-	-
Nigéria	Biofertilizante	-	Ibiremo, Oloyede e Iremiren, 2011	-
Porto Rico	Taxonomia	Lebrón, Lodge e Bayman, 2012	-	-
Venezuela	Biocontrole	-	Colmenárez-Betancourt; Pineda., 2011; Alban, Guerrero e Toro., 2013	-
Yemêm	Taxonomia	Al-Arequi et al., 2013	-	-

Grande parte desses estudos realizados em casa de vegetação avaliaram a melhoria nutricional das mudas de cafeeiro proporcionado pelos FMAs, como aumento da absorção de vários macros e micronutrientes e incremento no crescimento vegetal (Tabela 1).

3.1 Efeito de tolerância a doença

Do total de estudos, seis buscaram verificar aumento da tolerância à doenças (biocontrole). Os estudos avaliam a interação dos FMAs com *Rhizoctonia solani* (PEREIRA, 1994), *Pratylenchus coffeae* (VAAST; CASWELL-CHEN e ZASOSKI, 1998), *Phoma costarricensis* (AGUILAR, 2002), *Hemileia vastatrix* (THANGARAJU et al., 2008), *Colletotrichum gloeosporioides*, *Cercospora coffeicola* (COLMENÁREZ-BETANCOURT; PINEDA, 2011), *Meloidogyne exigua* (ALBAN; GUERRERO e TORO 2013), e sinalizam a relevância dos FMAs na diminuição das perdas promovidas por doenças. Os FMAs constituem um grande benefício dos FMAs na amenização os danos por meio da melhoria no crescimento e vigor da planta (SIQUEIRA, 1993b).

Em condições de campo foram encontrados 32 estudos, sendo que 24 buscaram identificar as espécies de FMAs que apresentavam associação com cafeeiro. Três estudos verificaram a relação entre os FMAs e a produtividade do cafeeiro (SIQUEIRA et al., 1993a; COLOZZI et al., 1994; SIQUEIRA et al., 1998). Três estudos relatam sobre a flutuação sazonal da comunidade de fungos micorrízicos no campo, e da influência das estações seca e chuvosa na esporulação dos FMAs nativos (BONFIM et al. 2010) um último estudo trata da avaliação de cafezal proveniente das mudas inoculadas com *Gigaspora margarita*, onde constataram-se que cinco anos após plantio no campo, as espécies de FMAs introduzidas, por meio das mudas pré-colonizadas, ainda estavam presentes e interagiam com as espécies nativas, variando o comportamento de acordo com a espécie de FMA nativa envolvida (BALOTA ;

LOPES, 1996b). A persistência do fungo inoculado no campo decresce com o decorrer dos anos após o plantio (BALOTA;LOPES, 1996a).

Apenas um estudo foi realizado em laboratório, estudando a propagação de mudas *in vitro* conduzido por Vaast, Zasoski e Bledsoe, (1996) que observaram o aumento de 50 % no crescimento das plantas quando essas eram inoculadas com as espécies *Acaulospora mellea* e *Rhizophagus clarus*, especialmente em solos de baixa disponibilidade de P.

Os estudos realizados em casa de vegetação para verificar as interações das mudas de cafeeiro inoculadas com FMAs e com patógenos, mostraram um aumento da colonização radicular, em média de 38,6% (Figura 1) e maior sobrevivência em relação as plantas não inoculadas (PEREIRA, 1994; VAAST; CASWELL-CHEN e ZOSOSKI, 1998; AGUILAR, 2002; THANGARAJU et al., 2008; COLMENÁREZ-BETANCOURT; PINEDA, 2011; ALBAN; GUERRERO e TORO 2013). A pesquisa realizada por Vaast; Caswell-Chen e Zasoski, (1998) acrescenta que cafeeiros inoculados primeiramente com FMAs e mais tarde com patógeno *Pratylenchus coffeae* mostraram maior sobrevivência de plantas, bem como, maior desenvolvimento de características de crescimento e nutrição como área foliar, comprimento radicular e teor foliar de fósforo. A presença dos patógenos simultânea aos FMAs nas raízes deve ativar modificações fisiológicas, como mudanças no estado hormonal, cujas alterações no metabolismo pode favorecer a interação fungo-planta, para permitir que os FMAs possam colonizar mais rapidamente as raízes do que o patógeno.

Esta tolerância ao patógeno induzida pelos FMAs também é atribuída à alterações físicas e fisiológicas nas raízes, formando barreiras como a ativação de metabólitos relacionados com a defesa da planta, ou ocupação física de sítios de infecção e competição pela na absorção de nutrientes, tornando assim, as plantas mais saudias e mais resistentes a invasão pelo patógeno (VAAST; CASWELL-CHEN e ZASOSKI, 1998).

A presença de diferentes patógenos geram o mesmo efeito, pois plantas inoculadas com patógenos diferentes apresentaram uma porcentagem colonização micorrízica semelhantes. Mudas de cafeeiros inoculadas com *Rhizoctonia solani* apresentaram 48,33% (PEREIRA, 1994), *Pratylenchus coffeae* 45,5% (VAAST; CASWELL-CHEN e ZASOSKI, 1998), *Phoma costarricensis* 42,96% (AGUILAR, 2002) e *Meloidogyne exigua* 40,33% (ALBAN; GUERRERO e TORO, 2013) de colonização radicular. Este resultado pode ser parcialmente explicado pelo fato de que os FMAs promovem nas plantas maior tolerância ao ataque de patógenos. Embora fosse esperado respostas diferentes para a colonização radicular, uma vez que os patógenos inoculados eram diferentes, além das condições experimentais. Em um estudo foi utilizado substrato com baixa fertilidade e acidez média, teor de matéria orgânica de 1,2%, com adição de 80 mg de fósforo/kg (VAAST; CASWELL-CHEN e ZASOSKI, 1998). Em outros estudos usaram areia lavada com 240 g/m³ de fósforo e/ou solo de mata (COLMENÁREZ-BETANCOURT; PINEDA, 2011; ALBAN; GUERRERO e TORO, 2013).

Tendo em vista os benefícios dos FMAs sobre a tolerância do cafeeiro sobre nematóides, a inoculação das mudas na fase de viveiro é altamente recomendada. A mudança nos substratos não altera o comportamento dos FMAs quanto a tolerância ao ataque dos patógenos, além disso, os FMAs encurtam o tempo necessário para formação das mudas no viveiro contribuem com o crescimento e a nutrição da muda (SIQUEIRA et al., 1993a), o que também podem favorecer o plantio das mudas em áreas infestadas por patógenos.

3. 3 Funcionamento da simbiose: colonização micorrízica e número de esporos

Vinte e cinco estudos analisaram a colonização radicular (CALDEIRA, CHAVES e ZAMBOLIM, 1983a; LOPES et al., 1983b; COLOZZI-FILHO; SIQUEIRA; COLOZZI, 1986a; CLEMENTE, 1988; SOUZA; OLIVEIRA e

CARVALHO, 1989; ANTUNES; SILVEIRA e CARDOSO, 1988; SOUZA; OLIVEIRA e CARVALHO, 1991; SAGGIN-JÚNIOR et al., 1992; VAAST; ZASOSKI, 1992; COLOZZI-FILHO et al., 1994; SAGGIN-JÚNIOR et al., 1994; SIQUEIRA; COLOZZI-FILHO e SAGGIN-JÚNIO, 1994; SAGGIN-JÚNIOR et al., 1995a; SIQUEIRA et al., 1995; KONRAD, 2003; TRISTÃO; ANDRADE e SILVEIRA, 2006; ANDRADE; SILVEIRA, MAZZAFERA, 2010; RIVERA, 2010; ANAYA et al., 2011; ESMORIS et al., 2011; IBIREMO; OLOYEDE, IREMIREN, 2011; ALVES et al., 2014; FRANÇA et al., 2014 e SIQUEIRA et al., 1987 e cinco o número de esporos de FMAs (LOPES et al., 1983b; SIQUEIRA et al., 1987; SIQUEIRA et al., 1995; KONRAD, 2003; RIVERA et al., 2010) na fase de formação das mudas de cafeeiro em casa de vegetação ou viveiro.

Os estudos de colonização radicular e número de esporos de FMAs apresentaram as respectivas médias mínimas e máximas, 7,2% a 70% e 8 a 43 esporos por 50 mL de substrato. Tais variações podem ser atribuídas à diversidade de substrato, espécies de FMAs e ao uso de fumigação do solo (SIQUEIRA et al., 1987, KONRAD, 2003; THANGARAJU et al., 2008). A colonização micorrízica sem a inoculação quando comparado com cafeeiros que receberam a inoculação, confirmam que as plantas colonizadas naturalmente apresentam menores respostas comparada com as plantas inoculadas com FMAs (Figura 1).

Os dados de colonização e número de esporos em mudas de cafeeiro sem inoculação com FMAs são oriundos de um estudo realizado por (SIQUEIRA et al., 1987) com 288 amostras coletadas em 72 viveiros comerciais distribuídos em 29 municípios localizados na no Sul do Estado de Minas Gerais. Portanto, apesar de ser um trabalho único, a média é representativa e, assim, foi comparada com os demais estudos na figura 1.

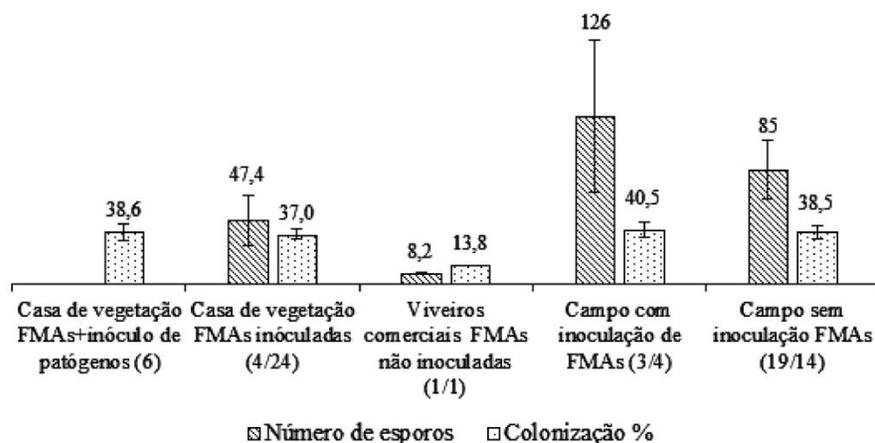


Figura 1 Valores médios para colonização e número de esporos de diferentes estudos. Entre parênteses encontra-se o número de estudos analisados para número de esporos e colonização radicular, respectivamente.

Estes resultados sinalizam que a inoculação de mudas de cafeeiros com espécies de FMAs eficientes em fase de viveiro, contribuem com o aumento da colonização das mudas de cafeeiro radicular por FMAs e, conseqüentemente, com o desenvolvimento de mudas mais saudáveis e mais tolerantes ao estresse do transplante, sendo que esse efeito associado aos FMAs permanecem por 12 meses após o plantio no campo (COLOZZI-FILHO et al., 1994). Mudas de cafeeiros inoculadas com FMAs têm maior capacidade de sobrevivência e crescimento inicial após o transplante para o campo, a qual é uma fase crítica na formação dos cafezais (VALLONE et al., 2010). Isto reduz o replantio o que diminui e eleva o custo de produção para os cafeicultores.

Dezoito estudos avaliaram a colonização radicular (SIQUEIRA et al., 1993a; COLOZZI et al., 1994; BALOTA; LOPES, 1996a; SIQUEIRA et al., 1998; AZEVEDO, 2005; SIQUEIRA et al., 1986b; FERNANDES; SIQUEIRA, 1989; ANDRADE et al., 1995; BALOTA; LOPES, 1996b; THEODORO et al.,

2003; CHANIE, 2006; FERNANDES, 2009; BONFIM et al., 2010; TREJO et al., 2011; LAKSHMIPATHY; BALAKRISHA e BAGYARAJ, 2012; AL-AREQUI et al., 2013; ALVES et al., 2014 e LAMMEL et al., 2014) e vinte e dois o número de esporos no campo (COLOZZI-FILHO et al., 1994; BALOTA; LOPES, 1996a; BALOTA; LOPES, 1996b; LOPES et al., 1983a; SIQUEIRA et al., 1986b; FERNANDES; SIQUEIRA, 1989; OLIVEIRA et al., 1990; ANDRADE et al., 1995; MULETA et al., 2007; MULETA; ASSEFA e NEMOMISSA., 2008; BONFIM et al., 2010; TEXEIRA et al., 2010; ARIAS et al., 2012; CASTRO; CONDE, et al., 2012; LAKSHMIPATHY; BALAKRISHNA e BAGYARAJ, 2012; LÉBRON; LODGE e BAYMAN, 2012; AL-AREQUI et al., 2013; ALVES et al., 2014; AZEVEDO, 2005; FERNANDES, 2009; CARDOSO et al., 2003 e LAMMEL et al., 2014). Destes quatro estudos (SIQUEIRA et al., 1993a; COLOZZI et al., 1994; BALOTA; LOPES, 1996a; SIQUEIRA et al., 1998), estes estudos tratam de mudas inoculadas com FMAs e transplantadas para o campo. Estas mudas em campo estes apresentaram percentual de colonização semelhante a mudas não inoculadas, mas o número de esporos foi maior, mas houve grande variação entre os estudos quanto ao número de esporos no campo (2 a 287 esporos/50mL).

Estes resultados demonstram que a inoculação de espécies de FMAs eficientes na forma de mudas de cafeeiro não permanecem com os mesmos efeitos após dois anos de plantio no campo (SIQUEIRA et al., 1993a; BALOTA; LOPES 1996a,b). Com o decorrer do tempo, as espécies indígenas são mais competitivas pela planta, o que explica a dominância de ocorrência de certas espécies no cafeeiro. Outro ponto crítico da inoculação de mudas é que são os ambientes de campo é muito diferente das condições que o fungo foi eficiente na muda. Isto leva a uma falta de adaptação deste fungo às condições novas do campo. Além disso, as lavouras sofrem intensas modificações de solo para o

plântio (aração, calagem, gessagem, fosfatagem e uso de agrotóxicos) o que também afeta as espécies de FMAs inoculadas, tornando-se necessário identificar espécies eficientes adaptadas ao sistema de manejo de cafeeiro a campo.

Nesse sentido, é de extrema importância entender os fatores que controlam a colonização micorrízica no campo, uma vez que as respostas da plantas às micorrizações são complexas, sendo difícil relacionar os fatores fungo, da planta e do ambiente (FERNANDES; SIQUEIRA, 1989). No futuro espera-se que o uso de técnicas moleculares e bioquímicas, permitirão identificar o efeito das espécies de fungos e sua contribuição para o cafeeiro em campo. Essa técnicas permitirão monitorar a ação dos fungos micorrízicos arbusculares inoculados em mudas no campo, avaliar a interação entre FMAs e outros microrganismos do solo como solubilizadores de fosfato, diazotróficos, agentes de controle biológicos e fauna de solo e realizar pesquisas de desenvolvimento de inoculantes comerciais ou aprimoramento do manejo da cultura para maximizar o uso da comunidade nativa dos fungos micorrízicos arbusculares. Técnicas dessa natureza elucidaria o comportamento da mudas de cafeeiro inoculadas ao longo do desenvolvimento no campo e, assim, faria que os benefícios proporcionados por esta simbiose sejam utilizados pelos cafeicultores.

3. 4 Comunidade de FMAs nos cafezais

A riqueza específica de FMAs associado aos cafeeiro, encontra-se distribuída da seguinte maneira: em cafeeiros foram encontradas 22 espécies do gênero *Glomus*, 18 espécies de *Acaulospora*, 7 espécies de *Scutellospora*, 6 espécies de *Rhizophagus* 5 espécies de *Gigaspora*, 3 espécies de *Funneliformis*, 2 espécie de *Ambispora*, 2 espécies de *Claroideoglomus*, 2 espécies de *Sclerocystis*, 1 espécie de *Entrophospora*, 1 espécie de *Paraglomus* e 1 espécie de *Archaeospora* (material suplementar 2).

Com base nos estudos analisados, o gênero *Glomus* apresentou maior ocorrência e revela maior adaptabilidade e capacidade de sobreviver, colonizar e multiplicar, demonstrando a sua importância para os ecossistemas terrestres, principalmente para a cultura do cafeeiro (FERNANDES; SIQUEIRA, 1989; OLIVEIRA et al., 1990; COLOZZI-FILHO et al., 1994; COLOZZI-FILHO; CARDOSO, 2000).

Estudos realizados no Sul do Estado de Minas Gerais considera as espécies *Acaulospora scrobiculata*, *Acaulospora morrowiae*, *Acaulospora mellea* sejam dominantes. Esse resultado revela a elevada capacidade de adaptação destas três espécies as condições edafoclimáticas imperantes nos agrossistemas cafeeiros (SIQUEIRA et al., 1986b; FERNANDES SIQUEIRA, 1989; OLIVEIRA et al., 1990; THEODORO et al., 2003). A predominância destas espécies é independente da cultivar do cafeeiro e do tipo de manejo empregado e reflete as características do ecossistema e de combinação com o cafeeiro, já que se encontram também nos viveiros comerciais, onde estas espécies também predominam (SIQUEIRA et al., 1987).

A ocorrência generalizada de alguns gêneros certamente reflete sua adaptação às condições de cultivo e manejo da cultura (SIQUEIRA; COLOZZI-FILHO et al., 1986a) como o uso do solo correção do solo, fertilização e o uso de pesticidas (SIQUEIRA et al., 1986b e 1990). Além disso, se adaptam a outros fatores abióticos como umidade, temperatura, luminosidade e aeração que variam de acordo com o manejo da cultura, como adição da matéria orgânica, cobertura vegetal entre as linhas de plantio (SOUZA et al., 1987; BONFIM et al., 2010; ARIAS et al 2012).

Na rizosfera do cafeeiro foram identificadas um total de 70 espécies de FMAs (material suplementar 2), num total de 14 estudos (material suplementar 1). Estes resultados demonstram que o sistema de cultivo empregado na cafeicultura promove baixo impacto na diversidade dos FMAs em relação a

outros sistemas de cultivo como o plantio de eucaliptos (52 espécies), pastagens (54 espécies) e ainda apresentou o mesmo número de espécies de áreas revegetadas (SIQUEIRA et al., 2010). Isto se deve ao fato do cafeeiro ser bastante micotrófico e pouco específico na sua associação com FMAs e indica que as condições edáficas das lavouras não são muito estressantes para a simbiose micorrízica. O revolvimento do solo é realizado apenas na implantação da lavoura, gerando menor impacto na comunidade de FMAs, e o uso de corretivos aumenta a diversidade (SIQUEIRA, 1993b) e proporciona ambiente radicular mais desenvolvido o que favorece o estabelecimento dos FMAs. Além disso, a manutenção de plantas na entrelinha pode contribuir para aumentar a diversidade da comunidade de fungos micorrízicos.

O maior número de gênero e espécies recuperadas encontra-se no Brasil, o que implica em uma grande abundância e diversidade de FMAs em cafezais (SAGGIN-JÚNIOR; SIQUEIRA, 1996). O grande interesse por este tema colocou o Brasil no ranking das pesquisas micorrízicas, com 82% dos estudos com a cultura do café e também revelou a diversidade micorrízica brasileira, tornando o Brasil conhecido como um país de alta diversidade micotrófico (SIQUEIRA et al., 2010). No entanto, a diversidade recuperada no Brasil é resultante de poucas pesquisas em alguns estados do Brasil, como relatado por Siqueira et al. (2010).

4. Resultados da meta-análise

O teste I^2 - medida de inconsistência variou de zero a 15,8 indicando que o modelo de efeitos aleatórios é satisfatório para esses dados. Assim não existem alterações substanciais entre os estudos analisados, conforme apresentado na Tabela 2.

A inoculação de cafeeiros com FMAs aumentou significativamente a resposta da planta em comparação com o controle não

Tabela 2 Teste F, tamanho do efeito (TE), erro padrão (EP) e intervalo de confiança (IC) para os parâmetros de crescimentos das mudas de cafeeiro e produção de grãos.

Tratamentos	Estabelecimento	Número de experiências	Gl	F	TE	EP	-95 % IC	+95 % IC	P –valor (teste t)
Altura de planta	casa de vegetação	36	35	0	1,46	0,06	1,35	1,58	<0,001
Altura de planta	Campo	10	9	12,6	1,19	0,03	1,14	1,25	<0,001
Área foliar	casa de vegetação	8	7	15,8	2,13	0,24	1,65	2,61	0,007
Diâmetro do caule	casa de vegetação	16	15	0	1,24	0,12	1,01	1,47	0,034
PMSA	casa de vegetação	47	46	5,4	1,81	0,10	1,60	2,01	0,029
PMSR	casa de vegetação	12	11	0	3,09	0,61	1,89	4,29	<0,001
Produção de grão	Campo	48	47	35,5	1,28	0,18	1,10	1,46	ns
Teor de P na parte aérea	casa de vegetação	36	35	0	2,82	0,81	1,22	4,41	0,058
Total de experiência		213							

OBS: Gl: graus de liberdade; PMSA: peso da matéria seca aérea e PMSR: peso da matéria seca radicular.

inoculado, mostrando a importância dos FMAs para o crescimento, nutrição de plantas e produção de grãos (Tabela 2). O tamanho do efeito foi diferente de 1, para todas as variáveis em estudo, e indica o efeito micorrízico significativo sobre o crescimento das mudas de cafeeiro, ao longo dos 213 estudos. Este resultado permitiu verificar com consistência a magnitude dos efeitos diretos dos FMAs sobre crescimento e produção de cafeeiros, que podem ser atribuído da ação direta dos FMAs na absorção de nutrientes (TRISTÃO; ANDRADE e SILVEIRA, 2006). al., 1992).

metais pesados, salinidade, estresse hídrico (ANAYA et al., 2011) e ataques de patógenos no sistema radicular.

As pesquisas mostraram que os FMAs apresentam resposta positiva com as mudas de cafeeiro, não sendo encontrado evidências de respostas negativas. Outro ponto importante verificado em todos os estudos sobre FMAs que avaliou variáveis de crescimento das mudas de cafeeiro, foi que os resultados positivos variam quanto a sua amplitude em função da espécie de FMAs, cultivar do cafeeiro, composição do substrato e presença de patógenos. Apesar, desse resultado positivo, atenção deve ser dada as espécies que se mostraram eficiente.

Nesse sentido, as variáveis de crescimento peso de matéria seca da parte aérea e radicular em casa de vegetação foi positivamente afetada pela inoculação dos FMAs, e apresentaram os maiores efeitos quando comparados com as demais variáveis de crescimento (Tabela 2). Os resultados destes estudos indicam que a espécie de FMA inoculada afeta a resposta da planta. Plantas inoculadas com o gênero *Glomus* e *Gigaspora* tendem a apresentar melhores características de crescimento quando comparadas aos outros gêneros inoculados isoladamente ou em combinações (SIQUEIRA et al., 1993a; SAGGIN-JÚNIOR et al., 1995; TRISTÃO; ANDRADE e SILVEIRA, 2006). As espécies *Gigaspora margarita* (LOPES et al., 1983b; ANTUNES; SILVEIRA; CARDOSO, 1988; SIQUEIRA

Tabela 3 Teor de Fósforo (%) na parte aérea de cafeeiros inoculados ou não com FMAs, Tamanho do efeito (TE), intervalo de confiança (IC), para mudas em casa de vegetação

Autor, ano	Espécies de FMAs	Trat - P %	Con -P %	TE	-95% IC	+95% IC
Antunes; Silveira e Cardoso, (1988)	<i>Gigaspora sp.</i> ; <i>Funneliformis mosseae</i> ; <i>Funneliformis geosporum</i> ; <i>Rhizophagus intraradices</i>	0,650	0,630	1,03	1,00	1,3
Antunes; Silveira e Cardoso, (1988)	<i>Scutellospora heterogama</i>	0,580	0,500	1,16	1,05	1,5
Antunes; Silveira e Cardoso, (1988)	<i>Gigaspora margarita</i>	0,660	0,630	1,05	1,01	1,3
Antunes; Silveira e Cardoso, (1988)	<i>Ambispora leptoticha</i>	0,550	0,500	1,10	1,03	1,5
Arango; Ochoa e Robledo (1989)	<i>Rhizophagus manihotis</i> ; <i>Paraglomus occultum</i> ; <i>Rhizophagus fasciculatus</i> ; <i>Acaulospora sp.</i>	0,410	0,130	3,15	2,77	3,2
Arango; Ochoa e Robledo (1989)	<i>Rhizophagus manihotis</i> ; <i>Paraglomus occultum</i> ; <i>Rhizophagus fasciculatus</i> ; <i>Acaulospora myriocarpa</i>	0,180	0,130	1,38	1,32	2,8
Colozzi-Filho; Siqueira, (1986)	<i>Gigaspora margarita</i>	0,220	0,180	1,22	1,17	2,4
Colozzi-Filho et al., (1994)	<i>Glomus macrocarpum</i>	0,230	0,050	4,60	4,35	4,7
Colozzi-Filho et al., (1994)	<i>Gigaspora margarita</i>	0,200	0,050	4,00	3,79	4,7
Colozzi-Filho et al., (1994)	<i>Rhizophagus clarus</i> ; <i>Gigaspora margarita</i>	0,220	0,050	4,40	4,16	4,7
Colozzi-Filho et al., (1994)	<i>Rhizophagus clarus</i>	0,230	0,050	4,60	4,35	4,7
Colozzi-Filho et al., (1994)	<i>Claroideoglomus etunicatum</i>	0,190	0,050	3,80	3,61	4,7
Colozzi-Filho et al., (1994)	<i>Claroideoglomus etunicatum</i> ; <i>Acaulospora longula</i>	0,240	0,050	4,80	4,54	4,7
Colozzi-Filho et al., (1994)	<i>Claroideoglomus etunicatum</i> ; <i>Acaulospora scrobiculata</i>	0,200	0,050	4,00	3,79	4,7
Colozzi-Filho et al., (1994)	<i>Claroideoglomus etunicatum</i> ; <i>Acaulospora scrobiculata</i> ; <i>Paraglomus occultum</i>	0,200	0,050	4,00	3,79	4,7
Lopes et al., (1983)b	<i>Gigaspora margarita</i>	0,090	0,090	1,00	1,00	3,3
Lopes et al., (1983)b	<i>Funneliformis mosseae</i>	0,095	0,090	1,06	1,05	3,3
Lopes et al., (1983)b	<i>Dentiscutata heterogama</i>	0,094	0,090	1,04	1,04	3,3
Lopes et al., (1983)b	<i>Glomus macrocarpum</i>	0,094	0,090	1,04	1,04	3,3
Pereira (1994)	<i>Gigaspora margarita</i>	0,084	0,044	1,91	1,85	4,8
	<i>Acaulospora scrobiculata</i> ; <i>Acaulospora morrowaie</i> ; <i>Acaulospora longula</i> ;					
Saggin-Júnior (1992)	<i>Rhizophagus clarus</i> ;					
	<i>Claroideoglomus etunicatum e Gigaspora margarita</i>	0,105	0,060	1,75	1,69	4,1
Saggin-Júnior et al., (1995)a	<i>Rhizophagus clarus</i> ; <i>Gigaspora margarita</i>	2,100	0,700	3,00	1,06	3,1
Saggin-Júnior et al., (1995)a	<i>Claroideoglomus etunicatum</i>	2,900	0,700	4,14	1,09	4,2
Siqueira et al., (1993)a	<i>Rhizophagus clarus</i> ; <i>Gigaspora margarita</i>	0,220	0,040	5,50	5,25	5,2
Siqueira et al., (1993)a	<i>Acaulospora longula</i> ; <i>Gigaspora margarita</i> ; <i>Acaulospora morrowaie</i>	0,150	0,040	3,75	3,60	5,2

“Tabela 3, conclusão”

Autor, ano	Espécies de FMAs	Trat - P %	Con -P %	TE	-95% IC	+95% IC
Siqueira et al., (1993)a	<i>Acaulospora scrobiculata</i>	0,230	0,040	5,75	5,49	5,3
Siqueira et al., (1993)a	<i>Acaulospora scrobiculata</i>	0,220	0,040	5,50	5,25	5,2
Siqueira et al., (1993)a	<i>Acaulospora longula; Gigaspora margarita; Acaulospora morrowaie</i>	0,170	0,040	4,25	4,07	5,2
Siqueira et al., (1993)a	<i>Acaulospora scrobiculata</i>	0,210	0,040	5,25	5,01	5,2
Siqueira; Colozzi-Filho e Saggin-Júnior (1994)	<i>Gigaspora margarita</i>	0,168	0,060	2,80	2,65	4,2
Siqueira et al., (1995)	<i>Rhizophagus clarus; Gigaspora margarita</i>	0,160	0,040	4,00	3,83	5,2
Vaast; Zasoski e Bledsoe, (1998)	<i>Acaulospora mellea</i>	0,141	0,055	2,56	2,44	4,4
Vaast; Zasoski e Bledsoe, (1998)	<i>Rhizophagus clarus</i>	0,093	0,055	1,69	1,64	4,3
Vaast; Zasoski e Bledsoe, (1998)	<i>Acaulospora mellea</i>	0,072	0,055	1,31	1,29	4,3
Vaast; Zasoski e Bledsoe, (1998)	<i>Rhizophagus clarus</i>	0,064	0,055	1,16	1,15	4,3

Modelo de efeito aleatório ($P^2 = 0$)

1993a; 1995), *Ambispora leptoticha* (ANTUNES; SILVEIRA e CARDOSO, 1988), *Rhizophagus clarus* (SIQUEIRA et al., 1993a; 1995) e *Claroideoglossum etunicatum* (SIQUEIRA et al., 1993a) apresentaram melhores respostas, principalmente para o peso de matéria seca da parte aérea e radicular. Portanto, as espécies de FMAs afetam as resposta da plantas e sinalizam que a eficiência simbiótica apresentam implicações práticas para um programa de utilização massiva de FMAs. É necessária a seleção de linhagens fúngicas eficientes e adaptadas às condições edafoclimáticas e ao tipo de manejo do cafeeiro (SIQUEIRA; COLOZZI-FILHO e SAGGIN-JÚNIOR, 1994).

Trinta e cinco experimentos oriundos de onze estudos (Tabela 3) realizados em casa de vegetação demonstraram o favorecimento do FMAs na absorção do P do solo através do aumento no teor de P foliar. De todos os efeitos de contribuição dos FMAs este é o de maior interesse prático, uma vez que este nutrientes apresenta acessibilidade reduzida às raízes absorventes, lenta difusão no solo formando uma zona esgotamento em torno das raízes, e ainda, as fontes de fósforo são escassas e não brasileiras, e o nutriente é requerido em grandes quantidades em solos tropicais (SIQUEIRA, 1990, 1993b). Este aumento na absorção do fósforo é atribuído principalmente ao aumento da superfície de absorção promovido pelas hifas fúngicas.

A contribuição dos FMAs na absorção de P é de grande interesse social e econômico, pois pode permitir e maior eficiência no uso dos fertilizantes fosfatados gerando economia e preservação nos mananciais hídricos da eutroficação. Além do fósforo, essa simbiose contribui com a aumento na absorção de outros nutrientes como K, Ca, Mg, S, Cu e redução do Mn e Zn quando em níveis tóxicos (SIQUEIRA et al., 1995; SAGGIN-JÚNIOR et al., 1995a). Este efeito nutricional é a mais importante contribuição dos FMAs para as plantas, sendo extremamente relevante para o aumento da produtividade cafeeira, uma vez que grande partes destas lavouras estão em solos altamente

Tabela 4 Fósforo (g/planta) aplicado na cova durante plantio, produção de grãos (g/planta) em cafeeiro inoculado ou não com FMAs, Tamanho do efeito (TE), intervalo de confiança (IC).

Autor, ano	Espécies de FMAs	P	Tratamento	Controle	TE	95% IC	95% IC
			Produção de grão				
¹ Colozzi-Filho et al., (1994)	<i>Gigaspora margarita; Rhizophagus clarus</i>	12	110	93	1,18	0,96	1,40
Colozzi-Filho et al., (1994)	<i>Rhizophagus clarus</i>	12	135	93	1,45	1,20	1,69
Colozzi-Filho et al., (1994)	<i>Gigaspora margarita</i>	12	179	93	1,91	1,63	2,19
Colozzi-Filho et al., (1994)	<i>Claroideoglossum etunicatum; Acaulospora scrobiculata; Paraglossum occultum</i>	12	130	93	1,39	1,15	1,63
Colozzi-Filho et al., (1994)	<i>Claroideoglossum etunicatum</i>	12	126	93	1,35	1,12	1,59
Colozzi-Filho et al., (1994)	<i>Claroideoglossum etunicatum; Acaulospora longula</i>	12	139	93	1,49	1,24	1,74
Colozzi-Filho et al., (1994)	<i>Claroideoglossum etunicatum</i>	12	181	93	1,94	1,65	2,22
Colozzi-Filho et al., (1994)	<i>Claroideoglossum etunicatum; Acaulospora scrobiculata</i>	12	214	93	2,29	1,98	2,60
Colozzi-Filho et al., (1994)	<i>Glomus occultum</i>	12	180	93	1,93	1,64	2,21
Colozzi-Filho et al., (1994)	<i>Claroideoglossum etunicatum; Acaulospora scrobiculata</i>	12	183	93	1,96	1,68	2,24
Colozzi-Filho et al., (1994)	<i>Claroideoglossum etunicatum</i>	12	119	93	1,27	1,05	1,50
Colozzi-Filho et al., (1994)	<i>Claroideoglossum etunicatum; Acaulospora scrobiculata</i>	12	139	93	1,49	1,24	1,74
Colozzi-Filho et al., (1994)	<i>Claroideoglossum etunicatum</i>	12	157	93	1,69	1,42	1,95
Colozzi-Filho et al., (1994)	<i>Claroideoglossum etunicatum; Acaulospora scrobiculata</i>	12	148	93	1,58	1,33	1,84
Colozzi-Filho et al., (1994)	<i>Claroideoglossum etunicatum</i>	12	115	93	1,23	1,01	1,46
² Siqueira et al., (1993)a	<i>Rhizophagus clarus, Claroideoglossum etunicatum; Acaulospora scrobiculata; Acaulospora longula; Gigaspora margarita; Acaulospora morrowiae</i>	8	122	74	1,66	1,36	1,95
Siqueira et al., (1993)a	<i>Rhizophagus clarus; Claroideoglossum etunicatum</i>	8	135	74	1,83	1,52	2,14
Siqueira et al., (1993)a	<i>Rhizophagus clarus; Claroideoglossum etunicatum</i>	8	334	74	4,54	4,05	5,03
³ Siqueira et al., (1998)	<i>Gigaspora margarita; Rhizophagus clarus</i>	0	6	25	0,24	0,05	0,43
Siqueira et al., (1998)	<i>Claroideoglossum etunicatum</i>	0	58	25	2,33	1,73	2,93
Siqueira et al., (1998)	<i>Claroideoglossum etunicatum</i>	0	18	25	0,71	0,38	1,05
Siqueira et al., (1998)	<i>Claroideoglossum etunicatum</i>	0	5	25	0,19	0,02	0,36
Siqueira et al., (1998)	<i>Claroideoglossum etunicatum</i>	0	2	25	0,08	-0,03	0,19
Siqueira et al., (1998)	<i>Claroideoglossum etunicatum</i>	0	19	25	0,75	0,41	1,08
Siqueira et al., (1998)	<i>Gigaspora margarita; Rhizophagus clarus</i>	9	404	133	3,04	2,75	3,34
Siqueira et al., (1998)	<i>Claroideoglossum etunicatum</i>	9	105	133	0,79	0,64	0,94
Siqueira et al., (1998)	<i>Claroideoglossum etunicatum</i>	9	137	133	1,04	0,86	1,21

“Tabela 4, conclusão”

Autor, ano	Espécies de FMAs	P	Tratamento	Controle	TE	95% IC	95% IC
			Produção de grão				
Siqueira et al., (1998)	<i>Claroideoglopus etunicatum</i>	9	106	133	0,80	0,65	0,95
Siqueira et al., (1998)	<i>Claroideoglopus etunicatum</i>	9	166	133	1,25	1,06	1,45
Siqueira et al., (1998)	<i>Claroideoglopus etunicatum</i>	9	140	133	1,06	0,88	1,23
Siqueira et al., (1998)	<i>Gigaspora margarita; Rhizophagus clarus</i>	17	246	323	0,76	0,67	0,86
Siqueira et al., (1998)	<i>Claroideoglopus etunicatum</i>	17	280	323	0,87	0,76	0,97
Siqueira et al., (1998)	<i>Claroideoglopus etunicatum</i>	17	313	323	0,97	0,86	1,08
Siqueira et al., (1998)	<i>Claroideoglopus etunicatum</i>	17	202	323	0,63	0,54	0,71
Siqueira et al., (1998)	<i>Claroideoglopus etunicatum</i>	17	177	323	0,55	0,47	0,63
Siqueira et al., (1998)	<i>Claroideoglopus etunicatum</i>	17	285	323	0,88	0,78	0,98
Siqueira et al., (1998)	<i>Gigaspora margarita; Rhizophagus clarus</i>	35	609	653	0,93	0,86	1,01
Siqueira et al., (1998)	<i>Claroideoglopus etunicatum</i>	35	583	653	0,89	0,82	0,96
Siqueira et al., (1998)	<i>Claroideoglopus etunicatum</i>	35	377	653	0,58	0,52	0,64
Siqueira et al., (1998)	<i>Claroideoglopus etunicatum</i>	35	351	653	0,54	0,48	0,59
Siqueira et al., (1998)	<i>Claroideoglopus etunicatum</i>	35	487	653	0,75	0,68	0,81
Siqueira et al., (1998)	<i>Claroideoglopus etunicatum</i>	35	276	653	0,42	0,37	0,47
Siqueira et al., (1998)	<i>Gigaspora margarita; Rhizophagus clarus</i>	70	467	373	1,25	1,14	1,37
Siqueira et al., (1998)	<i>Claroideoglopus etunicatum</i>	70	285	373	0,76	0,67	0,85
Siqueira et al., (1998)	<i>Claroideoglopus etunicatum</i>	70	742	373	1,99	1,84	2,13
Siqueira et al., (1998)	<i>Claroideoglopus etunicatum</i>	70	864	373	2,31	2,16	2,47
Siqueira et al., (1998)	<i>Claroideoglopus etunicatum</i>	70	350	373	0,94	0,84	1,04
Siqueira et al., (1998)	<i>Claroideoglopus etunicatum</i>	70	294	373	0,79	0,70	0,88

Obs.: ¹primeira colheita; ²terceira colheita; ³quinta colheita

altamente intemperizados, onde os nutrientes são escassos e o fósforo (P), cobre (Cu) e zinco (Zn) apresentam baixa mobilidade (FURTINI et al., 2001). A presença dos FMAs nos sistemas agrícolas pode contribuir com a sua sustentabilidade principalmente durante anos de monocultura cafeeira.

A meta-análise também mostrou que cafeeiros inoculadas com FMAs apresentaram melhores rendimentos quanto a produção de grãos quando comparado com o controle não inoculado (Tabela 4). É notável a grande variação no TE, sendo que isto pode ser atribuído a espécie de FMAs inoculadas e a dose de fósforo aplicada na cova durante o preparo para plantio.

Os menores rendimentos variaram entre 6 a 58 g de café beneficiado obtido por planta na dose zero de fósforo no plantio (SIQUEIRA et al., 1998). Este resultado demonstra que solos deficientes de fósforo

prejudicaram a produção de grão, mais não inibe a colonização radicular por FMAs, sendo esta alta variando entre 43 a 55% (SIQUEIRA; COLOZZI-FILHO, 1986b). Entretanto, a adubação fosfatada, favorece funcionamento da simbiose, existindo variações nesta contribuição, por exemplo quando aplicado 7,80 g de P por planta a produção de grão foi 197 g/planta na terceira colheita (COLOZZI-FILHO, 1994), enquanto que aplicação de 8,73; 17,5; 34,9 e 69,8 g/planta de P rendeu respectivamente em média 176; 250; 447 e 550 g de grão beneficiado por planta na quinta colheita. No entanto, a colonização e número de esporos diminuíram linearmente com o aumento da dose de fósforo (SIQUEIRA et al., 1998).

Os melhores rendimentos de plantas tendo em vista a espécies de FMAs inoculadas, foram com *Claroideoglossum etunicatum* 864 g por planta quando aplicou 70 g de P por planta e 609 g por planta quando aplicou 35 g de P por planta, ambos na quinta colheita. Seguido pela inoculação com mistura de *Rhizophagus clarus* e *Claroideoglossum etunicatum*, que apresentaram o rendimento 404 g por planta quando aplicou 9 g de P por planta (SIQUEIRA et

al., 1998). Nestes resultados torna-se evidente a diferença entre as contribuições por espécies associada a dose de fósforo aplicada, demonstra a complexidade da aplicação do fósforo em relação à micorrização. A continuidade de estudos dessa natureza visando aprimorar o manejo da cultura e do solo é de grande importância, uma vez que a utilização dos FMAs na agricultura em larga escala contribuir significativamente o aumento na produtividade.

5 Avanços e Tendências

Os resultados encontrados para o crescimento e nutrição mineral, especialmente aumento na absorção do fósforo das mudas de cafeeiro indicam que a espécie de FMA utilizada como inoculante afeta positivamente a resposta da muda de cafeeiro (ANTUNES; SILVEIRA e CARDOSO, 1988; LOPES et al., 1983b; SIQUEIRA et al., 1993a; SAGGIN-JÚNIOR et al., 1995; SIQUEIRA et al., 1995; TRISTÃO; ANDRADE e SILVEIRA, 2006). Este resultado sinaliza a importância de incluir a inoculação com FMAs na rotina de produção de mudas de cafeeiro, uma vez que contribuem para a formação de plantas bem nutridas, que suportam melhor as adversidades do campo, como veranicos e ataque de patógenos (ALBAN; GUERRERO, TORO, 2013; MULETA; ASSEFA; NEMOMISSA, 2008). A formação de mudas de cafeeiro com qualidade é a base para o sucesso na implantação da lavoura cafeeira. Pois o inoculante é comercial é o gargalo para desta simbiose. Recomendações de linhagens selecionadas ao MAPA (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento) é essencial para o desenvolvimento de inoculantes comerciais para o cafeeiro.

Os resultados referentes à eficiência dos FMAs nas mudas cafeeiro inoculadas introduzidas no campo, mostram efeitos favoráveis na fase inicial de crescimento e produção de grãos. Mostram que a persistência do fungo inoculado no campo decresce com o decorrer dos anos após o plantio (BALOTA; LOPES, 1996a) não havendo mais diferença na resposta após dois

anos de plantio no campo (SIQUEIRA et al., 1993a). A identificação de FMAs eficientes em campo são de particular interesse, uma vez que proporcionam efeitos favoráveis como o acréscimo na disponibilidade de nutrientes (SAGGIN-JÚNIOR et al., 1995a), a tolerância à doenças (VAAST; CASWELL-CHEN e ZASOSKI, 1998) e melhora na relação água-solo-planta (AUGÉ, 2001).

Nesse contexto, torna-se necessário voltar às pesquisas para uso de técnicas moleculares e bioquímicas que permitam identificar as o efeito da linhagem de FMAs em campo. Além disso, as pesquisas devem determinar como e quanto a simbiose entre FMAs e cafeeiro atua na eficiência e economia de adubação fosfatada, monitorando a ação dos fungos micorrízicos arbusculares inoculados em mudas transplantadas no campo.

As pesquisas também ainda carecem avaliar a função ecológica dos fungos micorrízicos arbusculares introduzidos e ou nativos na interação entre FMAs e outros microrganismos do solo, como solubilizadores de fosfato, diazotróficos, agentes de controle biológicos e fauna de solo. Outro aspecto é o desenvolvimento de inoculantes comerciais e testar compostos químicos, como isoflavonóides, que estimulam os propágulos de FMAs, que atuam como sinais moleculares estimulando a micorrização.

Por fim, estudos que aprimoram o manejo da cultura e do solo voltados para o desenvolvimento da comunidade nativa dos fungos micorrízicos arbusculares, uma vez que a utilização dos FMAs nativos viabiliza o uso desta simbiose em favor da cafeicultura.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Essa revisão mostrou a importância dos FMAs para o crescimento, nutrição de plantas e produção de grãos de cafeeiros. Torna-se evidente a existência lacuna na avaliação dos diferentes manejos adotados na cultura do cafeeiro e seus efeitos nos FMAs e da necessidade de ampliar as pesquisas, em

condições de campo para se conferir a contribuição real dos FMAs como biofertilizantes, bioestimulantes e agente de biocontrole para o cafeeiro.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, pela bolsa de doutorado concedida para a primeira autora.

REFERÊNCIAS

AGUILAR, M. A. E. **Interaccion de plantas de café fertilizadas com fósforo e inoculadas com hongos micorrizicos arbusculares y *Phomacostarricencis Echandi***. Universidade de Colina, 2002. 106p. Dissertação de doutorado.

AGUIRRE-MEDINA, J. F. et al. **Hongo endomicorrizo y bacteria fijadora de nitrogênio inoculadas a *Coffea arabica* en vivero**. *Agronomía Meso Americana*, v.22, p.71-80, 2011.

AL-AREQUI, A. H. N. et al. Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in the rhizosphere of *Coffea arabica* in the Republic of Yemen. **Journal of Applied Biosciences**, v.64, p.4888 – 4901, 2013.

ALBÁN, R.; GUERRERO, R.; TORO, M. Interactions between a root knot nematode (*Meloidoyne exigua*) and arbuscular mycorrhizae in coffee plant development (*Coffea arabica*). **American Journal of Plant Sciences**, v.4. p.19-23, 2013.

ARANGO, C.; OCHOA, G.; ROBLEDO, A. Evaluacion de dos fuentes de inoculo de micorrizas MVA y dos dosis de fósforo em almácigos de café variedade Colômbia. **Agronomía**, Manizales, v.5, n.1, p.25-28, 1989.

ALVES, M. J. et al. Efeito da adubação verde com espécies herbáceas e arbóreas na micorrização do cafeeiro. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, v.4, n.1, p.11-16, 2014.

ANAYA, M. L. A. et al. Biofertilización de café orgánico en etapa de vivero en rachia, México. **Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas**, v.2 n.3 1, p. 417-431, 2011.

ANDRADE, D. S., et al. Atividade microbiana em função da calagem em um solo cultivado com cafeeiro. **Revista brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.19, p.191-196, 1995.

ANDRADE, S. A. L. et al. REVIEW Arbuscular mycorrhizal association in coffee. **Journal of Agricultural Science**, v.147, p.105–115, 2009.

ANDRADE, S. A. L.; SILVEIRA, A. P. D.; MAZZAFERA, P. Arbuscular mycorrhiza alters metal uptake and the physiological response of *Coffea arabica* seedlings to increasing Zn and Cu concentrations in soil. **Science of the Total Environment**, v.408, p.5381–5391, 2010.

ANTUNES, A.; SILVEIRA, A. P.; CARDOSO, E. J. Interação entre diferentes tipos de Solo e Fungos Micorrízicos-Arbusculares na produção de mudas de café (*Coffea arabica* L.). **Turrialba**, v.38, n.2, p.117-127, 1988.

ARIAS, R. M. et al. Diversity and abundance of arbuscular mycorrhizal fungi spores under different coffee production systems and in a tropical montane cloud forest patch in Veracruz, Mexico, **Agroforestry Systems**, v.85, p.179–193, 2012.

AUGÉ, R. M. Water relations, drought and vesicular-arbuscular mycorrhizal symbiosis. **Mycorrhiza**, v.11, p. 3-42, 2001.

AZEVEDO, L. C. B. **Avaliação Fenotípica e molecular (PCR/RFLP) de fungos glomerales em cafeeiro (*Coffea arabica*)**. Lavras, 2005 76p. Dissertação de Mestrado.

BALOTA, E. L.; LOPES, E. S. Introdução de fungo micorrízico Arbuscular no cafeeiro em condições de campo: I. Persistência e interação com espécies nativas. **Revista brasileira Ciência do Solo**, v.20, p.217-223,1996a.

BALOTA, E. L.; LOPES, E. S. Introdução de fungo micorrízico arbuscular no cafeeiro em condições de campo: II. Flutuação sazonal de raízes, de colonização e de fungos micorrízicos arbusculares associados. **Revista brasileira de Ciência do Solo**, v.20, p.225-232,1996b.

BANZATTO, D.A.; KRONKA, S.N. **Experimentação agrícola**. Jaboticabal: FUNEP, 2013. 247 p.

BARDIN, I. **Análise de conteúdo**. Lisboa: Edições Setenta, 1994. 226 p.

BARTO E. K.; RILLIG M. C. Does herbivory really suppress mycorrhiza? A meta-analysis. **Journal of Ecology**, v.98, p.745–753, 2010.

BEENHOUWER, M. et al. DNA pyrosequencing evidence for large diversity differences between natural and managed coffee mycorrhizal fungal communities. **Agronomy for Sustainable Development**.v.35, p. 241–249, 2015.

BIRADAR, B. I. et al. Effect of bio-fertilizers and pgprs on growth and development of coffee seedlings. **J.Coffee Res.** 34, p.57-63, 2006.

BONFIM, J. A. et al. Fungos micorrízicos arbusculares (FMA) e aspectos Fisiológicos em cafeeiros cultivados em sistema agroflorestal e a pleno sol. **Bragantia**, v.69, n.1, p.201-206, 2010.

BRUNDRETT, M. C. Coevolution of roots and mycorrhizas of land plant. **New Phytologist**, v.154, n.2, p.275–304, 2002.

CALDEIRA, F. F.; CHAVES, G. M.; ZAMBOLIM, L. Associação de micorriza vesicular-arbuscular com café, limão-rosa e capim gordura. **Pesquisa Brasileira Agropecuária**, v.18, n.3, p.223-228, 1983a.

CALDEIRA, F. F.; CHAVES, G. M.; ZAMBOLIM, L. Observações de micorrizas vesicular-arbuscular em diferentes espécies de plantas. *Revista Ceres*, v.30, n.167, p.19-24, 1983b.

CARDOSO I. M. et al. Distribution of mycorrhizal fungal spores in soils under agroforestry and monocultural coffee systems in Brazil. **Agroforestry Systems**, v.58, p.33–43, 2003.

CARDOSO, E. J. B. N. Ocorrência de micorriza em café. **Summa Phytopathol**, v.4, n.2-4, p.136-137, 1978.

CARNEIRO, M. A. C. et al. Arbuscular mycorrhizal fungi in soil aggregates from fields of ‘murundus’ converted to agriculture. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, p. 313-321, 2015.

CASTRO, A. L. F.; CONDE, M. R. G. Caracterización de las endomicorrizas y siete grupos de microorganismos en agrossistemas del piedemonte amazónico, rachiar. **Acta Biológica Colombiana**, v.17, p.349-362, 2012.

CHANIE, T. **Arbuscular Mycorrhizal Fungal diversity of Coffee and Shade trees of Bonga forest, South Western Ethiopia.**2006. Dissertação de Mestrado, Addis Ababa University School of Graduate Studies.

CLEMENTE. C. M. **Nutrição mineral e crescimento de mudas de cafeeiro sob influência de *Gigaspora margarita* (Becker & Hall), matéria orgânica e fósforo.** Universidade Federal de Lavras, 1988. 169p. Dissertação de Mestrado.

COLMENÁREZ-BETANCOURT. F.; PINEDA, J. B. Relación entre la aplicación de inóculo *Brachiaria* y fósforo con la infección por *colletotrichum Gloesporioides* en café. **Fitopatología Venezolana.** v. 24, n.1, 2011.

COLOZZI-FILHO A, SIQUEIRA J. O. Micorrizas vesículo-arbusculares em mudas de cafeeiro. I. Efeitos de *Gigaspora margarita* e adubação fosfatada no crescimento e nutrição. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.10, p.199–205, 1986.

COLOZZI-FILHO et al. Efetividade de diferentes fungos endomicorrízicos na formação, crescimento pós-transplante e produção do cafeeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 29, n. 9, p. 1397-1406, 1994.

COLOZZI FILHO, A.; CARDOSO, E. J. B. N. Detecção de fungos micorrízicos arbusculares em raízes de cafeeiro e de crotalária cultivada na entrelinha. **Pesquisa Agropecuária Brasileira.** v.35, n.1, p.2033-2042. 2000.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Levantamento CONAB da safra de café. 2015. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/12_01_10_10_54_22_boletim_cafe_1a_estimativa.pdf>. Acesso em: 07 nov. 2015.

ESMORIS, E.A. et al. Abonos verdes e inoculación micorrízica de posturas de café sobre suelos ferralíticos rojos lixiviados. **Cultivos Tropicales**, v. 32, n.3, p. 11-17, 2011.

FERNANDES, R. A. **Impacto de usos de um Latossolo Vermelho de cerrado sobre a diversidade de fungos micorrízicos arbusculares.** Jataí: Universidade Federal de Goiás, 2009. 82p. Dissertação de Mestrado.

FERNANDES, A. B.; SIQUEIRA, J. O. Micorrizas vesicular-arbusculares em cafeeiros da região Sul do Estado de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.24, p.12, p.1489-1498, 1989.

FRANÇA, A. C. et al. Crescimento de mudas de cafeeiro inoculadas com fungos micorrízicos arbusculares. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.9, n.4, p.506-511, 2014.

FURTINI NETO, A. E. et al. **Fertilidade do Solo**. Lavras: FAEPE, 2001. 252 p.
GUREVITCH J., HEDGES L. V. Statistical issues in ecological meta-analyses. **Ecology**, 80, 1142–1149, 1999.

HARTUNG, J.; KANAPP, G.; SINHA, B. K. **Statistical meta-analysis with applications**.v.738 de Série Wiley em Probabilidade e Estatística, p.288, 2008.

HEDGES, L.; GUREVITCH, V. J.; CURTIS, P. S.The meta-analysis of response ratios in experimental ecology.**Ecology**, v.80, p.1150–1156, 1999.

HIGGINS J.P.; THOMPSON S.G. Quantifying heterogeneity in a meta-analysis.**Stat Medical**, v,21, p.1539-58, 2002.

HINSINGER, P. Biologyavailability of soil inorganic P in the rhizosphere as affected by root-induced chemical changes: A review. **Plant and Soil**, v.237, n.2, p.173-195, 2001.

HODGE, A.; CAMPBELL, C. D.; FITTER, A. H. An arbuscular mycorrhizal fungi accelerates decomposition and acquires nitrogen directiy from organic material. **Nature**, v.413, n.20, p.297-299, 2001.

HOOKER, J. E.; BLACK, K. E. Arbuscular mycorrhizal fungi as components of sustainable soilplant systems.**Critical Review in Biotechnology**, n. 15, p. 201-212, 1995.

IBIREMO, O. S.; OLOYEDE, M. A.; IREMIREN, G. O. Growth of coffee seedlings as influenced by Arbuscular mycorrhizal inoculation and phosphate fertilizers in two soils in Nigeria. **Journal of Plant Science**, v. 2, n.6, p.160-165, 2011.

KAHILUOTO, H.; KETOJA, E.; VESTBERG, M.Plant-available P supply is not the main factor determining the benefit from arbuscular mycorrhizato crop P nutrition and growth in contrasting cropping systems. **Plant and Soil**, v.350, n.1, p.85-98, 2012.

KONRAD, M. L. F. **Crescimento do cafeeiro sob influência do alumínio em solução nutritiva e em solo ácido, inoculado com micorrizas**

arbusculares. Universidade Estadual de Campinas, 2003. 112p. Tese de Doutorado.

LAKSHMIPATHY, R.; BALAKRISHNA, N.A.; BAGYARAJ, D. J. Abundance and Diversity of AM Fungi across a Gradient of Land Use Intensity and Their Seasonal Variations in Niligiri Biosphere of the Western Ghats, India. **Journal of Agricultural Science and Technology**, v.14, 903-918, 2012.

LAMBAIS, M. R. Aspectos bioquímicos e moleculares da relação fungo-planta em micorrizas arbusculares. In. SIQUEIRA, J. O. **Avanços em Fundamentos e aplicação de micorrizas.** UFLA. – DCS e DCF, Lavras, 1996, 290 p., 1996.

LAMMEL, D. R. et al. Microbiological and faunal soil attributes of coffee cultivation under different management systems in Brazil. **Brazilian Journal of Biology**, v.75, n.4, p.894-905, 2014.

LÉBRON, L.; LODGE, D. J.; BAYMAN, P. Differences in arbuscular mycorrhizal fungi among three coffee cultivars in Puerto Rico. **Agronomy**, v.2012, p.1-7, 2012.

LEHMANN, A. et al. Mycorrhizal responsiveness trends in annual crop plants and their wild relatives-a meta-analysis on studies from 1981 to 2010. **Plant Soil**, v.355, p.231–250, 2010.

LOPES E.S. et al. Occurrence and distribution of vesicular arbuscular mycorrhizal fungi in coffee (*Coffea arabica* L.) plantations in central Sao Paulo State, Brazil. **Turrialba**, v.33, p.417–422, 1983a.

LOPES, E. S. et al. Efeito da inoculação do cafeeiro com diferentes espécies de fungos micorrízicos vesicular arbusculares. **Revista brasileira de Ciência do Solo**, v.7, p.137-41, 1983b.

LOPES, A. S.; COX, F.R. A. survey of the fertility status of soils under cerrado vegetation in Brazil. **Soil Science Society of America Journal**, v. 41, p. 742-747, 1977.

MAYERHOFER, M. S.; KERNAGHAN, G.; HARPER, A. k. The effects of fungal root endophytes on plant growth: a meta-analysis. **Mycorrhiza**, v.22, p.29-39, 2012.

MOHER, D. et al. For the PRISMA group. Preferred reporting Items for systematic reviews and meta-analyses The PRISMA statement. **Annals of Internal Medicine: Journal**, 151, p.65–94, 2009.

MULETA D.; ASSEFA, F.; NEMOMISSA, S. Distribution of arbuscular mycorrhizal fungi spores in soils of smallholder agroforestry and monocultural coffee systems in southwestern Ethiopia. **Biol Fertil Soils**, v.44, p.653-659, 2008.

MULETA. D. et al. Composition of coffee shade tree species and density of indigenous arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) spores in Bonga natural coffee forest, southwestern Ethiopia. **Forest Ecology and Management**, 241, p.145-54, 2007.

NEYELOFF, J.; FUCHS, S. C.; B MOREIRA, L. B. Meta-analyses and Forest plots using a brachiari excel spreadsheet: step-by-step guide focusing on descriptive data analysis. **BioMed Central**, v.5, p.1-6, 2012.

OLIVEIRA, E. et al. Ocorrência de fungos micorrízicos vesículo-arbusculares em cafeeiro em cafeeiro das regiões do Alto Paranaíba e Triângulo no Estado de Minas Gerais. **Hoehnea**, São Paulo, v.17, n.2, p.117-125, 1990.

OLKIN I. Meta-Analysis: Reconciling the Results of Independent Studies. **Statistics in Medicine**, v. 14, n.5-7, p.457-472, 1995.

PEREIRA, L. A. A. **Desenvolvimento de mudas cafeeiro (*Coffea arabica* L.) na presença de *Gigaspora margarita* Becker & Hall e *Rhizoctonia solani*, Kuhn**. Universidade Federal de Lavras, 1994. 61p. Dissertação de Mestrado.

RIVERA, R. et al. Abonos verdes e inoculación micorrízica de posturas de cafeeiro sobre suelos fersialíticos rojos lixiviados. Cultivos. **Tropicales**, v. 31, n. 3, p. 75-81, 2010.

RODRIGUES, C. L.; ZIEGELMANN, P. K. Meta-análise: um guia prático: meta-analysis: a practical guide. **Revista do Hospital Clínicas de Porto Alegre**, v.30, n.4, p.435-447, 2010.

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

SAGGIN-JÚNIOR. O. J. et al. Colonização do cafeeiro por diferentes fungos micorrízicos: Efeito na formação das mudas e no crescimento em solo fumigado. **Revista brasileira Ciência do Solo**, v.19, p.213-220, 1995b.

SAGGIN-JÚNIOR. et al. Avaliação da eficiência simbiótica de fungos endomicorrízicos para o cafeeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.19, p.221-228, 1995a.

SAGGIN-JÚNIOR O. J. et al. E. Interação fungos micorrízicos versus superfosfato e seus efeitos no crescimento e teores de nutrientes do cafeeiro em solo não fumigado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.18, p.209-213, 1994.

SAGGIN-JÚNIOR, O. J. et al. A infestação do solo com fungos micorrízicos no crescimento pós-transplante de mudas de cafeeiro não micorrizadas. **Revista brasileira Ciência do Solo**, Campinas, v.16, n.1, p.39-46, 1992.

SCHULZ B, BOYLE C. The endophytic continuum. **Mycological Research**, v.109, p.661-686, 2005.

SANCHEZ, C. et al. Comportamiento de 15 cepas de hongos micorrizogenos (HMA) sobre el desarrollo de posturas de cafeto en un suelo pardo gleyzoso. **Revista Forestal Latino americana**, v.38, p.83-95, 2005.

SILVA, C. R. GOBBI, B. C.; SIMÃO, A. A. O uso da análise de conteúdo como uma ferramenta para a pesquisa qualitativa: descrição e aplicação do método. **Organizações Rurais Agroindustriais**, v. 7, n. 1, p. 70-81, 2005.

SIQUEIRA, J. O.; COLOZZI FILHO, A. Micorrizas vesículo-arbusculares em mudas de cafeeiro. II. Efeito do fósforo no estabelecimento e funcionamento da simbiose. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.10, p.207-211, 1986a.

SIQUEIRA, J. O. et al. Crescimento de mudas e produção do cafeeiro sob influência da inoculação com fungos micorrízicos e aplicação de superfosfato. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.17, n.1, p.53-60, 1993a.

SIQUEIRA, J. O. et al. Influência do substrato de formação e da micorriza no crescimento de mudas de cafeeiro transplantadas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 30, n. 12, p. 1417-1425, 1995.

SIQUEIRA, J. O.; COLOZZI-FILHO, A.; SAGGIN-JÚNIOR. O. J. Efeitos da infecção de plântulas de cafeeiro com quantidades crescentes de esporos do fungo endomicorrízico *Gigaspora margarita*. **Pesquisa agropecuária Brasileira**, v.29, n.6, p.875-883, 1994.

SIQUEIRA, J. O. et al. The relationship between vesicular-arbuscular mycorrhiza and lime: associated effects on the growth and nutrition of brachiaria grass (*Brachiaria decumbens*). **Biology and Fertility of Soils**, v.10, p.65-71, 1990.

SIQUEIRA, J. O.; DE SOUZA, F. A.; CARDOSO, E. J. B. N.; TSAI, S. M. **Micorrizas: 30 anos de pesquisa no Brasil**. Lavras: Editora UFLA, v.1, p.279-310, 2010.

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

SIQUEIRA, O. S. et al. Micorrizas vesicular-arbusculares em mudas de cafeeiro produzidas no sul do Estado de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.22, n.1, p.31-38, 1987.

SIQUEIRA, O. S. et al. Influência de cultivar e adubação fosfatada de plantio sobre a ocorrência de micorrizas vesicular arbusculares em cafeeiro (*Coffea arabica* L.). **Ciência Prática**, Lavras, v.10, n.3, p.325-335, 1986b.

SIQUEIRA, J. O. **Biologia do Solo**. 1993.230f. Textos acadêmicos – Curso de Pós Graduação “Lato Sensu” (Especialização) a distância Solo e Meio Ambiente – UFLA/FAEPE, Lavras – MG, 1993b.

SOUZA, A. S. S. et al. Crescimento e nutrição do cafeeiro micorrizadas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.26, n.11/12, p.1989-2005, 1991.

SOUZA, C. A. S.; CARVALHO, M. M.; SOUZA, P.; CARVALHO, J. G. OLIVEIRA, E. Influência de micorrizas vesicular-arbusculares o crescimento de mudas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) em substrato com e sem matéria orgânica e diferentes doses de superfosfato simples. **Ciência Prática**, Lavras, v.11, n.2, 177-189, 1987.

SOUZA, C. A. S.; OLIVEIRA, E. CARVALHO, M. M. Desenvolvimento de mudas de cafeeiro (*Coffea arabica* cv.Catuai) micorrizadas nas condições de viveiro comercial, em substrato com e sem matéria orgânica e diferentes doses de superfosfato simples. **Ciência e Prática**, v.13, p.269-278, 1989.

STÜMER S. L.; SIQUEIRA, J. O. **Fungos Micorrízicos**. 2013, In: MOREIRA, F. S. O ecossistema solo. p.351. 2013.

THANGARAJU M. et al. Microbial consortium and its effect on controlling coffee root-lesion nematode (*Pratylenchus coffeae*) under nursery conditions. **Journal of Biological Control**, 22(2), p425-432, 2008.

TEXEIRA, M. E. et al. Ocorrência de fungos micorrízicos arbusculares, nematoides e ácaros em solos sob diferentes sistemas de cultivo de cafeeiro no sul de Minas Gerais. **Agrogeoambiental**, v.2, n.1, p. 101-108, 2010.

THEODORO, V. C. A. et al. Carbono biomassa e micorriza em solo sob mata nativa e agroecossistemas cafeeiros. **Acta Scientiarum: Agronomy**, v.25, n.1, p.147-153, 2003.

TREJO, D. et al. Efectividad de siete brachiaria nativos de hongos micorrízicos arbusculares en plantas de café en condiciones de invernadero y campo. **Revista Chilena de Historia Natural**, 84: 23-31, 2011.

TRISTÃO, F. S. M. ANDRADE, S. A. L.; SILVEIRA, A. P. D. Fungos micorrízicos arbusculares na formação de mudas de cafeeiro, e, substrato orgânico comerciais. **Bragantia**, v.65, n.4, p.649-658, 2006.

VAAST.P.; ZASOSKI R, J. Effect of nitrogen sources and mycorrhizal inoculation different species on growth and nutrient composition of young arabica seedlings. **Café Cacao Thé**, v.35, n.2, 1991.

VAAST, P.; ZASOSKI R. Effects of VA-mycorrhizae and nitrogen sources on rhizosphere soil characteristics, growth and nutrient acquisition of coffee seedlings (*Coffea arabica* L.). **Plant Soil**, v.147, p.31-9, 1992.

VAAST. P.; ZASOSKI R. J.; BLEDSOE C. Effects of vesicular-arbuscular mycorrhizal inoculation at different soil P availabilities on growth and nutrient uptake of in vitro propagated coffee (*Coffea arabica* L.) plants, **Mycorrhiza**, v.6, p.493-7, 1996.

VAAST.P; CASWELL-CHEN. E. P.; ZASOSKI R. J. Influences of a root-lesion nematode, *Pratylenchus coffeae*, and two arbuscular mycorrhizal fungi, *Acaulospora mellea* and *Rhizophagus clarus* on coffee (*Coffea arabica* L.). **Biology and Fertility of Soils**, v.26, p.130-135, 1998.

VALLONE, H.S. et al. Diferentes recipientes e substrato na produção de mudas de cafeeiros. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 34, n. 1, p. 55-60, 2010.

Material suplementar 1

Lista de publicações utilizadas para a revisão e meta-análise

Autor (primeiro)/ano	Fonte	Localização
Aguilar (2002)	Universidade de Colima/dissertação	México
Al-arenqi (2013)	Journal of Applies Bioscience v.64, p.4888-4901	Iêmen
Alban (2013)	American Journal of Plant Sciences, v.4, p.19-23 Rev. Mexicana de Ciencias Agrícolas, v.3, p.417-431	Venezuela
Anaya (2011)	Revista brasileira de Ciência do Solo v.19, p.191-196	México
Andrade (1995)	Science of the Total Environment, v.408, p.5381-5391	Brasil
Andrade (2010)	Revista Turrialba, v.38, p.117-122	Brasil
Antunes (1988)	Agronomia v.5, p.25-28	Colômbia
Arango (1989)	Agroforest Systems v.85, p.179-193	México
Arias et al., (2012)	Universidade Federal de Lavras/dissertação	Brasil
Azevedo (2005)	Universidade de São Paulo/dissertação	Brasil
Balota (1989)	Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.20, p.217-223	Brasil
Balota (1996)	Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.20, p.225-232	Brasil
Balota (1996)	Journal of Coffee Research, n.34, p.57-63	Índia
Biradar (2006)	Bragantia, v.69, p.201-206	Brasil
Bonfim (2010)	Pesquisa Agropecuária Brasileira v.18, p.223-228	Brasil
Caldeira (1983)	Revista Ceres v.167, p.19-24	Brasil
Caldeira (1983)	Summa Phytopathologica, v.4, p.2-4	Brasil
Cardoso (1978)	Agroforest Systems, v.58, p.33-43	Brasil
Cardoso (2003)	Acta Biológica Colombiana, v.17, p.349-362	Colômbia
Castro (2012)	Universidade Addis Ababa/dissertação	Etiópia
Chanie (2006)	Universidade Federal de Lavras/dissertação	Brasil
Clemente (1988)	Universidade de São Paulo/tese	Brasil
Colozzi-Filho (1999)	Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.10, p.199-205	Brasil
Colozzi-Filho (1986)	Pesquisa Agropecuária Brasileira v.29, p.1397-1406	Brasil
Colozzi-Filho (1994)	Pesquisa Agropecuária Brasileira v.35, p.2033-2042	Brasil
Colozzi-Filho ., (2000)	Fitopatologia Venezuelana, n.24, v.1, p.20-24	Venezuela

Autor (primeiro)/ano	Fonte	Localização
(2011)		
Esmoris (2011)	Cultivos Tropicales, v.3, p.11-17	Cuba
Fernandes (2009)	Universidade Federal de Goiás/dissertação	Brasil
Fernandes (1989)	Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.24, p.1489-1498	Brasil
França (2014)	Revista Brasileira de Ciência Agrária, n.4, v.9, p.506-511	Brasil
Konrad (2003)	Universidade Estadual de Campinas/tese	Brasil
Ibiremo (2011)	Journal of Plant Science, v.6, p.160-165	Nigéria
Lammel (2015)	Brazilian Journal of Biology, n.4, v.75, p.894-905	Brasil
Lakshmiopathy (2012)	Journal of Agricultural Science and Technology, v.14, p.903-918	Índia
Lébron (2012)	International Scholarly Research Network p.1-7	Porto Rico
Lopes (1983)	Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.7, p.137-141	Nigéria
Lopes (1983)	Revista Turrialba, v.33, p.417-422	Brasil
Medina (2011)	Agronoma Mesoamericana, v.22, p.71 -80	México
Muleta (2007)	University of Agricultural Sciences/tese	Etiópia
Muleta (2007)	Forest Ecology and Management, v.241, p.145-154	Etiópia
Muleta (2008)	Biology and Fertility of Soils, v.44, p.653:659	Etiópia
Oliveira (1990)	Hoehnea, v.17, p.117-125	Brasil
Panneerselvam (2008)	Journal Biological Control, v.22, p.425-432	Índia
Pereira (1994)	Universidade Federal de Lavras/dissertação	Brasil
Rivera (2010)	Cultivos Tropicales, v.31, n.3, p.75-81	Cuba
Saggin-Júnior (1992)	Universidade Federal de Lavras/dissertação	Brasil
Saggin-Júnior (1992)	Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.16, p.39-46	Brasil
Saggin-Júnior (1994)	Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.18, p.27-36	Brasil
Saggin-Júnior (1995)	Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.19, p.213-220	Brasil
Saggin-Júnior (1995)	Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.19, p.221-228	Brasil
Sánchez (2005)	Revista Forestal Latino americana, v.38, p.83-95	Cuba
Siqueira (1986)	Ciência Prática, v.10, p.325-335	Brasil
Siqueira (1986)	Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.10, p.207-211	Brasil
Siqueira (1987)	Pesquisa Agropecuária Brasileira v.22 p.31-38	Brasil

Autor (primeiro)/ano	Fonte	Localização
Siqueira (1993)	Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.17 p.53-60	Brasil
Siqueira (1994)	Pesquisa Agropecuária Brasileira v.29, p.875-883	Brasil
Siqueira (1995)	Pesquisa Agropecuária Brasileira v.30, p.1417-1425	Brasil
Siqueira (1998)	Mycorrhiza v.7, p.293:300	Brasil
Souza (1987)	Universidade Federal de Lavras/dissertação	Brasil
Souza (1987)	Ciência Prática, v.11, p.177-189	Brasil
Souza (1991)	Pesquisa Agropecuária Brasileira v.26, p.1989-2005	Brasil
Texeira (2010)	Revista Agrogeoambiental v.2, p.101-108	Brasil
Theodoro (2003)	Acta Scientiarum: Agronomy v.25, p.147-153	Brasil
Trejo (2011)	Revista Chilena de História Natural, v.84, p.23-31	México
Tristão (2005)	Universidade Estadual de Campinas/dissertação	Brasil
Tristão (2006)	Revista Bragantia, v.65, p.649-658	Brasil
Vaast (1991)	Café Cacao Thé, v.2, p.121-132	EUA
Vaast (1992)	Plant and Soil, v.147, p.31-39	EUA
Vaast (1996)	Mycorrhiza, v.6, p.493:497	EUA
Vaast (1998)	Biology and Fertility of Soils, v.26, p.130:135	EUA
Alves (2014)	Rev. Brasileira de Agropecuária Sustentável.v.4, n.1, p.11-16	Brasil
Beenhouwer (2015)	Agron. Sustain. Dev. v.35 p.241-249	Etiópia

Material suplementar 2

Lista de gêneros e espécies de FMAs e sua ocorrência em cafezais por países.

Espécies de FMAs	Países					¹ NTP
	Brasil	Índia	México	Porto Rico	Yêmen	
<i>Acaulospora bireticulata</i> Rothwell & Trap		+	+			2
<i>Acaulospora colombiana</i> (Spain & Schenck) Kaonongbua, Morton & Bever	+					1
<i>Acaulospora dilatata</i> Morton		+	+			2
<i>Acaulospora excavata</i> Ingleby & Walker			+			1
<i>Acaulospora foveata</i> Trappe & Janos	+		+			2
<i>Acaulospora gedanensis</i> Blaszkowski	+					1
<i>Acaulospora lacunosa</i> Morton		+				1
<i>Acaulospora laevis</i> Gerdemann & Trappe	+	+	+			3
<i>Acaulospora longula</i> Spain & Schenck	+					1
<i>Acaulospora mellea</i> Spain & Schenck	+		+			2
<i>Acaulospora morrowiae</i> Spain & Schenck	+					1
<i>Acaulospora myriocarpa</i> Spain, Sieverding & Schenck	+					1
<i>Acaulospora scrobiculata</i> Trappe	+	+	+			3
<i>Acaulospora spinosa</i> Walker & Trappe	+		+			2
<i>Acaulospora sporocarpia</i> Berch					+	1

Espécies de FMAs	Países					
	Brasil	Índia	México	Porto Rico	Yêmen	¹ NTP
<i>Acaulospora sspendicula</i>	+					1
<i>Acaulospora tuberculata</i> Janos & Trappe	+					1
<i>Ambispora appendicula</i> (Spain, Sieverd. & Schenck) Walker	+					1
<i>Ambispora leptoticha</i> (Schenck & Smith) Walker, Vestberg & Schuessler	+	+	+			3
<i>Archaeospora trappei</i> (Ames & Linderman) J.B. Morton & D. Redecker	+					1
<i>Claroideoglomerum claroideum</i> (Schenck & Smith) Walker & Schüssler			+		+	2
<i>Claroideoglomerum etunicatum</i> Becker & Gerd.) Walker & Schüssler	+		+			2
<i>Entrophospora infrequens</i> (I.R. Hall) Ames & Schneid	+		+			2
<i>Funneliformis constrictum</i> (Trappe) Walker & Schüßler			+			1
<i>Funneliformis coronatum</i> (Giovann.) Walker & Schüßler			+			1
<i>Funneliformis mosseae</i> (Nicolson & Gerd.) Walker & Schüßler	+	+	+			3
<i>Gigaspora albida</i> Schenck & Smith	+					1
<i>Gigaspora decipiens</i> Hall & Abbott	+					1
<i>Gigaspora gigantea</i> (Nicolson & Gerdemann) Gerd. & Trappe	+					1
<i>Gigaspora margarita</i> Becker & Hall	+	+				2
<i>Gigaspora rosea</i> Nicolson & Schenck	+					1
<i>Glomus aggregatum</i> Schenck & Smith	+	+	+			3
<i>Glomus albidum</i> Walker & Rhodes	+					1
<i>Glomus citricola</i> Tang & Zang		+				2

Espécies de FMAs	Países					¹ NTP
	Brasil	Índia	México	Porto Rico	Yêmen	
<i>Glomus clavisporum</i> (Trappe) Almeida & Schenck	+	+				2
<i>Glomus coremioides</i> (Berk. & Broome) Redecker & Morton			+			1
<i>Glomus deserticola</i> Trappe, Bloss & Menge	+	+				2
<i>Glomus halonatum</i> Rose & Trappe		+				1
<i>Glomus heterosporum</i> Smith & Schenck		+				1
<i>Glomus invermaium</i> Hall		+				1
<i>Glomus lacteum</i> Rose & Trappe		+				1
<i>Glomus macrocarpum</i> Tulasne & Tulasne	+		+	+		3
<i>Glomus magnicaule</i> Hall		+				1
<i>Glomus microaggregatum</i> Koske, Gemma & Olexia			+			1
<i>Glomus microcarpum</i> Tulasne & Tulasne	+					1
<i>Glomus monosporum</i> Gerdemann & Trappe		+				1
<i>Glomus multicaule</i> Gerdemann & Bakshi		+				1
<i>Glomus radiatum</i> (Thaxter) Trappe & Gerdemann		+				1
<i>Glomus rubiforme</i> (Gerd. & Trappe) Almeida & Schenck			+			1
<i>Glomus sinuosum</i> (Gerd. & Bakshi) Almeida & Schenck	+		+	+		3
<i>Glomus tenebrosus</i> (Thaxter) Berch		+				1
<i>Glomus tortuosum</i> Schenck & Smith	+					1
<i>Glomus hoi</i> Berch & Trappe		+				1

Especies de FMAs	Países					¹ NTP
	Brasil	Índia	México	Porto Rico	Yêmen	
<i>Paraglomus occultum</i> (Walker) Morton & Redecker	+					1
<i>Racocetra verrucosa</i> (Koske & Walker) Oehl, Souza & Sieverd	+					1
<i>Rhizophagus clarus</i> (Nicolson & Schenck) C. Walker & Schüßler	+		+			2
<i>Rhizophagus diaphanum</i> (Morton & Walker) Walker & Schüßler	+	+	+			3
<i>Rhizophagus fasciculatus</i> (Thaxt.) Walker & Schüßler	+	+	+			3
<i>Rhizophagus intraradices</i> (Schenck & Sm.) Walker & Schüßler	+	+	+			3
<i>Rhizophagus manihotis</i> (Howeler, Sieverd. & Schenck) Walker & Schüßler	+					1
<i>Rhizophagus proliferus</i> (Dalpé & Declerck) C. Walker & Schüßler					+	1
<i>Sclerocystis coremioides</i> Berk. & Broome	+					1
<i>Sclerocystis sinuosa</i> Gerd. & B.K. Bakshi	+					1
<i>Scutellospora biornata</i> Spain, Sieverd. & Toro			+			1
<i>Scutellospora cerradensis</i> Spain & JMiranda	+					1
<i>Scutellospora dipapillosa</i> (Walker & Koske) Walker & Sanders	+		+			2
<i>Scutellospora gilmorei</i> (Trappe & Gerd.) Walker & Sanders	+					1
<i>Scutellospora heterogama</i> (Nicolson & Gerd.) Walker & Sanders	+	+				2
<i>Scutellospora nigra</i> (Redhead) Walker & Sanders					+	1
<i>Scutellospora pellucida</i> (Nicolson & Schenck) Walker & Sanders	+					1
² NTEP	45	26	27	2	4	
³ NTE:						70

¹NTP: número total de países; ²NTEP; número total de especies por país; ³NTE: número total de especies

**ARTIGO 2 - DOSES DE GESSO E DISTRIBUIÇÃO EM
PROFUNDIDADE NO SOLO DE FUNGOS MICORRÍZICOS
ARBUSCULARES E GLOMALINA EM CAFEIEIRO NO CERRADO**

(VERSÃO PRELIMINAR).

Normas da Revista Brasileira de Ciência do Solo

Franciane Diniz Cogo⁽¹⁾; Marco Aurélio Carbone Carneiro⁽²⁾; Paulo Tácito
Gontijo Guimarães⁽³⁾; Orivaldo José Saggin Júnior⁽⁴⁾; José Oswaldo Siqueira⁽⁵⁾;

¹Universidade Federal de Lavras/UFLA - Departamento de Ciência do Solo/DCS-
Cx. P. 3037-37.2000-000 - Lavras - MG - fdcogo@yahoo.com.br

²Universidade Federal de Lavras/UFLA - Departamento de Ciência do Solo/DCS-
Cx. P. 3037-37.2000-000 - Lavras - MG - marcocarbone@dcs.ufla.br

³Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais/EPAMIG - Cx. P. 176 - 37.200-
000 - Lavras - MG - paulotgg@ufla.epamig.br

⁴Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Centro Nacional de Pesquisa de
Agrobiologia- Cx. P. 74505 – 23.891-000 - Seropédica-RJ- orivaldo.saggin@embrapa.br

⁵Instituto Tecnológico Vale, rua Boaventura da Silva , 955-66.055-090 -Belém - PA-
jose.oswaldo.siqueira@itv.org

Resumo: A aplicação de doses crescentes de gesso agrícola podem promover modificações na comunidade de fungos micorrízicos arbusculares (FMAs). O objetivo deste estudo foi avaliar o impacto de crescentes doses de gesso agrícola sobre a distribuição espacial de fungos micorrízicos arbusculares, glomalina e agregados do solo sob cafeeiros, no Cerrado mineiro. Foram avaliadas as profundidades 0-0,20m, 0,20-0,40m e 0,40-0,60m de um solo, submetido às doses 0; 3,5; 7,0; 14 e 56 t ha⁻¹ de gesso agrícola na linha de plantio do cafeeiro. Avaliou-se a densidade de esporos, riqueza de espécies, frequência de ocorrência, número efetivo de espécies, colonização radicular, glomalina no solo e nos agregados do solo, produtividade e teores de fósforo foliar e no grão. A riqueza total recuperada na área sob cafeeiro foi de 13 espécies de FMAs, sendo 9 espécies na estação chuvosa e 10 espécies na seca. Na estação chuvosa a espécie *Claroideoglossum etunicatum* foi recuperada apenas no tratamento que recebeu 7 t ha⁻¹ de gesso agrícola na profundidade 0,20-0,40m e *Rhizophagus intraradices* somente no tratamento com 56 t ha⁻¹ de gesso agrícola na profundidade 0,40-0,60m; e na estação seca a espécie *Acaulospora* sp. e *Glomus tortuosum* foram recuperada no tratamento que recebeu 7 t ha⁻¹ de gesso agrícola na profundidade 0-0,20m; e a *Gigaspora* sp., foi recuperada em todas as doses de gesso agrícola e profundidades nas duas estações. A aplicação de crescentes doses de gesso agrícola no solo sob cafeeiros, no Cerrado mineiro, não afetou a densidade de esporos e a riqueza de FMAs. A colonização radicular foi superior na profundidade 0-0,20m nas duas estações. Os teores PSGFE diminuíram linearmente com o aumento da dose de gesso agrícola e aumentaram com a profundidade na estação chuvosa. Os agregados do solo com Ø >2,0mm apresentaram os maiores teores de PSGFE nas duas estações.

Palavras-chave: *Coffea arabica* L., produtividade, levantamento taxonômico, agregados, glomalina.

INTRODUÇÃO

Os solos do Cerrado ocupam uma parte importante do território brasileiro e são caracterizados por sua baixa fertilidade do solo, especialmente em P, acidez elevada e déficit hídrico sazonal (Lopes; Cox, 1977). Por consequência para a produção agrícola é necessário calagem e gessagem. Tendo em vista este cenário os produtores do Cerrado do suldoeste mineiro iniciaram a aplicação de doses crescentes doses de gesso agrícola (Serafim et al., 2011) para aumentar produtividade e para amenizar, o estresse hídrico gerado pela estação seca marcante através do aprofundamento radicular (Rena e Guimarães, 2000).

O uso do gesso agrícola como fertilizante e condicionador do solo em profundidade é uma prática empregada largamente sob distintas condições de solo e de culturas. Tem sido demonstrado por meio de pesquisas que crescente doses de gesso agrícola na cultura do cafeeiro promove aumento da concentração de Ca^{2+} na solução do solo (Ramos et al., 2013), distribuição mais uniforme do sistema radicular (Serafim et al., 2013a; Carducci et al., 2014a; Carducci et al., 2014b; Carducci et al., 2015), diminuição da susceptibilidade à desagregação (Silva et al., 2013; Silva et al., 2014), e redução do déficit hídrico da cultura (Serafim, 2013a,b; Silva et al., 2015).

Embora a produção cafeeira associada a aplicação de doses recomendadas do gesso agrícola apresente vários benefícios, o uso de doses crescentes deste insumo ainda não tem sustentação por pesquisas científicas que envolvam principalmente nos atributos biológicos e bioquímicos do solo, como sobre a comunidade de FMAs e glomalina.

Os FMAs microrganismos são elementos essenciais do sistema solo-planta na maior parte dos agroecossistemas e de ocorrência generalizada em cafezais (Siqueira et al., 1986; Arias et al., 2012). Eles são simbioses biotróficos obrigatórios (Brundrett, 2002) e contribuem com aumento da

tolerância à patógenos (Vaast et al., 1998; Thangaraju et al., 2008; Albán, 2013) e déficit hídrico (Anaya et al., 2011). Promovem a nutrição de cafeeiros (Andrade et al., 2010), especialmente quanto a fósforo (Albán et al., 2013). A composição e a diversidade das comunidades de FMAs podem ser afetados qualitativa e quantitativamente pelas práticas de manejo agrícola (Arias et al., 2012). Pesquisas prévias demonstraram que o uso da monocultura, fertilização com fósforo em excesso tem impacto negativo sobre a associação de FMAs na cultura do cafeeiro (Siqueira et al., 1998; Aguacil et al., 2010; Arial et al., 2012). Embora a comunidade FMAs possam ser influenciados pelo o uso de crescentes doses de fertilizante fosfatadas, até o presente não existe informações sobre o efeito da aplicação de crescentes doses de gesso agrícola na composição da comunidade e na diversidade de FMAs em um solo sob o cafeeiro do Cerrado mineiro.

A glomalina é uma proteína produzida por FMAs (Driver et al, 2005), quantificada como proteína do solo relacionada a glomalina (PSGFE), utilizando o método de Bradford (Rillig, 2004; Wright e Upadhyaya, 1996). É caracterizada por atuar como agente cimentante das partículas de agregados do solo (Wright e Upadhyaya, 1998), favorecendo a formação e estabilização de agregados (Rillig, 2004; Carneiro et al., 2015). Assim, glomalina tem papel importantes na aeração, drenagem (Wright e Upadhyaya, 1996; Purin et al., 2006), estabilidade do solo contra erosões e armazenamento de carbono (Purin et al., 2006), promovendo a qualidade do solo.

O objetivo deste estudo foi avaliar o impacto de doses crescentes de gesso agrícola sobre a distribuição espacial de fungos micorrízicos arbusculares, glomalina do solo e agregados sob a copa de cafeeiros, em uma área do suldoeste cerrado mineiro.

MATERIAL E MÉTODOS

O Experimento foi instalado na Fazenda AP Família, no município de São Roque de Minas Gerais (20°15'45"S, 46°18'17"W) , com altitude média de 850m. O clima da região classifica-se como Cwa - temperado brando com inverno seco e verão quente e úmido, conforme a classificação de Köppen. O solo foi classificado como Latossolo Vermelho distrófico típico, muito argiloso (Embrapa, 2006).

O delineamento utilizado foi em blocos casualizados, em parcelas subdividas considerando a parcela principal as doses de gesso agrícola e as subparcelas a profundidade amostrada, com três repetições e 15 tratamentos, sendo disposto em esquema fatorial 5X3, sendo testadas respectivamente cinco doses de gesso agrícola: 0 (controle); 3,5; 7; 14 e 56 t ha⁻¹; e três profundidades: 0-0,20; 0,20-0,40 e 0,40-0,60m. No quadro 1 encontra-se as quantidades de P, S e Ca equivalente a calagem (8 t ha⁻¹), gessagem (2 t ha⁻¹), adubação da cova de plantio (fertilizantes 08-44-00 (NPK) 980 kg ha⁻¹ e fertilizante de liberação lenta contendo 11% P₂O₅ 30 g/planta) e tratamentos (0; 3,5; 7; 14 e 56 t ha⁻¹).

Como referência utilizou-se uma mata nativa que apresenta-se com a mesma classe de solo da área experimental. Esta não foi incluída na comparação das médias, sendo utilizado apenas para aferir os efeitos das práticas agrícolas sobre os atributos biológicos e bioquímicos do solo.

Quadro 1 Atributos químicos do solo.

74

Tratamentos	pH		K		P		Ca		Mg		Al		M.O.	
	Água		mg dm ⁻³		mg dm ⁻³		cmol dm ⁻³		cmol dm ⁻³		cmol dm ⁻³		dag kg ⁻¹	
	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca
Profundidade 0-0,20m														
0	5,40	5,00	172	149	0	0,28	1,65	0,10	0,10	0,10	0,10	0,20	3,70	3,10
3,5	5,80	4,30	182	137	1,42	0,43	2,00	0,15	0,40	0,50	0,10	0,30	4,30	3,30
7	5,40	5,00	165	152	1,72	0,56	2,47	0,55	0,60	0,60	0,20	0,10	4,10	3,30
14	5,70	4,10	147	163	2,03	0,84	3,45	0,90	0,65	0,70	0,10	0,10	3,90	3,20
56	5,30	5,00	142	138	3,05	0,94	3,77	1,07	0,70	0,80	0,10	0,13	3,60	2,90
Mata		4,20		69,3		0,70		0,10		0,10		1,80		4,40
Profundidade 0,20-0,40m														
0	5,80	5,33	161	160	0	0,18	1,60	0,40	0,05	0,08	0,05	0,10	3,07	2,03
3,5	5,83	5,00	125	144	0,42	0,28	2,25	0,65	0,50	0,27	0,10	0,20	3,85	2,36
7	6,10	5,37	123	146	1,11	0,37	2,53	1,00	0,63	0,43	0,03	0,17	3,56	2,20
14	6,53	4,87	131	146	1,13	0,47	2,60	1,23	0,68	0,50	0,03	0,20	3,51	2,49
56	6,10	4,87	144	165	3,01	0,86	3,40	1,30	0,80	0,53	0,00	0,16	3,48	2,32
Mata		4,47		44,0		0,28		0,10		0,10		0,90		2,44
Profundidade 0,40-0,60m														
0	5,95	5,03	104	142	0	0,12	1,80	0,20	0,05	0,05	0,05	0,10	3,21	1,60
3,5	5,93	5,27	107	148	0,28	0,18	2,60	0,63	0,55	0,26	0,10	0,10	3,33	2,03
7	6,10	5,37	105	148	0,09	0,28	3,00	0,70	0,6	0,37	0,03	0,10	3,51	1,87
14	5,83	5,00	117	150	1,11	0,37	3,65	0,80	0,65	0,46	0,13	0,13	3,56	1,99
56	5,30	5,33	121	154	2,60	0,56	3,20	1,37	0,7	0,50	0,27	0,10	3,37	1,87
Mata		4,83		20,7		0,37		0,10		0,10		0,33		1,79

(1) pH em água, relação 1:2,5; Al³⁺, Mg²⁺ e Ca²⁺, extraídos por KCl-1mol L⁻¹; K e P, extraídos por Mehlich 1; e MOS: matéria orgânica do solo, oxidada com dicromato de potássio, em meio ácido.

Quadro 2 Quantidade de fósforo (P), enxofre (S) e cálcio (Ca) equivalente a calagem, gessagem, adubação da cova de plantio e tratamentos.

Tratamentos Gesso agrícola t ha ⁻¹	¹ Nutrientes via gesso agrícola			P aplicado plantio	Ca via Calcário
	S	Ca	P		
0	50	60	0,96	32	334
3,5	139	165	2,63	32	334
7	227	271	4,31	32	334
14	403	481	7,66	32	334
56	1461	1744	27,8	32	334

¹Neste valor está inserido o gesso agrícola aplicado no preparo do solo para plantio e tratamentos.

O cafeeiro (*Coffea arabica*) foi implantado em outubro/2008, com a cultivar Catucaí e o espaçamento 2,5x0,65m. O preparo do solo foi realizado com arado e seguido de uma grade aradora, na profundidade 0-0,20m, incorporando 8 t ha⁻¹ calcário dolomítico e 2 t ha⁻¹ de gesso agrícola em área total, conforme recomendações da Comissão de Fertilidade do Solo para Minas Gerais (Guimarães et al., 1999). Depois do preparo implantou-se *Brachiaria ruziziensis* na entrelinha como planta de cobertura do solo. O sulco de plantio foi preparado na profundidade 0,6m e a fertilização consistiu de uma aplicação com fertilizantes 08-44-00 (NPK) enriquecido com 1,0% Zn e 0,5% B e 20-00-20 (NPK) nas respectivas doses 980 kg ha⁻¹ e 380 kg ha⁻¹ (Serafim et al., 2011). Nos demais anos a adubação de manutenção foi realizado de conforme as recomendações técnicas para Minas Gerais (Guimarães et al., 1999).

As doses de gesso agrícola referente aos tratamentos foram aplicadas, após quatro meses do plantio, em superfície na linha do cafezal, em uma faixa de 0,5m em largura, em seguida, com auxílio de uma lâmina traseira acoplada ao trator e alinhada a 45° com a linha de plantio, cobriu-se o gesso com solo.

As amostragens de solo e raízes foram realizadas na linha de plantio do cafeeiro em duas épocas, a primeira no início da estação chuvosa (outubro/2013) e a segunda no início da estação seca (maio/2014). No laboratório, uma parte das amostras de solo foram secas ao ar e peneiradas (malha 2 mm) e encaminhadas para as análises de químicas pH, Ca, Mg, K, P, Al, e matéria orgânica (Emprapa, 2009), (Quadro 2); e a outra parte do solo foi armazenadas à 4°C, para posterior análises bioquímicas e biológicas do solo.

A extração de esporos de FMAs foi realizada a partir de 50 g de solo pelo método de peneiramento úmido (Gerdemann e Nicolson, 1963), seguido pela centrifugação em solução de sacarose (Jenkins, 1964). Os esporos foram contados com o subsídio de um microscópio estereoscópico com aumento de 40× e separados morfológicamente para identificação. As determinações taxonômicas foram realizadas com base em características morfológicas usando as descrições fornecidas pelo “International Culture Collection of Arbuscular and Vesicular-Arbuscular Mycorrhizal Fungi” (INVAM, 2016).

Os índices ecológicos foram calculados utilizando o número de espécies recuperadas em cada tratamento a partir de 50 mL de solo; a riqueza de espécies foi mensura pelo número total de indivíduos de uma espécie em cada tratamento; a frequência de ocorrência (Fr%) de cada espécie foi calculada pela razão entre o número de amostra que a espécie de FMA estava presente e o número total de amostra e multiplicados por 100; a densidade relativa de cada espécie de FMA em cada tratamento foi obtido pela razão entre o número de esporos de uma dada espécie e o número total, multiplicado por 100.

As raízes finas coletadas foram separadas do solo por meio de peneiramento úmido, clarificadas e coloridas (Koske e Gemma, 1989) e a taxa de colonização radicular estimada pelo método da placa quadriculada (Giovannetti e Mosse, 1980).

Os blocos de solo foram coletados na profundidade 0-0,20m, previamente secos ao ar e peneirados em malha através de peneiras com malha 8.0 e 4.0 mm. Em seguida, os agregados retidos na malha de 4mm foram colocado em um conjunto de peneiras ($\emptyset \geq 2,0$; $2,0 > \emptyset \geq 0,25$ e $\emptyset < 0,105$ mm), adaptado a um dispositivo mecânico de vibração (Solo Teste PBX 289-0211SP). O material retido em cada peneira foi classificado em macroagregados ($\emptyset \geq 2,00$ mm), mesoagregados ($2,0 > \emptyset \geq 0,25$ mm), e microagregados ($\emptyset < 0,105$ mm), para posterior extração teores de proteína do solo relacionada à glomalina, facilmente extraível (PSGFE). Para realização da análise estatística, desses dados foi considerado delineamento inteiramente casualizado com três repetições, utilizando-se um arranjo fatorial 5x3, representando cinco doses de gesso agrícola: 0 (controle); 3,5; 7; 14 e 56 t ha⁻¹ na faixa de plantio e três classes de agregados do solo: macro, meso e micro agregados, sendo avaliado apenas na profundidade 0-20m.

Os teores de PSGFE (proteína do solo facilmente extraível) foram quantificados das amostras de solo e agregados, utilizando-se 1 g de amostra e 8 ml de solução de citrato de sódio (20 mM; pH 7,2), após um ciclo em autoclave (121°C) por 30 minutos, seguida de centrifugação (3.200rpm / 20 minutos). Os sobrenadantes foram quantificado em espectrofotômetro, pelo método de Bradford, utilizando albumina bovina como padrão (Wright e Upadhyaya, 1998).

Folhas de cafeeiro foram coletadas na estação seca a partir do 3º e 4º par de folhas em um ramo produtivo, nos quatro pontos cardeais da planta, na região mediana da altura do cafeeiro para a determinação do teor de fósforo foliar (Malavolta et al., 1997). Os dados de produtividade acumulada nas quatro colheitas foram cedidos pela Fazenda AP Família. Do grão foi retirada uma amostra para a análise do teor de fósforo (Malavolta et al., 1997).

As médias foram checadas pelos testes de normalidade dos erros e de homocedasticidade de variâncias, respectivamente por meio dos testes de Shapiro-Wilks e Bartlett. Quando estes pressupostos não foram satisfatórios os dados foram transformados por $\log(x+1)$. Em seguida submetido ao teste de F ao nível de 5% de significância, e quando significativos aplicado o teste Scott-Knott a 5% de probabilidade ou regressão. A fim de investigar a influência da fertilização com doses crescentes de gesso agrícola sobre os atributos bioquímicos e biológicos do solo e correlacionar com produtividade, teores de P na planta e no grão, foram realizados os teste de correlação de Pearson e a análise de componentes principais (PCA). A análise de vari foram realizados utilizando-se o programa “R” (R Development Core Team, 2011), estatísticos Sisvar (Ferreira, 2003) e PAST (Hammer et al., 2001).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A riqueza total recuperada na área sob cafeeiro foi de 13 espécies de FMAs, sendo 9 espécies na estação chuvosa e 10 espécies na seca. Na estação chuvosa maior frequência de ocorrência foi para a *Gigaspora sp.*, (86,7%) presente em todos os tratamentos. A menor frequência de ocorrência foi para as espécies *Claroideoglossum etunicatum* (2,22%) recuperada apenas no tratamento que recebeu 7 t ha⁻¹ de gesso agrícola na profundidade 0,20-0,40m, e *Rhizophagus intraradices* (2,22%), presente apenas no tratamento com 56 t ha⁻¹ de gesso agrícola na profundidade 0-0,40-0,60m. Na estação seca a maior frequência de ocorrência foi também para *Gigaspora sp.* (64,8%), recuperada em todos os tratamentos e as menores ocorrências foram de *Acaulospora sp.* (1,85%), e *Glomus tortuosum* (1,85%) ambas recuperada no tratamento que recebeu 7 t ha⁻¹ de gesso agrícola na profundidade 0-0,20m (Quadro 3).

Quadro 3 Riqueza de FMAs, frequência de ocorrência (Fr%) e densidade relativa esporos nas estações chuvosa e seca nas profundidades 0-0,20m (20); 0,20-0,40m (40) e 0,40-060m (60) em função da aplicação de doses crescentes de gesso agrícola em cafeeiros.

Espécies de FMAs	Fr%	Início da estação chuvosa.....																	
		20	40	60	20	40	60	20	40	60	20	40	60	20	40	60			
1 <i>Acaulospora morrowiae</i> Spain & Schenck*	4,44		1,49	0,8		3,5			7,0			14			56				
2 <i>Acaulospora scrobiculata</i> Trappe	20,0	11,1	53,7		26			3,13	57,4				2,63	7,89					
3 <i>Claroideoglossum etunicatum</i> (Becker & Gerd.) Walker & Schüssler	2,22							3,13											
4 <i>Gigaspora</i> sp.	86,7	51,4	44,8	99,2	10	100	82,4	8,89	84,4	14,8	73,6	8,77	100	96,1	92,1	95,5			
5 <i>Rhizophagus intraradices</i> (Schenck & Sm.) Walker & Schüßler	2,22															4,76			
6 <i>Glomus macrocarpum</i> Tulasne & Tulasne	24,4	37,5			62			68,9	9	25,9	26,4			1,32					
7 <i>Glomus</i> sp.	8,89				2				1,85			86							
8 <i>Scutellospora heterogama</i> (Nicolson & Gerd.) Walker & Sanders	4,44						17,6	15,6											
9 <i>Scutellospora</i> sp.	4,44							6,67				5,3							
Riqueza por profundidade dentro do dose		3	3	2	4	1	2	4	4	4	2	3	1	3	2	2			
Riqueza por dose de gesso agrícola			4			5			7			4			4				
	Início da estação seca.....																	
1 <i>Acaulospora scrobiculata</i> Trappe*	11,1			79,5	51,3	37,5			76,2										
2 <i>Acaulospora</i> sp.	1,85							3,85											
3 <i>Gigaspora</i> sp.	64,8	33,3	85,7	18,2	15,4	54,2	90,9	7,69	5,95	85,7		100	43	22,2	40	33,3			
4 <i>Glomus macrocarpum</i> Tulasne & Tulasne*	27,8	5,56					8,33		8,33	14,3	44,4			77,8	40				
<i>Glomus</i> sp.*	13,0	50		2,27			9,09				22,2					11,1			
6 <i>Glomus tortuosum</i> Schenck & Smith	1,85							3,85											
7 <i>Paraglomus occultum</i> (Walker) Morton & Redecker*	3,70	5,56									11,1								
8 <i>Scutellospora heterogama</i> (Nicolson & Gerd.) Walker & Sanders	11,1		14,3					80,8			11,1								
9 <i>Scutellospora pellucida</i> (Nicolson & Schenck) Walker & Sanders	9,26				33,3				9,52			57		20	22,2				
10 <i>Scutellospora</i> sp.	7,41	5,56						3,85			11,1				33,3				
Riqueza por profundidade dentro do dose		5	2	3	3	3	2	5	4	2	5	1	2	2	2	4			
Riqueza por dose de gesso agrícola			7			5			8			6			5				
Riqueza total do estudo									13										

Obs: *espécies encontradas no tratamento referência, acrescenta-se a espécie *Acaulospora spinosa*

A presença da *Gigaspora sp.*, é notável, como mostra a frequência de ocorrência nas amostras e densidade relativa de esporos em cada tratamento (Quadro 1). Isto sugere maior adaptabilidade e capacidade de sobreviver, colonizar e multiplicar neste agroecossistema, em um ambiente com seca marcante e com diferentes doses de gesso agrícola. Este resultado não é comum em estudos de campo, normalmente na literatura encontra-se a dominância dos gêneros *Glomus*, *Acaulospora* e *Scutellospora* em estudo em campo sob café (Muleta et al., 2008; Arias et al., 2012; Al-Arenqui et al., 2013). Tendo em vista os resultados positivos descritos na literatura para as promoções de variáveis de crescimento atribuídos ao gênero *Gigaspora*, especialmente, a espécie *Gigaspora margarita* (Siqueira et al., 1993; 1995), abre-se uma perspectiva para uma investigação desta espécie, uma vez que *Gigaspora sp.* apresenta adaptabilidade a fertilização e uso de gesso agrícolas e demais tratamentos culturais do café (Siqueira et al., 1990; Arias et al., 2012).

A aplicação de crescentes doses de gesso agrícola no solo sob cafés em um Cerrado do sudoeste mineiro, não afetou a densidade de esporos e a riqueza de FMAs (Quadro 4). A densidade de esporos média foi 20 (estação chuvosa), 7 (estação seca) e 5 (área da mata de referência) esporos em 50 mL de solo. A baixa densidade de esporos é característico da região, haja vista a baixa densidade de esporos na área da mata de referência.

Estes resultados sugerem que a fertilização do café com gesso agrícola pode proporcionar um ambiente favorável para desenvolvimento da comunidade FMAs. De acordo com estes resultados estão os estudos de Siqueira et al., (1993) que relatam após 12 anos da aplicação de 92,5 g planta⁻¹ de fósforo no plantio, não havia mais diferença entre o tratamento adubado e o controle. Em outros estudos relatam que o aumento da fertilização com P reduziu acentuadamente a densidade de esporos e modificou a riqueza das espécies (Siqueira et al., 1998; Wang et al., 2009; Alguacil et al., 2010). Isso adverte que

a riqueza de espécies FMAs parece variar em resposta à adição de nutrientes nas pesquisas à campo.

Quadro 4 Densidade de esporos e riqueza de FMAs nas estações chuvosa e seca em função da aplicação de doses crescentes de gesso agrícola em cafeeiro e tratamento referência nas profundidades 0-0,20m; 0,20-0,40m e 0,40-0,60m.

Tratamentos	Início da estação chuvosa			Início da estação seca		
	0-0,20m	0,20-0,40m	0,40-0,60m	0-0,20m	0,20-0,40m	0,40-0,60m
 n°esporos/50ml.....					
0	24 ± 6,35 ¹	22 ± 8,95	43 ± 32,3	6 ± 3,51	3 ± 1,86	15 ± 12,2
3,5	17 ± 8,41	11 ± 4,73	11 ± 2,33	13 ± 6,35	8 ± 3,61	4 ± 1,45
7	15 ± 5,29	11 ± 7,67	18 ± 7,55	9 ± 4,67	28 ± 20,1	2 ± 0,88
14	29 ± 9,29	38 ± 14,8	3,0 ± 0,33	3 ± 2,00	3 ± 1,53	2 ± 0,88
56	25 ± 19,4	13 ± 5,55	15 ± 11,8	3 ± 0,58	2 ± 0,33	3 ± 3,00
Mata nativa				10 ± 1,45	2 ± 0,67	2 ± 0,01
 Riqueza.....					
0	1 ± 0,33	2 ± 0,58	1 ± 0,33	2 ± 0,33	1 ± 0,33	1 ± 0,33
3,5	2 ± 0,67	1 ± 0,01	1 ± 0,33	1 ± 0,33	2 ± 0,67	1 ± 0,01
7	2 ± 0,33	2 ± 0,33	2 ± 0,33	3 ± 0,33	2 ± 0,33	1 ± 0,33
14	1 ± 0,33	2 ± 0,33	1 ± 0,01	2 ± 1,00	1 ± 0,01	1 ± 0,01
56	2 ± 0,67	1 ± 0,33	1 ± 0,33	1 ± 0,01	1 ± 0,33	2 ± 0,33
Mata nativa				3 ± 0,88	2 ± 0,67	1 ± 0,01

¹erro padrão da média

A colonização radicular apresentou interação significativa entre doses e profundidades, e o desdobramento permitiu verificar que, em geral, a colonização foi superior na profundidade 0-0,20m comparado as demais profundidades, nas duas estações (Figura 1 A e B).

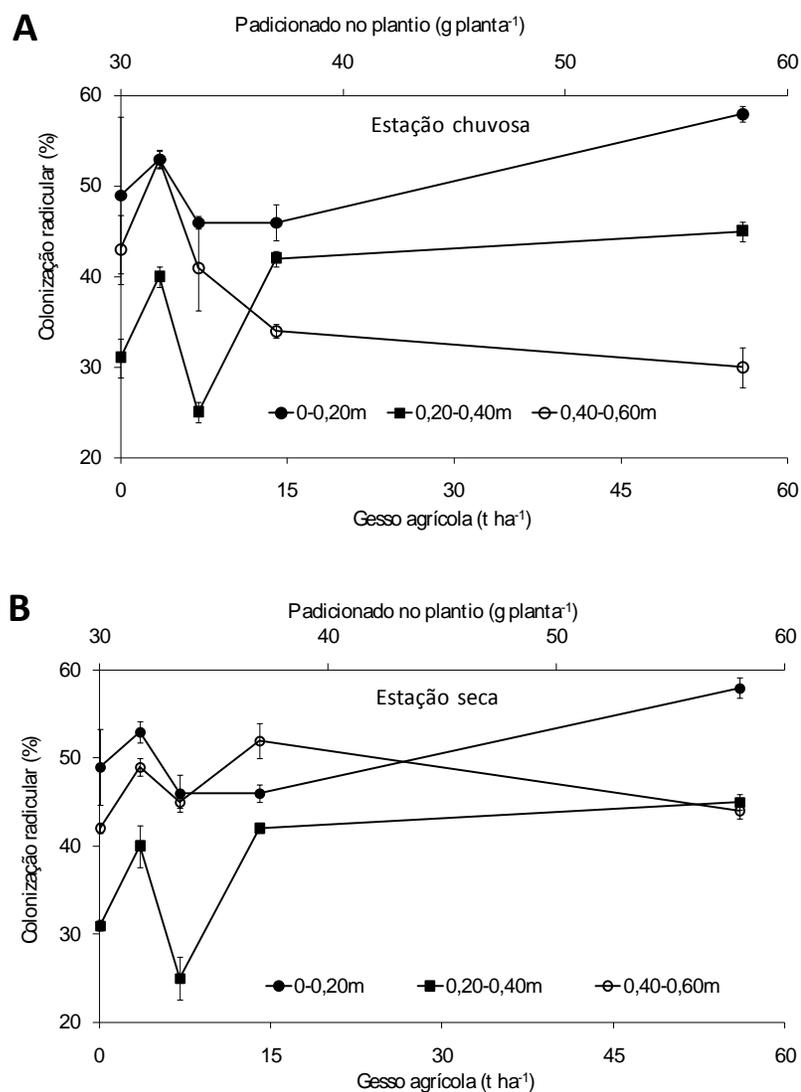


Figura 1 Colonização radicular nas estações chuvosa (A) e seca (B) em função da aplicação de doses crescentes de gesso agrícola em cafeeiro nas profundidades 0-0,20m, 0,20-0,40m e 0,40-060m.

A maior taxa de colonização na profundidade 0-0,20m é esperada, pois tendem a diminuir com o aumento da profundidade, visto

que a superfície do solo é a área que aporta maior volume de raízes e a maior deposição de material orgânico em cultivos agrícolas (Schmidt, et al., 2011). Isto implica em maior intensidade de atividade biológica, umidade, oxigênio, disponibilidade de nutrientes o que favorece a atividade de micro-organismos como FMAs (Caramori et al., 1995).

A colonização máxima foi de 68% (estação seca) quando aplicado 56 t ha⁻¹ de gesso agrícola, corresponde a aplicação de 59,8g de P na cova de plantio, incluído neste valor está o P do tratamento e das outras fontes de fósforo aplicado no preparo e plantio do cafeeiro (Quadro 1); este resultado está em concordância com estudo realizado por Siqueira et al., (1998), que aplicou 60 g de fósforo na cova de plantio e encontrou 50% de colonização. Nesse sentido, associando este resultado aos do estudo realizado por Siqueira (1998), conclui-se que as modificações no comportamento da colonização radicular por FMAs é decorrente da dose de fósforo introduzida, principalmente, via gesso agrícola.

A PSGFE para a estação chuvosa não apresentou diferença estatística, os teores variaram entre 1,64 mg g⁻¹ a 2,60 mg g⁻¹ (Quadro 5). Enquanto que na estação seca a PSGFE produzida pelos FMAs apresentou diferença estatística para os tratamentos e profundidades. Os teores PSGFE diminuíram linearmente com o aumento da dose de gesso agrícola (Figura 6 B) e aumentaram com a profundidade (Figura 6 A).

Os resultados demonstram que os teores de PSGFE reagem ao uso do solo, talvez seja uma resposta ao estresse ambiental (Hammer e Rillig, 2011; Bai et al., 2011), uma vez que a área experimental esta localizada na região oeste de Minas Gerais caracterizada por estresse hídrico (Serafim et al., 2011) pois, em geral a conversão da mata nativa para sistemas de produção agrícola gera a diminuição na concentração glomalina (Bedini et al, 2007; Bai et al., 2011; Fokom et al., 2012; Wang et al. 2015).

Quadro 5 Proteína do solo relacionada à glomalina facilmente extraível (PSGFE) na estação chuvosa em função da aplicação de doses crescente de gesso agrícola em cafeeiro nas profundidades 0-0,20m, 0,20-0,40m e 0,40-0,60m.

Tratamentos	0-0,20m	0,20-0,40m	0,40-0,60m
	Início da estação chuvosa		
0	2,22	1,64	1,64
3,5	2,45	2,60	2,60
7	2,45	2,53	2,53
14	2,45	2,57	2,57
56	2,58	2,47	2,47

O aumento da glomalina em profundidade, pode está relacionado com o uso do gesso agrícola que permitiu uma distribuição do sistema radicular em profundidade (Serafim et al., 2013a; Carducci et al., 2014a), e ao mesmo tempo em profundidade, onde existe menor disponibilidade de oxigênio o que pode levar a senescia das hifas e consequente liberação de glomalina (Driver et al., 2005). Também aumento das concentrações de CO₂ em profundidade promoveria o aumento da glomalina (Rillig et al., 2001a) mostrando assim que a distribuição espacial PSGFE é afetada em profundidade (Wu et al., 2012).

Este estudo mostrou que o uso de gesso agrícola, apresenta potencial para aumentar a quantidade de glomalina no solo, uma vez que a sua produção na camada superficial do solo contribui com a formação de agregados (Rillig, 2004b), favorecendo assim estabilidade do solo contra erosões (Purin et al., 2006). A produção de PSGFE em profundidade pode contribuir com a disponibilidade de nutrientes, uma vez que a glomalina é parte da matéria orgânica recalcitrante do solo (Lutgen et al., 2003). Conseqüentemente apresenta longa permanência no solo (Rillig et al., 2001b), e estando em profundidade

pode favorecer o aumento de cargas negativas no solo, as quais podem adsorver cátions lixiviados da superfície.

Os resultados demonstraram existir uma forte relação entre as quantidades de PSGFE e carbono orgânico total do solo ($r=0,89$; $p<0,05$) (quadro 8). A magnitude entre estas duas variáveis refere-se ao armazenamento de carbono (Purin et al., 2006), o que corresponde a cerca de 3% do C total do solo (Lovelock et al., 2004). Este resultado sugere que é possível estocar carbono em solo sob cafeeiros, indiretamente, utilizando gesso agrícola, porque o uso deste insumo promoveu da alocação de carbono no subsolo e superfície por meio da PSGFE, pode-se portanto ser considerada uma técnica biótica (Lal, 2008), que ao mesmo tempo melhora a qualidade do solo e sustenta a produtividade da biomassa (Lal, 2004).

A análise de variância apresentou diferença significativa para PSGFE nas classes de agregados. Em ambas estações os agregados do solo com $\varnothing >2,0\text{mm}$ apresentaram os maiores teores de PSGFE. Uma possível explicação para maiores teores de glomalina nos macroagregados ($\varnothing >2,0\text{mm}$) decorre do maior emaranhamento físico de raízes finas associado às partículas do solo por hifas que ligam os macroagregados, permitindo a formação de compartimentos de raiz /hifas, que liberam glomalina. Devido a sua resistência destes, exibem assim uma plasticidade que estabiliza do agregado, sendo assim comum encontrar maiores concentração de PSGFE em macroagregados (Spohne Giani, 2010; Spohne Giani, 2011; Wu et al., 2014; Xie et al., 2015). A maior quantidade de PSGFE nos agregados do solo com $\varnothing >2,0\text{mm}$ também é atribuída a condição física de espaço poroso nos agregados o que afeta a produção de glomalina (Rillig e Steinberg, 2002).

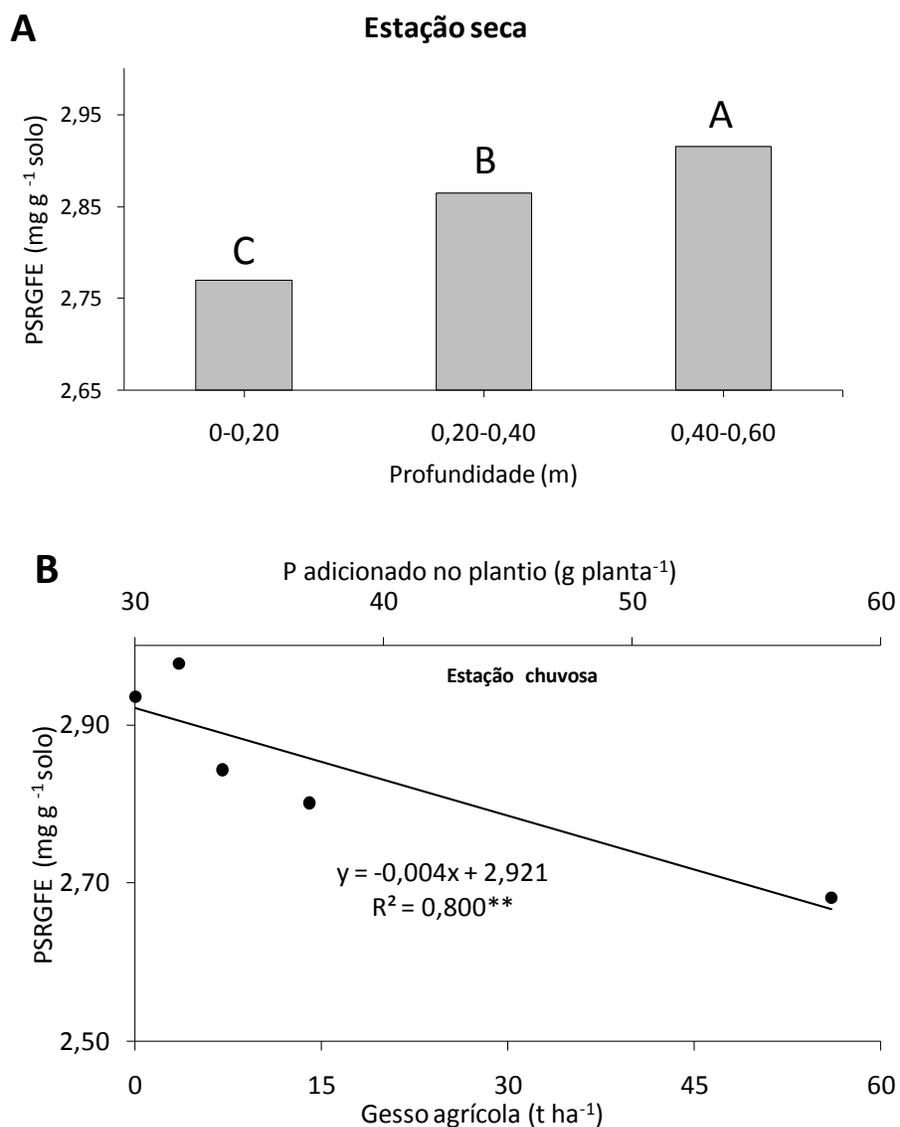


Figura 2 Proteína do solo relacionada à glomalina facilmente extraível (PSGFE) na estação seca para as doses crescentes de gesso agrícola (B) e para as profundidades 0-0,20m, 0,20-0,40m e 0,40-0,60m (A). Obs. Médias seguidas da mesma letra não diferem pelo teste de Scott-Knott ($P < 0,05$).

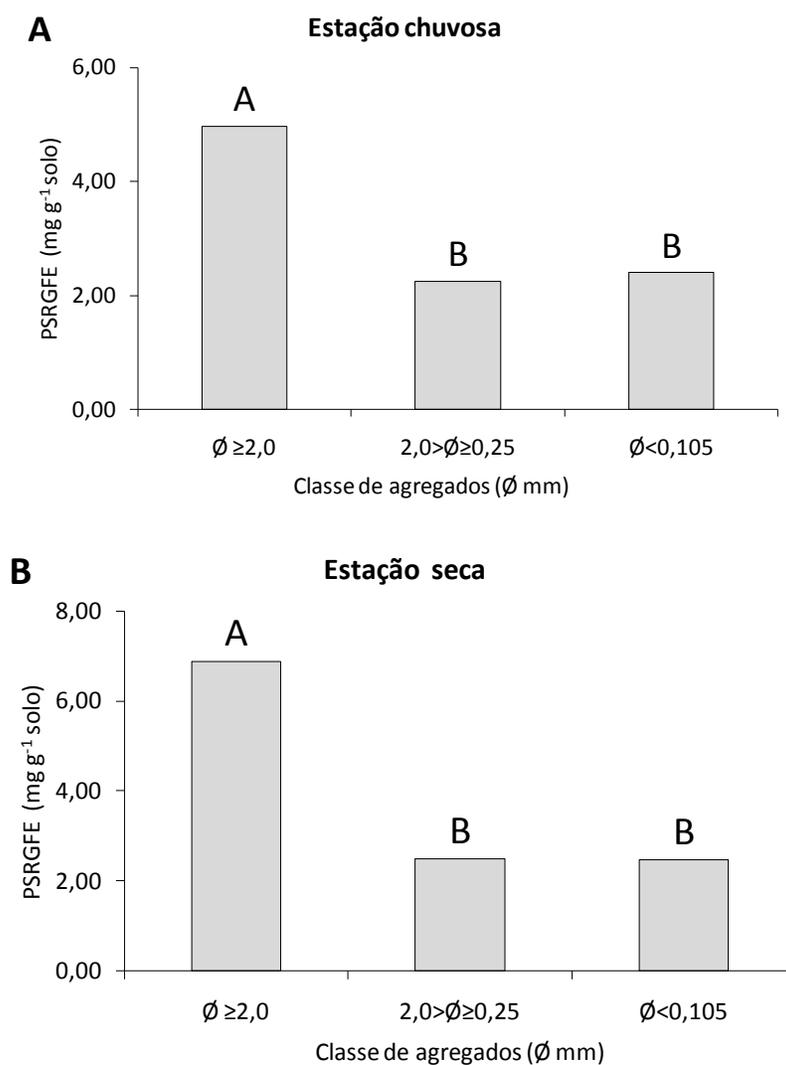


Figura 3 Proteína do solo relacionada à glomalina facilmente extraível (PSRGFE) em classes de agregados do solo nas estações chuvosa (A) e seca (B) na profundidade 0-0,20m em função da aplicação de doses crescente de gesso em cafeeiros. Obs. Médias seguidas da mesma letra não diferem pelo teste de Scott-Knott ($P < 0,05$).

A importância prática de maiores quantidades PSGFE nos agregados do solo com $\phi > 2,0\text{mm}$, refere-se na formação de agregados grandes e estáveis, o que implica em maior resistência a erosão, haja vista que maiores agregados apresentam maior espaço poroso e conseqüente maior infiltração e menor erosão e ainda está ligada indiretamente ao desenvolvimento radicular, fornecimento de nutrientes e aeração (Neves; Feller; Kouakoua, 2006).

Os teores de fósforo no grão em cafeeiro fertilizados com diferentes doses de gesso agrícola no plantio, não apresentaram diferença estatística, o teor médio encontrada foi de $1,79\text{ g kg}^{-1}$, as médias são apresentadas no quadro 6. Enquanto que os teores foliares de fósforo apresentaram diferença estatística, com aumento crescente dos teores de fósforo foliares juntamente com aumento da dose de gesso agrícola aplicada (Figura 4) e da mesma forma mostrou correlação positiva significativa com o gesso agrícola ($r=0,97$; $p<0,05$), conforme apresentado na quadro 7.

Quadro 6 Médias para teores de fósforo no grão em cafeeiro em função da aplicação de doses crescentes de gesso em cafeeiros.

Tratamentos (t ha^{-1})	fósforo (g kg^{-1})
0	1,77
3,5	1,75
7	1,77
14	1,82
56	1,84

Os teores foliares de fósforo encontrados neste trabalho concordam com os resultados encontrados por Siqueira et al., (1998), que encontrou o aumento crescente nos teores foliares de fósforo até a dose de 80 g planta^{-1} de fósforo no plantio.

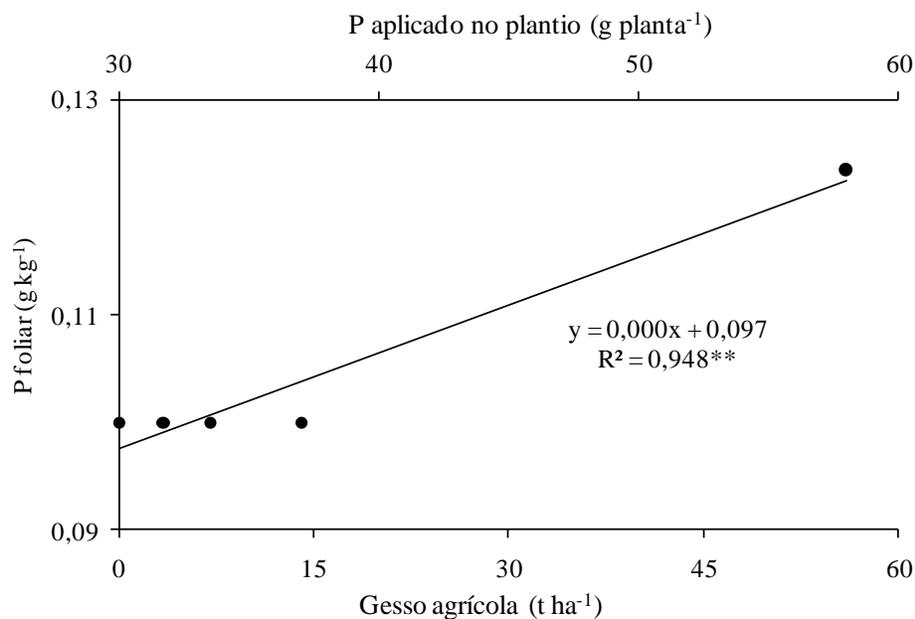


Figura 4 Teores foliares de fósforo em cafeeiro em função da aplicação de doses crescentes de gesso em cafeeiros.

Em adicional, é pertinente comentar que a produtividade apresentou correlação positiva com COS ($r=0,93$; $p<0,01$) na profundidade 0,20-0,40m e com a colonização radicular ($r=0,91$; $p<0,05$) na profundidade 0,40-0,60m, e nesta mesma profundida a colonização radicular correlacionou com COS ($r=0,86$; $p<0,05$), mostra assim a complexa relação existente entre o COS, colonização radicular dos FMAs e a produtividade do cafeeiro.

Os resultados da análise de componentes principais na estação chuvosa explicou 71% da variância total (PC1: 41,8% e PC2: 29,2%) e na estação seca explicou 78,3% da variância total (PC1: 49,5% e PC2: 28,8%). Estes resultados (Quadro 8 e Figura 6) juntamente com a matriz de correlação (Quadro 7) permiti

Quadro 7 Matriz de correlação.

	Início da estação chuvosa					Início da estação seca							
	Gesso	DE	R	CL	GL	Gesso	DE	R	CL	GL	COS	P-grão	P-foliar
0-0,20m.....												
DE	-0,33ns					-0,59ns							
R	0,36ns	-0,70ns				-0,48ns	-0,01ns						
CL	0,73ns	0,06ns	0,52ns			0,85*	-0,25ns	-0,49ns					
GL	0,77*	-0,02ns	0,67ns	0,79*		-0,71	0,98**	0,16ns	-0,42ns				
COS	-0,60ns	-0,71ns	0,39ns	-0,30ns	0,06ns	0,82*	0,72ns	0,46ns	-0,41ns	0,77*			
P-grão						0,84*	-0,72ns	-0,24ns	0,65ns	-0,73ns	-0,75ns		
P-foliar						0,97**	-0,50ns	-0,53ns	0,74ns	-0,62ns	0,75ns	0,73ns	
Produtividade						0,09ns	-0,32ns	-0,20ns	0,33ns	-0,39ns	0,13ns	0,43ns	-0,10ns
0,20-0,40m.....												
DE	-0,15ns					-0,33ns							
R	-0,54ns	0,55ns				-0,43ns	0,76ns						
CL	0,63ns	0,26ns	-0,65ns			-0,31ns	-0,75ns	-0,61ns					
GL	0,29ns	-0,11ns	-0,39ns	0,88*		-0,85*	-0,16ns	0,13ns	0,61ns				
COS	0,04ns	-0,33ns	0,55ns	0,30ns	0,89**	0,28ns	-0,23ns	-0,06ns	0,13ns	-0,36ns			
P-grão						-	-0,45ns	-0,72ns	0,05ns	-0,75ns	0,47ns		
P-foliar						-	-0,35ns	-0,41ns	-0,32ns	-0,75ns	0,09ns	0,73ns	
Produtividade						-	-0,39ns	-0,26ns	0,45ns	-0,12ns	0,93**	0,43ns	-0,10ns
0,40-0,60m.....												
DE	-0,29ns					-0,38ns							
R	-0,22ns	0,00ns				0,97**	-0,22ns						
CL	0,75ns	0,19ns	0,05ns			-0,15ns	-0,60ns	-0,33ns					
GL	0,29ns	-0,77*	0,23ns	-0,09ns		0,83*	0,63ns	-0,75ns	0,12ns				
COS	0,12ns	-0,70ns	0,44ns	-0,39ns	0,77*	0,10ns	-0,84ns	-0,03ns	0,86*	-0,19ns			
P-grão						-	-0,34ns	0,73ns	0,09ns	-0,69ns	0,09ns		
P-foliar						-	-0,22ns	0,31ns	-0,33ns	-0,77ns	-0,03ns	0,73ns	
Produtividade						-	-	-0,10ns	0,91*	0,01ns	0,70ns	0,43ns	-0,10ns

DE: densidade do solo, GL glomalina; CL: colonização; R:riqueza;COS: carbono orgânico do solo, ns: não significativo,

*p-valor < 0,05.e**p-valor < 0,01.

de correlação (Quadro 7) permitiu uma melhor compreensão do impacto da aplicação de crescentes doses de gesso agrícola sobre os atributos bioquímicos, biológicos do solo, produtividade, teores de P foliar e no grão.

Na estação chuvosa a componente 1 apresentou os maiores valores positivos de Loadings para a PSGFE, nas profundidades amostradas, e a matriz de correlação confirma esta forte ligação entre PSGFE com carbono orgânico do solo, principalmente nas profundidades 0,20-0,40m ($r=0,89$; $p<0,01$) e 0,40-0,60m ($r=0,77$; $p<0,05$), mostrando a sua importância no armazenamento de carbono em profundidade, e sua participação na dinâmica do carbono (Rillig et al., 2003). Nota-se ainda a forte correlação da glomalina com gesso agrícola ($r=0,77$; p PSGFE $<0,05$), haja vista que todos os Loadings (setas na figura) estão próximos do eixo da CP1 e apontam para o tratamento que recebeu 56 t ha^{-1} de gesso agrícola, sinalizando assim que o uso de crescentes doses de gesso agrícola aumenta a produção de glomalina. E quanto a correlação positiva da PSGFE com a colonização radicular, profundidades 0-0,20m ($r=0,79$; $p<0,05$) e 0,20-0,40m ($r=0,88$; $p<0,01$), e com a densidade de esporos na profundidade 0,40-0,60m ($r=0,77$; $p<0,01$), é apenas uma consequência que antecede o aumento de PSGFE, uma vez que são produzidas por hifas e esporos de FMAs (Driver et al., 2005). Portanto, esta prática de condicionamento do solo utilizando gesso agrícola apresenta potencial para aumentar a quantidade de glomalina e assim contribuir para estabilização do solo (Wright e Upadhyaya, 1998) e aumento do estoque de carbono.

Enquanto a PC1 explica a influência do gesso agrícola sobre a glomalina a PC2 demonstra, ainda para estação chuvosa, que as doses inferiores ou igual a 14 t ha^{-1} parecem influenciar a densidade de esporos e riqueza de espécies, principalmente com o aumento da profundidade (Figura 6). Estas informações sugerem que a fertilização com gesso agrícola poderia induzir uma mudança na densidade de esporos de FMAs.

Na estação seca o maior valor de loadings (0,77) é apresentado para a densidade de esporos, e por meio da figura 6B, é possível verificar que este resultado refere-se ao maior número de esporos verificado neste tratamento em relação aos demais, sugerindo que o tratamento que recebeu 7 t ha^{-1} talvez que seja o que apresentou o ambiente para a formação das comunidades de FMAs, isso pode ser atribuído a correção adequada do solo, pois a quantidade de gesso agrícola aplicada neste tratamento concide com a recomendação considerando a porcentagem de argila e a profundidade aplicada.

A correlação mostrou-se forte para o gesso agrícola e os teores de foliar ($r=0,84$; $p<0,05$) e no grão ($r=0,82$; $p<0,05$), isso demonstra a contribuindo do gesso agrícola com a nutrição mineral da planta (Quadro 7), isso é bem expresso por meio da figura 6B, que mostra a proximidades destas variáveis com os tratamentos que receberam mais crescentes doses de gesso agrícola (14 e 56 t ha^{-1}).

O uso de gesso agrícola correlacionou com a PSGFE nas profundidades $0-0,20\text{m}$ ($r=0,85$; $p<0,05$), $0,20-0,40\text{m}$ ($r=0,85$; $p<0,05$), e $0,40-0,60\text{m}$ ($r=0,83$; $p<0,01$), e ainda o gesso correlacionou bem com densidade de esporos nas profundidades $0-0,20\text{m}$ ($r=0,98$; $p<0,01$) e com a riqueza nas profundidades $0,40-0,60\text{m}$ ($r=0,97$; $p<0,01$), estes resultados são confirmados na figura 6 b que demonstra que relações são mais fortes para as menores doses de gesso agrícola (0 ; $3,5$ e 7 t ha^{-1}), mostrando desta forma como a aplicação de gesso agrícola altera as comunidades de FMAs.

Quadro 8 Loadings para as componentes principais na estação chuvosa e seca em função da aplicação de doses crescentes de gesso agrícola em cafeeiro nas profundidades 0-0,20m (20), 0,20-0,40m (40) e 0,40-060m (60).

	PC1	PC2	PC1	PC2
	Início da estação chuvosa		Início da estação seca	
DE 20	-0,10	0,51	0,23	0,11
DE 40	-0,19	0,40	0,77	-0,29
DE 60	-0,34	-0,16	-0,04	0,45
R 20	0,35	-0,30	0,19	-0,01
R 40	-0,34	-0,03	0,26	-0,04
R 60	0,02	-0,41	-0,19	-0,28
CL 20	0,25	0,10	-0,12	-0,36
CL 40	0,24	0,42	-0,17	0,30
CL 60	-0,05	-0,32	-0,02	-0,01
GL 20	0,42	0,09	0,26	0,17
GL 40	0,39	0,00	0,06	0,36
GL 60	0,39	0,00	0,04	0,35
P-grão			-0,22	-0,23
P-foliar			-0,18	-0,26
Produtividade			-0,14	-0,03
Variância explicada %				
Individual	41,8	29,2	49,5	28,8
Acumulada	41,8	71,0	49,5	78,3

Obs.: DE: densidade de esporos, R: riqueza e CL: colonização; GL: PSGFE.

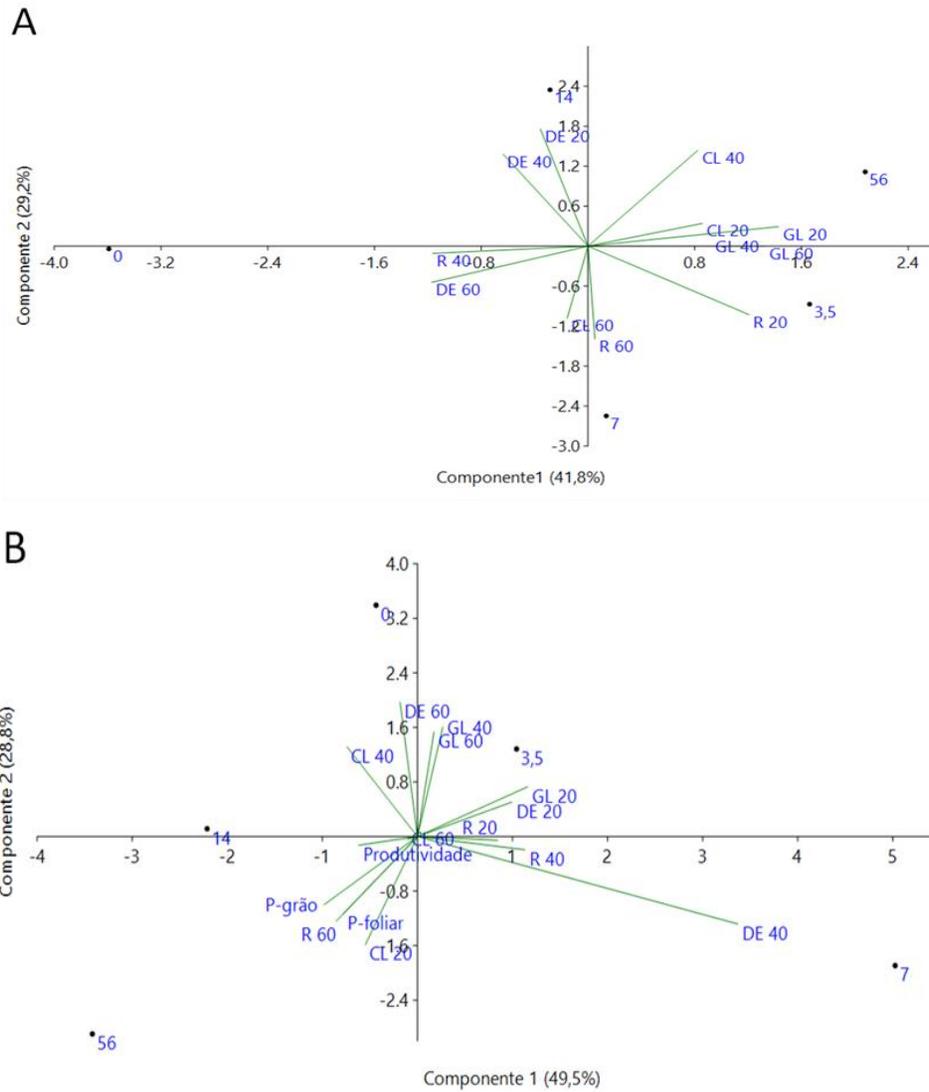


Figura 5 Análise de componente principais para PSGFE (GL), densidade de esporos (DE), colonização (CL), riqueza (R), produtividade, teores de P foliar e no grão nas estações chuvosa (A) e seca (B) em função da aplicação de doses crescentes de gesso agrícola em cafeeiro nas profundidades 0-0,20m (20), 0,20-0,40m (40) e 0,40-060m (60).

CONCLUSÃO

1. A riqueza total recuperada na área sob cafeeiro foi de 13 espécies de FMAs, sendo 9 espécies na estação chuvosa e 10 espécies na seca. Na estação chuvosa a espécie *Claroideoglossum etunicatum* foi recuperada apenas no tratamento que recebeu 7 t ha⁻¹ de gesso agrícola na profundidade 0,20-0,40m e *Rhizophagus intraradices* somente no tratamento com 56 t ha⁻¹ de gesso agrícola na profundidade 0-0,40-0,60m; e na estação seca a espécie *Acaulospora* sp. e *Glomus tortuosum* foram recuperada no tratamento que recebeu 7 t ha⁻¹ de gesso agrícola na profundidade 0-0,20m; e a *Gigaspora* sp., foi recuperada em todas as doses de gesso agrícola e profundidade nas duas estações.
2. A aplicação de crescentes das doses de gesso agrícola no solo sob cafeeiro, no sudoeste do cerrado mineiro, não afetou a densidade de esporos e a riqueza de FMAs. A colonização radicular foi superior na profundidade 0-0,20m nas duas estações.
3. Os teores PSGFE diminuíram linearmente com o aumento da dose de gesso agrícola e aumentaram com a profundidade na estação chuvosa. Os agregados do solo com $\phi > 2,0\text{mm}$ apresentaram os maiores teores de PSGFE nas duas estações.
4. As doses de gesso agrícola promovem aumento do teor de fósforo foliar e apresenta correlação positiva com o teor de fósforo no grão.

REFERÊNCIAS

ALGUACIL, M. M.; LOZANO, Z.; CAMPOY, M.; ROLDÁN, A. Phosphorus fertilisation management modifies the biodiversity of AM fungi in a tropical savanna forage system. *Soil Biology and Biochemistry* 42:1114-1122, 2010.

AL-AREQUI, A. H. N.; CHLIYEH, M.; SGHIR.F.; OUAZZANI, A. DOUIRA, A. Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in the rhizosphere of *Coffea arabica* in the Republic of Yemen. *Journal of Applied Biosciences*, 64:4888-4901, 2013.

ALBÁN, R.; GUERRERO, R. TORP, M. Interactions between a root knot nematode (*Meloidoyne exigua*) and arbuscular mycorrhizae in coffee plant development (*Coffea arabica*). *American Journal of Plant Sciences*, 4:19-23, 2013.

ANAYA, M. L. A.; GÁLVEZ, R. J.; RAMOS, C. H.; FIGUERO, M. S. VARGAS, C. T. M. Biofertilización de café orgánico en etapa de vivero en rachia, México. *Revista Mexicana de Ciências Agrícolas*, 3:417-431, 2011.

ANDRADE, S. A. L.; SILVEIRA, A. P. D. MAZZAFERA, P. REVIEW Arbuscular mycorrhizal association in coffee. *Journal of Agricultural Science*, 147:105-115, 2010.

ARIAS, R. M. HEREDIA-ABARCA, G.; SOSA, V. J. FUENTES-RAMIREZ, L. E. Diversity and abundance of arbuscular mycorrhizal fungi spores under different coffee production systems and in a tropical montane cloud forest patch in Veracruz, Mexico, *Agroforestry Systems* , 85:179–193, 2012.

BAI, H.; BAO, X.; SUN, X.; JIANG, X. The Effect of Stocking Rate on Soil Glomalin under Traditional and Mixed Grazing Systems in a Temperate Steppe. *Procedia Environmental Sciences*, 11:817-823, 2011.

BEDINI, S.; AVIO, L.; ARGESE, E.; GIOVANNETTI, M. Effects of long-term land use on arbuscular mycorrhizal fungi and glomalin-related soil protein. *Agric. Ecosyst. Environ.* 120:463-466, 2007.

BRUNDRETT, M. C. Coevolution of roots and mycorrhizas of land plant. *New Phytologist*, 54:275-304, 2002.

CARAMORI, P. H.; ANDROCIOLI FILHO, A. BAGGIO, A. Arborização do cafezal com *Grevilea robusta* no Norte do estado do Paraná. Arquivos de Biologia e Tecnologia, Curitiba, v.38, n.4, p.1031-1037, 1995.

CARDUCCI, C. E.; OLIVEIRA, G. C.; CURI, N.; ROSSONI, D. F. Spatial variability of pores in oxidic latosol under a conservation management system with different gypsum doses. *Ciência e Agrotecnologia*, 38:445-460, 2014b.

CARDUCCI, C. E.; OLIVEIRA, G. C.; LIMA, J. M.; ROSSONI, D. F. COSTA, A. L. Distribuição espacial das raízes de cafeeiro e dos poros de dois Latossolos sob manejo conservacionista. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 18:270-278, 2014a.

CARDUCCI, C.E; OLIVEIRA, G.C.; CURI, N.; HECK, R.J.; ROSSONI, D.F.; DE CARVALHO, T.S. COSTA, A. L. Gypsum effects on the spatial distribution of coffee roots and the pores system in oxidic Brazilian Latosol. *Soil Tillage Research*, 145:171-180, 2015.

CARNEIRO, M. A. C.; FERREIRA, D. A.; SOUZA, E. D. S.; PAULINO, H. B.; SAGGIN JÚNIOR, O. SIQUEIRA, J. O. Arbuscular mycorrhizal fungi in soil aggregates from fields of 'murundus' converted to agriculture. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 50:313-321, 2015.

DRIVER, J. D.; HOLBEN, E. E.; C. RILLIG, M. C. Characterization of glomalin as a hyphal wall component of arbuscular mycorrhizal fungi. *Soil Biology Biochemistry*, 37:101-106, 2005.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2. ed. Rio de Janeiro, 2006. 306 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Manual de métodos de análise de solo, plantas e fertilizantes. 3. ed. Brasília: Embrapa Informações Tecnológicas, 2009. 627 p.

FERREIRA, D. F. Sisvar 5.0: sistema de análises estatísticas. Lavras: UFLA, 2003.

FOKOM, R.; ADAMOU, S.; TEUGWA, M.C.; BEGOUDE BOYOGUENO, A.D.; NANA, W.L.; NGONKEU, M.E.L.; TCHAMENI, N.S.; NWAGA, D.; TSALA NDZOMO, G. P.H. Glomalin related soil protein, carbon, nitrogen and

soil aggregate stability as affected by land use variation in the humid forest zone of south Cameroon. *Soil Tillage Research*, 120:69-75, 2012.

GERDEMANN, J.W. NICOLSON, T.H. Spores of mycorrhizal *Endogone* species extracted from soil by wt-sieving and decanting. *Trans.Br. Mycol. Soc.*, 46:235-244, 1963.

GIOVANETTI, M. MOSSE, B. An evaluation of techniques to measure vesicular-arbuscular mycorrhizal infection in roots. *New Phytol.*, Oxford, 84:489-500, 1980.

GUIMARÃES, P. T. G. et al. Cafeeiro. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVARES, V. H. (Ed.). *Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais. 5a aproximação*. Viçosa, MG: UFV, 1999 p. 289-302.

HAMMER, E.C, RILLIG; M. C. The Influence of Different Stresses on Glomalin Levels in an Arbuscular Mycorrhizal Fungus—Salinity Increases Glomalin Content. *PLoS ONE* 6:12-19, 2011.

HAMMER, O.; HARPER, D.A.T. RYAN, P.D. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaeontol. Electr.*, 4:1-9, 2001.

INVAM - INTERNATIONAL CULTURE COLLECTION OF VESICULAR ARBUSCULAR MYCORRHIZAL FUNGI. Disponível em <<http://invam.caf.wvu.edu/>> acesso: até Julho, 2015.

KOSKE, R.E. GEMMA, J.N. A modified procedure for staining roots to detect VA mycorrhizas. *Mycological Research*, 92:486-488, 1989.

LAL, R. Carbon sequestration. *Philosophical Transactions of the Royal Society*, London, v. 363, n. 1492, p. 815-830, 2008.

LAL, R. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. *Science*, London, v. 304, n. 5677, p. 1623-1627, 2004.

LOPES, A.S.; COX, F.R. A survey of the fertility status of surface soils under cerrado vegetation in Brazil. *Soil Science Society of America Journal*, v.41, p.742-747, 1977.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C. OLIVEIRA, S. A. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. 2. ed. Piracicaba: Potafós, 1997. 319 p

MULETA D.; ASSEFA, F. NEMOMISSA, S. Distribution of arbuscular mycorrhizal fungi spores in soils of smallholder agroforestry and monocultural coffee systems in southwestern Ethiopia. *Biol Fertil Soils*, 44:653-659, 2008.

NEVES, C. S. V. J.; FELLER, C.; KOUAKOUA, E. Efeito do manejo do solo e da matéria orgânica em água quente na estabilidade de agregados de um Latossolo Argiloso. *Ciência Rural*, Santa Maria, 36:1410–1415, 2006.

R Development Core Team, R: A Language and Environment for Statistical Computing. Vienna, Austria : the R Foundation for Statistical Computing, 2011.

RAMOS, B. Z.; TOLEDO, J. P. V. F. T. LIMA, J. M. et al., doses de gesso em cafeeiro: influência nos teores de cálcio, magnésio, potássio e pH na solução de um Latossolo vermelho distrófico. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 37:1018-1026, 2013.

RENA, A.B.; GUIMARÃES, P.T.G. Sistema radicular do cafeeiro: estrutura, distribuição, atividade e fatores que o influenciam. Belo Horizonte: Epamig, 2000. 80p

RILLG, M. C.; WRIGHT, S. F.; KIMBALL, B. A.; PINTER, P. J.; WALL, G. W.; OTAAMAN, M.; LEAVITT, S. W. Elevated carbon dioxide and irrigation effects on water stable aggregates in a Sorghum field: a possible role for arbuscular mycorrhizal fungi. *Global Change Biol*, 7:333-337, 2001a.

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 Soil*, 233:167-177, 2001b.

RILLIG M. C.; STEINBERG, P. D. Glomalin production by an arbuscular mycorrhizal fungus: a mechanism of habitat modification? *Soil Biology Biochemistry* 34: 1371–1374, 2002.

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* 253, 293–299, 2003.

RILLIG, M. C. Arbuscular mycorrhizae, glomalin, and soil aggregation. *Canadian Journal of Soil Science*, 84:355–363, 2004.

LOVELOCK, C. E.; WRIGHT, S. F. NICHOLS, K. A. Using glomalin as an indicator for arbuscular mycorrhizal hyphal growth: an example from a tropical rain forest soil. *Soil Biol. Biochem.*, 36:1009-1012, 2004.

LUTGEN, E.R.; MUIR-CLAIMONT, D.; GRAHAM, J.; RILLIG, M.C. Seasonality of arbuscular mycorrhizal hyphae and glomalin in a western Montana grassland. *Plant and Soil, The Hague*, 257:71-83, 2003.

SCHMIDT, M. W. I. et al. Persistence of soil organic matter as an ecosystem property. *Nature, London*, v. 478, n. 7367, p. 49-56, 2011.

SERAFIM, M. E.; OLIVEIRA, G. C.; CURI, N.; LIMA, J. M.; GUIMARÃES LIMA, V. M. P. Potencialidades e limitações de uso de latossolos e cambissolos, sob sistema conservacionista em lavouras cafeeiras. *Bioscience Journal*, 29:1640-1652, 2013a.

SERAFIM, M. E.; OLIVEIRA, G. C.; VITORINO, A. C. T.; SILVA, B. M. ; CARDUCCI, C. E. . QUALIDADE FÍSICA E INTERVALO HÍDRICO ÓTIMO EM LATOSSOLO E CAMBISSOLO, CULTIVADOS COM CAFEIEIRO, SOB MANEJO CONSERVACIONISTA DO SOLO. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 37:733-742, 2013b.

SERAFIM, M.; OLIVEIRA, G. C.; OLIVEIRA, A.S.; LIMA, J. M.; GUIMARÃES.; GONTIJO, P. T. COSTA, J.C. . Sistema conservacionista e de manejo intensivo do solo no cultivo de cafeeiros na região do Alto São Francisco, MG: estudo de caso. *Bioscience Journal*, 27:964-977, 2011.

SILVA, B. M.; OLIVEIRA, G. C.; SERAFIM, M. E.; SILVA, E. A.; FERREIRA, M. M.; NORTON, L. D. CURI, N. Critical soil moisture range for a coffee crop in an oxidic latosol as affected by soil management. *Soil Tillage Research* , 154:103-113, 2015.

SILVA, E. A.; OLIVEIRA, G. C.; CARDUCCI, C. E.; SILVA, B. M.; OLIVEIRA, L. M. COSTA, J. C. Doses crescentes de gesso agrícola, estabilidade de agregados e carbono orgânico em Latossolo do Cerrado sob Cafeicultura. *Revista de Ciências Agrárias*, 56:25-32, 2013.

SILVA, E. A.; OLIVEIRA, G. C.; SILVA, B. M.; CARDUCCI, C. E.; AVANZI, J. C. SERAFIM, M. E. Aggregate stability by the "high energy

moisture characteristic" method in an oxisol under Differentiated Management. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 38:1633-1642, 2014.

SIQUEIRA, J. O. COLOZZI FILHO, A. Micorrizas vesículo-arbusculares em mudas de cafeeiro. II. Efeito do fósforo no estabelecimento e funcionamento da simbiose. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 10:207-211, 1986.

SIQUEIRA, J. O.; COLOZZI-FILHO, A.; SAGGIN JÚNIOR., O. J.; GUIMARÃES, P. T. G. OLIVEIRA, E. Crescimento de mudas e produção do cafeeiro sob influência da inoculação com fungos micorrízicos e aplicação de superfosfato. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 17:53-60, 1993.

SIQUEIRA, J. O.; ROCHA JÚNIOR, W. F.; OLIVEIRA, E. COLOZZI FILHO, A. The relationship between vesicular-arbuscular mycorrhiza and lime: associated effects on the growth and nutrition of brachiaria grass (*Brachiaria decumbens*). *Biology and Fertility of Soils*, 10:65-71, 1990.

SIQUEIRA, J. O.; SAGGIN-JÚNIOR, O. J.; COLOZZI-FILHO, A. OLIVEIRA, E. Influência do substrato de formação e da micorriza no crescimento de mudas de cafeeiro transplantadas. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 30:1417-1425, 1995.

SIQUEIRA, J.; SAGGIN-JÚNIOR, J. O.; FLORES-AYLAS, W.; GUIMARÃES, O. J. Arbuscular mycorrhizal inoculation and superphosphate application influence plant development and yield of coffee in Brazil. *Mycorrhiza*, 7:293-300, 1998.

SPOHN, M.; GIANI, L. Impacts of land use change on soil aggregation and aggregate stabilizing compounds as dependent on time. *Soil Biology Biochemistry* 43:1081-1088, 2011.

SPOHN, M.; GIANI, L. Water-stable aggregates, glomalin-related soil protein, and carbohydrates in a chronosequence of sandy hydromorphic soils. *Soil Biol. Biochem.* 42:1505-1511, 2010.

PURIN, S.; KLAUBERG FILHO, O.; STÜRMER, S.L. Mycorrhizae activity and diversity in conventional and organic apple orchards from Brazil. *Soil Biology and Biochemistry*, Amsterdam, 38:1831-1839, 2006

THANGARAJU M. et al. Microbial consortium and its effect on controlling coffee root-lesion nematode (*Pratylenchus coffeae*) under nursery conditions. *Journal of Biological Control*, 22(2), p425-432, 2008.

VAAST.P; CASWELL-CHEN. E. P. ZASOSKI R. J. Influences of a root-lesion nematode, *Pratylenchus coffeae*, and two arbuscular mycorrhizal fungi, *Acaulospora mellea* and *Rhizophagus clarus* on coffee (*Coffea arabica* L.). *Biology and Fertility of Soils*, 2:130-135, 1998.

WANG, Q.; WANG W.; HE, X.; ZHANG, W.; SONG, K.; HAN, S. Role and Variation of the Amount and Composition of Glomalin in Soil Properties in Farmland and Adjacent Plantations with Reference to a Primary Forest in North-Eastern China. *PLoS ONE*, 10:1-19, 2015.

WANG, M.; LIANG-BIN, H.; WEI-HUA, W.; SHU-TANG, L.; MIN, L.; RUN-JIN, L. Influence of Long-Term Fixed Fertilization on Diversity of Arbuscular Mycorrhizal Fungi. *Pedosphere* 19:663–672, 2009.

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* 161, 575–586, 1996.

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

WU, Q.; HE, X.; ZOU, Y.; HE, K.; SUN, Y. H.; CAO, M. Spatial distribution of glomalin-related soil protein and its relationships with root mycorrhization, soil aggregates, carbohydrates, activity of protease and beta;-glucosidase in the rhizosphere of *Citrus unshiu*. *Soil Biology and Biochemistry*, 45:181-183, 2012.

WU, Q.S.; CAO, M.Q.; ZOU, Y.N.; HE, X. H. Direct and indirect effects of glomalin, mycorrhizal hyphae, and roots on aggregate stability in rhizosphere of trifoliate orange. *Sci. Rep.* 4, 5823, 2014.

XIE, H.; LI, J.; WANG, B. Z. L.; HE, J. W. H.; ZHANG, X. Long-term manure amendments reduced soil aggregate stability via redistribution of the glomalin-related soil protein in macroaggregates. *Scientific Reports*, 5:14687, 2015.

ZHANG, X.; WU, X.; ZHANG, S.; XING, Y.; WANG, R.; LIANG, W. Organic amendment effects on aggregate-associated organic C, microbial biomass C and glomalin in agricultural soils. *Catena* 123:188-194, 2014.