

FABRICIO HENRIQUE MOREIRA SALGADO

**FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES E ESTIMULANTE DA
COLONIZAÇÃO MICORRIZICA EM CULTURAS AGRÍCOLAS EM
SOLO DE CERRADO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, da Universidade Federal de Goiás, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Agronomia, área de concentração: Solo e Água.

Orientador:

Prof. Dr. Marco Aurélio C. Carneiro

Goiânia, GO – Brasil
2014

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
GPT/BC/UFG**

S164f Salgado, Fabricio Henrique Moreira.
Fungos micorrízicos arbusculares e estimulante da
colonização micorrizica em culturas agrícolas em solo de
cerrado [manuscrito] / Fabricio Henrique Moreira Salgado. -
2014.
59 f. : il.

Orientador: Prof. Dr. Marco Aurélio Carbone Carneiro.
Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Goiás, Escola
de Agronomia e Engenharia de Alimentos, 2014.

Bibliografia.

1. Fungos do solo – Cerrado 2. Culturas agrícolas – Fungos
I. Título.

CDU: 582.28:631(213.54)

Inserir a cópia digital da folha de aprovação aqui

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR AS TESES E DISSERTAÇÕES ELETRÔNICAS (TEDE) NA BIBLIOTECA DIGITAL DA UFG

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás (UFG) a disponibilizar, gratuitamente, por meio da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD/UFG), sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a Lei nº 9610/98, o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou *download*, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

1. Identificação do material bibliográfico: Dissertação Tese

2. Identificação da Tese ou Dissertação

Autor (a):	Fabricio Henrique Moreira Salgado		
E-mail:	fabriciogpi@hotmail.com		
Seu e-mail pode ser disponibilizado na página?	<input type="checkbox"/> Sim	<input checked="" type="checkbox"/> Não	
Vínculo empregatício do autor:	Estudante		
Agência de fomento:	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal Nível Superior	Sigla:	CAPES
País:	Brasil	UF:	GO
		CNPJ:	
Título:	Fungos micorrízicos arbusculares e estimulante da colonização micorriz em culturas agrícolas em solo de cerrado		
Palavras-chave:	<i>Glicine max L.; Gossypium hirsutum L.; Phaseolus vulgaris L.; Zea mays; Formononetina; Micorriza</i>		
Título em outra língua:	Arbuscular mycorrhizal fungi and stimulating the mycorrhizal colonization in crops in cerrado soil.		
Palavras-chave em outra língua:	<i>Glicine max L.; Gossypium hirsutum L.; Phaseolus vulgaris L.; Zea mays; Formononetin, Mycorrhiza</i>		
Área de concentração:	Solo e Água		
Data defesa: (dd/mm/aaaa)	18/07/2014		
Programa de Pós-Graduação:	Agronomia		
Orientador:	Prof. Dr. Marco Aurélio Carbone Carneiro		
E-mail:	marcocarbone@dcs.ufla.br		
Co-orientador:*			
E-mail:			

3. Informações de acesso ao documento:

Concorda com a liberação total do documento SIM NÃO¹

Havendo concordância com a disponibilização eletrônica, torna-se imprescindível o envio do(s) arquivo(s) em formato digital PDF ou DOC da tese ou dissertação. O sistema da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações garante aos autores, que os arquivos contendo eletronicamente as teses e ou dissertações, antes de sua disponibilização, receberão procedimentos de segurança, criptografia (para não permitir cópia e extração de conteúdo, permitindo apenas impressão fraca) usando o padrão do Acrobat.

Data: 08 / 09 / 2014

Assinatura do (a) autor (a)

¹ Neste caso o documento será embargado por até um ano a partir da data de defesa. A extensão deste prazo suscita justificativa junto à coordenação do curso. Os dados do documento não serão disponibilizados durante o período de embargo.

Se me fiz doutor foi para perceber a
pequenez humana frente a
grandiosidade da ciência e do
conhecimento humano

Helder Barbosa Paulino (2014)

DEDICATÓRIA

A Deus e aos familiares, professores e amigos que acreditaram em mim e no meu trabalho.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos os servidores da Universidade Federal de Goiás (UFG) e Universidade Federal de Lavras (UFLA).

A minha família por estarem sempre comigo.

Ao meu orientadore Marco Aurélio Carbone Carneiro pela confiança, compreensão e conhecimentos transmitidos durante essa jornada e pela parceria formada.

Aos professores da UFG e UFLA pelos conhecimentos transmitidos e pelas trocas de ideia.

Aos amigos José Patricio, Átila, Alex, Joseanny, Fernando, Fernando, Ana Paula, Paula Camylla, Janaina, Aniele, Carolina Wisintainer, Joaquim, Nara, Heloisa, Ana Paula Corguinha, Arthur, Eric, Jesse, Juliana, Laize, Rayssa, Leonardo, Patricia, Wesley, Paula Rose, Anita, Soraya, Andressa, Franciane, Eduardo, Leandro, Mateus, Teo, Linnajara, Douglas, Marciana (Márcia), Kátia, Jacqueline, Elzane, Elaine, Dirce, Dammy, Welliton.

Ao técnico Manoel e a Natália, Ricardo e Thalís que foram fundamentais para o desenvolvimento da pesquisa.

A CAPES pelo financiamento da bolsa de estudo.

A UFLA, mais específico o Laboratório de Microbiologia do solo pertencente ao Departamento de Ciência do solo, que me acolheu como um dos seus e contribuiu de forma grandiosa para meu crescimento, pessoal, profissional e para o desenvolvimento da minha pesquisa.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	7
LISTA DE FIGURAS	8
RESUMO GERAL	9
GENERAL ABSTRACT	10
1 INTRODUÇÃO GERAL	11
2 REVISÃO DE LITERATURA	13
2.1 FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES	13
2.1.1 Estabelecimento da simbiose	14
2.1.2 Formononetina	15
2.1.3 Benefícios para as plantas	16
2.1.4 Algodão, Feijão, Milho e Soja	17
2.2 REFERÊNCIAS	20
3 FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES E ESTIMULANTE DA COLONIZAÇÃO MICORRÍZICA NA CULTURA DO ALGODÃO E MILHO EM SOLO DE CERRADO	27
RESUMO.....	27
ABSTRACT	28
3.1 INTRODUÇÃO	29
3.2 MATERIAL E MÉTODOS	29
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	31
3.4 CONCLUSÕES	38
3.5 REFERÊNCIAS	38
4 FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES E ESTIMULANTE DA COLONIZAÇÃO MICORRÍZICA NA CULTURA DO FEIJÃO E DA SOJA EM SOLO DE CERRADO	43
RESUMO.....	43
ABSTRACT	44
4.1 INTRODUÇÃO	45
4.2 MATERIAL E MÉTODOS	46
4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	48
4.4 CONCLUSÕES	55
4.5 REFERÊNCIAS	56
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	59

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1.** Densidade de esporo de algodão cultivar FMT 701 e milho Híbrido simples cultivar 30S31, sem estimulante de colonização micorrizica (SECM) e com estimulante de colonização micorrizica (CECM) formononetina33
- Tabela 2.** Massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca da raiz (MSR) de algodão cultivar FMT 701 e milho Híbrido simples cultivar 30S31, sem estimulante de colonização micorrizica (SECM) e com estimulante de colonização micorrizica (CECM) formononetina34
- Tabela 3.** Acúmulo de cálcio, zinco e fósforo na parte aérea de algodão cultivar FMT 701 e milho Híbrido simples cultivar 30S31, sem estimulante de colonização micorrizica (SECM) e com estimulante de colonização micorrizica (CECM) formononetina.....37
- Tabela 1.** Colonização micorrizica, massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca da raiz (MSR) de feijão cultivar Pérola e soja cultivar BMX Potencia RR, sem estimulante (SECM) e colonização micorrizica (SECM) e com estimulante de colonização52
- Tabela 2.** Acúmulo de cálcio, zinco e fósforo na parte aérea de feijão cultivar Pérola e soja cultivar BMX Potencia RR, sem estimulante (SECM) e com estimulante (CECM) de micorrização formononetina.....54

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Colonização micorrizica de algodão cultivar FMT 701 (A) e milho Híbrido simples cultivar 30S31 (B) cultivados em Latossolo Vermelho distrófico. 1 – Testemunha; 2 – *Claroideoglossum etunicatus*; 3- *Acaulospora scrobiculata*; 4 - *Gigaspora margarita*; 5 – *Dentiscutata heterogama*; 6- Inoculação Conjunta; 7 – *Rhizophagus clarus*32
- Figura 1.** Densidade de esporos em feijão cultivar Pérola (A) e soja cultivar BMX Potencia RR (B) cultivados em Latossolo Vermelho distrófico. 1 – Testemunha; 2 – *Claroideoglossum etunicatus*; 3- *Acaulospora scrobiculata*; 4 - *Gigaspora margarita*; 5 – *Dentiscutata heterogama*; 6- Inoculação Conjunta; 7 – *Rhizophagus clarus*49
- Figura 2.** Colonização micorrizica de feijão cultivar Pérola (A), número de nódulos por raiz (B e C) e massa seca do nódulo (D) de soja cultivar BMX Potencia RR cultivado em Latossolo Vermelho distrófico sem estimulante de colonização micorrizica (SECM) e com estimulante de colonização micorrizica (CECM). 1 – Testemunha; 2 – *Claroideoglossum etunicatus*; 3- *Acaulospora scrobiculata*; 4 - *Gigaspora margarita*; 5 – *Dentiscutata heterogama*; 6- Inoculação Conjunta; 7 – *Rhizophagus clarus*.....50

RESUMO GERAL

SALGADO, F. H. M. **Fungos micorrízicos arbusculares e estimulante da colonização micorrizica em culturas agrícolas em solo de cerrado**. 2014. 59f. Tese (Doutorado em Agronomia: Solo e Água) – Escola de Agronomia, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2014.¹

Melhor utilização e aproveitamentos de recursos na agricultura são algumas das metas para o sistema agrícola. O objetivo deste estudo foi avaliar os efeitos da inoculação com fungos micorrízicos arbusculares nativos de Cerrado associados a aplicação de estimulante da micorrização no desenvolvimento das culturas do algodão, feijão, milho e soja. Em casa de vegetação foram cultivadas plantas de algodão, feijão, milho e soja em vaso, em delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial 7 x 2, sendo 5 espécies de fungos micorrízicos arbusculares Inoculação Conjunta (junção de todas as espécies em igual proporção) e Testemunha (sem inoculação) na presença ou ausência de estimulante da colonização micorrizica com 5 repetições. Foram avaliados densidade de esporos, taxa de colonização micorrizica, massa seca da parte aérea, massa seca da raiz e acúmulo de cálcio, zinco e fósforo na parte aérea. Os fungos micorrízicos arbusculares mostraram efeitos diferenciado para o algodão, feijão, soja e milho. Os tratamentos *Gigaspora margarita* e a inoculação conjunta de fungos micorrízicos no algodão e *Claroideoglobus etunicatus* no milho incrementaram a absorção de cálcio, zinco e fósforo e conseqüentemente aumentaram a matéria seca da parte aérea e de raízes no algodão. A aplicação de estimulante da micorrização proporcionou maior desenvolvimento inicial no milho, algodão e na testemunha e quando associado com a inoculação com diferentes fungos micorrízicos os resultados foram diversificados. Maior taxa de colonização em feijão não resultou em aumento de produção e qualidade nutricional. Na soja em presença de estimulante de colonização micorrizica *Claroideoglobus etunicatus* proporcionou maior taxa de colonização, aumento da massa seca da parte aérea e acúmulo de cálcio e fósforo e a aplicação de estimulante da micorrização proporcionou efeitos diferenciado para o feijão e soja.

Palavras-chave: *Glicine max* L., *Gossypium hirsutum* L., *Phaseolus vulgaris* L., *Zea mays*, Formononetina, Micorriza.

¹ Orientador: Prof. Dr. Marco Aurélio Carbone Carneiro. DCS-UFLA.

GENERAL ABSTRACT

SALGADO, F. H. M. **Arbuscular mycorrhizal fungi and stimulating the mycorrhizal colonization in crops in cerrado soil.** 2014. 59f. Thesis (Doctor in Agronomy: Soil and Water) – Escola de Agronomia, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2014.¹

Better use of resources and yields in agriculture are some of the goals for the agricultural system. The aim of this study was to evaluate the effects of inoculation with mycorrhizal fungi associated with native fungi of Cerrado application of mycorrhiza stimulating the development of the cotton crop, common bean, maize and soybean. In greenhouse plants of cotton common bean, maize and soybean were grown in pots in a completely randomized design in a factorial 2 x 7, 5 species of arbuscular mycorrhizal fungi, inoculation joint (junction of all species in equal proportion) and control (without inoculation) in the presence or absence of stimulating mycorrhizal and 5 replications. Spore density, rate of mycorrhizal colonization, dry weight of shoot, root dry mass and accumulation of calcium, zinc and phosphorus in shoot was determined. It follows the mycorrhizal fungi showed differential effects for cotton, common bean, maize and soybean. The treatment *Gigaspora margarita* and joint inoculation of mycorrhizal fungi in cotton and maize and *Claroideoglomus etunicatus* increased the absorption of calcium, zinc and phosphorus and consequently increased the dry matter of shoot and roots in cotton. The application of stimulating mycorrhiza caused greater initial development in maize, cotton in the control and when associated with inoculation with different mycorrhizal fungi results were diverse. Higher colonization rate in bean has not resulted in increased production and nutritional quality. In soybean the presence of stimulating mycorrhizal colonization *Claroideoglomus etunicatus* provided higher colonization rate, increased dry weight of shoot and accumulation of calcium and phosphorus, the application of stimulating mycorrhiza gave different effects for common bean and soybean.

Key words: *Glicine max* L., *Gossypium hirsutum* L., *Phaseolus vulgaris* L., *Zea mays*, Formononetin, Mycorrhiza.

¹ Adviser: Prof. Dr. Marco Aurélio Carbone Carneiro. DCS-UFLA.

1 INTRODUÇÃO GERAL

O modelo vigente da agricultura é baseado em grandes entradas de recursos financeiros e energia no sistema para obtenção de altas produtividades. Dentre esses recursos encontram-se principalmente grandes quantidade de adubos para atender as necessidades das cultura e a demanda do sistema solo, a utilização de defensivos (fungicida, inseticida e herbicida), maquinário para preparo do solo e diversos procedimentos na lavoura. Todos esses são de forma direta ou indireta dependentes de recursos não renováveis, o que traz fragilidade ao sistema produtivo. Outro fator que promove esse contexto é o melhoramento genético que busca a produção de genótipos com alto potencial produtivo, porém cada vez mais dependentes de insumos.

Esse modo de condução do sistema passou com o tempo a ser questionada, devido a degradação de recursos naturais (Cardoso et al., 2010) e os indícios da redução da produtividade (Romeiro, 2007), e passou a ser revisto. Dessa forma a busca por novas alternativas para melhor utilização dos recursos naturais, menor dependência de entradas no sistema, com a inserção de uma novas formas de manejo e buscas por novas tecnologias que permitam alcançar esse objetivo passaram a ser ideias norteadoras para construção de um modelo de sistema produtivo.

Entre os meios para se atingir esse objetivo encontram-se as associações mutualísticas denominadas micorrizas, associações estas que ocorrem entre determinados fungos do solo e as raízes de plantas, tendo destaque na agricultura os fungos micorrizicos arbusculares (FMAs) que se associam com 80% das espécies vegetais (Parniske, 2008), e são capazes de melhorar a absorção de nutrientes do solo, em especial os de baixa mobilidade (Marschner, 2012), tendo destaque para o fósforo que em solos tropicais é altamente fixado tornando-se indisponível para as plantas (Cardoso et al., 2010). Estima-se que a contribuição na absorção de nutrientes por FMAs seja de 80% para o fósforo, 60% para o cobre e entre 10% a 25% para os demais nutrientes (Marschner & Dell, 1994).

Os FMAs também proporcionam outras melhorias para a planta como maior capacidade a planta de superar estresses bióticos e abióticos e melhor absorção de água (Moreira & Siqueira, 2006). Além das vantagens diretas para a planta esses fungos também

influenciam as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (Berbara et al., 2006), componentes da fertilidade ampla do solo (Cardoso et al., 2010). Destes forma estes organismos são um importante componente no novo modelo produtivo (Fraser et al., 2009), pois apresentam grande potencial como insumo biológico para a agricultura, podendo sua utilização ser feita através de produção de inoculantes, através do manejo da população nativa e utilização de estimulante de colonização micorrízica (ECM) (Siqueira et al., 2002).

Desta forma a utilização de FMAs na agricultura poderá contribuir para redução de utilização de insumos agrícolas, fator importante nas culturas do algodão, feijão, milho e soja que são altamente dependentes destes para obtenção de boas produtividades, como também contribuir para diminuir as perdas destas culturas causadas por estresses diversos, contribuindo dessa forma para um sistema com maior capacidade de superar estresses e com menor dependente.

O objetivo deste estudo foi avaliar os efeitos da inoculação com fungos micorrízicos arbusculares nativos de Cerrado associados a aplicação de estimulante da micorrização nas culturas de algodão, feijão, milho e soja.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES

Micorriza (do grego: Mykes – fungos, rhiza – raiz) é a denominação dada para associação simbiótica entre determinados fungos de solo e as raízes de planta. Geralmente esses fungos podem ser agrupados de acordo com a forma de penetração em duas categorias: ectomicorriza, que tem desenvolvimento intercelular no córtex da raiz e promove alterações morfológicas na raiz e endomicorriza, que penetra a parede celular do córtex e não promove alterações morfológicas na raiz, perceptível a olho nu (Moreira & Siqueira, 2006; Santos, 2014). Dentro do grupo das endomicorrizas, destacam-se os FMAs pertencentes ao filo *Glomeromycota* (Schübler et al., 2001) que surgiram há cerca de 400 milhões de anos (Taylor et al., 1995; Fitter, 2005; Parniske, 2008) e teriam sido peça chave para que as espécies vegetais conseguissem se adaptar ao ambiente terrestre (Pirozynski, 1981; Taylor et al., 1995).

Os FMAs considerados a regra da natureza, são simbiotróficos obrigatórios, ou seja, não são capazes de completar seu ciclo de vida, sem estarem associados com um hospedeiro metabolicamente ativo (Siqueira et al., 2002; Fitter, 2005; Moreira & Siqueira, 2006; Parniske, 2008; Stürmer & Siqueira, 2013) por terem perdido sua capacidade saprofítica durante sua evolução (Parniske, 2008). Destacam-se por serem o tipo mais comum, e se associarem com cerca de 80% das plantas terrestres, devido seu importante papel na nutrição vegetal, sua influência no ecossistema e por despertar grande interesse na sua utilização na agricultura (Moreira & Siqueira, 2006; Parniske, 2008).

Esses micro-organismos possuem uma estrutura típica denominada arbúsculo, a qual é a ramificação repetidamente da hifa no formato de uma pequena árvore nas células do córtex da raiz (Parniske, 2008) o qual invagina no plasmalema da célula vegetal criando uma área contato membrana-membrana entre planta e fungo (Siqueira et al., 2002; Fitter, 2005; Moreira & Siqueira, 2006; Parniske, 2008; Stürmer & Siqueira, 2013) e é nesse local de íntimo contato e através dessa estrutura que ocorre a troca bidirecional, ou seja, a planta

fornece carbono (carboidratos provenientes da fotossíntese) para o fungo e em troca este fornece nutrientes e água para a planta (Moreira & Siqueira, 2006; Parniske, 2008; Ramos & Martins, 2010; Souza et al., 2010). Essa estrutura tem um pequeno tempo de vida, em torno de 8,5 dias (Alexander et al., 1989) permitindo que a mesma a célula possa ser colonizada várias vezes (Parniske, 2008).

2.1.1 Estabelecimento da simbiose

A simbiose se dá inicialmente pelo reconhecimento entre a espécie vegetal e o fungo micorrízico arbuscular (FMA) através da troca de sinais bioquímicos (Nair et al., 1991; Siqueira et al., 1991; Siqueira et al., 2002; Moreira & Siqueira, 2006; Parniske, 2008; Stürmer & Siqueira, 2013). Após a troca de sinais a planta se prepara para ser colonizada, formando uma estrutura subcelular, semelhante a um túnel, que será o caminho de crescimento do fungo através da célula vegetal (Genre et al., 2005; Genre et al., 2008; Parniske, 2008) e somente após a formação desse túnel o fungo penetra (Parniske, 2008).

Enquanto isso no solo a hifa do fungo, proveniente de um de seus propágulos, tais como fragmentos de micélio, raízes colonizadas e esporos (Moreira & Siqueira, 2006; Stürmer & Siqueira, 2013), inicia grande ramificação induzida por sinais químicos que indicam a proximidade da raiz (Siqueira et al., 2002; Parniske, 2008; Stürmer & Siqueira, 2013) e a diferenciação da hifa, que iniciará a colonização, em uma estrutura denominada apressório, o qual fará pressão para entrar na raiz ao mesmo tempo que o fungo liberará enzimas, de forma localizada, para degradar a parede da raiz para facilitar sua entrada (Moreira & Siqueira, 2006).

Após entrar na raiz a hifa iniciará o processo de colonização invaginando em célula do córtex, onde será formado o arbúsculo. Com o processo estabelecido o FMA lançará suas hifas para além da raiz (hifa extra-radicular) para explorar o solo e funcionar como uma extensão do sistema radicular, aumentando o volume de solo explorado e a área de absorção, transpondo a rizosfera (Siqueira, 1994; Miranda, 2008) e formado a micorrizosfera (área em torno das raízes micorrizadas) (Andrade et al., 1998) e a hiforizosfera (área em torno de uma hifa individualizada) (Andrade et al., 1998; Veresoglou et al., 2012) possibilitando aumento da absorção de água e nutrientes, em especial os de baixa mobilidade no solo, devido a maior eficiência quando comparado as raízes não micorrizadas (Siqueira, 1994; Berbara et al., 2006). Estima-se que as hifas extra-

radiculares podem alcançar valores superiores à 100 m por cm³ de solo (Miller et al., 1995).

Após reconhecimento, preparação para colonização, a colonização propriamente dita, a exploração do solo e a troca bidirecional, o FMA inicia a produção de esporos constituindo um ciclo de vida e iniciando o processo novamente além de manter o processo já existente (Moreira & Siqueira, 2006).

Entretanto para que ocorra o estabelecimento da simbiose, uma série de fatores precisam ser observados tais como tipo de solo (Cardoso, 1986), nível de fósforo, pH, teor de alumínio, espécie de FMA (Cardoso et al., 2010), genótipo da planta (Oliveira et al., 2009) e compatibilidade funcional entre os simbioses (Silveira & Cardoso, 2004). Estudo feito por Nogueira & Cardoso (2000) mostrou que a soja, quando inoculada com *Glomus* respodeu de forma satisfatória, mas não com *Gigaspora*.

2.1.2 Formononetina

Plantas exsudam uma diversidade de compostos pela raiz através de seu metabolismo secundário, os quais possuem diversas funções como a pigmentação de flores, proteção contra patógenos, alelopatia, nutrição e sinais moleculares (Graham, 1991; Cordeiro, 2007). E é através desses compostos que começa a comunicação entre os simbionte envolvidos (Lynn & Chang, 1990; Nair et al., 1991; Siqueira et al., 1991; Moreira & Siqueira, 2006), permitindo dessa forma que os parceiros se reconheçam e sinalizem a necessidade de se associar.

Na década de 90 estudos com trevo (*Trifolium repens*) em ambiente com baixa disponibilidade de fósforo permitiram a identificação, entres os compostos exsudados pela planta, de isoflavonóides com capacidade de promover atividade de FMA, tais como, a formononetina e a biocanina A (Nair et al., 1991). Em estudos posteriores desenvolvidos por Siqueira et al. (1991) demonstraram que a formononetina (7- hidroxí, 4'-metoxi-isoflavona), entre as substâncias identificadas, foi o isoflavonóide que teve maior capacidade de estimular o crescimento assimiótico de FMA, acelerando a micorrização e, desta forma, favorecendo o crescimento da planta hospedeira.

Com a identificação dessa substância iniciou-se estudos com o objetivo de proporcionar a sua utilização na agricultura, chegando até ser produzido produtos a base de formononetina para serem comercializados tais como Rhizotropina, Myconate e Mycoform

(Cordeiro, 2007). Entretanto a pesquisa não chegou a resultados conclusivos, sendo em alguns casos favoráveis, outros neutros e até negativos com relação a utilização dessa substância. Se fazendo dessa forma necessário entender o modo de ação dessa substância no ambiente e na simbiose (Silva-Júnior & Siqueira, 1997; Santos, 2014).

Em estudos com soja e milho e aplicação de formononetina Silva-Júnior & Siqueira (1997) observaram que essa substância acelerou a simbiose, aumentou a entrada do fungo na raiz e também obteve-se maior número de arbúsculos. Observou-se também aumento da taxa de colonização (Silva-Júnior & Siqueira, 1997; Fries et al., 1998; Lambais et al., 2003; Cordeiro, 2007) e aumento da densidade de esporos de FMA (Siqueira et al., 1991; Davies et al., 2005a; Davies et al., 2005b) quando aplicado formononetina. Romero (1999) obteve aumento de até 28% na produtividade quando aplicou formononetina na cultura do milho.

Aparentemente a formononetina, que é um composto biológico produzido por diferentes espécies de plantas, e que passou a ser sintetizado, parece não trazer preocupações a saúde humana (Nair et al., 1999). Seu uso na área de farmacologia vem crescendo devido seus derivados apresentarem ação anti-inflamatória, antioxidante, hipertensiva, antidiabética entre outras (Mu et al., 2009; Sun et al., 2013).

2.1.3 Benefícios para as plantas

Os FMAs proporcionam diversos benefícios ao ecossistema melhorando a qualidade física, química e biológica do solo (Berbara et al., 2006) que podem influenciar direta ou indiretamente as plantas, mas seu principal benefício está associado a nutrição mineral de plantas. Esse autor ressalta que esse benefício está ligado ao aumento do volume de solo explorado, maior taxa de influxo por unidade de superfície, mecanismos internos do FMA e produção de enzimas. O que é uma vantagem já que a área ocupada pelo sistema radicular das plantas normalmente é de 1 a 2% do volume do solo onde se encontra (Barber, 1984).

Os FMAs podem influenciar na absorção de nitrogênio (George et al., 1992; Miranda, 2008; Veresoglou et al., 2012), potássio (George et al., 1992; Miranda, 2008), cálcio, enxofre (Carneiro et al., 1996), manganês (Marschner & Dell, 1994), magnésio (Berbara et al., 2006) e ferro (Oliveira et al., 1999; Oliveira & Oliveira, 2005), resultando em benefícios no crescimento da planta (Berbara et al., 2006; Miranda, 2008) e,

consequentemente, aumento da produção.

Entretanto o principal efeito do FMA na nutrição mineral de plantas está ligado a elementos de baixa mobilidade do solo, os quais chegam à raiz por meio de mecanismo de difusão, que é um processo lento no solo (Marschner, 2012). Nesse contexto encontram-se o fósforo, zinco e cobre. (Berbara et al., 2006; Cardoso et al., 2010; Stürmer & Siqueira, 2013), tendo maior destaque o fósforo (Cardoso et al., 2010) um dos elementos mais requerido e de menor disponibilidade em ambientes tropicais (Berbara et al., 2006). Porém ressalta-se que FMA, diferente de bactérias fixadoras de nitrogênio, não adicionam elemento ao sistema mas apenas alteram sua dinâmica (Cardoso et al., 2010).

2.1.4 Algodão, Feijão, Milho e Soja

Com estimativa de área plantada para safra 2013/2014 de 1.102, 3.414, 15.726 e 30.105 mil hectares as culturas do algodão, feijão, milho e soja (Conab, 2014), respectivamente, representam importante papel econômico e social no agronegócio brasileiro. Empregando milhares de pessoas em toda cadeia produtiva, entorno de 150 mil pessoas na cultura do algodão (Neves et al., 2005) e mais 7 milhões na cultura do feijão, só em Minas Gerais (Borém & Carneiro, 2006), movimentando grandes somas monetárias na aquisição e utilização de insumos (adubos, agrotóxicos e combustível), e contribuindo de modo substancial para o superávit da balança comercial brasileira nos últimos anos.

O algodoeiro (*Gossypium hirsutum*) é uma cultura de crescimento inicial lento (Azevedo et al., 1992), metabolismo típico de plantas C₃ (Benedict, 1984) e raízes superficiais (Oliveira & Silva, 1987), que pouco esgota o solo, já que a semente e a fibra são os únicos produtos a deixarem a lavoura (Silva et al., 1995). De acordo Silva et al. (1995) uma tonelada de produto exportar cerca de 21, 08 e 20 kg de N, P₂O₅ e K₂O demonstrando o baixo esgotamento do solo. Contudo um dos principais problemas reside na baixa capacidade competitiva dessa cultura que não tolera competição até seu florescimento, proporcionando dessa forma um ambiente propício para erosão e consequentemente degradação solo (Beltrão & Azevedo, 1994; Silva et al., 1995).

Outro fator importante sobre o algodoeiro é que apesar de tolerante a seca o estresse hídrico pode trazer grandes prejuízos pra a cultura (Millar, 1976; Freire, 2008) sendo dessa forma necessário sempre que possível, e disponível, a utilização de técnicas e ferramentas que permitam superar as barreiras enfrentadas por essa cultura. Dentro desse

contexto encontram-se FMA que podem contribuir de forma significativa para superação de estresse nutricionais, advindos da competição, bem como maior tolerância a deficiência a hídrica. Nesse sentido Afek et al. (1988) e Carrenho et al. (2010) relatam que o algodoeiro é uma espécie com elevada dependência micorrízica.

Dentro do gênero *Phaseolus* o feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.), que é a terceira leguminosa mais cultivada no planeta (González et al., 2006), sendo seu cultivo realizado em todo globo terrestre desde o nível do mar até altitudes de mais de 3000 m (Graham & Ranalli, 1997; Didonet, 2005). Pode ser cultivada na safra, safrinha e entressafra tendo um grande potencial produtivo. Em estudo de campo Salgado et al. (2011) obtiveram produtividade acima de 3000 kg ha⁻¹. Graham & Ranalli (1997) relatam que em condições experimentais essa cultura pode atingir produtividades superiores à 5000 kg ha⁻¹, demonstrando dessa forma o grande potencial produtivo que essa cultura possui. Tem grande importância para o brasileiro sendo uma das principais fontes de vitaminas, fibras, ferro, isoflavonas, fósforo, magnésio, cálcio, zinco e, principalmente, proteína para a população de baixo poder aquisitivo (Anderson et al., 1999; Broughton et al., 2003).

Apesar de todo esse contexto social e econômico essa cultura ainda é considerada, por muitos agricultores, como de subsistência e colocadas em terras marginais e não recebendo toda tecnologia necessária para atingir todo seu potencial produtivo. Desta forma o cultivo do feijoeiro tem enfrentado problemas na maioria das regiões produtoras resultando em baixa produtividade que, provavelmente, tem suas causas baseadas na tecnologia rudimentar utilizada, nas variações climáticas, na cultivar utilizada, no manejo da cultura, nos estresses bióticos e abióticos, no esgotamento progressivo da fertilidade do solo (Didonet, 2005; Lago et al., 2009).

Uma das maneira de superar essas barreiras é a adoção de tecnológicas que possam permitir que o potencial produtivo se expresse. Dentro delas destacam-se as associações micorrízicas que podem permitir melhor desenvolvimento, superação de estresse bióticos e abióticos, melhor aproveitamento de recursos e menor dependência de entradas de energia no sistema, devido essa cultura ser relatada de dependência micorrízica (Hacisalihoglu et al., 2005). Além de ser uma leguminosa, a qual já possui as informações genéticas para que essa simbiose se estabeleça (Parniske, 2008).

O milho é uma gramínea pertencente à família Poaceae e sua espécie é a *Zea mays* L. Sendo planta anual, robusta e ereta, com um a quatro metros de altura (Magalhães & Souza, 2011), seu cultivo se caracteriza desde a agricultura tipicamente de subsistência, sem utilização de insumos modernos até lavouras que utilizam o alto nível tecnológico (Miranda et al., 2012).

Seu plantio normalmente é dividido em duas épocas de plantio, safra realizada durante o período chuvoso e a safrinha referente ao milho de sequeiro, plantado quase sempre depois da soja precoce (Miranda et al., 2012). Seu cultivo pode ser realizado desde o nível do mar até mais de 3000 m, apresentando-se como uma planta de excelentes capacidades adaptativas (Castro, 1999). É uma planta reconhecida como boa hospedeira para FMA devido seu amplo sistema radicular, alta capacidade fotossintética e elevada demanda de P (Carrenho et al., 2010). Sendo uma cultura que tem grande influência na comunidade micorrizica (Oliveira et al., 2009).

Soja (*Glycine max*) é a maior cultura de importância global por seu alto nível de proteína e óleo (Kim et al., 2012). Tem como um dos seus centros de origem a Ásia, onde já é cultivada a milhares de anos, tendo somente no século vinte sua exploração comercial no Ocidente, mas especificamente nos Estados Unidos, posteriormente sendo trazido para o Brasil onde não houve boa adaptação inicial do germoplasma as condições de baixa latitude (Dall'agnol et al., 2007) devido ser influenciada pelo fotoperíodo (Farias et al., 2007), mas que graças ao processo de adaptação, esta presente em todas as regiões.

É uma cultura que se destaca pela sua não dependência de nitrogênio fornecido via produtos derivados de recursos finitos (Oliveira et al., 2007). Sua demanda é suprida principalmente pela fixação biológica de nitrogênio (FBN), por meio da simbiose das plantas com bactérias do gênero *Bradyrhizobium* (Campos et al., 2001; Hungria et al., 2006; Moreira & Siqueira, 2006; Oliveira et al., 2007; Amado et al., 2010) e, o restante, via do solo, por meio da mineralização da matéria orgânica (Bahry et al., 2014).

Entretanto o processo de FBN vem com alto custo energético, ou seja, maior dependência de fósforo, sendo necessário dessa forma suprir a planta com mais fósforo para atender a demanda energética da enzima responsável por fixar o nitrogênio atmosférico (Siqueira et al., 2002). Dessa forma a associação com FMAs poderia contribuir para suprir a demanda de fósforo da planta e da bactéria quanto permiti uma vantagem competitiva da planta, além de proporcionar menor dependência de insumos. O sinergismo entre estes micro-organismos contribuem para maior nodulação e quantidade de N fixada (Siqueira et al., 2002).

2.2 REFERÊNCIAS

AFEK, U.; MENGE, J. A.; JOHNSON, E. L. V. Growth responses of field crops following inoculation with mycorrhizal fungi in fumigated and unfumigated soil. **Phytopathology**, Saint Paul, v. 78, n. 12, p. 1567, 1988.

ALEXANDER, T.; TOTH, R.; MEIER, R.; WEBER, H. C. Dynamics of arbuscule development and degeneration in onion, bean, and tomato with reference to vesicular-arbuscular mycorrhizae in grasses. **Canadian Journal of Botany**, Ottawa, v. 67, n. 8, p. 2505-2513, 1989.

AMADO, T. J. C.; SCHLEINDWEIN, J. A.; FIORIN, J. E. Manejo do solo visando à obtenção de elevados rendimentos de soja sob sistema plantio direto. In: THOMAS, A. L.; COSTA, J. A. (Ed.). **Soja: Manejo para alta produtividade de grãos**. Porto Alegre: UFRGS, 2010. p. 35-97.

ANDERSON, J. W.; SMITH, B. M.; WASHNOCK, C. S. Cardiovascular and renal benefits of dry bean and soybean intake. **American journal of clinical nutrition**, New York, v. 70, p. 464S-474S, 1999.

ANDRADE, G.; LINDERMAN, R. G.; BETHLENFALVAY, G. J. Bacterial associations with the mycorrhizosphere and hyphosphere of the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus mosseae*. **Plant and Soil**, The Hague, v. 202, n. 1, p. 79-87, 1998.

AZEVEDO, D. M. P.; BELTRÃO, N. E. M.; NÓBREGA, L. B.; VIEIRA, D. J. **Manejo de plantas daninhas no cultivo do algodoeiro herbáceo**. Campina Grande: EMBRAPA-CNPA, 1992, 11 p. Comunicado Técnico 35.

BAHRY, C. A.; NARDINO, M.; VENSKE, E.; FIN, S. S.; ZIMMER, P. D.; SOUZA, V. Q.; CARON, B. O. Efeito do nitrogênio suplementar sobre os componentes de rendimento da soja em condição de estresse hídrico. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 61, n. 2, p. 155-160, 2014.

BARBER, S. A. **Soil nutrient bioavailability: a mechanistic approach**. Wiley & Sons: New York, 1984, 323 p.

BELTRÃO, N. E.; AZEVEDO, D. M. P. **Controle de plantas daninhas na cultura do algodoeiro**. Campina Grande: EMBRAPA-CNPA, 1994, 154 p.

BENEDICT, C. R. Physiology. In: KOHEL, R. J.; LEWIS, C. F. (Ed.). **Cotton**. Madison: American Society of Agronomy, 1984. p. 151-200.

- BERBARA, R. L. L.; SOUZA, F. A.; FERNADES, M. S. Fungos micorrízicos arbusculares: muito além da nutrição. In: FERNANDES, M. S. (Ed.). **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa: Socienda Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p. 53-88.
- BORÉM, A.; CARNEIRO, J. E. S. A cultura. In: VIEIRA, C.; PAULA JÚNIOR, T. J.; BORÉM, A. (Ed.). **Feijão**. Viçosa: UFV, 2006. p. 13-18.
- BROUGHTON, W. J.; HERNÁNDEZ, G.; BLAIR, M.; BEEBE, S.; GEPTS, P.; VANDERLEYDEN, J. Beans (*Phaseolus* spp.) - model food legumes. **Plant and Soil**, The Hague, v. 252, p. 55-128, 2003.
- CAMPOS, B. C.; HUNGRIA, M.; TEDESCO, V. Eficiência da fixação biológica de N₂ por estirpes de *Bradyrhizobium* na soja em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, p. 583-592, 2001.
- CAMPOS, D. T. S.; ANDRADE, J. A. C.; CASSIOLATO, A. M. R. Crescimento e micorrização de genótipos de milho em casa de vegetação. **Bragantia**, Campinas, v. 69, n. 3, p. 555-562, 2010.
- CARDOSO, E. J. B. N. Eficiência de fungos micorrízicos vesículo-arbusculares em soja, com *Rhizobium japonicum* e fosfato de rocha, em função do tipo de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 10, p. 17-23, 1986.
- CARDOSO, E. J. B. N.; CARDOSO, I. M.; NOGUEIRA, M. A.; BARETTA, C. R. D. M.; PAULA, A. M. Micorrizas arbusculares na aquisição de nutrientes pelas plantas. In: SIQUEIRA, J. O.; SOUZA, F. A.; CARDOSO, E. J. B. N.; TSAI, S. M. (Ed.). **Micorrizas: 30 anos de pesquisa no Brasil**. Lavras: UFLA, 2010. p. 153-214.
- CARNEIRO, M. A. C.; SIQUEIRA, J. O.; DAVIDE, A. C.; GOMES, L. J.; CURTI, N.; VALE, F. R. Fungo micorrízico e superfosfato no crescimento de espécies arbóreas tropicais. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 50, p. 21-36, 1996.
- CARRENHO, R.; GOMES-DA-COSTA, S. M.; BALOTA, É. L.; COLOZZI-FILHO, A. Fungos micorrízicos arbusculares em agrossistemas brasileiros. In: SIQUEIRA, J. O.; SOUZA, F. A.; CARDOSO, E. J. B. N.; TSAI, S. M. (Ed.). **Micorrizas: 30 anos de pesquisa no Brasil**. Lavras: UFLA, 2010. p. 215-249.
- CASTRO, P. R. C.; KLUGE, R. A. **Ecofisiologia de cultivos anuais**: Trigo, milho, soja, arroz e mandioca. São Paulo: Nobel, 1999, 126 p.
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Séries históricas**. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1252&t=2>>. Acesso em: 11 de junho de 2014.
- CORDEIRO, M. A. S. **Avaliação da eficácia do Mycoform® (isoflavonóide formononetina) via peliculização de sementes na colonização micorrízica e produtividade da soja no Centro-Oeste**. 2007. 70 f. Dissertação (Mestre)—Departamento de Ciência do Solo, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2007.
- DALL'AGNOL, A.; ROESSING, A. C.; LAZZAROTTO, J. J.; HIRAKURI, M. H.; OLIVEIRA, A. B. **O complexo agroindustrial da soja brasileira**. Londrina: Embrapa Soja, 2007, 12 p. Circular Técnica, 43.

DAVIES, F. T.; CALDERON, C. M.; HUAMAN, Z. Influence of arbuscular mycorrhizae indigenous to Peru and a flavonoid on growth, yield, and leaf elemental concentration of 'Yungay' potatoes. **HortScience**, Alexandria, v. 40, n. 2, p. 381-385, 2005a.

DAVIES, F. T.; CALDERÓN, C. M.; HUAMAN, Z.; GÓMEZ, R. Influence of a flavonoid (formononetin) on mycorrhizal activity and potato crop productivity in the highlands of Peru. **Scientia horticulturae**, Amsterdam, v. 106, n. 3, p. 318-329, 2005b.

DIDONET, A. D. Ecofisiologia e rendimento potencial do feijoeiro. In: DEL PELOSO, M. J.; MELO, L. C. (Ed.). **Potencial de rendimento da cultura do feijoeiro**. 1 ed. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2005. p. 9-37.

FARIAS, J. R. B.; NEPOMUCENO, A. L.; NEUMAIER, N. **Ecofisiologia da soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2007, 9 p. Acesso em: Circular Técnica, 48.

FITTER, A. H. Darkness visible: reflections on underground ecology. **Journal of Ecology**, Oxford, v. 93, n. 2, p. 231-243, 2005.

FRASER, T.; NAYYAR, A.; ELLOUZE, W.; PEREZ, J.; HANSON, K.; GERMIDA, J.; BOUZID, Z.; HAMEL, C. Arbuscular mycorrhiza: where nature and industry meet. In: KHASA, D.; PICHÉ, Y.; COUGHLAN, A. P. (Ed.). **Advances in Mycorrhizal Science and Technology**. Ottawa: NRC Research Press, 2009. p. 71-86. 5 cap.

FREIRE, S. A. B. **Efeito da lâmina de irrigação no crescimento e na produção do algodão herbáceo irrigado por gotejamento, no Semi-Árido do Rio Grande do Norte**. 2008. 40 f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem - Área de concentração Manejo da Irrigação)–, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2008.

FRIES, L. L. M.; PACOVSKY, R. S.; SAIR, G. R. Influence of phosphorus and formononetin on isozyme expression in the *Zea mays* - *Glomus intraradices* symbiosis. **Physiologia Plantarum**, Helsinki, v. 103, n. 2, p. 172-180, 1998.

GENRE, A.; CHABAUD, M.; FACCIO, A.; BARKER, D. G.; BONFANTE, P. Prepenetration apparatus assembly precedes and predicts the colonization patterns of arbuscular mycorrhizal fungi within the root cortex of both *Medicago truncatula* and *Daucus carota*. **Plant Cell**, Rockville, v. 20, n. 5, p. 1407-1420, 2008.

GENRE, A.; CHABAUD, M.; TIMMERS, T.; BONFANTE, P.; BARKER, D. G. Arbuscular mycorrhizal fungi elicit a novel intracellular apparatus in *Medicago truncatula* root epidermal cells before infection. **Plant Cell**, Rockville, v. 17, n. 12, p. 3489-3499, 2005.

GEORGE, E. K.; HAUSSIER, G.; VETTERLEIN, E. G.; MARSCHNER, H. Water and nutrient translocation by hyphae of *Glomus mosseae*. **Canadian Journal of Botany**, Ottawa, v. 70, p. 2130-2137, 1992.

GONZÁLEZ, A. M.; MONTEAGUDO, A. B.; CASQUERO, P. A.; DE RON, A. M.; SANTALHA, M. Genetic variation and environmental effects on agronomical and commercial quality traits in the main European market classes of dry bean. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 95, n. 2-3, p. 336-347, 2006.

GRAHAM, P. H.; RANALLI, P. Common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 53, p. 131-146, 1997.

GRAHAM, T. L. Flavonoid and isoflavonoid distribution in developing soybean seedling tissues and in seed and root exudates. **Plant Physiology**, Minneapolis, v. 95, n. 2, p. 594-603, 1991.

HACISALIHOGU, G.; DUKE, E. R.; LONGO, L. M.; FSHS. Differential response of common bean genotypes to mycorrhizal colonization. **Proceedings of the 118th Annual Meeting of the Florida State Horticultural Society**: Proceedings of the Florida State Horticultural Society. v. 118, 2005.

HUNGRIA, M.; CAMPO, R. J.; MENDES, I. C.; GRAHAM, P. H. Contribution of biological nitrogen fixation to the N nutrition of grain crops in the tropics: the success of soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) in South America. In: SINGH, R. P.; SHANKAR, N.; JAIWAL, P. K. (Ed.). **Nitrogen nutrition and sustainable plant productivity**. Houston: Studium, 2006. p. 43-93.

KIM, M. Y.; VAN, K.; KANG, Y. J.; KIM, K. H.; LEE, S. H. Tracing soybean domestication history: From nucleotide to genome. **Breeding Science**, Tokyo, v. 61, n. 5, p. 445-452, 2012.

LAGO, F. J.; FURTINI NETO, A.; FURTINI, I. V.; RAMALHO, M. A. P.; HORTA, I. M. F. Frações nitrogenadas e eficiência nutricional em linhagens de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, n. 2, p. 440-447, 2009.

LAMBAIS, M. R.; RÍOS-RUIZ, W. F.; ANDRADE, R. M. Antioxidant responses in bean (*Phaseolus vulgaris*) roots colonized by arbuscular mycorrhizal fungi. **New Phytologist**, Cambridge, v. 160, n. 2, p. 421-428, 2003.

LYNN, D. G.; CHANG, M. Phenolic signals in cohabitation - implications for plant development. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, Palo Alto, v. 41, p. 497-526, 1990.

MAGALHÃES, P. C.; SOUZA, T. C. Ecofisiologia. In: CRUZ, J. C. (Ed.). **Cultivo do milho**. 8 ed. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2011. Disponível em: <http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/milho_8_ed/ecofisiologia.htm>.

MARSCHNER, H.; DELL, B. Nutrient uptake in mycorrhizal symbiosis. **Plant and Soil**, The Hague, v. 159, p. 89-102, 1994.

MARSCHNER, P. Rhizosphere biology. In: MARSCHNER, P. (Ed.). **Mineral nutrition of higher plants**. 3 ed. London: Elsevier/Academic Press, 2012. p. 369-388. 15 cap.

MILLAR, A. A. **Respuesta de los cultivos al déficit de agua como información básica para al manejo del riego**. Petrolina: EMBRAPA-CPATSA, 1976, 62 p.

MILLER, R. M.; REINHARDT, D. R.; JASTROW, J. D. External hyphal production of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi in pasture and tallgrass prairie communities. **Oecologia**, Berlin, v. 103, n. 1, p. 17-23, 1995.

MIRANDA, J. C. C. **Cerrado**: Micorriza arbuscular ocorrência e manejo. 1 ed. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2008, 169 p.

MIRANDA, R. A.; DUARTE, J. O.; GARCIA, J. C. Economia da produção. In: CRUZ, J. C. (Ed.). **Cultivo do milho**. 8 ed. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2012. Disponível em: <http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/milho_8_ed/economia.htm>.

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

MU, H.; BAI, Y. H.; WANG, S. T.; ZHU, Z. M.; ZHANG, Y. W. Research on antioxidant effects and estrogenic effect of formononetin from *Trifolium pratense* (red clover). **Phytomedicine**, Jena, v. 16, n. 4, p. 314-319, 2009

NAIR, M. G.; BALASUBRAMANIAN, S.; KELLY, J. F.; SCHUTZKI, R. E.; WENZL, P.; CHÁVEZ, A. L. Natural products as potencial soil amendments for crop improvement. In: SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S.; LOPES, A. S.; GUILHERME, L. R. G.; FAQUIN, V.; FURTINI NETO, A. E.; CARVALHO, J. G. (Ed.). **Inter-relação fertilidade, biologia do solo e nutrição de plantas**. Viçosa/Lavras: SBCS/UFLA: DCS, 1999. p. 405-419.

NAIR, M. G.; SAFIR, G. R.; SIQUEIRA, J. O. Isolation and identification of vesicular-arbuscular mycorrhiza-stimulatory compounds from clover (*Trifolium repens*) roots. **Applied and Environmental Microbiology**, Washington, v. 57, n. 2, p. 434-439, 1991.

NEVES, O. S. C.; CARVALHO, J. G.; MARTINS, F. A. D.; PÁDUA, T. R. P.; PINHO, P. J. Uso do SPAD-502 na avaliação dos teores foliares de clorofila, nitrogênio, enxofre, ferro e manganês do algodoeiro herbáceo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 5, p. 517-521, 2005.

NOGUEIRA, M. A.; CARDOSO, E. J. B. N. Produção de micélio externo por fungos micorrízicos arbusculares e crescimento da soja em função de doses de fósforo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, n. 2, p. 329-338, 2000.

OLIVEIRA, A. N.; OLIVEIRA, L. A. Colonização por fungos micorrízicos arbusculares e teores de nutrientes em cinco cultivares de bananeiras em um Latossolo da Amazonia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, p. 481-488, 2005.

OLIVEIRA, C. A.; SA, N. M. H.; GOMES, E. A.; MARRIEL, I. E.; SCOTTI, M. R.; GUIMARAES, C. T.; SCHAFFERT, R. E.; ALVES, V. M. C. Assessment of the mycorrhizal community in the rhizosphere of maize (*Zea mays* L.) genotypes contrasting for phosphorus efficiency in the acid savannas of Brazil using denaturing gradient gel electrophoresis (DGGE). **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 41, n. 3, p. 249-258, 2009.

OLIVEIRA, F. A.; SFREDO, G. J.; CASTRO, C.; KLEPKER, D. **Fertilidade do solo e nutrição da soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2007, 8 p. Circular Técnica, 50.

OLIVEIRA, F. A.; SILVA, J. J. S. **Uso consecutivo e desenvolvimento radicular do algodoeiro herbáceo (*Gossypium hirsutum* L.)**. Salvador: EPABA, 1987, 22 p. Boletim de Pesquisa, 8.

OLIVEIRA, L. A.; GUITTON, T. L.; MOREIRA, F. W. Relações entre as colonizações por fungos micorrízicos arbusculares e teores de nutrientes em oito espécies florestais da amazonia. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 29, n. 2, p. 183-193, 1999.

PARNISKE, M. Arbuscular mycorrhiza: the mother of plant root endosymbioses. **Nature Reviews Microbiology**, London, v. 6, n. 10, p. 763-775, 2008

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

RAMOS, A. C.; MARTINS, M. A. Fisiologia de micorrizas arbusculares. In: SIQUEIRA, J. O.; SOUZA, F. A.; CARDOSO, E. J. B. N.; TSAI, S. M. (Ed.). **Micorrizas: 30 anos de pesquisa no Brasil**. Lavras: UFLA, 2010. p. 133-152.

ROMEIRO, A. R. Perspectivas para políticas agroambientais. In: RAMOS, P. (Ed.). **Dimensões do agonegocio brasileiro**. Brasília: MDA, 2007. p. 283-317.

ROMERO, A. G. F. **Avaliação agrônômica de formulações de isoflavonóide estimulante de micorrização no milho (*Zea mays* L)**. 1999. 40 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas)—Departamento de Ciência do Solo, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1999.

SALGADO, F. H. M.; FIDELIS, R. R.; CARVALHO, G. L.; SANTOS, G. R.; CANCELLIER, E. L.; SILVA, G. F. Comportamento de genótipos de feijão, no período da entressafra, no sul do estado de Tocantins. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 27, n. 1, p. 52-58, 2011.

SANTOS, J. V. **Biofertilizante formononetina (isoflavonóide) como estimulante de micorrização em milho para aumento de produtividade associada a eficiência do uso de fósforo em Minas Gerais**. 2014. 64 f. Tese (Doutor em Microbiologia Agrícola)—Programa de Pós-Graduação em Microbiologia Agrícola, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2014.

SCHÜBLER, A.; SCHWARZOTT, D.; WALKER, C. A new fungal phylum, the *Glomeromycota*: phylogeny and evolution. **Mycological Research**, Cambridge, v. 105, n. 12, p. 1413-1421, 2001.

SILVA-JÚNIOR, J. P.; SIQUEIRA, J. O. Aplicação de formononetina sintética ao solo como estimulante da formação de micorriza no milho e na soja. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Londrina, v. 9, n. 1, p. 35-41, 1997.

SILVA, N. M.; CARVALHO, L. H.; CIA, E.; FUZATTO, M. G.; CHIAVEGATO, E. J.; ALLEONI, L. R. F. **Seja o doutor do seu algodoeiro**. Piracicaba: Potafos, 1995, 26 p. Arquivo do Agrônomo - nº 8.

SILVEIRA, A. P. D.; CARDOSO, E. J. B. N. Arbuscular mycorrhiza and kinetic parameters of phosphorus absorption by bean plants. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 61, n. 2, p. 203-209, 2004.

SIQUEIRA, J. O. Micorrizas arbusculares. In: ARAÚJO, R. S.; HUNGRIA, M. (Ed.). **Microrganismos de importância agrícola**. Brasília: Embrapa-SPI, 1994. p. 151-194.

SIQUEIRA, J. O.; LAMBAIS, M. R.; STÜRMER, S. L. Fungos micorrízicos arbusculares: Características, associação simbiótica e aplicação na agricultura. **Biotecnologia Ciência e Desenvolvimento**, Brasília, n. 25, p. 12-21, 2002.

SIQUEIRA, J. O.; SAFIR, G. R.; NAIR, M. G. Stimulation of vesicular-arbuscular mycorrhiza formation and growth of white clover by flavonoid compounds. **New Phytologist**, Cambridge, v. 118, n. 1, p. 87-93, 1991.

SOUZA, F. A.; STÜRMER, S. L.; CARRENHO, R.; TRUFEM, S. F. B. Classificação e taxonomia de fungos micorrízicos arbusculares e sua diversidade e ocorrência no Brasil. In: SIQUEIRA, J. O.; SOUZA, F. A.; CARDOSO, E. J. B. N.; TSAI, S. M. (Ed.). **Micorriza: 30 ano de pesquisa no Brasil**. Lavras: UFLA, 2010. p. 15-73.

STÜRMER, S. L.; SIQUEIRA, J. O. Fungos micorrízicos. In: MOREIRA, F. M. S. (Ed.). **O ecossistema solo**. Lavras: UFLA, 2013. p. 291-310.

SUN, T.; WANG, J.; HUANG, L. H.; CAO, Y. X. Antihypertensive effect of formononetin through regulating the expressions of eNOS, 5-HT_{2A/1B} receptors and α_1 -adrenoceptors in spontaneously rat arteries. **European Journal of Pharmacology**, Amsterdam, v. 699, n. 1-3, p. 241-249, 2013.

TAYLOR, T. N.; REMY, W.; HASS, H.; KERP, H. Fossil arbuscular mycorrhizae from the early Devonian. **Mycologia**, New York, v. 87, n. 4, p. 560-573, 1995.

VERESOGLOU, S. D.; CHEN, B. D.; RILLIG, M. C. Arbuscular mycorrhiza and soil nitrogen cycling. **Soil Biology & Biochemistry**, Elmsford, v. 46, p. 53-62, 2012.

3 FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES E ESTIMULANTE DA COLONIZAÇÃO MICORRÍZICA NA CULTURA DO ALGODÃO E MILHO EM SOLO DE CERRADO

RESUMO

Fungos micorrízicos arbusculares são importantes componentes do agroecossistema peça chave para produção das culturas do algodão e milho. Nesse sentido o objetivo deste estudo foi avaliar os efeitos da inoculação com fungos micorrízicos arbusculares nativos de Cerrado associados a aplicação de estimulante de colonização micorrízica nas culturas do algodão e do milho. Em casa de vegetação foram cultivadas plantas de algodão e milho em vaso, em delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial 7 x 2, sendo 5 espécies de fungos micorrízicos arbusculares, inoculação conjunta (junção de todas as espécies em igual proporção) e Testemunha (sem inoculação) na presença ou ausência de estimulante da colonização micorrízica e 5 repetições. Foram avaliados densidade de esporos, taxa de colonização micorrízica, massa seca da parte aérea, massa seca da raiz e acúmulo de cálcio, zinco e fósforo na parte aérea. Conclui-se os fungos micorrízicos arbusculares mostraram efeitos diferenciado para o algodão e milho, que *Gigaspora margarita* e a inoculação conjunta de fungos micorrízicos no algodão e *Claroideoglomus etunicatus* no milho incrementaram a absorção de Ca, Zn e P e consequentemente aumentaram a matéria seca da parte aérea e de raízes no algodão e que a aplicação de estimulante da micorrização proporcionou maior desenvolvimento inicial no milho e algodão na testemunha e quando associado com a inoculação com diferentes fungos micorrízicos os resultados foram diversificados.

Palavras-chave: *Zea mays*; *Gossypium hirsutum* L., Formononetina, Micorriza.

ABSTRACT

Mycorrhizal fungi are important components of agroecosystems key element for crop production of cotton and maize. In this sense the aim of this study was to evaluate the effects of inoculation with mycorrhizal fungi native of Cerrado associated with application of mycorrhizal stimulant colonização in cotton and maize. In greenhouse plants of cotton and maize were grown in pots in a completely randomized design in a factorial 2 x 7, 5 species of arbuscular mycorrhizal fungi, inoculation joint (junction of all species in equal proportion) and control (without inoculation) in the presence or absence of stimulating mycorrhizal and 5 replications. Spore density, rate of mycorrhizal colonization, dry mass of shoot, root and accumulation of calcium, zinc and phosphorus in the shoot was determined. It follows the mycorrhizal fungi showed differential effects for cotton and maize, which *Gigaspora margarita* and joint inoculation of mycorrhizal fungi in cotton and maize *Claroideoglossum etunicatus* increased the absorption of Ca, Zn and P and consequently increased the dry matter of shoot and roots in cotton and that the application of stimulating mycorrhiza caused greater initial development in maize and cotton in the control and when associated with inoculation with different mycorrhizal fungi results were diverse.

Key words: *Zea mays*; *Gossypium hirsutum* L., Formononeti, Mycorrhiza.

3.1 INTRODUÇÃO

Os fungos micorrizicos arbusculares (FMAs), pertencentes ao filo Glomeromycota são importantes componentes do agroecossistema, desempenhando vários serviços ecológicos, como a maior absorção de água e nutrientes pelas plantas (Siqueira et al., 2002; Moreira & Siqueira, 2006; Carrenho et al., 2010). Esse aumento acontece devido às hifas dos FMAs colonizarem com maior eficiência o solo além da zona de influência das raízes absorvendo água e nutrientes, em especial dos de baixa mobilidade, como o fósforo (P) (Siqueira et al., 2002; Berbara et al., 2006; Moreira & Siqueira, 2006; Cardoso et al., 2010; Marschner, 2012; Stürmer & Siqueira, 2013). Estima-se que a contribuição dos FMAs na absorção de P seja 80% (Marschner & Dell, 1994).

Essa associação ocorre inicialmente pela comunicação entre os parceiros envolvidos, através de troca de sinais bioquímicos (Parniske, 2008), tendo um forte destaque o isoflavonóide formononetina (Nair et al., 1991; Siqueira et al., 1991). Desta forma a utilização de formononetina como estimulante da colonização micorrízica (ECM) pode promover colonização micorrízica mais rápida (Siqueira et al., 2002).

Nesse contexto destacam-se as associações micorrízicas entre FMAs e as culturas do algodão e do milho, que tem alta dependência micorrízica (Carrenho et al., 2010). Estas culturas apresentam grande importância econômica e são dependentes de entradas de recursos no sistema como os fertilizantes fosfatados. Neste sentido a adoção de estratégias de maximização dos recursos naturais utilizando FMAs podem promover a redução de custos e aumento da produção (Davies et al., 2005; Fraser et al., 2009).

Nesse sentido o objetivo deste estudo foi avaliar os efeitos da inoculação com fungos micorrízicos arbusculares nativos de Cerrado associados a aplicação de estimulante de colonização micorrízica nas culturas do algodão e do milho.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na casa de vegetação do Departamento de

Ciência do Solo, da Universidade Federal de Lavras, MG, com FMAs coletados em área sob plantio direto de Cerrado (17° 56' 35" S; 51° 43' 38" W, 672 m de altitude) há mais de 10 anos. O delineamento experimental adotado foi inteiramente casualizado, em esquema fatorial 7 x 2, sendo 5 espécies de FMAs, Inoculação Conjunta (junção de todas as espécies em igual proporção) e Testemunha (sem inoculação) na presença ou ausência de estimulante de colonização micorrizica (ECM) e 5 repetições.

Os esporos de FMAs das espécies *Acaulospora scrobiculata*, *Claroideoglossum etunicatus*, *Dentiscutata heterogama*, *Gigaspora margarita* e *Rhizophagus clarus*, foram isolados e multiplicados em vaso de cultivo utilizando *Brachiaria brizantha* como planta hospedeira por 8 meses. Após este período foram extraídos esporos através de peneiramento úmido (Gerdemann & Nicolson, 1963) seguido de centrifugações em água por três minutos em sacarose a 50% por dois minutos (Jenkins, 1964).

Para o presente estudo foi coletado um Latossolo Vermelho distrófico da camada subsuperficial (na profundidade 60 a 80 cm) que foi acondicionado em vasos com capacidade 1,5 kg. A análise química e granulométrica após a correção (aplicou-se 1,2 t ha⁻¹ de calcário incubado por 60 dias úmido) revelou pH 6,3 (H₂O), K= 12,00 mg dm⁻³; P (Mehlich 1)= 0,01 mg dm⁻³; Ca= 2,10 cmol_c dm⁻³; Mg= 0,50 cmol_c dm⁻³; Al = 0,01 cmol_c dm⁻³; H+Al= 1,86 cmol_c dm⁻³ argila= 690 g kg⁻¹; silte= 140 g kg⁻¹ e areia= 170 g kg⁻¹. Também foi determinado a densidade de esporo (DE), metodologia de extração de esporos descrita acima e contagem de esporos em lupa, do solo no início do estudo encontrando-se em torno de 5 esporos por 50 mL de solo, não sendo as espécies identificadas.

A adubação utilizada nas culturas foi feita de acordo com Sousa & Lobato (2004), sendo considerando apenas 50% da adubação fosfatada recomendada, aplicando-se 125, 100, 80 e 80, 120 e 60 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ e K₂O no algodão e no milho, respectivamente e de 2; 10; 0,01; 0,03; 1 e 0,02 kg ha⁻¹ de zinco, magnésio, boro, cobre, manganês e molibdênio, respectivamente. Durante o desenvolvimento da cultura, foi aplicado fungicida tendo como ingrediente ativo azoxistrobina (200 g L⁻¹) e ciproconazol (80 g L⁻¹).

As sementes de algodão utilizadas foram da cultivar FMT 701 e do milho foram do híbrido simples cultivar 30S31. No ato da semeadura as sementes foram desinfestadas por 30 segundos em álcool, dois minutos em hipoclorito de sódio a 2% e posteriormente lavadas em água estéril. Após a desinfestação metade das sementes foram colocadas em saco plástico onde foi adicionado o composto formononetima (Myconate®),

2,8 g por kg de semente para milho e 0,9 g por kg de semente para algodão, e agitadas vigorosamente. Três sementes foram colocadas em cada vaso e em cima de cada semente aplicou-se 1 mL de solução contendo 100 esporos de cada espécie de fungo micorrizico arbuscular (FMA), exceção ao tratamento da Inoculação Conjunta que recebeu 1 mL de uma solução com igual proporção das espécies e na mesma quantidade de esporos de FMAs.

Em cada vaso permitiu-se o crescimento de duas plantas para algodão e uma planta para milho e a umidade foi mantida em 60% do volume total de poros pesando os vasos a cada dois dias. O estudo foi conduzido até a época de florescimento de cada cultura, 45 a 50 dias para o algodão e milho, respectivamente. Na época do florescimento a parte aérea das plantas foi coletada, lavada em água destilada e acondicionadas em estufa de circulação forçada de ar a uma temperatura de 60⁰ C por 72 horas, obtendo assim a matéria seca da parte aérea. A parte aérea foi moída, após estar seca, em moinho tipo Wiley para determinação de nutrientes de acordo com Malavolta et al. (1997). As raízes foram lavadas e colocadas para secar em estufa de circulação forçada a 60⁰ C por 72 horas, obtendo-se a matéria seca de raízes.

Em cada vaso foi coletado 50 ml de solo, próximo às raízes para determinação da DE. Para determinação da colonização micorrízica retirou-se 1 g de raiz fresca que foi clarificada com KOH (Koske & Gemma, 1989), coloradas com azul de metila (Grace & Stribley, 1991) e avaliada pelo método da placa quadriculada (Giovannetti & Mosse, 1980).

Os dados experimentais foram submetidos a análises individuais e, posteriormente, à análise conjunta de variância, sob condições de homogeneidade das variâncias residuais, com aplicação do teste F, sendo apenas colonização micorrizica e densidade de esporos transformados pela equação $(x + 0,5)^{0,5}$. Para as comparações entre as médias dos tratamentos, foi utilizado o teste Scott-Knott a 5%, utilizando o programa SISVAR.

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A colonização micorrízica (Figura 1) variou somente em função da inoculação com os diferentes fungos micorrízicos observando valores baixos, em torno de 20%, para a maioria dos fungos micorrízicos arbusculares inoculados, com exceção dos tratamentos

com *R. clarus* e Inoculação Conjunta no algodão. No milho a colonização micorrízica observada foi maior quando inoculado com *D. heterogama* e Inoculação Conjunta diferindo significativamente ($p \leq 0,05$) dos demais tratamentos. A colonização micorrízica observada no presente estudo está coerente com os resultados de vários estudos com estas culturas (Reis et al., 2008; Ortas, 2012), demonstrando a micotrofia das plantas estudadas e que a colonização não foi inibida pela adubação utilizada.

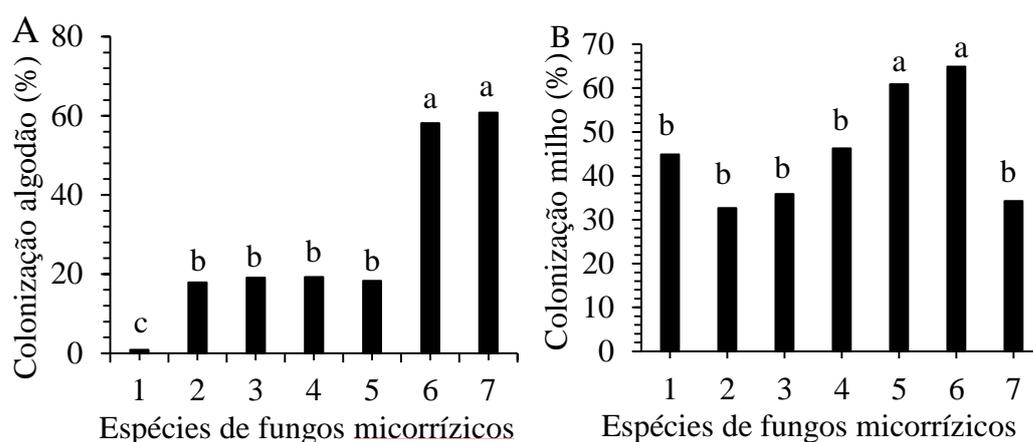


Figura 1. Colonização micorrizica de algodão cultivar FMT 701 (A) e milho Híbrido simples cultivar 30S31 (B) cultivados em Latossolo Vermelho distrófico. 1 – Testemunha; 2 – *Claroideoglomus etunicatus*; 3- *Acaulospora scrobiculata*; 4 - *Gigaspora margarita*; 5 – *Dentiscutata heterogama*; 6- Inoculação Conjunta; 7 – *Rhizophagus clarus*

Sabe-se que FMAs não possuem especificidade quanto ao hospedeiro mas nota-se certa preferência da cultura em relação à espécie de FMAs, os quais diferem na maneira e na intensidade com que colonizam as raízes (Miranda et al., 2005) e, conseqüentemente, nos resultados obtidos por diferentes espécies de FMAs (Miranda et al., 2005) o que poderia explicar as maiores taxas de colonização por *R. clarus* (algodão) e *D. heterogama* (milho). Com relação a Inoculação Conjunta a maior diversidade pode ter proporcionado efeitos complementares entre as espécies de FMAs que compuseram a comunidade ou ter permitido que determinada espécie mais eficiente predominasse (Van Der Heijden et al., 1998; Hooper et al., 2005; Miranda et al., 2005; Lekberg et al., 2007; Maherali & Klironomos, 2007).

Para ambas as culturas a DE (Tabela 1) não foi significativa variando de 4 a 12 esporos por 50 dm^{-3} de solo para algodão e de 8 as 23 esporos para o para milho. A baixa quantidade de esporos produzidos pode estar relacionada a ausência de condições

estressantes para o fungo e planta durante o presente estudo, conforme relatado em vários estudos (Dalpé & Declerck, 2002; Moreira & Siqueira, 2006).

Tabela 1. Densidade de esporo de algodão cultivar FMT 701 e milho Híbrido simples cultivar 30S31, sem estimulante de colonização micorrizica (SECM) e com estimulante de colonização micorrizica (CECM) formononetina

Fungo	SE	CE	SE	CE
Densidade de esporo				
	Algodão		Milho	
<i>Acaulospora scrobiculata</i>	9,6	10,4	15,2	18
<i>Claroideoglossum etunicatus</i>	10,2	5,6	11,2	8,8
<i>Dentiscutata heterogama</i>	9,4	11,2	16,6	23
<i>Gigaspora margarita</i>	5,6	7,2	15	18
<i>Rhizophagus clarus</i>	13,2	9,8	14,6	10,6
Inoculação Conjunta	5,6	6,6	13,8	13
Testemunha	4,6	8,6	8,4	14,4

Os FMAs utilizados neste estudo são de ocorrência generalizada em áreas de cultivo destas culturas conforme alguns estudos na área de Cerrado (Siqueira et al., 1989; Miranda et al., 2005; Ferreira et al., 2012) e o fato interessante observado no presente estudo foi o comportamento diferenciado da resposta da inoculação com FMAs nas duas culturas estudadas. Estes resultados são devidos principalmente à condição de dependência micorrízica da planta em função do nível de fertilidade do solo.

A matéria seca da parte aérea (MSPA) foi influenciada pela interação entre os fatores estudados, sendo observado para a cultura do algodão redução na MSPA quando inoculado com *D. heterogama* e *R. clarus* diferenciando dos demais fungos independentemente da aplicação de estimulante da micorrização (Tabela 2). Devido a existência de preferencialidade (Moreira & Siqueira, 2006) não é apropriado assumir que associação estimula sempre o crescimento de planta (Klironomos, 2003) devendo ser levado em considerações vários fatores como a combinação entre espécies de FMAs e de plantas.

Tabela 2. Massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca da raiz (MSR) de algodão cultivar FMT 701 e milho Híbrido simples cultivar 30S31, sem estimulante de colonização micorrizica (SECM) e com estimulante de colonização micorrizica (CECM) formononetina

Fungo	SECM	CECM	SECM	CECM
MSPA (g vaso ⁻¹)				
	Algodão		Milho	
<i>Acaulospora scrobiculata</i>	3,05 aA	2,83 aA	8,83 dA	9,02 dA
<i>Claroideoglo mus etunicatus</i>	2,76 aA	2,81 aA	13,95 aA	11,07 cB
<i>Dentiscutata heterogama</i>	1,48 bA	1,97 bA	4,46 dB	9,67 dA
<i>Gigaspora margarita</i>	2,86 aA	2,72 aA	8,58 cB	12,41 bA
<i>Rhizophagus clarus</i>	1,97 bA	2,30 bA	10,42 cB	12,72 bA
Inoculação Conjunta	3,17 aA	2,93 aA	11,51 cA	11,19 cA
Testemunha	1,76 bB	3,36 aA	12,46 bB	13,89 aA
MSR (g vaso ⁻¹)				
	Algodão		Milho	
<i>Acaulospora scrobiculata</i>	0,33 bA	0,38 cA	4,69 aA	5,72 bA
<i>Claroideoglo mus etunicatus</i>	0,37 aA	0,39 cA	3,43 bA	4,67 bA
<i>Dentiscutata heterogama</i>	0,40 aA	0,41 cA	1,66 cB	5,70 bA
<i>Gigaspora margarita</i>	0,37 aA	0,37 cA	3,09 bB	7,57 aA
<i>Rhizophagus clarus</i>	0,32 bB	0,51 bA	3,95 aB	5,20 bA
Inoculação Conjunta	0,45 aB	0,62 aA	2,95 bB	5,09 bA
Testemunha	0,29 bB	0,37 cA	1,85 cB	4,69 bA

Letras iguais maiúsculas na linha e minúscula na coluna não diferem pelo teste Scott-Knott a 5%.

Nota-se que na ausência de inoculação com FMA (testemunha) o estimulante de colonização micorrizica promoveu incrementos na MSPA de 90% apresentando valores semelhantes aos tratamentos inoculados com FMAs. Como o solo não foi esterilizado e encontrou-se em torno de 5 esporos de FMAs por 50 dm⁻³ de solo, o estimulante pode ter estimulado a associação simbiótica proporcionado aumento. Na cultura do milho, Romero (1999) observou aumento de 28% na produção quando da utilização de ECM. Santos (2014), usando o isoflavonoide formononetina em condições de campo na cultura do milho, observou que este estimulou a taxa de colonização micorrizica elevando a produtividade de milho. Nesse mesmo estudo foi observado que este ECM também

proporciona redução da necessidade de adubo fosfatado.

Para o milho o estimulante promoveu incrementos de MSPA quando associado à inoculação com *D. heterogama*, *G. margarita* e *R. clarus* diferenciando significativamente ($p \leq 0,05$) dos demais tratamentos. Assim como observado para o algodão, o tratamento testemunha foi maior quando utilizou-se o estimulante da micorrização. No tratamento sem estimulante e inoculado com *C. etunicatus* houve aumento de MSPA em relação aos demais tratamentos sendo que na presença de estimulante os tratamentos testemunha e inoculado com *G. margarita* e *R. clarus* apresentaram maiores valores de MSPA.

Na matéria seca de raízes do algodão (MSR) no tratamento sem aplicação de estimulante observou-se redução quando inoculado com *A. scrobiculata* e *R. clarus* sendo semelhante a testemunha (Tabela 2), já quando aplicou-se estimulante somente o tratamento Inoculação Conjunta foi maior que os demais tratamentos e que a testemunha apresentando um incremento de 68 % em relação a este tratamento. Para o fator estimulante, quando aplicou-se estimulante somente os tratamentos com *R. clarus*, Inoculação Conjunta e a testemunha apresentaram maiores MSR diferindo significativamente do tratamento sem estimulante ($p \leq 0,05$).

Para o milho verifica-se que plantas inoculadas com *A. scrobiculata* e *C. etunicatus* e que receberam estimulantes apresentaram incrementos de 22 e 36 %, respectivamente, diferindo significativamente dos demais tratamentos (Tabela 2). Na presença de estimulante associado a inoculação com *G. margarita* no milho houve aumento da MSR diferindo significativamente dos demais tratamentos ($p \leq 0,05$).

O aumento de raízes da planta é uma estratégia para que a cultura tenha maior condição para suportar estresses ambientais, principalmente o hídrico, muito comum no Centro Oeste do Brasil. Neste sentido os tratamentos com estimulantes e inoculados com FMAs apresentaram em média aumento de 21 % na produção de MSR para a cultura do algodão e 72 % para a cultura do milho em relação a ausência da aplicação de estimulante, o que pode indicar um favorecimento a estresses hídricos para estas culturas.

O maior acúmulo de cálcio (Tabela 3) na ausência de estimulante ocorreu em plantas inoculadas com *C. etunicatus* e *A. scrobiculata* no milho e por *G. margarita* e Inoculação Conjunta no algodão. Quando utilizou-se estimulante não houveram diferenças significativas entre os FMAs estudados, sendo verificado valores menores que a Testemunha no algodão. No milho plantas inoculadas com *C. etunicatus* apresentaram

incremento de cálcio na MSPA. No algodão Testemunha e *D. heterogama* e no milho *R. clarus* e *D. heterogama* tiveram comportamento diferenciado e foram beneficiados pelo estimulante e pela micorrização.

Maior acúmulo de zinco (Tabela 3) na ausência de ECM foi promovido por Inoculação Conjunta, *G. margarita*, *C. etunicatus* e *A. scrobiculata* no algodão e no milho por *R. clarus*. Na presença de ECM foi promovido por *C. etunicatus*, *G. margarita* e Testemunha no algodão e por *C. etunicatus* no milho. A introdução de ECM proporcionou comportamento diferenciado e benéfico para *C. etunicatus*, *A. scrobiculata*, *D. heterogama* e Inoculação Conjunta no milho e *C. etunicatus* e Testemunha no algodão.

Maior acúmulo de fósforo (Tabela 3) na ausência de ECM foi promovido por *C. etunicatus*, *G. margarita*, *A. scrobiculata* e Inoculação Conjunta no algodão e no milho por *C. etunicatus*. Na presença de ECM foi promovido pela Testemunha no milho e não houve diferença entre os tratamentos no algodão. A introdução de ECM proporcionou comportamento diferenciado e benéfico para *R. clarus*, Testemunha e *D. heterogama* no algodão e por *D. heterogama* e Testemunha no milho.

Os resultados observados no presente estudo mostram que o efeito do estimulante da colonização micorrízica foi maior na testemunha que apresentava baixa densidade de esporos de FMAs nativos, tanto no algodão quanto no milho, o que de certa forma demonstra sua eficiência em estimular fungos micorrízicos nativos e estes promoverem maiores crescimentos das plantas, conforme outros estudos (Fries et al., 1998; Cordeiro, 2007; Ferreira, 2012; Ferreira et al., 2012; Santos, 2014).

O ECM no algodão parece ser benéfico, em especial, para comunidade nativa de FMAs, já para o milho a adição desse fator pareceu não beneficiar o sistema. Os melhores resultados no algodão podem estar ligados a sua alta dependência micorrízica (Carrenho et al., 2010) e no caso do milho essa resposta pode estar ligado a influência do genótipo utilizado (Oliveira et al., 2009; Campos et al., 2010) e da compatibilidade dos FMAs utilizados com a planta (Nogueira & Cardoso, 2000).

Na ausência e presença de estimulante, plantas de algodão foram beneficiadas com a inoculação com FMAs. Nota-se que plantas inoculadas com a Inoculação Conjunta de FMAs apresentaram maior colonização, absorção e acúmulo de zinco, cálcio e fósforo o que proporcionou maior desenvolvimento da parte aérea e de produção de raízes. A inoculação com *G. margarita*, *A. scrobiculata* e *C. etunicatus* também proporcionaram incrementos nas variáveis estudadas com exceção da colonização micorrízica. Diferente do

algodão, o milho apresentou comportamento diferente mas não se obteve uma relação de um determinado fungo que proporcionasse os melhores resultados.

Tabela 3. Acúmulo de cálcio, zinco e fósforo na parte aérea de algodão cultivar FMT 701 e milho Híbrido simples cultivar 30S31, sem estimulante de colonização micorrizica (SECM) e com estimulante de colonização micorrizica (CECM) formononetina

Fungo	SECM	CECM	SECM	CECM
Acúmulo de Cálcio (mg planta ⁻¹)				
	Algodão		Milho	
<i>Acaulospora scrobiculata</i>	26,16 bA	28,51 bA	54,92 aA	45,76 bA
<i>Claroideoglo mus etunicatus</i>	24,86 bA	28,67 bA	61,22 aA	54,67 bA
<i>Dentiscutata heterogama</i>	17,30 bB	28,05 bA	22,98 cB	51,82 bA
<i>Gigaspora margarita</i>	40,94 aA	32,39 bA	48,18 bA	51,01 bA
<i>Rhizophagus clarus</i>	21,86 bA	26,87 bA	44,56 bB	70,24 aA
Inoculação Conjunta	38,39 aA	32,00 bA	44,40 bA	46,31 bA
Testemunha	24,33 bB	40,77 aA	63,16 aA	41,62 bB
Acúmulo de Zinco (mg planta ⁻¹)				
	Algodão		Milho	
<i>Acaulospora scrobiculata</i>	57,39 aA	60,72 bA	86,10 bB	112,10 bA
<i>Claroideoglo mus etunicatus</i>	59,79 aB	85,71 aA	50,19 cB	250,61 aA
<i>Dentiscutata heterogama</i>	28,99 bA	44,11 bA	25,82 cB	97,47 bA
<i>Gigaspora margarita</i>	73,03 aA	74,51 aA	58,94 cA	73,17 cA
<i>Rhizophagus clarus</i>	44,41 bA	57,41 bA	203,01 aA	72,54 cB
Inoculação Conjunta	74,51 aA	57,69 bA	39,98 cB	60,12 dA
Testemunha	43,21 bB	71,87 aA	30,55 cA	46,14 dA
Acúmulo de Fósforo (mg planta ⁻¹)				
	Algodão		Milho	
<i>Acaulospora scrobiculata</i>	2,67 aA	2,84 aA	13,98 cA	16,94 cA
<i>Claroideoglo mus etunicatus</i>	3,04 aA	2,33 aA	24,62 aB	21,31 bA
<i>Dentiscutata heterogama</i>	1,19 bB	2,19 aA	10,34 dB	16,54 cA
<i>Gigaspora margarita</i>	2,91 aA	2,41 aA	18,65 bA	19,79 bA
<i>Rhizophagus clarus</i>	2,07 bB	2,99 aA	17,13 bA	20,15 bA
Inoculação Conjunta	2,62 aA	2,55 aA	17,86 bA	17,23 cA

Testemunha	1,69 bB	2,64 aA	19,38 bB	24,29 aA
------------	---------	---------	----------	----------

Letras iguais maiúsculas na linha e minúscula na coluna não diferem pelos teste Scott-Knott a 5%.

A maior colonização promovida por *R. clarus* e Inoculação Conjunta no algodão e por *D. heterogama* no milho não proporcionou maior acúmulo de nutrientes e nem e maior crescimento, corroborando com os resultado obtidos por Martins et al. (2000) e Soares & Martins (2000). Não se sabe o nível ótimo de colonização para se obter benefícios para planta, e se essa varia segundo a espécie de simbioses envolvidos e as características do sistemas investigado (Cardoso et al., 2010).

3.4 CONCLUSÕES

Os fungos micorrízicos arbusculares mostraram efeitos diferenciados para o algodão e milho.

A *Gigaspora margaritata* e a Inoculação Conjunta de fungos micorrízicos no algodão e *Claroideoglomues etunicatus* no milho incrementaram a absorção de cálcio, zinco e fósforo e conseqüentemente aumentaram a matéria seca da parte aérea e das raízes de algodão;

A aplicação de estimulante de micorrização proporcionou maior desenvolvimento inicial no milho e algodão na testemunha e quanto associado com a inoculação com diferentes fungos micorrízicos os resultados foram diversos.

3.5 REFERÊNCIAS

BERBARA, R. L. L.; SOUZA, F. A.; FERNADES, M. S. Fungos micorrízicos arbusculares: muito além da nutrição. In: FERNANDES, M. S. (Ed.). **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa: Sociendade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p. 53-88.

CAMPOS, D. T. S.; ANDRADE, J. A. C.; CASSIOLATO, A. M. R. Crescimento e micorrização de genótipos de milho em casa de vegetação. **Bragantia**, Campinas, v. 69, n. 3, p. 555-562, 2010.

CARDOSO, E. J. B. N.; CARDOSO, I. M.; NOGUEIRA, M. A.; BARETTA, C. R. D. M.; PAULA, A. M. Micorrizas arbusculares na aquisição de nutrientes pelas plantas. In: SIQUEIRA, J. O.; SOUZA, F. A.; CARDOSO, E. J. B. N.; TSAI, S. M. (Ed.). **Micorrizas: 30 anos de pesquisa no Brasil**. Lavras: UFLA, 2010. p. 153-214.

CARRENHO, R.; GOMES-DA-COSTA, S. M.; BALOTA, É. L.; COLOZZI-FILHO, A. Fungos micorrízicos arbusculares em agrossistemas brasileiros. In: SIQUEIRA, J. O.; SOUZA, F. A.; CARDOSO, E. J. B. N.; TSAI, S. M. (Ed.). **Micorrizas: 30 anos de pesquisa no Brasil**. Lavras: UFLA, 2010. p. 215-249.

CORDEIRO, M. A. S. **Avaliação da eficácia do Mycoform® (isoflavonóide formononetina) via peliculização de sementes na colonização micorrízica e produtividade da soja no Centro-Oeste**. 2007. 70 f. Dissertação (Mestre)—Departamento de Ciência do Solo, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2007.

DALPÉ, Y.; DECLERCK, S. Development of *Acaulospora rehmi* spore and hyphal swellings under root-organ culture. **Mycologia**, New York, v. 94, n. 5, p. 850-855, 2002. Disponível em: <<Go to ISI>://WOS:000178384200013>. Article.

DAVIES, F. T.; CALDERÓN, C. M.; HUAMAN, Z.; GÓMEZ, R. Influence of a flavonoid (formononetin) on mycorrhizal activity and potato crop productivity in the highlands of Peru. **Scientia horticulturae**, Amsterdam, v. 106, n. 3, p. 318-329, 2005.

FERREIRA, D. A. **Avaliação da eficácia de estimulante de micorrização em soja e milho em diferentes doses de fosfato no solo**. 2012. Dissertação (Mestrado em Agronomia)—Programa de Pós-graduação em Agronomia, Universidade Federal de Goiás, Campus de Jataí, Jataí, 2012.

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

FRASER, T.; NAYYAR, A.; ELLOUZE, W.; PEREZ, J.; HANSON, K.; GERMIDA, J.; BOUZID, Z.; HAMEL, C. Arbuscular mycorrhiza: where nature and industry meet. In: KHASA, D.; PICHÉ, Y.; COUGHLAN, A. P. (Ed.). **Advances in Mycorrhizal Science and Technology**. Ottawa: NRC Research Press, 2009. p. 71-86. 5 cap.

FRIES, L. L. M.; PACOVSKY, R. S.; SAIR, G. R. Influence of phosphorus and formononetin on isozyme expression in the *Zea mays* - *Glomus intraradices* symbiosis. **Physiologia Plantarum**, Helsinki, v. 103, n. 2, p. 172-180, 1998.

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

GIOVANNETTI, M.; MOSSE, B. An evaluation of techniques to measure vesicular-arbuscular mycorrhizal infection in roots. **New Phytologist**, Cambridge, v. 84, n. 3, p. 489-500, 1980.

GRACE, C.; STRIBLEY, D. P. A safer procedure for routine staining of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. **Mycological Research**, Cambridge, v. 95, n. 10, p. 1160-1162, 1991.

HOOPER, D. U.; CHAPIN, F. S.; EWEL, J. J.; HECTOR, A.; INCHAUSTI, P.; LAVOREL, S.; LAWTON, J. H.; LODGE, D. M.; LOREAU, M.; NAEEM, S.; SCHMID, B.; SETALA, H.; SYMSTAD, A. J.; VANDERMEER, J.; WARDLE, D. A. Effects of

biodiversity on ecosystem functioning: A consensus of current knowledge. **Ecological Monographs**, Lawrence, v. 75, n. 1, p. 3-35, 2005. Disponível em: <<Go to ISI>://WOS:000227254000001>.

JENKINS, W. R. A rapid centrifugal-flotation technique for separationg nematodes from soil. **Plant Disease Reporter**, Washington, v. 48, n. 9, p. 692, 1964.

KLIRONOMOS, J. N. Variation in plant response to native and exotic arbuscular mycorrhizal fungi. **Ecology**, Tempe, v. 84, n. 9, p. 2292-2301, 2003. Disponível em: <<Go to ISI>://WOS:000185226100006>.

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

LEKBERG, Y.; KOIDE, R. T.; ROHR, J. R.; ALDRICH-WOLFE, L.; MORTON, J. B. Role of niche restrictions and dispersal in the composition of arbuscular mycorrhizal fungal communities. **Journal of Ecology**, Oxford, v. 95, n. 1, p. 95-105, 2007. Disponível em: <<Go to ISI>://WOS:000242791300010>.

MAHERALI, H.; KLIRONOMOS, J. N. Influence of phylogeny on fungal community assembly and ecosystem functioning. **Science**, Washington, v. 316, n. 5832, p. 1746-1748, 2007. Disponível em: <<Go to ISI>://WOS:000247400500047>.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: Associação Brasileira para a Pesquisa da Potassa e do Fósforo, 1997, 319 p.

MARSCHNER, H.; DELL, B. Nutrient uptake in mycorrhizal symbiosis. **Plant and Soil**, The Hague, v. 159, p. 89-102, 1994.

MARSCHNER, P. Rhizosphere biology. In: MARSCHNER, P. (Ed.). **Mineral nutrition of higher plants**. 3 ed. London: Elsevier/Academic Press, 2012. p. 369-388. 15 cap.

MARTINS, M. A.; GONÇALVES, G. F.; SOARES, A. C. F. Efeito de fungos micorrízicos arbusculares associados a compostos fenólicos, no crescimento de mudas de mamoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 07, p. 1465-1471, 2000.

MIRANDA, J. C. C.; VILELA, L.; MIRANDA, L. N. Dinâmica e contribuição da micorriza arbuscular em sistemas de produção com rotação de culturas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 10, p. 1005-1014, 2005.

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

NAIR, M. G.; SAFIR, G. R.; SIQUEIRA, J. O. Isolation and identification of vesicular-arbuscular mycorrhiza-stimulatory compounds from clover (*Trifolium repens*) roots. **Applied and Environmental Microbiology**, Washington, v. 57, n. 2, p. 434-439, 1991. Disponível em: <<Go to ISI>://WOS:A1991EV64700015>.

NOGUEIRA, M. A.; CARDOSO, E. J. B. N. Produção de micélio externo por fungos micorrízicos arbusculares e crescimento da soja em função de doses de fósforo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, n. 2, p. 329-338, 2000.

OLIVEIRA, C. A.; SA, N. M. H.; GOMES, E. A.; MARRIEL, I. E.; SCOTTI, M. R.; GUIMARAES, C. T.; SCHAFFERT, R. E.; ALVES, V. M. C. Assessment of the mycorrhizal community in the rhizosphere of maize (*Zea mays* L.) genotypes contrasting for phosphorus efficiency in the acid savannas of Brazil using denaturing gradient gel electrophoresis (DGGE). **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 41, n. 3, p. 249-258, 2009. Disponível em: <<Go to ISI>://WOS:000264576300002>.

ORTAS, I. The effect of mycorrhizal fungal inoculation on plant yield, nutrient uptake and inoculation effectiveness under long-term field conditions. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 125, p. 35-48, 2012. Disponível em: <<Go to ISI>://WOS:000300078200005>.

PARNISKE, M. Arbuscular mycorrhiza: the mother of plant root endosymbioses. **Nature Reviews Microbiology**, London, v. 6, n. 10, p. 763-775, 2008. Disponível em: <<Go to ISI>://WOS:000259217200024>.

REIS, E. F.; CARNEIRO, M. A. C.; SAGGIN-JÚNIOR, O. J.; ROTTA, D. A.; SOUSA, M. Y. Absorção de fósforo em doze genótipos de milho inoculados com fungo micorrízico arbuscular em solo de cerrado. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 9, p. 2441-2447, 2008.

ROMERO, A. G. F. **Avaliação agrônômica de formulações de isoflavonóide estimulante de micorrização no milho (*Zea mays* L.)**. 1999. 40 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas)–Departamento de Ciência do Solo, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1999.

SANTOS, J. V. **Biofertilizante formononetina (isoflavonóide) como estimulante de micorrização em milho para aumento de produtividade associada a eficiência do uso de fósforo em Minas Gerais**. 2014. 64 f. Tese (Doutor em Microbiologia Agrícola)–Programa de Pós-Graduação em Microbiologia Agrícola, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2014.

SIQUEIRA, J. O.; COLOZZI-FILHO, A.; OLIVEIRA, E. Ocorrência de micorrizas vesicular-arbusculares em agro e ecossistemas de Estado de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 24, n. 12, p. 1499-1506, 1989.

SIQUEIRA, J. O.; LAMBAIS, M. R.; STÜRMER, S. L. Fungos micorrízicos arbusculares: Características, associação simbiótica e aplicação na agricultura. **Biotecnologia Ciência e Desenvolvimento**, Brasília, n. 25, p. 12-21, 2002.

SIQUEIRA, J. O.; SAFIR, G. R.; NAIR, M. G. Stimulation of vesicular-arbuscular mycorrhiza formation and growth of white clover by flavonoid compounds. **New Phytologist**, Cambridge, v. 118, n. 1, p. 87-93, 1991. Disponível em: <<Go to ISI>://WOS:A1991FP19800009>.

SOARES, A. C. F.; MARTINS, M. A. Influência de fungos micorrízicos arbusculares, associada à adição de compostos fenólicos, no crescimento de mudas de maracujazeiro-

amarelo (*Passiflora edulis f. flavicarpus*). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, n. 4, p. 731-740, 2000.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. **Cerrado**: correção do solo e adubação. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004, 416 p.

STÜRMER, S. L.; SIQUEIRA, J. O. Fungos micorrízicos. In: MOREIRA, F. M. S. (Ed.). **O ecossistema solo**. Lavras: UFLA, 2013. p. 291-310.

VAN DER HEIJDEN, M. G. A.; KLIRONOMOS, J. N.; URSIC, M.; MOUTOGLIS, P.; STREITWOLF-ENGEL, R.; BOLLER, T.; WIEMKEN, A.; SANDERS, I. R. Mycorrhizal fungal diversity determines plant biodiversity, ecosystem variability and productivity. **Nature**, London, v. 396, n. 6706, p. 69-72, 1998. Disponível em: <<Go to ISI>://WOS:000076852700054>.

4 FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES E ESTIMULANTE DA COLONIZAÇÃO MICORRÍZICA NA CULTURA DO FEIJÃO E DA SOJA EM SOLO DE CERRADO

RESUMO

A adoção de recursos biológicos na agricultura como os fungos micorrízicos podem permitir menor dependência e melhor aproveitamento de recursos finitos. O objetivo deste estudo foi avaliar os efeitos da inoculação com fungos micorrízicos arbusculares nativos de Cerrado associados a aplicação de estimulante da micorrização no desenvolvimento da cultura do feijão e da soja. Em casa de vegetação foram cultivadas plantas de algodão e milho em vaso, em delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial 7 x 2, sendo 5 espécies de fungos micorrízicos arbusculares Inoculação Conjunta (junção de todas as espécies em igual proporção) e Testemunha (sem inoculação) na presença ou ausência de estimulante da colonização micorrízica e 5 repetições. Foram avaliados densidade de esporos, taxa de colonização micorrízica, massa seca da parte aérea, massa seca da raiz e acúmulo de cálcio, zinco e fósforo na parte aérea. Os fungos micorrízicos arbusculares mostraram efeitos diferenciado para o feijão e soja, maior taxa de colonização em feijão não resultou em aumento de produção e qualidade nutricional. Na soja em presença de estimulante de colonização micorrízica *Claroideoglomerum etunicatus* proporcionou maior taxa de colonização, aumento da massa seca da parte aérea e e acúmulo de cálcio e fósforo, a aplicação de estimulante da micorrização proporcionou efeitos diferenciado para o feijão e soja.

Palavras-chave: *Phaseolus vulgaris* L., *Glicine max* L, Formononetina; Micorriza.

ABSTRACT

The adoption of biological resources in agriculture as mycorrhizal fungi may allow less dependence and better improvement of finite resources. The aim of this study was to evaluate the effects of inoculation with mycorrhizal fungi associated with native Cerrado application of mycorrhiza stimulating the development of the common bean and soybean. In greenhouse plants of cotton and maize were grown in pots in a completely randomized design in a factorial 2 x 7, 5 species of arbuscular mycorrhizal fungi, inoculation joint (junction of all species in equal proportion) and control (without inoculation) in the presence or absence of stimulating mycorrhizal and 5 replications. Spore density, rate of mycorrhizal colonization, dry weight of shoot, root dry mass and accumulation of calcium, zinc and phosphorus in the aerial part was determined. The mycorrhizal fungi showed differential effects for beans and soybeans, higher colonization rate in bean has not resulted in increased production and nutritional quality. In the presence of soy in stimulating mycorrhizal colonization *Claroideoglossum etunicatus* provided higher colonization rate, increased dry weight of shoot and accumulation of calcium and phosphorus, the application of stimulating mycorrhiza gave different effects for beans and soybeans.

Key words: Phaseolus vulgaris L.; *Glicine max* L, Formononetin, Mycorrhiza.

4.1 INTRODUÇÃO

Importantes para comunidade vegetal como peça fundamental para superar as adversidades (Taylor et al., 1995; Fitter, 2005; Parniske, 2008), fungos micorrizicos arbusculares (FMAs) pertencentes ao filo Glomeromycota desempenham vários serviços ecológicos como a maior absorção de água e nutrientes pelas plantas em agroecossistema (Siqueira et al., 2002; Moreira & Siqueira, 2006; Carrenho et al., 2010).

Seu papel fundamental se encontra na promoção de crescimento vegetal pela melhoria de seu estado nutricional, por lançar suas hifas para explorar o solo possibilitando desta forma maior área de absorção de nutrientes é água, fato de grande importância para elementos de baixa mobilidade no solo, que estão além da zona de esgotamento da raiz como o fósforo (P) (Siqueira et al., 2002; Berbara et al., 2006; Moreira & Siqueira, 2006; Cardoso et al., 2010; Marschner, 2012; Stürmer & Siqueira, 2013). Desta forma esse organismo do solo permite não só a diminuição da utilização de recursos finitos, mas também sua melhor utilização no sistema (Davies et al., 2005; Fraser et al., 2009).

Essa associação ocorre inicialmente pela comunicação entre os parceiros envolvidos, através de troca de sinais bioquímicos (Parniske, 2008), tendo um forte destaque o isoflavonóide formononetina (Nair et al., 1991; Siqueira et al., 1991). Desta forma a utilização de formononetina como estimulante da colonização micorrízica pode promover uma colonização micorrízica mais rápida e a planta beneficiar-se da simbiose (Siqueira et al., 2002).

Entretanto o estabelecimento da simbiose e os benefícios advindos dela dependem de uma série de fatores ligado ao próprio fungo, da espécie vegetal que é quem governa a simbiose e do ambiente edáfico e suas características intrínsecas (Siqueira et al., 2002; Moreira & Siqueira, 2006). Dessa forma a compreensão dessas complexas interações permitirá o uso dessa biotecnologia e avanço de forma consciente e até mais sustentável na agricultura (Siqueira et al., 2002; Davies et al., 2005; Fraser et al., 2009).

Uma das primeiras formas de melhor entender a simbiose para poder melhor utilizar e receber os benefícios proporcionados por ela, é compreender qual o melhor fungo micorrizico arbuscular (FMA) ou qual a melhor composição de uma comunidade de FMA

que se adaptará às diversas situações que serão usadas ou como manejar FMA nativos. Outra informação de suma importância é saber qual nível ideal de colonização da planta pelo fungo, que possa trazer benefícios sem altos custos para o vegetal.

O feijão e a soja são culturas de grande importância econômica e social na sociedade brasileira. Ambas pertencem a família das leguminosas e são dependentes de grande entradas de recursos para se obter altas produtividades. São espécies capazes de se associarem a bactérias fixadoras de nitrogênio, processo já estabelecido, em especial para a cultura da soja. Ambas são susceptíveis a simbiose tanto por bactérias quanto por FMA (Ané et al., 2004; Parniske, 2008). Entretanto essa associação com bactérias pode aumentar a demanda de fósforo pela cultura (Ané et al., 2004; Moreira & Siqueira, 2006), já que o processo de fixação exige grande gasto de energia podendo dessa forma a simbiose com FMA suprir essa demanda.

O objetivo deste estudo foi avaliar os efeitos da inoculação com fungos micorrízicos arbusculares nativos de Cerrado associados a aplicação de estimulante da micorrização no desenvolvimento da cultura do feijão e da soja.

4.2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na casa de vegetação do Departamento de Ciência do Solo, da Universidade Federal de Lavras, MG, com FMAs coletados em área sob plantio direto de Cerrado (17° 56' 35" S; 51° 43' 38" W, 672 m de altitude) há mais de 10 anos. O delineamento experimental adotado foi inteiramente casualizado, em esquema fatorial 7 x 2, sendo 5 espécies de FMAs, Inoculação Conjunta (junção de todas as espécies em igual proporção) e Testemunha (sem inoculação) na presença ou ausência de estimulante de colonização micorrizica (ECM) e 5 repetições.

Os esporos de FMAs das espécies *Acaulospora scrobiculata*, *Claroideoglobus etunicatus*, *Dentiscutata heterogama*, *Gigaspora margarita* e *Rhizophagus clarus*, foram isolados e multiplicados em vaso de cultivo utilizando *Brachiaria brizantha* como planta hospedeira por 8 meses. Após este período foram extraídos esporos através de peneiramento úmido (Gerdemann & Nicolson, 1963) seguido de centrifugações em água por três minutos em sacarose a 50% por dois minutos (Jenkins, 1964).

Para o presente estudo foi coletado um Latossolo Vermelho distrófico da camada subsuperficial (na profundidade 60 a 80 cm) que foi acondicionado em vasos com

capacidade 1,5 kg. A análise química e granulométrica após a correção (aplicou-se 1,2 t ha⁻¹ de calcário incubado por 60 dias úmido) revelou pH 6,3 (H₂O), K= 12,00 mg dm⁻³; P (Mehlich 1)= 0,01 mg dm⁻³; Ca= 2,10 cmol_c dm⁻³; Mg= 0,50 cmol_c dm⁻³; Al = 0,01 cmol_c dm⁻³; H+Al= 1,86 cmol_c dm⁻³ argila= 690 g kg⁻¹; silte= 140 g kg⁻¹ e areia= 170 g kg⁻¹. Também foi determinado a densidade de esporo (DE), metodologia de extração de esporos descrita acima e contagem de esporos em lupa, do solo no início do estudo encontrando-se em torno de 5 esporos por 50 mL de solo, não sendo as espécies identificadas.

A adubação utilizada nas culturas foi feita de acordo com Sousa & Lobato (2004) considerando 50% da adubação fosfatada recomendada, aplicando-se 40, 60, 60 e 0, 60 e 60 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ e K₂O no feijão e na soja, respectivamente e de 2; 10; 0,01; 0,03; 1 e 0,02 kg ha⁻¹ de zinco, magnésio, boro, cobre, manganês e molibdênio, respectivamente. Durante o desenvolvimento da cultura, foi aplicado fungicida tendo como ingrediente ativo azoxistrobina (200 g L⁻¹) e ciproconazol (80 g L⁻¹).

As sementes de feijão utilizadas foram da cultivar Pérola e de soja foi BMX Potencia RR. No ato do plantio as sementes foram desinfestadas por 30 segundo em álcool, dois minutos em hipoclorito de sódio a 2% e posteriormente lavadas em água estéril. Após a desinfestação metade das sementes foram colocadas em saco plástico onde foi adicionado o composto formononetima (Myconate®), 0,9 g por kg de semente para cada cultura e agitados vigorosamente. As sementes de soja foram inoculadas com inoculante líquido *Bradyrhizobium japonicum*, estirpe SMIA 5079 e 5080 com 5x10⁻⁹ células viáveis.ml⁻¹. Três sementes foram colocadas em cada vaso e em cima de cada semente aplicou-se 1 mL de solução contendo 100 esporos de cada espécie de FMAs, exceção ao tratamento da Inoculação Conjunta que recebeu 1 mL de uma solução com igual proporção das espécies e na mesma quantidade de esporos de FMAs.

Em cada vaso permitiu-se o crescimento de duas plantas para ambas as culturas e a umidade foi mantida em 60% do volume total de poros pesando os vasos a cada dois dias. O estudo foi conduzido até a época de florescimento correspondente a 50 e 55 dias para o feijão e a soja, respectivamente. Na época do florescimento parte aérea das plantas foi coletada, lavada em água destilada e acondicionada em estufa de circulação forçada de ar a uma temperatura de 60⁰ C por 72 horas, obtendo assim a matéria seca da parte aérea. A matéria parte aérea foi moída em moinho tipo Wiley para determinação de nutrientes de acordo com Malavolta et al. (1997). As raízes foram lavadas e colocadas para secar em estufa de circulação forçada a 60⁰ C por 72 horas, obtendo-se a matéria seca de raízes.

Em cada vaso foi coletado 50 ml de solo, próximo às raízes para determinação da DE. Para determinação da colonização micorrízica retirou-se 1 g de raiz fresca que foi clarificada com KOH (Koske & Gemma, 1989), coloradas com azul de metila (Grace & Stribley, 1991) e avaliada pelo método da placa quadriculada (Giovannetti & Mosse, 1980).

Os dados experimentais foram submetidos a análises individuais e, posteriormente, à análise conjunta de variância, sob condições de homogeneidade das variâncias residuais, com aplicação do teste F, sendo apenas colonização micorrízica e densidade de esporos transformados pela equação $(x + 0,5)^{0,5}$. Para as comparações entre as médias dos tratamentos, foi utilizado o teste Scott-Knott a 5%, utilizando o programa SISVAR.

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Apenas DE não foi influenciada pelo fator fungo para ambas as culturas. O ECM não influenciou massa seca do nódulo, colonização, DE e acúmulo de fósforo na soja e MSR, colonização e DE no feijão. Não houve interação para número de nódulos, massa seca de nódulo e DE na soja e para colonização e DE no feijão.

A DE para feijão (A), variou de 7 a 20 esporos por vaso, e para soja (B) variou de 6 a 11 esporos por vaso (Figura 1). Diversos fatores influenciam a produção de esporos. A baixa quantidade de esporos produzidos pode estar relacionada a ausência de condições estressantes para o fungo e planta durante o presente estudo, conforme relatado em vários estudos (Dalpé & Declerck, 2002; Moreira & Siqueira, 2006).

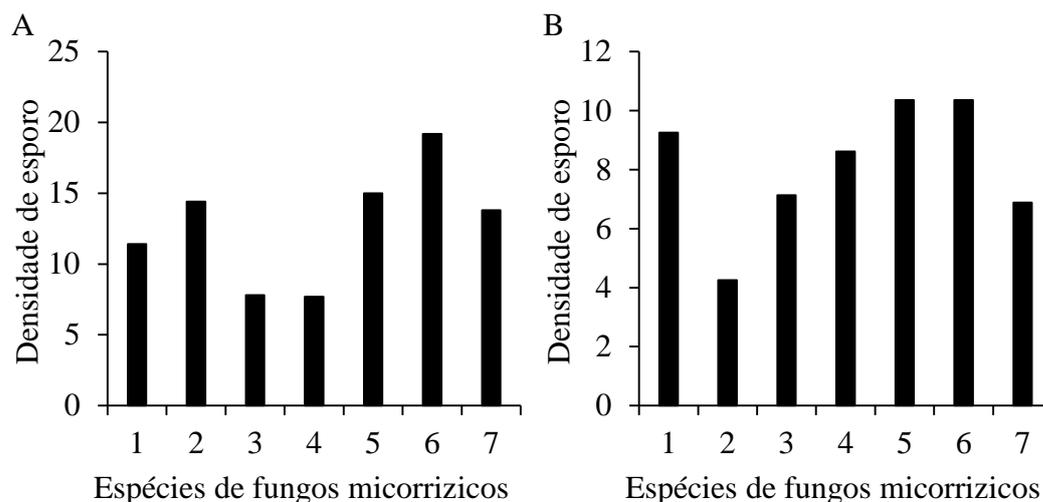


Figura 1. Densidade de esporos em feijão cultivar Perola (A) e soja cultivar BMX Potencia RR (B) cultivados em Latossolo Vermelho distrófico. 1 – Testemunha; 2 – *Claroideoglomus etunicatus*; 3- *Acaulospora scrobiculata*; 4 - *Gigaspora margarita*; 5 – *Dentiscutata heterogama*; 6- Inoculação Conjunta; 7 – *Rhizophagus clarus*

A colonização micorrizica no feijão (Figura 2.A) variou de 10 até 61%. Todos tratamentos foram superiores a Testemunha, sendo que *R. clarus* e a Inoculação Conjunta foram os que promoveram maior taxa de colonização. Maior número de nódulos nas soja (Figura 2.B) foi proporcionado pela Inoculação Conjunta, sendo os demais tratamentos iguais ou inferiores a Testemunha. A ausência de ECM trouxe maior benefício para o número de nódulos (Figura 2.C). Maior massa seca do nódulo (Figura 2.D) foi promovida por *D. heterogama* e Inoculação Conjunta. Os demais tratamentos seguiram o padrão do número de nódulos, exceção feita para a Testemunha que obteve número de nódulos igual *D. heterogama*, porém não obteve massa igual a este.

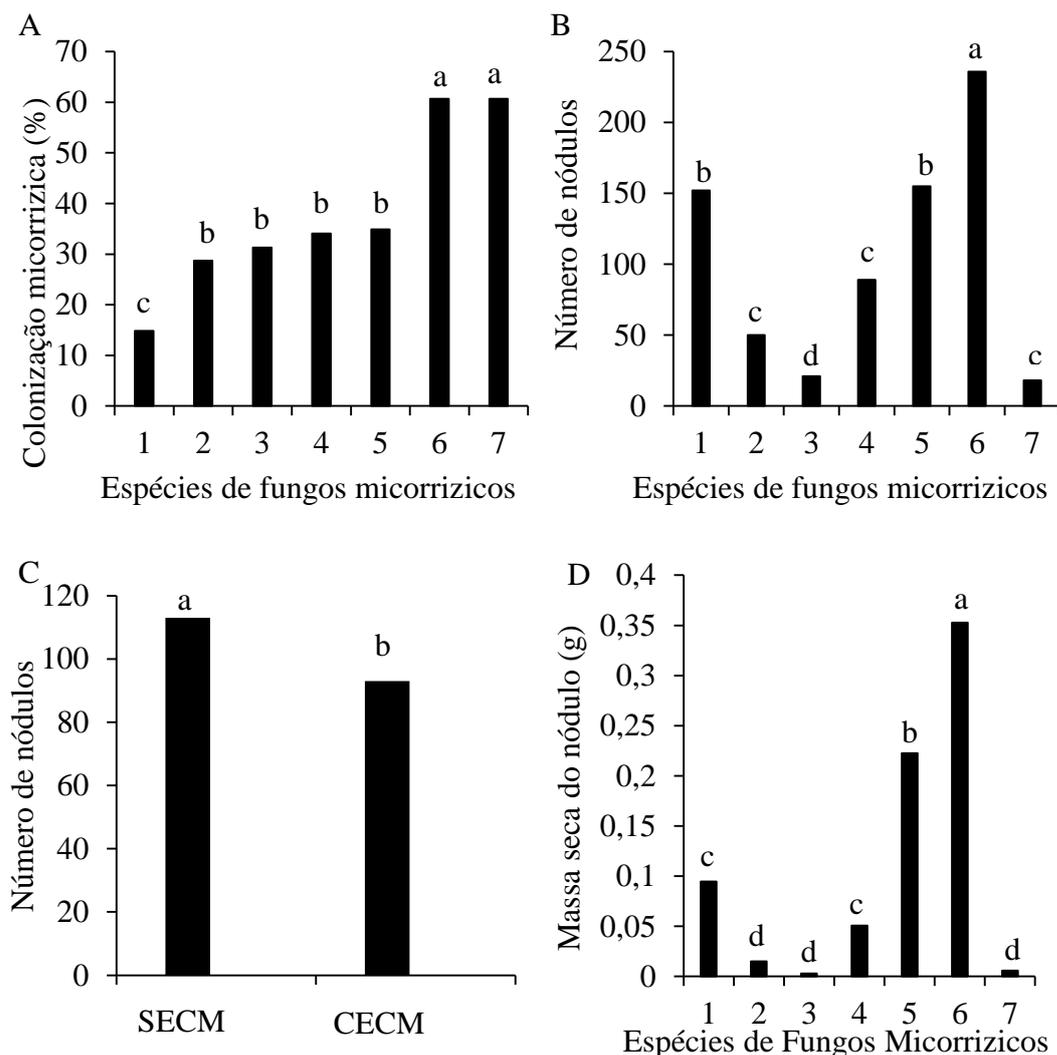


Figura 2. Colonização micorrizica de feijão cultivar Pérola (A), número de nódulos por raiz (B e C) e massa seca do nódulo (D) de soja cultivar BMX Potencia RR cultivado em Latossolo Vermelho distrófico sem estimulante de colonização micorrizica (SECM) e com estimulante de colonização micorriza (CECM). 1 – Testemunha; 2 – *Claroideoglossum etunicatus*; 3- *Acaulospora scrobiculata*; 4 - *Gigaspora margarita*; 5 – *Dentiscutata heterogama*; 6- Inoculação Conjunta; 7 – *Rhizophagus clarus*. Letras iguais minúscula não diferem pelos teste Scott-Knott a 5%

A na ausência de ECM não houve diferença na taxa de colonização na soja (Tabela 1), já na presença *C. etunicatus* foi o que promoveu maior taxa de colonização, sendo que os demais tratamentos não diferiram da Testemunha. *C. etunicatus* e Inoculação Conjunta tiveram comportamento diferenciado quando se adicionou ECM e foram beneficiados por esse.

A colonização micorrízica observada no presente estudo está coerente com os resultados de vários estudos com estas culturas (Reis et al., 2008; Ortas, 2012),

demonstrando a micotrofia das plantas estudadas e que a colonização não foi inibida pela adubação utilizada. Apesar de não haver especificidade nota-se certa preferência da cultura em relação à espécie de FMAs, que se diferem na maneira e na intensidade com que colonizam as raízes (Miranda et al., 2005) e, conseqüentemente, nos resultados obtidos por diferentes espécies de FMAs (Miranda et al., 2005). Com relação a Inoculação Conjunta a maior diversidade pode ter proporcionado efeitos complementares entre as espécies de FMAs que compuseram a comunidade ou ter permitido que determinada espécie mais eficiente predominasse (Van Der Heijden et al., 1998; Hooper et al., 2005; Miranda et al., 2005; Lekberg et al., 2007; Maherali & Klironomos, 2007).

Na ausência de ECM *G. margarita*, *A. scrobiculata* e *R. clarus* proporcionaram aumento da MSPA (Tabela 1), sendo que o primeiro FMA promoveu o melhor resultado no feijão. Na soja, com exceção da Inoculação Conjunta, todos FMA promoveram aumento da MSPA em relação a Testemunha, sendo os melhores resultados obtidos com a presença de *C. etunicatus* e *R. clarus*. Na presença de ECM todos os tratamentos promoveram incremento da MSPA no feijão, sendo o melhor resultado obtido com *G. margarita*. Na soja apenas *C. etunicatus* e *D. heterogama* promoveram aumento da MSPA. No feijão quatro tratamentos tiveram o comportamento modificado pela presença de ECM sendo que apenas a Testemunha não foi beneficiada. Na soja três tratamentos tiveram o comportamento modificado pela presença de ECM, mas apenas a Inoculação Conjunta foi beneficiada.

A MSR (Tabela 1) na ausência de ECM aumentou com a presença de *G. margarita*, *R. clarus*, *D. heterogama* e Inoculação Conjunta no feijão. Na soja todos os tratamentos, com exceção da Inoculação Conjunta, foram inferiores a Testemunha. Na presença de ECM apenas *A. scrobiculata* promoveu aumento da MRS no feijão, sendo os demais tratamentos iguais ou inferiores a Testemunha. Na soja *D. heterogama* e Inoculação Conjunta promoveram aumento da MSR, sendo o último o que permitiu o maior aumentos. No feijão quatro tratamento tiveram o comportamento modificado quando se adicionou ECM, sendo benéfico apenas *A. scrobiculata* e Testemunha, já na soja dois tratamento tiveram o comportamento modificado quando se adicionou ECM, não sendo nenhum beneficiado pela presença deste.

Tabela 1. Colonização micorrizica, massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca da raiz (MSR) de feijão cultivar Pérola e soja cultivar BMX Potencia RR, sem estimulante (SECM) e colonização micorrizica (SECM) e com estimulante de colonização

Fungo	SECM	CECM	SECM	CECM
Colonização				
	-		Soja	
<i>Acaulospora scrobiculata</i>	-	-	50,99 aA	45,57 bA
<i>Claroideoglo mus etunicatus</i>	-	-	37,63 aB	77,84 aA
<i>Dentiscutata heterogama</i>	-	-	44,68 aA	38,51 bA
<i>Gigaspora margarita</i>	-	-	49,26 aA	54,62 bA
<i>Rhizophagus clarus</i>	-	-	44,64 aA	33,69 bA
Inoculação Conjunta	-	-	27,78 aB	46,31 bA
Testemunha	-	-	33,75 aA	42,46 bA
MSPA (g vaso ⁻¹)				
	Feijão		Soja	
<i>Acaulospora scrobiculata</i>	2,31 bB	3,74 bA	2,55 bA	2,35 bA
<i>Claroideoglo mus etunicatus</i>	1,81 cA	1,64 dA	3,02 aA	2,72 aA
<i>Dentiscutata heterogama</i>	1,69 cB	2,28 cA	2,67 bA	2,57 aA
<i>Gigaspora margarita</i>	2,63 aB	4,06 aA	2,46 bA	1,98 bB
<i>Rhizophagus clarus</i>	2,28 bA	2,21 cA	3,02 aA	2,35 bB
Inoculação Conjunta	1,61 cA	1,59 dA	1,83 dB	2,33 bA
Testemunha	1,68 cA	1,33 eB	2,55 cA	2,18 bA
MSR (g vaso ⁻¹)				
	Feijão		Soja	
<i>Acaulospora scrobiculata</i>	0,47 bB	0,66 aA	0,14 eA	0,18 dA
<i>Claroideoglo mus etunicatus</i>	0,42 bA	0,47 cA	0,37 cA	0,37 cA
<i>Dentiscutata heterogama</i>	0,56 aA	0,55 bA	0,56 bA	0,53 bA
<i>Gigaspora margarita</i>	0,59 aA	0,46 cB	0,52 bA	0,31 cB
<i>Rhizophagus clarus</i>	0,58 aA	0,40 cB	0,22 dA	0,18 cA
Inoculação Conjunta	0,55 aA	0,59 bA	0,62 aA	0,61 aA
Testemunha	0,46 bB	0,56 bA	0,59 aA	0,34 cB

Letras iguais maiúsculas na linha e minúscula na coluna não diferem pelos teste Scott-Knott a 5%.

Na ausência de ECM maior acúmulo de cálcio (Tabela 2) foi proporcionado por *R. clarus* e *G. margarita* no feijão. Na soja apenas *G. margarita* e Inoculação Conjunta não proporcionaram maior acúmulo de cálcio. Na presença de ECM, no feijão, todos os tratamentos promoveram maior acúmulo de cálcio do que a Testemunha, sendo a *G. margarita* a que proporcionou maior acúmulo. Na soja *R. clarus* e *G. margarita* foram as únicas que não proporcionaram maior acúmulo de cálcio do que a Testemunha, sendo o maior acúmulo proporcionado por *C. etunicatus*. Comportamento diferenciado no feijão pela adição de ECM só não foi observado em *C. etunicatus*, e a adição desse foi benéfico apenas para *G. margarita*, *A. scrobiculata* e *D. heterogama* e na soja em quatro tratamentos, sendo benéfico apenas na Inoculação Conjunta.

Na ausência de ECM maior acúmulo de zinco (Tabela 2) só não foi promovido por *A. scrobiculata* e Inoculação Conjunta na cultura do feijão. Na soja maior acúmulo foi proporcionado por *A. scrobiculata*, *R. clarus*, *C. etunicatus*, sendo a primeira a que promoveu maior acúmulo. Na presença de ECM, *C. etunicatus* e Inoculação Conjunta foram inferiores a Testemunha, sendo *G. margarita* que proporcionou o maior acúmulo no feijão. Na soja todos os tratamentos foram inferiores, na promoção de acúmulo de zinco em relação a Testemunha. No feijão quatro tratamentos tiveram o comportamento diferenciado pelo fator ECM, sendo que apenas *G. margarita*, *A. scrobiculata* e *D. heterogama* foram beneficiadas. Na soja *D. heterogama*, Inoculação Conjunta e Testemunha tiveram o comportamento diferenciado pela presença de ECM e todas foram beneficiadas por esse.

Na ausência de ECM maior acúmulo de fósforo (Tabela 2) foi obtido por *R. clarus*, sendo que apenas *D. heterogama* e Inoculação Conjunta não foram superiores a Testemunha. Na soja *R. clarus* e *C. etunicatus* promoveram o maior acúmulo de fósforo e os demais não diferiram da Testemunha. Na presença de ECM maior acúmulo de fósforo no feijão foi promovido por *G. margarita* e todos os tratamentos promoveram maior acúmulo de fósforo que a Testemunha. Na soja apenas *R. clarus* e *G. margarita* não promoveram maior acúmulo de fósforo, porém os demais tratamentos foram iguais a Testemunha. No feijão somente *C. etunicatus* não teve o comportamento diferenciado pelo ECM, o qual não foi benéfico para *R. clarus* e Testemunha. Na soja três tratamentos tiveram comportamento diferenciado pelo ECM, sendo que este foi benéfico apenas para a Testemunha.

Tabela 2. Acúmulo de cálcio, zinco e fósforo na parte aérea de feijão cultivar Pérola e soja cultivar BMX Potencia RR, sem estimulante (SECM) e com estimulante (CECM) de micorrização formononetina

Fungo	SECM	CECM	SECM	CECM
Acumulo de Cálcio (mg planta ⁻¹)				
	Feijão		Soja	
<i>Acaulospora scrobiculata</i>	21,48 cB	32,41 bA	23,24 aA	22,15 bA
<i>Claroideoglossum etunicatus</i>	21,34 cA	19,28 eA	27,56 aA	27,09 aA
<i>Dentiscutata heterogama</i>	19,74 cB	27,70 cA	24,37 aA	24,17 bA
<i>Gigaspora margarita</i>	25,05 bB	38,58 aA	20,71 bA	16,95 cB
<i>Rhizophagus clarus</i>	32,81 aA	22,24 dB	25,61 aA	19,85 cB
Inoculação Conjunta	22,44 cA	18,95 eB	19,36 bB	23,45 bA
Testemunha	20,21 cA	14,90 fB	24,82 aA	20,29 cB
Acumulo de Zinco (mg planta ⁻¹)				
	Feijão		Soja	
<i>Acaulospora scrobiculata</i>	76,47 bB	117,75 bA	97,11 aA	85,26 bA
<i>Claroideoglossum etunicatus</i>	84,04 aA	73,83 eB	76,49 bA	78,56 cA
<i>Dentiscutata heterogama</i>	92,35 aB	106,27 cA	54,17 cB	72,48 cA
<i>Gigaspora margarita</i>	88,99 aB	142,12 aA	58,95 cA	57,27 cA
<i>Rhizophagus clarus</i>	97,99 aA	99,03 cA	77,38 bA	66,84 cA
Inoculação Conjunta	69,93 bA	62,67 fA	52,87 cB	70,90 cA
Testemunha	91,19 aA	86,46 dA	55,23 cB	105,47 aA
Acumulo de Fósforo (mg planta ⁻¹)				
	Feijão		Soja	
<i>Acaulospora scrobiculata</i>	3,34 bB	3,92 bA	1,91 bA	1,92 aA
<i>Claroideoglossum etunicatus</i>	2,91 cA	2,68 dA	2,21 aA	2,04 aA
<i>Dentiscutata heterogama</i>	2,47 dB	3,12 cA	1,95 bA	2,03 aA
<i>Gigaspora margarita</i>	3,18 bB	4,90 aA	1,85 bA	1,49 bB
<i>Rhizophagus clarus</i>	4,84 aA	3,38 cB	2,50 aB	1,66 bA
Inoculação Conjunta	2,07 eB	2,57 dA	1,82 bA	2,07 aA
Testemunha	2,66 dA	2,22 eB	1,78 bB	2,23 aA

Letras iguais maiúsculas na linha e minúscula na coluna não diferem pelos teste Scott-Knott a 5%.

No feijão as maiores taxas de colonização foram promovidas por *R. clarus* e Inoculação Conjunta, porém essa alta taxa não resultou em maior ganho de MSPA, tanto na presença quanto na ausência de ECM. Apesar do baixo ganho em massa *R. clarus* conseguiu promover uma melhor qualidade nutricional da planta, na ausência de ECM, proporcionando maior acúmulo de cálcio e zinco. O tratamento Inoculação Conjunta foi, de modo geral, um dos que menos promoveu benefício tanto na ausência quanto na presença de ECM. Na presença de ECM, *C. etunicatus* proporcionou maior taxa de colonização coincidindo com aumento da MSPA e acúmulo de cálcio e fósforo na soja.

A inoculação com *C. etunicatus*, tanto no feijão quanto na soja, não respondeu ao ECM. E os FMAs que mais foram influenciados por ECM no feijão foram *G. margarita*, *A. scrobiculata* e na soja foram Inoculação Conjunta e Testemunha. Quanto a compatibilidade entre os simbiontes, ressalta-se que os FMA que se destacaram para uma cultura não foram os mesmos para a outra cultura.

De modo geral os FMA nativos do próprio solo conseguiram ser iguais e em alguns casos até mesmo superiores a espécie de FMA inoculado demonstrando dessa forma que mesmo que se aumente a população de determinado FMA que se mostrou promissor na promoção do crescimento, diversos fatores, devem ser considerados, entre eles, a adaptação ao ambiente edáfico e a compatibilidade entre os simbiontes. Cardoso (1986) estudando FMA e tipos de solo, observou que determinado fungo pode se sair bem em um solo e já não ser favorável em outro solo, mesmo quando este apresenta condições para favorecê-lo.

4.4 CONCLUSÕES

Os fungos micorrízicos arbusculares mostram efeitos diferenciados para feijão e soja.

Maior taxa de colonização em feijão não resultou em aumento de produção e qualidade nutricional. Na soja em presença de estimulante de colonização micorrízica *C. etunicatus* proporcionou maior taxa de colonização, aumento de massa seca da parte aérea e acúmulo de cálcio e fósforo.

A aplicação de estimulante de micorrização proporcionou efeitos diferenciados para o feijão e soja.

4.5 REFERÊNCIAS

ANÉ, J. M.; KISS, G. B.; RIELY, B. K.; PENMETS, R. V.; OLDROYD, G. E. D.; AYAX, C.; LEVY, J.; DEBELLE, F.; BAEK, J. M.; KALO, P.; ROSENBERG, C.; ROE, B. A.; LONG, S. R.; DENARIE, J.; COOK, D. R. Medicago truncatula DMI1 required for bacterial and fungal symbioses in legumes. **Science**, Washington, v. 303, n. 5662, p. 1364-1367, 2004. Disponível em: <<Go to ISI>://WOS:000189238600050>.

BERBARA, R. L. L.; SOUZA, F. A.; FERNADES, M. S. Fungos micorrízicos arbusculares: muito além da nutrição. In: FERNANDES, M. S. (Ed.). **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p. 53-88.

CARDOSO, E. J. B. N. Eficiência de fungos micorrízicos vesículo-arbusculares em soja, com *Rhizobium japonicum* e fosfato de rocha, em função do tipo de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 10, p. 17-23, 1986.

CARDOSO, E. J. B. N.; CARDOSO, I. M.; NOGUEIRA, M. A.; BARETTA, C. R. D. M.; PAULA, A. M. Micorrizas arbusculares na aquisição de nutrientes pelas plantas. In: SIQUEIRA, J. O.; SOUZA, F. A.; CARDOSO, E. J. B. N.; TSAI, S. M. (Ed.). **Micorrizas: 30 anos de pesquisa no Brasil**. Lavras: UFLA, 2010. p. 153-214.

CARENHO, R.; GOMES-DA-COSTA, S. M.; BALOTA, É. L.; COLOZZI-FILHO, A. Fungos micorrízicos arbusculares em agrossistemas brasileiros. In: SIQUEIRA, J. O.; SOUZA, F. A.; CARDOSO, E. J. B. N.; TSAI, S. M. (Ed.). **Micorrizas: 30 anos de pesquisa no Brasil**. Lavras: UFLA, 2010. p. 215-249.

DALPÉ, Y.; DECLERCK, S. Development of *Acaulospora rehmii* spore and hyphal swellings under root-organ culture. **Mycologia**, New York, v. 94, n. 5, p. 850-855, 2002. Disponível em: <<Go to ISI>://WOS:000178384200013>. Article.

DAVIES, F. T.; CALDERÓN, C. M.; HUAMAN, Z.; GÓMEZ, R. Influence of a flavonoid (formononetin) on mycorrhizal activity and potato crop productivity in the highlands of Peru. **Scientia horticultrae**, Amsterdam, v. 106, n. 3, p. 318-329, 2005.

FITTER, A. H. Darkness visible: reflections on underground ecology. **Journal of Ecology**, Oxford, v. 93, n. 2, p. 231-243, 2005.

FRASER, T.; NAYYAR, A.; ELLOUZE, W.; PEREZ, J.; HANSON, K.; GERMIDA, J.; BOUZID, Z.; HAMEL, C. Arbuscular mycorrhiza: where nature and industry meet. In: KHASA, D.; PICHÉ, Y.; COUGHLAN, A. P. (Ed.). **Advances in Mycorrhizal Science and Technology**. Ottawa: NRC Research Press, 2009. p. 71-86. 5 cap.

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

GIOVANNETTI, M.; MOSSE, B. An evaluation of techniques to measure vesicular-arbuscular mycorrhizal infection in roots. **New Phytologist**, Cambridge, v. 84, n. 3, p. 489-500, 1980.

GRACE, C.; STRIBLEY, D. P. A safer procedure for routine staining of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. **Mycological Research**, Cambridge, v. 95, n. 10, p. 1160-1162, 1991.

HOOPER, D. U.; CHAPIN, F. S.; EWEL, J. J.; HECTOR, A.; INCHAUSTI, P.; LAVOREL, S.; LAWTON, J. H.; LODGE, D. M.; LOREAU, M.; NAEEM, S.; SCHMID, B.; SETALA, H.; SYMSTAD, A. J.; VANDERMEER, J.; WARDLE, D. A. Effects of biodiversity on ecosystem functioning: A consensus of current knowledge. **Ecological Monographs**, Lawrence, v. 75, n. 1, p. 3-35, 2005. Disponível em: <<Go to ISI>://WOS:000227254000001>.

JENKINS, W. R. A rapid centrifugal-flotation technique for separation of nematodes from soil. **Plant Disease Reporter**, Washington, v. 48, n. 9, p. 692, 1964.

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

LEKBERG, Y.; KOIDE, R. T.; ROHR, J. R.; ALDRICH-WOLFE, L.; MORTON, J. B. Role of niche restrictions and dispersal in the composition of arbuscular mycorrhizal fungal communities. **Journal of Ecology**, Oxford, v. 95, n. 1, p. 95-105, 2007. Disponível em: <<Go to ISI>://WOS:000242791300010>.

MAHERALI, H.; KLIRONOMOS, J. N. Influence of phylogeny on fungal community assembly and ecosystem functioning. **Science**, Washington, v. 316, n. 5832, p. 1746-1748, 2007. Disponível em: <<Go to ISI>://WOS:000247400500047>.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: Associação Brasileira para a Pesquisa da Potassa e do Fósforo, 1997, 319 p.

MARSCHNER, P. Rhizosphere biology. In: MARSCHNER, P. (Ed.). **Mineral nutrition of higher plants**. 3 ed. London: Elsevier/Academic Press, 2012. p. 369-388. 15 cap.

MIRANDA, J. C. C.; VILELA, L.; MIRANDA, L. N. Dinâmica e contribuição da micorriza arbuscular em sistemas de produção com rotação de culturas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 10, p. 1005-1014, 2005.

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

NAIR, M. G.; SAFIR, G. R.; SIQUEIRA, J. O. Isolation and identification of vesicular-arbuscular mycorrhiza-stimulatory compounds from clover (*Trifolium repens*) roots. **Applied and Environmental Microbiology**, Washington, v. 57, n. 2, p. 434-439, 1991. Disponível em: <<Go to ISI>://WOS:A1991EV64700015>.

ORTAS, I. The effect of mycorrhizal fungal inoculation on plant yield, nutrient uptake and inoculation effectiveness under long-term field conditions. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 125, p. 35-48, 2012. Disponível em: <<Go to ISI>://WOS:000300078200005>.

PARNISKE, M. Arbuscular mycorrhiza: the mother of plant root endosymbioses. **Nature Reviews Microbiology**, London, v. 6, n. 10, p. 763-775, 2008. Disponível em: <<Go to ISI>://WOS:000259217200024>.

REIS, E. F.; CARNEIRO, M. A. C.; SAGGIN-JÚNIOR, O. J.; ROTTA, D. A.; SOUSA, M. Y. Absorção de fósforo em doze genótipos de milho inoculados com fungo micorrízico arbuscular em solo de cerrado. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 9, p. 2441-2447, 2008.

SIQUEIRA, J. O.; LAMBAIS, M. R.; STÜRMER, S. L. Fungos micorrízicos arbusculares: Características, associação simbiótica e aplicação na agricultura. **Biotecnologia Ciência e Desenvolvimento**, Brasília, n. 25, p. 12-21, 2002.

SIQUEIRA, J. O.; SAFIR, G. R.; NAIR, M. G. Stimulation of vesicular-arbuscular mycorrhiza formation and growth of white clover by flavonoid compounds. **New Phytologist**, Cambridge, v. 118, n. 1, p. 87-93, 1991. Disponível em: <<Go to ISI>://WOS:A1991FP19800009>.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. **Cerrado**: correção do solo e adubação. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004, 416 p.

STÜRMER, S. L.; SIQUEIRA, J. O. Fungos micorrízicos. In: MOREIRA, F. M. S. (Ed.). **O ecossistema solo**. Lavras: UFLA, 2013. p. 291-310.

TAYLOR, T. N.; REMY, W.; HASS, H.; KERP, H. Fossil arbuscular mycorrhizae from the early Devonian. **Mycologia**, New York, v. 87, n. 4, p. 560-573, 1995. Disponível em: <<Go to ISI>://WOS:A1995RQ12200019>.

VAN DER HEIJDEN, M. G. A.; KLIRONOMOS, J. N.; URSIC, M.; MOUTOGLIS, P.; STREITWOLF-ENGEL, R.; BOLLER, T.; WIEMKEN, A.; SANDERS, I. R. Mycorrhizal fungal diversity determines plant biodiversity, ecosystem variability and productivity. **Nature**, London, v. 396, n. 6706, p. 69-72, 1998. Disponível em: <<Go to ISI>://WOS:000076852700054>.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A inoculação com fungos micorrizicos arbusculares proporciona melhoria da qualidade nutricional e aumento da produção, porém essa varia de acordo com a espécie de fungo utilizado e a cultura. Da mesma forma o estimulante de colonização micorrizica provém efeito benéfico na associação, com grande capacidade de estimular a comunidade nativa.