



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E DESPORTOS**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**

**FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA**

**DIVERSIDADE E COLONIZAÇÃO MICORRÍZICA EM DIFERENTES  
USOS DO SOLO NO CERRADO**

**JADSON BELEM DE MOURA**

**TESE DE DOUTORADO EM AGRONOMIA**

**BRASÍLIA/DF  
FEVEREIRO/2015**



**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**  
**FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

**DIVERSIDADE E COLONIZAÇÃO MICORRÍZICA EM DIFERENTES  
USOS DO SOLO NO CERRADO**

**JADSON BELEM DE MOURA**

**ORIENTADORA: PROF<sup>a</sup>. Ph.D. MARIA LUCRÉCIA GEROSA RAMOS**

**CO-ORIENTADORA: Dra. MARIA LUIZA DE FREITAS KONRAD**

**TESE DE DOUTORADO EM AGRONOMIA**

**BRASÍLIA/DF**  
**FEVEREIRO/2015**



**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**  
**FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

**DIVERSIDADE E COLONIZAÇÃO MICORRÍZICA EM DIFERENTES  
USOS DO SOLO NO CERRADO**

**JADSON BELEM DE MOURA**

**TESE DE DOUTORADO SUBMETIDA AO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
AGRONOMIA, COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS À OBTENÇÃO  
DO GRAU DE DOUTOR EM AGRONOMIA.**

**APROVADA POR:**

---

**MARIA LUCRÉCIA GEROSA RAMOS, PhD, Universidade de Brasília,  
002.094.4438-12, lucreciaunb@gmail.com**

---

**HELSON MARIO MARTINS DO VALE, Dr., Universidade de Brasília,  
810.503.803-12, helson@unb.br**

---

**ALESSANDRA MONTEIRO DE PAULA, Dr, Universidade de Brasília,  
820.032.201-78- alessandramp@unb.br**

---

**WALTER QUADROS RIBEIRO JUNIOR, PhD. EMBRAPA Cerrados,  
906.075.388-72, walter.quadros@embrapa.br**

---

**ARMINDA MOREIRA DE CARVALHO, Dra. EMBRAPA Cerrados,  
409.440.034-11, arminda@cpac.embrapa.br**

**BRASÍLIA/DF, 27 de Fevereiro de 2015.**

## FICHA CATALOGRÁFICA

Moura, Jadson Belém de

**Diversidade e colonização micorrízica em diferentes usos do solo no cerrado.** – Brasília, 2015.

124 p. : il.

Tese de Doutorado (D) – Universidade de Brasília/Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, 2015.

1. FMA. 2. Glomalina. 3. Identificação de espécies. 4. Colonização micorrízica. I. Ramos, M. L. G. II. D.Sc.

CDD ou CDU  
Agris / FAO

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

MOURA, J. B. **Diversidade e colonização micorrízica em diferentes usos do solo no cerrado.** Brasília: Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, 2015, 124 p. Tese de Doutorado.

## CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: **JADSON BELEM DE MOURA**

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: **DIVERSIDADE E COLONIZAÇÃO MICORRÍZICA EM DIFERENTES USOS DO SOLO NO CERRADO**

GRAU: **DOUTORADO** ANO: **2015**

É concedida à Universidade de Brasília de Brasília permissão para reproduzir cópias desta tese de doutorado para única e exclusivamente propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva para si os outros direitos autorais, de publicação. Nenhuma parte desta tese de doutorado pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor. Citações são estimuladas, desde que citada à fonte.

---

Nome: **Jadson Belém de Moura**

CPF: **005.484.381-29**

Endereço: **Rua 9, Lote 13, Quadra 16, Vila Gois, Anápolis. Goiás.**

Tel. **(62) 3098-3937, (62) 9262-5500** E-mail: **jadsonbelem@gmail.com**

*“Deixa ser, como será!*

*Eu já posto em meu lugar*

*Num continente ao revés,*

*Em preto e branco, em hotéis.*

*Numa moldura clara e simples sou aquilo que se vê”*

*Rodrigo Amarante,*

*Los Hermanos - Retrato pra iaiá*

*Dedico à Deus, minha família e amigos.*

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por tantas bênçãos e por sempre iluminar meus caminhos e minhas escolhas.

À minha família: Edson dos Santos Moura, Janete Belém Pereira de Moura, Lígia Belém Pereira de Moura e Simony Bezerra por demonstrarem com exemplos como é viver com a dignidade de um homem e a honra de um cristão e que, com seu carinho e fé inabalável, estiveram comigo, mesmo distantes, em todos os problemas e dificuldades, e acima de tudo, confiaram em mim quando eu mesmo não confiei.

A professora Maria Lucrécia Gerosa Ramos pela paciência, companheirismo, compreensão e por toda ajuda e suporte que me deu durante esta trajetória.

A Carlos Henrique, Kelly Cristina, Élika Oliveira, Natalia Valentin, Thaís Costa e Mariana Barbosa, os melhores alunos que um professor poderia ter, que sem sua ajuda, este trabalho não teria sido concluído.

Ao doutor Orivaldo José Saggin Júnior e Itamar Garcia Ignácio pelo apoio fundamental durante a realização das análises laboratoriais.

A professora Maria Luiza pela co-orientação, auxílio e ajuda durante toda minha trajetória no doutorado.

Aos amigos: Rodrigo Fernandes, Aurélio Rubio, Juliana Cabral, Juliana Hiromi, Jose Avelino, Jomara Moreno, Géssica Souza, Juliana Esmeralda, Klenia Pacheco, Neide Celia, Denise Neres, Armando Galleni, Renato Pinto, Leonnardo Cruvinel, Vera Valle, Thiago Gomes, Laiany Medeiros, Polyana Borges, Rootbeer, Lenio Urzeda, Bruno Franco, Eliane Toledo e Daniel Caixeta, por terem sido de extrema relevância durante esta caminhada.

Ao professor Jose Mateus dos Santos, diretor da Faculdade Evangélica de Goianésia, pelo apoio e incentivo durante toda minha carreira acadêmica como docente.

A todos docentes e técnicos administrativos da Faculdade de Agronomia e Veterinária da Universidade de Brasília, que participaram da minha formação acadêmica durante o doutorado.

A CAPES, pela bolsa concedida em parte do meu doutorado.

## **BIOGRAFIA**

Jadson Belém de Moura, filho de Edson dos Santos Moura e Janete Belém Pereira de Moura, nasceu em Anápolis - GO, no ano de 1985. Sua formação profissional iniciou-se em 2005, no curso superior de Tecnologia em Produção de Grãos pelo Centro Federal de Educação Tecnológica de Rio Verde-GO. Em 2009, iniciou seu Mestrado em Ciências Agrárias no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano - Campus Rio Verde, concluindo no ano de 2011. Em 2011 iniciou o Doutorado em Agronomia pela Faculdade de Agronomia e Veterinária da Universidade de Brasília concluindo no ano de 2015. Em 2012 iniciou sua atividade como docente pela Faculdade Evangélica de Goianésia, onde atualmente é coordenador de Pesquisa, Pós-Graduação, Extensão e Ação Comunitária.

## RESUMO

Os fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) atuam como uma extensão do sistema radicular, auxiliando na absorção de água e nutrientes minerais para a planta, especialmente, aqueles elementos pouco móveis no solo como fósforo, zinco e cobre. Esta associação resulta em uma maior sanidade do vegetal e maior resistência a situações de estresse nutricional e hídrico. O objetivo do presente trabalho foi estudar o impacto de diferentes usos do solo de Cerrado na densidade, diversidade e ecologia dos fungos micorrízicos arbusculares. A ocorrência de fungos micorrízicos e os teores de glomalina foram determinados em solo sob; em cinco genótipos de trigo sob os sistemas de plantio direto e convencional; em diferentes variedades de cana-de-açúcar sob dois sistemas de produção (orgânico e convencional) e em diferentes plantas de cobertura, após a cultura do milho com e sem adubação de cobertura. Para a determinação da porcentagem de colonização, as raízes foram clarificadas e coradas com 0,05% de Azul-de-Trypan em lactoglicerol e a avaliação da colonização foi feita em microscópio estereoscópico, seguindo a técnica de interseção dos quadrantes. Os esporos de FMAs foram extraídos pelo método do peneiramento úmido seguida por centrifugação em sacarose 50 %. Para a determinação da glomalina facilmente extraível foi utilizado o método de Bradford. A identificação das espécies de FMAs foi realizada a partir das características morfológicas de esporos em lâminas com polivinil-lacto-glicerol puro e misturados com Melzer e classificados segundo as definições do International Culture Collection of Arbuscular and Vesicular-Arbuscular Mycorrhizal Fungi. Todos os genótipos de trigo se mostraram sensíveis ao impacto do revolvimento do solo no plantio convencional e o número de esporos foi maior no sistema de plantio direto, que também apresentou maiores valores de glomalina facilmente extraível quando comparados com o sistema convencional. Em ambos os sistemas o genótipo PF0220062 apresentou maior número de esporos no solo; a composição da comunidade de FMAs foi diferente para as variedades de trigo e para os sistemas de manejo agrícola. Quanto à riqueza de espécies, o plantio direto apresentou riqueza semelhante ao convencional, ambos com 12 espécies das 15 encontradas na área. Não houve efeito das variedades de cana-de-açúcar no número de esporos e teores de glomalina no solo, mas em plantio orgânico houve maior colonização micorrízica. As variedades cultivadas sob sistema de plantio convencional apresentaram uma população de fungos micorrízicos arbusculares mais rica, com ocorrência de 12 das 13 espécies diferentes de fungos micorrízicos encontradas em ambos os sistemas de cultivo. Não houve diferença significativa ou efeito dos tratamentos de cobertura vegetal, da adição de nitrogênio em cobertura na cultura do milho, nem da interação de ambos na colonização micorrízica e glomalina. Para o número de esporos na rizosfera observou-se efeito apenas da cobertura vegetal, com ou sem adição de N, sendo encontrada maior esporulação na rizosfera de guandu e crotalária e menor esporulação em milheto. Todas as espécies de plantas de cobertura estudadas apresentam comportamento semelhante em relação à frequência de espécies de fungos micorrízicos arbusculares que colonizam a rizosfera e não houve diferenciação de grupos de fungos micorrízicos com a adição ou não de N em cobertura no milho, cultivado anteriormente às plantas de cobertura.

**Palavras-Chave:** FMA, Sistemas de Produção, Orgânico, Plantio Direto

## ABSTRACT

The mycorrhizal fungi (AMF) act as an extension of the root system, aiding in the absorption of water and mineral nutrients to the plant, especially those little moving parts in the soil such as phosphorus, zinc and copper. This combination results in greater health of the plant and greater resistance to situations of nutrition and water stress. The aim of this work was to study the impact of different land use in the Cerrado in density, diversity and ecology of mycorrhizal fungi. The occurrence of mycorrhizal fungi and glomalin levels were found in soil; in five wheat genotypes under the tillage and conventional tillage systems; in different varieties of sugar cane under two production systems (organic and conventional) and under different plant cover after the corn with and without topdressing. To determine the percentage of colonization, the roots were cleared and stained with 0.05% Trypan Blue-of in lactoglycerol and evaluation of colonization was made in stereoscopic microscope, following the technique of intersection of the quadrants. The AMF spores were extracted by wet sieving method followed by centrifugation in 50% sucrose. For the determination of easily removable glomalin was used Bradford method. The identification of AMF species was performed on the morphological characteristics of spores on slides with pure polyvinyl lacto-glycerol and mixed with Melzer and classified according to the definitions of the International Culture Collection of arbuscular and vesicular-arbuscular Mycorrhizal Fungi. All wheat genotypes were sensitive to the impact of soil disturbance in conventional tillage and in all genotypes, the number of spores was higher in the no-till system, which also showed higher easily removed Glomalin values when compared with the conventional system. In both systems the PF0220062 showed higher number of spores in the soil; species diversity was found that the composition of the AMF community was different for the wheat varieties and the agricultural management systems. The species richness, no-till presented wealth similar to conventional, both with 12 species of 15 found in the area. There was no effect of the varieties of cane sugar in the number of spores and Glomalin content in the soil, but in organic planting was higher mycorrhizal colonization. The varieties grown under conventional tillage system had a population of richer mycorrhizal fungi, with the occurrence of 12 to 13 different species of mycorrhizal fungi found in both cropping systems. There was no significant difference or effect of vegetation treatments, the addition of nitrogen, or the interaction of both mycorrhizal colonization and glomalin. For the number of spores in the rhizosphere it was observed only the effect of cover plants, with or without addition of N topdressing applied in the previous crop, found greater sporulation in rhizosphere of guandu and crotalaria and lower sporulation in soil under millet. All cover crops studied present similar behavior in the frequency of arbuscular mycorrhizal fungi that colonize the rhizosphere and no differentiation of mycorrhizal fungi groups with or without addition of N topdressing applied to maize, cultivated before the cover plants.

**Keywords:** AMF, Production Systems, Organic, Tillage

## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
<b>REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	<b>3</b>
<b>FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES (FMAS)</b> .....	<b>3</b>
<b>Classificação dos fmas</b> .....	<b>4</b>
<b>glomalina</b> .....	<b>4</b>
<b>germinação dos esporos e estabelecimento da simbiose</b> .....	<b>7</b>
<b>fatores abióticos e bióticos que afetam os fmas</b> .....	<b>9</b>
<b>efeitos nutricionais às plantas</b> .....	<b>10</b>
<b>efeitos não nutricionais às plantas</b> .....	<b>10</b>
<b>taxonomia e identificação de fungos micorrízicos arbusculares</b> .....	<b>11</b>
<b>A CULTURA DO TRIGO</b> .....	<b>12</b>
<b>PLANTAS DE COBERTURA</b> .....	<b>13</b>
<b>CANA-DE-AÇÚCAR</b> .....	<b>14</b>
<b>OBJETIVOS</b> .....	<b>17</b>
<b>GERAL:</b> .....	<b>17</b>
<b>ESPECÍFICOS:</b> .....	<b>17</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>18</b>
<b>CAPÍTULO 1: MICORRIZA ARBUSCULAR EM GENÓTIPOS DE TRIGO, SOB PLANTIO DIRETO E CONVENCIONAL</b> .....	<b>26</b>
<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>27</b>
<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>28</b>
<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>31</b>
<b>Colonização micorrízica em cinco genótipos de trigo cultivadas em plantio direto e plantio convencional</b> .....	<b>31</b>
<b>densidade de esporos de fma em cinco genótipos de trigo cultivadas em plantio direto e plantio convencional</b> .....	<b>33</b>
<b>glomalina facilmente extraível de cinco genótipos de trigo cultivadas em plantio direto e plantio convencional</b> .....	<b>34</b>
<b>frequência de espécies de fma em cinco genótipos de trigo cultivadas em plantio direto e plantio convencional</b> .....	<b>36</b>
<b>CONCLUSÕES</b> .....	<b>43</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>43</b>
<b>CAPÍTULO 2. FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES EM SOLOS CULTIVADOS COM DIFERENTES VARIEDADES DE CANA-DE-AÇÚCAR EM SISTEMA DE PRODUÇÃO ORGÂNICO E CONVENCIONAL</b> .....	<b>48</b>
<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>49</b>
<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>52</b>
<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>54</b>
<b>Densidade de esporos de fma em três variedades de cana sob sistema de cultivo convencional e orgânico</b> .....	<b>54</b>
<b>colonização micorrízica em três variedades de cana sob sistema de cultivo convencional e orgânico</b> .....	<b>55</b>

<b>glomalina facilmente extraível em três variedades de cana sob sistema de cultivo convencional e orgânico. ....</b>	<b>56</b>
<b>frequência de espécies de fma em três variedades de cana sob sistema de cultivo convencional e orgânico. ....</b>	<b>57</b>
CONCLUSÕES .....	67
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	68
<b>CAPÍTULO 3. FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES EM DIFERENTES PLANTAS DE COBERTURA EM PLANTIO DIRETO COM E SEM ADIÇÃO DE NITROGÊNIO .....</b>	<b>74</b>
INTRODUÇÃO .....	75
MATERIAL E MÉTODOS .....	76
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	78
<b>Densidade de esporos de fma em diferentes plantas de cobertura em plantio direto com e sem adição de nitrogênio.....</b>	<b>78</b>
<b>colonização micorrízica em diferentes plantas de cobertura em plantio direto com e sem adição de nitrogênio.....</b>	<b>80</b>
<b>glomalina facilmente extraível em plantio direto com e sem adição de nitrogênio ...</b>	<b>81</b>
<b>frequência de espécies de fma em diferentes plantas de cobertura em plantio direto com e sem adição de nitrogênio.....</b>	<b>82</b>
CONCLUSÕES .....	92
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	93

## ÍNDICE DE FIGURAS

### CAPÍTULO 1

- Figura 1** Análise de componentes principais da frequência de espécies de fungos micorrízicos arbusculares nos genótipos de trigo Aliança, Brilhante, BRS 264, PF37 e PF62. (Arl: *Ar. leptoticha*, Gmi: *G. microaggregatum*, At: *A. tuberculata*, Sg: *S. Gregaria*, Gl: *G. lamellosum*, Ad: *A. denticulata*, Gcl: *G. clavisporum*, Af: *A. foveata*, Al: *A. laevis*, Spe: *S. persica*, As: *A. scrobiculata*, Gm: *G. macrocarpum*, Sp: *S. pellucida*, Gi: *Giaspora sp.*)..... 38
- Figura 2.** Análise de componentes principais da frequência de espécies de Fungos Micorrízicos Arbusculares nos genótipos trigo Aliança, Brilhante, BRS 264, PF37 e PF62 sob sistema de plantio direto e convencional. (At: *A. tuberculata*, Al: *Ar. leptoticha*, Sg: *S. gregaria*, Gl: *G. lamellosum*, Gm: *G. microaggregatum*, Af: *A. foveata*, Ad: *A. denticulata*, Sp: *S. persica*, Al: *A. laevis*, Gi: *Gigaspora sp*, Gvl: *G. clavisporum*, Spe: *S. pelucida*, As: *A. scrobiculata*, Gt: *G. tortuosum*, Gm: *G. macrocarpum*)..... 39
- Figura 3** Análise de correspondência canônica da frequência de espécies de fungos micorrízicos arbusculares nos genótipos Aliança (A), Brilhante (B), BRS 264 (C), PF37 (D) e PF62 (E) em Plantio Direto e Convencional. (At: *A. tuberculata*, Al: *Ar. leptoticha*, Sg: *S. gregaria*, Gl: *G. lamellosum*, Gm: *G. microaggregatum*, Af: *A. foveata*, Ad: *A. denticulata*, Sp: *S. persica*, Al: *A. laevis*, Gi: *Gigaspora sp*, Gvl: *G. clavisporum*, Spe: *S. pelucida*, As: *A. scrobiculata*, Gt: *G. tortuosum*, Gm: *G. macrocarpum*) ..... 41

### CAPÍTULO 2

- Figura 1.** *Acaulospora denticulata* (A), *Acaulospora scrobiculata* (B), *Acaulospora laevis* (C), *Glomus clavisporum* (D), *Glomus lamellosum* (E) e *Achaeospora leptoticha* (F). ..... 60
- Figura 2.** *Glomus tortuosum* (A), *Glomus microaggregatum* (B), *Glomus macrocarpum* (C), *Gigaspora sp* (D), *Scutellospora gregaria* (E), *Scutellospora persica* (F) e *Scutellospora pellucida* (G) ..... 61
- Figura 3.** Análise de componentes principais da frequência de espécies de Fungos Micorrízicos Arbusculares nas variedades IACSP94-2101, IACSP95-5000 e CTC4 sob sistema orgânico e convencional. (Al: *A. laevis*, Am: *A. mellea*, As: *A. scrobiculata*, Arl: *Ar. leptoticha*, Ec: *E. cerradensis*, Ei: *E. infrequens*, Gc: *G. clarum*, Gcl: *G. clavisporum*, Ge: *G. etunicatum*, Gg: *G. glomeratum*, Gla: *G. lamellosum*, Gm: *G. macrocarpum*, Gmi: *G. microaggregatum*, Gt: *G. tortuosum*, Gv: *G. viscosum*, Gi: *Gigaspora sp*, Spe: *Scutellospora pellucida*)..... 62
- Figura 4.** Análise de correspondência canônica da frequência de espécies de Fungos Micorrízicos Arbusculares na variedade IACSP94-2101 sob sistema orgânico e convencional. (As: *A. scrobiculata*, Asp: *A. spinosa*, Gc: *G. clavisporum*, , Gla: *G. lamellosum*, Gm: *G. macrocarpum*, Gmi: *G. microaggregatum*, Gt: *G. tortuosum*, Gv: *Gi: Gigaspora*) ..... 63
- Figura 5.** Análise de correspondência canônica da frequência de espécies de fungos micorrízicos arbusculares na variedade IACSP95-5000 sob sistema orgânico e convencional (Al: *A. laevis*, As: *A. scrobiculata*, Gc: *G. clavisporum*, Sp: *S. pellucida*) ..... 64
- Figura 6.** Análise de correspondência canônica da frequência de espécies de fungos micorrízicos arbusculares na variedade CTC4 sob sistema orgânico e convencional. (As: *A. scrobiculata*, Gm: *G. macrocarpum*, Gt: *G. tortuosum*, Spe: *S. persica*)..... 65

### CAPÍTULO 3

- Figura 1.** *Acaulospora denticulata* (A), *Acaulospora scrobiculata* (B), *Acaulospora laevis* (C), *Glomus clavisporum* (D), *Glomus lamellosum* (E) e *Achaeospora leptoticha* (F). ..... 84

**Figura 2.** *Glomus tortuosum* (A), *Glomus microaggregatum* (B), *Glomus macrocarpum* (C), *Gigaspora* sp (D), *Scutellospora gregaria* (E), *Scutellospora persica* (F) e *Scutellospora pellucida* (G). ..... 85

**Figura 3.** Análise de componentes principais da frequência de espécies de fungos micorrízicos arbusculares encontrados em rizosfera de crotalária (C), feijão bravo do Ceara (FBC), sorgo (S), guandu (G), milho (M) e vegetação espontânea (VE) com e sem adição de nitrogênio. (Ad: *A. denticulata*, Af: *A. foveata*, Al: *A. laevis*, Am: *A. mellea*, As: *A. scrobiculata*, Asp: *A. spinosa*, At: *A. tuberculata*, Ac: *A. caulospora* sp.; Arl: *Ar. leptoticha*, Ec: *E. cerradensis*, Ei: *E. infrequens*, Gc: *G. clarum*, Gcl: *G. clavisporum*, Gco: *G. coremioides*, Ge: *G. etunicatum*, Gg: *G. glomeratum*, Gla: *G. lamellosum*, Gm: *G. macrocarpum*, Gmi: *G. microaggregatum*, Gt: *G. tortuosum*, Gv: *G. viscosum*, Gg: *Gi. Gigantea*, Gi: *Gigaspora* sp, Gl: *Glomus* sp., Sc: *S. cerradensis*, Sg: *S. gregaria*, Sp: *S. pellucida* Spe: *S. persica*, Ss: *S. scutata*, S: *Scutellospora* sp)..... 87

**Figura 4.** Análise de componentes principais da frequência de espécies de fungos micorrízicos arbusculares encontrados em rizosfera de crotalária (C), feijão bravo do Ceara (FBC), sorgo (S), guandu (G), milho (M) e vegetação espontânea (VE). Ad: *A. denticulata*, Af: *A. foveata*, Al: *A. laevis*, Am: *A. mellea*, As: *A. scrobiculata*, Asp: *A. spinosa*, At: *A. tuberculata*, Ac: *A. caulospora* sp.; Arl: *Ar. leptoticha*, Ec: *E. cerradensis*, Ei: *E. infrequens*, Gc: *G. clarum*, Gcl: *G. clavisporum*, Gco: *G. coremioides*, Ge: *G. etunicatum*, Gg: *G. glomeratum*, Gla: *G. lamellosum*, Gm: *G. macrocarpum*, Gmi: *G. microaggregatum*, Gt: *G. tortuosum*, Gv: *G. viscosum*, Gg: *Gi. Gigantea*, Gi: *Gigaspora* sp, Gl: *Glomus* sp., Sc: *S. cerradensis*, Sg: *S. gregaria*, Sp: *S. pellucida* Spe: *S. persica*, Ss: *S. scutata*, S: *Scutellospora* sp)..... 88

**Figura 5.** Análise de correspondência canônica da frequência de espécies de fungos micorrízicos arbusculares em crotalária (A), feijão Bravo do Ceara (B), sorgo (C), guandu (D), milho (E) e vegetação espontânea (F), com e sem aplicação de nitrogênio. (Ad: *A. denticulata*, Af: *A. foveata*, Al: *A. laevis*, Am: *A. mellea*, As: *A. scrobiculata*, Asp: *A. spinosa*, At: *A. tuberculata*, Ac: *A. caulospora* sp.; Arl: *Ar. leptoticha*, Ec: *E. cerradensis*, Ei: *E. infrequens*, Gc: *G. clarum*, Gcl: *G. clavisporum*, Gco: *G. coremioides*, Ge: *G. etunicatum*, Gg: *G. glomeratum*, Gla: *G. lamellosum*, Gm: *G. macrocarpum*, Gmi: *G. microaggregatum*, Gt: *G. tortuosum*, Gv: *G. viscosum*, Gg: *Gigaspora. Gigantea*, Gi: *Gigaspora* sp, Gl: *Glomus* sp., Sc: *S. cerradensis*, Sg: *S. gregaria*, Sp: *S. pellucida* Spe: *S. persica*, Ss: *S. scutata*, S: *Scutellospora* sp)..... 90

## ÍNDICE DE TABELAS

### CAPÍTULO 1

<b>Tabela 1.</b> Análise de solo (0-20 cm) da área experimental antes da instalação do experimento. ....	29
<b>Tabela 2.</b> Colonização micorrízica (%) de cinco genótipos de trigo, em sistema de plantio direto e convencional.....	31
<b>Tabela 3.</b> Número de esporos no solo (n0/50 g solo) de cinco genótipos de trigo, em sistema de plantio direto e convencional. ....	33
<b>Tabela 4.</b> Glomalina facilmente extraível (GFE) de trigo cultivado em plantio direto e plantio convencional (mg g <sup>-1</sup> solo). ....	34
<b>Tabela 5.</b> Espécies de fungos micorrízicos arbusculares encontrados em áreas de plantio direto e convencional de cinco genótipos de trigo. ....	36

### CAPÍTULO 2

<b>Tabela 1.</b> Análise de solo da profundidade de 0 a 10 cm em área de produção convencional e orgânica de cana-de-açúcar da usina Jalles Machado S/A.....	52
<b>Tabela 2.</b> Análise de variância da concentração de glomalina (mg kg <sup>-1</sup> solo) facilmente extraída, taxa de colonização micorrízica (%) e número de esporos (N0.50g <sup>-1</sup> de solo em três variedades de cana-de-açúcar sob sistema de cultivo convencional e orgânico. ....	<b>Erro!</b>
<b>Indicador não definido.</b>	
<b>Tabela 3.</b> Densidade de esporos de fungos micorrízicos (N/50 g de solo) em três variedades de cana-de-açúcar sob sistema de cultivo convencional e orgânico. Dados transformados em log (x+1).....	54
<b>Tabela 4.</b> Taxa de colonização micorrízica (%) em três variedades de cana-de-açúcar sob sistemas de cultivo convencional e orgânico sob cultivo orgânico e convencional. Dados transformados em arc sen (x/100) <sup>1/2</sup> .....	55
<b>Tabela 5.</b> Glomalina facilmente extraível (mg g <sup>-1</sup> solo) em três variedades de cana sob sistema de cultivo convencional e orgânico.....	56
<b>Tabela 6.</b> Espécies de fungos micorrízicos arbusculares encontrados em áreas de cultivo orgânico e convencional de três variedades de cana-de-açúcar. ....	58

### CAPÍTULO 3

<b>Tabela 1.</b> Análise de variância dos teores de glomalina facilmente extraída, taxa de colonização micorrízica e número de esporos de solo. ....	78
<b>Tabela 2.</b> Densidade de esporos (nº./50 ml) de plantas de cobertura, após a cultura do milho, com e sem adubação nitrogenada em cobertura, no milho. Dados transformados em log (x+1). ....	79
<b>Tabela 3.</b> Colonização micorrízica (%) de plantas de cobertura, após a cultura do milho, com e sem adubação nitrogenada em cobertura, no milho. ....	80
<b>Tabela 4.</b> Glomalina facilmente extraível (mg kg solo <sup>-1</sup> ) de plantas de cobertura, após a cultura do milho, com e sem adubação nitrogenada em cobertura, no milho. ....	81
<b>Tabela 5.</b> Espécies de Fungos Micorrízicos Arbusculares encontrados em rizosfera de Crotalaria (C), Feijão bravo do Ceara (FBC), Sorgo (S), Guandu (G), Milheto (M) e Vegetação espontânea (VE) com e sem adição de nitrogênio em plantio direto no cerrado.....	82

## INTRODUÇÃO

Os microrganismos são os seres mais primitivos do planeta cuja origem data de bilhões de anos e ao longo do processo evolutivo, adquiriam características e adaptações para a coexistência com outros seres vivos, estabelecendo relações de interação com os mesmos. Os fungos micorrízicos arbusculares (FMA) foram um dos primeiros organismos a realizarem tal interação com raízes de vegetais superiores, com indícios fósseis que datam de cerca de 400 milhões de anos (Mohan *et al.*, 2014; Gai *et al.*, 2015; Ruy, 2015).

Os FMA atuam como uma extensão do sistema radicular, auxiliando na absorção de água e nutrientes minerais para a planta, especialmente aqueles elementos pouco móveis no solo como fósforo, zinco e cobre. Esta associação resulta em uma maior sanidade do vegetal e maior resistência a situações de estresse nutricional e hídrico (Querejeta *et al.*, 2009).

Em sua grande maioria, estes fungos pertencem ao filo Glomeromycota, composto por quatro ordens, 9 famílias, 15 gêneros catalogadas e possuem nenhuma ou pouquíssima especificidade em relação à planta colonizada e sabe-se que cerca de 80% das espécies vegetais possuem a capacidade de interagir com FMAs (Redecker *et al.*, 2013).

Pouyu-Rojas *et al.* (2006) encontraram pequena seletividade e uma ampla variação na compatibilidade entre os fungos e os hospedeiros. Essa falta de especificidade da associação simbiótica refere-se à capacidade de uma espécie de fungo formar ou não associação nas raízes de mais de uma espécie de planta ou conter vários hospedeiros. Porém, considerando-se que um número limitado de combinações fungo-planta foram estudadas, presume-se que esta associação é inespecífica.

Os FMAs são um dos grupos funcionais de organismos que são importantes para o ecossistema solo e desempenham papel importante na interação solo-planta. Eles não esgotam as reservas de matéria orgânica do solo como outros fungos saprofíticos, mas contribuem para a sua acumulação diretamente com hifas e esporos e, indiretamente através dos seus efeitos sobre o crescimento das plantas (Smith & Read, 2010).

Com isso, a capacidade que os FMA possuem, em prover esse crescimento, notadamente em áreas em que a fertilidade do solo é baixa ou que sofreram algum distúrbio, pode influenciar diretamente na produtividade do ecossistema.

O solo, por ser o habitat principal de interação e manutenção dos FMA, exerce influência direta na comunidade de FMA. A disponibilidade de nutrientes no solo é fator determinante para o comportamento da simbiose independentemente do hospedeiro. De modo geral a associação é beneficiada em situações em que os níveis de disponibilidade de nutrientes é baixo,

sendo que os baixos teores de fósforo estimulam a atuação destes fungos no sistema solo-planta. Diversos estudos demonstram o antagonismo causado pelo excesso desse elemento no solo e na planta, onde quanto mais alto for sua concentração no solo, menor será a intensidade de colonização radicular. Porém, ainda não se sabe exatamente, qual o mecanismo dessa inibição, e existem hipóteses para esse comportamento baseadas em fenômenos bioquímicos e fisiológicos das plantas (Mohan *et al.*, 2014; Ruy, 2015).

Nas associações micorrízicas os nutrientes minerais são ciclados com perdas mínimas, além disso, as raízes micorrizadas tem uma maior longevidade e maior absorção de nutrientes e a contribuição desta simbiose é de grande importância nos solos dos Cerrado onde o nível de fertilidade é baixo e os solos, em geral, são ácidos (Miranda, 2008).

Outras contribuições dos FMA estão relacionadas ao estoques de carbono (Rillig & Steinberg, 2002; Rillig & Mummey, 2006) e biomassa microbiana em solos (Olsson & Wilhelmsson, 2000). No solo, favorecem a formação e estabilidade de agregados, pela ação física do micélio fúngico e através da ação de uma glicoproteína denominada glomalina que é produzida por esses fungos (Rillig & Mummey, 2006).

A escolha do sistema de cultivo utilizado promove alterações quantitativas na população de fungos micorrízicos arbusculares nativos, pois a associação micorrízica é favorecida pela existência de exsudatos radiculares que contém moléculas que estimulam a germinação de esporos e o crescimento de fungos micorrízicos (Mohan *et al.*, 2014; Gai *et al.*, 2015).

Problemas de erosão e outros relacionados ao manejo intensivo do solo, ao ponto de extensas áreas tornarem-se inaproveitáveis são recorrentes. Já com a utilização do plantio direto tem-se maior controle da erosão, principal aspecto positivo do sistema; maior manutenção e conservação da umidade do solo. A cobertura morta mantida sobre a superfície do terreno atua como agente isolante, a evaporação é reduzida e a permeabilidade é mantida, ajudando a infiltração da chuva; há conservação da matéria orgânica do solo e de sua estrutura; economia de adubo fosfatado; melhor germinação das sementes; desenvolvimento e produtividade das culturas além de maior proveito quanto ao custo de produção e benefício econômicos (Miranda, 2008).

O preparo do solo pode causar modificações na quantidade e predominância de espécies micorrízicas no solo e diferentes técnicas de uso do solo promovem alterações diferenciadas no número e na diversidade de espécies presentes na comunidade micorrízica arbuscular nativa, interferindo na eficiência da simbiose (Miranda & Miranda, 2001).

## REVISÃO DE LITERATURA

### Fungos Micorrízicos Arbusculares (FMAs)

O termo micorrizas (mico: fungo, riza: raiz) foi inicialmente proposto pelo botânico alemão Albert Bernard Frank em 1885. Entretanto, somente após os anos 1950, as estruturas reprodutivas dos FMAs começaram a ser conhecidas e estudadas. Os FMAs, durante seu ciclo de vida, são capazes de se associar simbioticamente nas raízes de plantas, formando a micorriza arbuscular, incrementando a absorção nutricional e estimulando o crescimento das plantas. Por se tratar de um simbiote obrigatório, os FMAs necessitam do hospedeiro para completar seu ciclo vital (Mohan et al., 2014; Gai et al., 2015).

Estes fungos formam uma relação simbiótica com a planta, caracterizada pela penetração do micélio fúngico inter e intracelularmente às raízes. Ocorre o crescimento intracelular das hifas no tecido cortical e a diferenciação de hifas intracelulares terminais em estruturas efêmeras e semelhantes a haustórios chamadas de arbúsculos, sem causar nelas modificações morfológicas (Benedetti et al., 2005). Na interface formada pelos arbúsculos e as células corticais, ocorrem trocas de nutrientes minerais e metabólitos entre o fungo e a planta, estabelecendo-se um fluxo bidirecional.

Os benefícios das micorrizas são controlados por um fluxo bidirecional de nutrientes do fungo para a planta e de fotoassimilados da planta para o fungo, sendo este estimado em 10 a 15% da fotossíntese total (Silveira & Freitas, 2007). O resultado da colonização radicular pelos FMAs é a ampliação da interface de conexão entre planta e o solo, promovida pelo micélio formado externamente às raízes, após o estabelecimento da simbiose, além de garantir vantagens aos simbioses (Smith & Read, 2010; Mohan et al., 2014).

Os FMAs têm grande potencial para promover o desenvolvimento das plantas e a agregação do solo, a maioria das plantas (80%) é suscetível à formação de micorriza arbuscular, que ocorre na maioria das famílias de plantas. São particularmente importantes em condições edáficas estressantes, como solos ácidos e distróficos, como a grande parte dos solos das regiões tropicais (Mohan *et al.*, 2014; Ruy, 2015).

A baixa disponibilidade de nutrientes, aliada à baixa mobilidade de nutrientes importantes como P, Cu e Zn, fazem da micorrização uma condição imprescindível ao desenvolvimento vegetal nestas condições. Além disso, plantas com sistema radicular pouco ramificado e escasso em pêlos absorventes apresentam acentuado micotrofismo, ou seja, dependem da associação com os FMAs para absorverem nutrientes e garantirem seu crescimento (Ruy, 2015).

Os esporos dos fungos micorrízicos germinam quando as condições de umidade, temperatura e pressão parcial de CO<sub>2</sub> forem favoráveis. Uma vez o esporo germinado, enquanto a hifa se desenvolve em direção à raiz do hospedeiro, os FMAs interagem com rizobactérias, muitas delas habitantes naturais da rizosfera, podendo ocorrer tanto redução como estímulo no crescimento da hifa e colonização, facilitando ou não o estabelecimento da simbiose. As rizobactérias promotoras do crescimento das plantas (RPCPs), representadas principalmente pelas *Pseudomonas fluorescences* e *Bacillus*, promovem o crescimento das plantas estimulando o estabelecimento e funcionamento da micorriza arbuscular (Silveira & Freitas, 2007).

### **Classificação dos FMAs**

Os fungos micorrízicos arbusculares pertencem à classe Zigomicota, ordem Glomales, com duas subordens, Gigasporineae e Glomineae. A subordem Gigasporineae é formada por uma família Gigasporaceae, que contém os gêneros *Gigaspora* e *Scutellospora*, cujos fungos produzem esporos numa célula bulbo suspensora, formam células auxiliares e possuem uma camada permanente envolvendo a laminar na parede dos esporos. A subordem Glomineae é formada por duas famílias: Glomaceae, que contém os gêneros *Glomus* e *Sclerocystis*, e Acaulosporaceae, com os gêneros *Acaulospora* e *Entrophospora*, onde os fungos formam hifas cilíndricas com ramificações perpendiculares, vesículas dentro das raízes e os esporos possuem uma ou mais camadas evanescentes envolvendo a parede (Douds Jr & Millner, 1999; Silveira & Freitas, 2007; Invam, 2014).

Em Glomineae, todas as partes do fungo, como esporos extra e intra-radiculares, vesículas e hifas extra-radiculares, são potencialmente viáveis e infectivos. Em Gigasporineae, há evidência de que apenas os esporos funcionam como propágulos infectivos, uma vez que as células auxiliares não são aptas a iniciar colonização e as hifas extra-radiculares não são infectivas. Estruturas vegetativas como os arbúsculos distinguem as duas subordens: Gigasporineae e Glomineae, e as vesículas distinguem as três famílias da ordem Glomerales, sendo ausentes em Gigasporineae (Azevedo & Melo, 1998; Benedetti *et al.*, 2005; Angelini *et al.*, 2012).

### **Glomalina**

A glomalina foi inicialmente identificada como uma glicoproteína, formada por 60% de carboidratos que se ligam à porção proteica por ligações glicosídicas do tipo N, apresentando aminoácidos alifáticos e aromáticos na cadeia peptídica. Foi demonstrado também, que a molécula contém ferro fortemente ligado (0,04-8,8%), que provavelmente é o cromóforo

transmissor da cor vermelho amarronzada dos extratos (Rillig & Steinberg, 2002; Nichols & Wright, 2006; Wright *et al.*, 2007), bem como, cátions que são ligados à glomalina em quantidades que variam entre os diferentes solos.

A glomalina tem sido detectada em numerosos solos (Wright & Upadhyaya, 1999), o que tem sido atribuído ao fato dos FMA colonizarem 80% das plantas vasculares e apresentarem uma distribuição global (Vodnik *et al.*, 2008). As quantidades relativamente altas da glomalina no solo podem também ser resultado do comportamento recalcitrante desta biomolécula no solo (Rillig & Steinberg, 2002), conseqüentemente, com reduzida taxa de decomposição.

Frações de glomalina são definidas com base na sua facilidade de extração em citrato a alta temperatura ou em sua reatividade com o anticorpo monoclonal (Lovelock *et al.*, 2004). Existem quatro frações da glomalina nos solos: a glomalina facilmente extraível (GFE) que representa a fração recentemente depositada que ainda não sofreu transformações bioquímicas no solo (Wright & Upadhyaya, 1996); a glomalina total (GT) que apresenta-se fortemente ligada às argilas, sendo necessárias até sete extrações sequenciais para sua completa remoção em alguns solos (Wright & Upadhyaya, 1999) e as frações imunorreativas da GT e GFE que é a glomalina nativa verificada nas hifas dos FMA (Wright & Upadhyaya, 1996).

Acredita-se ainda que exista a fração residual que é extraída apenas quando se adicionam bases fortes (Lovelock *et al.*, 2004). É possível que outras diferentes frações de glomalina existam no solo devido a alterações ao longo do tempo, como perda pelo ataque microbiano (Wright & Upadhyaya, 1996; Wright & Upadhyaya, 1999). Contudo, não se sabe como e quando as diferentes frações de glomalina diferem umas das outras em termos de bioquímica, função no solo e duração, ou como a produção de glomalina é controlada (Rillig & Steinberg, 2002; Rillig *et al.*, 2003; Rillig, 2004).

Em estudos de campo sobre a atividade dos FMAs, a quantificação da glomalina apresenta-se como uma avaliação rápida, barata, objetiva e relativamente fácil de ser realizada, em comparação a outras variáveis como densidade de esporos, comprimento de hifas, colonização radicular e potencial de inóculo (Rillig & Mummey, 2006).

Os mecanismos que regulam a produção de glomalina pelos FMAs ainda não estão bem compreendidos, contudo fatores que afetam a simbiose micorrízica possivelmente devem também influenciar na produção desta proteína pelos FMAs. Alguns autores (Kabir & Koide, 2000; Rillig *et al.*, 2003) observaram correlação negativa entre concentrações de glomalina e pH do solo.

Os fungos tendem a predominar em solos ácidos e, como a glomalina é produzida por FMA, é de se esperar que haja maior produção desta proteína em solos ácidos em virtude de

maior atividade fúngica nestas condições (Haddad & Sarkar, 2003). Segundo Lovelock et al. (2004) solos com altas concentrações de P, apresentaram menores concentrações de glomalina. Em condições de maior disponibilidade de nutrientes, principalmente N e P, sinais moleculares emitidos pela planta hospedeira são afetados, reduzindo os sítios de infecção e o estabelecimento da associação micorrízica, o que conseqüentemente afeta a produção de glomalina pelos FMAs, uma vez que para isto dependem de fotossintatos fornecidos pelas plantas.

Os teores de carbono orgânico é um dos indicadores mais consistentes da concentração de glomalina nos solos. Correlações positivas entre as frações de glomalina e o teor de carbono orgânico têm sido registrados em solos naturais e cultivados (Wright & Upadhyaya, 1996; Franzluebbbers et al., 2000; Bird et al., 2002; Rillig et al., 2003; Nichols & Wright, 2006). Segundo alguns autores, a glomalina reduz a decomposição de materiais orgânicos através da formação de agregados, que ficam protegidos da atividade enzimática dos micro-organismos decompositores. Contudo, para Bedini et al. (2007), a glomalina e o carbono orgânico apresentam semelhantes dinâmicas de deposição e decomposição. Além dos fatores do solo, a produção de glomalina varia entre as espécies fúngicas, principalmente devido a efeitos ambientais sobre o metabolismo fúngico, bem como, a diferença intrínseca das espécies fúngicas.

Estes resultados sugerem que espécies do gênero *Glomus* parecem alocar menos recursos para a produção de glomalina (Treseder & Turner, 2007). Embora espécies do gênero *Glomus* frequentemente predominem na comunidade de FMAs, este grupo tende a investir menos na produção de hifas extrarradiculares (responsáveis pela produção da glomalina) e mais em estruturas intrarradiculares.

A composição da comunidade vegetal também pode influenciar na produção de glomalina pelos FMAs nos solos (Rillig & Steinberg, 2002). Em um sistema de rotação com trigo, milho e milheto, concentrações de glomalina foram significativamente maiores em comparação com outros sistemas de rotação que incluíram girassol (WRIGHT; ANDERSON, 2000), possivelmente devido à baixa dependência desta espécie à associação micorrízica (ESPINOZA-VICTORIA et al., 1993).

A presença da vegetação resulta em maior disponibilidade de fotossintatos para os FMAs, conseqüentemente, favorecendo a produção de glomalina por estes micro-organismos (Treseder & Turner, 2007). Diversos estudos têm também relatado que a produção de glomalina pode ser influenciada pelo sistema de uso do solo, sendo menor em solos agrícolas do que em solos nativos ou não cultivados.

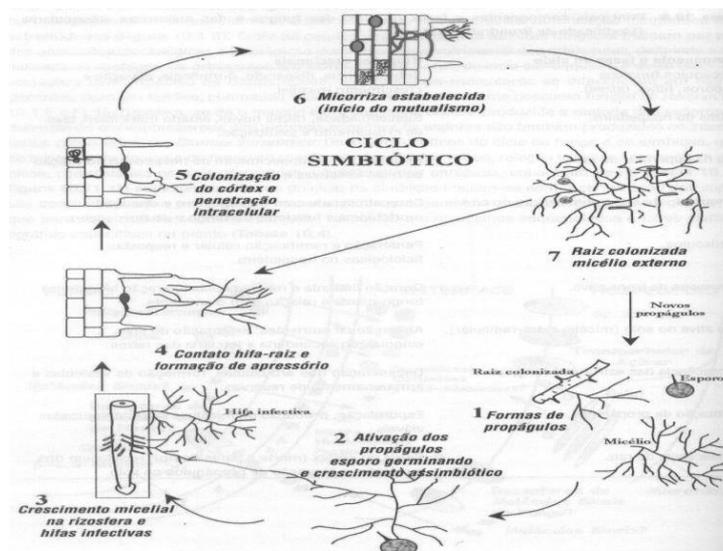
Concentrações de glomalina aumentaram em solos submetidos a preparo reduzido (7,4 mg g<sup>-1</sup> de solo) ou plantio direto (7,2 mg g<sup>-1</sup> de solo), comparadas à solos com preparo convencional (5,8 mg g<sup>-1</sup> de solo). As proporções de agregados também foram significativamente maiores em áreas de plantio direto, comparada com áreas submetidas a preparo convencional (gradagem~15 cm) ou preparo mínimo (Borie et al., 2006).

A relação entre estabilidade de agregados do solo e concentrações de glomalina tem sido demonstrada por muitos autores (Wright & Upadhyaya, 1996; Franzluebbers et al., 2000; Bird et al., 2002; Rillig et al., 2003; Nichols & Wright, 2006), e atribuída à recalcitrância e hidrofobicidade desta molécula. Como resultado desta relação, tem sido creditada à glomalina, importante contribuição na sustentabilidade dos ecossistemas, uma vez que melhorias na estrutura do solo, favorecem trocas gasosas, infiltração de água, crescimento de raízes, redução da erosão e aumento da capacidade do solo de armazenar carbono.

### **Germinação dos esporos e estabelecimento da simbiose**

A regulação do micotrofismo determina a resposta da planta hospedeira e o biotrofismo controla o grau de colonização e de produção de propágulos, garantindo a sobrevivência e a evolução desse grupo de fungos. Essa relação é obrigatória para o fungo, enquanto que para seus hospedeiros é facultativa, embora haja indicações de micotrofismo obrigatório por algumas espécies vegetais (Fageria et al., 2005; Gai et al., 2006; Mohan et al., 2014).

A colonização micorrízica tem início com o crescimento de uma hifa infectiva a partir de um esporo germinado, segmento de raiz infectado ou de hifas no solo, às quais são as formas de propágulos dos FMAs (Figura 1). As hifas infectivas crescem na rizosfera e ao entrar em contato com as raízes, formam uma estrutura especial de penetração do tipo apressório. Na superfície da raiz após o reconhecimento celular, ocorre o processo de infecção propriamente dito por meio da diferenciação da hifa em apressório e posterior penetração, que ocorre por combinação de pressão mecânica e degradação enzimática parcial da parede celular vegetal. A produção de enzimas hidrolíticas como pectinases, celulasas e hemicelulasas já foi detectada em esporos de *Glomus mosseae*. Os baixos níveis de atividade e a produção localizada dessas enzimas resguardam a integridade do tecido do hospedeiro e evitam a ativação do sistema de defesa vegetal, possibilitando o desenvolvimento de uma interação plenamente compatível entre a planta e o fungo (Mohan et al., 2014; Gai et al., 2015; Ruy, 2015).



**Figura 1.** Ciclo de colonização dos fungos micorrízicos arbusculares (Moreira & Siqueira, 2006).

Em várias interações fungo-planta, a primeira e mais importante indicação de reconhecimento de um hospedeiro compatível é a diferenciação de hifas fúngicas em apressórios, correspondente à fase 4 do ciclo de colonização. A formação de um apressório funcional, após a proliferação e a ramificação abundante das hifas de FMAs na rizosfera de plantas hospedeiras e adesão à superfície da célula vegetal, resulta em penetração e posterior colonização do tecido cortical (Silveira & Freitas, 2007).

A colonização intrarradicular é limitada aos tecidos externos à endoderme e dá-se pelo crescimento inter e intracelular das hifas. O crescimento intracelular inicial é caracterizado pela formação de simples enovelamentos (hifas transcelulares) e pela invaginação da membrana plasmática vegetal, de modo que não existe comprometimento da integridade das células hospedeiras. Esse processo é acompanhado também pela deposição de material semelhante à parede celular vegetal ao redor da hifa, criando uma região apoplástica (interface) com características bioquímicas específicas.

Dependendo do genótipo vegetal, hifas intracelulares diferenciam-se em arbúsculos na parte mais interna do córtex. Essas estruturas são formadas pela contínua ramificação dicotômica das extremidades das hifas, são efêmeras, de ciclo curto (4-5 dias) e responsáveis pela troca bidirecional de nutrientes entre os simbioss. Tanto as células vegetais quanto as hifas fúngicas passam por profundas alterações morfológicas e fisiológicas durante o desenvolvimento dos arbúsculos, definindo a funcionalidade da simbiose (Gai et al., 2015; Ruy, 2015).

As hifas dos FMAs crescem além da zona de depleção de fósforo (P) ao redor da raiz, absorvem íons fosfato que estariam indisponíveis para as plantas e transferem-os para a planta hospedeira. Esta, por outro lado, libera carboidratos para o fungo simbiote, os quais representam a única fonte de carbono para seu crescimento e reprodução. Dessa forma, tal associação é considerada obrigatória para os fungos, visto que eles não conseguem completar seu ciclo de vida na natureza sem a presença de uma planta hospedeira. O favorecimento na absorção de nutrientes pelas raízes resulta, principalmente, do aumento da área de superfície das raízes micorrizadas, que podem conter até 1,5 m de hifa em cada cm de raiz colonizada (Siqueira et al., 1989).

### **Fatores abióticos e bióticos que afetam os FMAs**

Os FMAs são de ocorrência generalizada em todos os ambientes terrestres, predominando nas regiões áridas e semi-áridas e nos solos com baixo teor de matéria orgânica. Nas regiões tropicais, embora existam condições favoráveis de luz e temperatura para o desenvolvimento das plantas, existem áreas que apresentam sérias restrições aos cultivos comerciais, devido à baixa pluviosidade e solos com elevada acidez. A ocorrência, diversidade e dinâmica de FMAs no solo e, conseqüentemente, a formação da associação micorrízica, estão sujeitas a vários fatores abióticos (déficits hídricos e nutricionais ou estresses térmicos) e bióticos (pragas e doenças) (Gai *et al.*, 2015).

Os FMAs são geralmente inibidos em condições de elevada fertilidade e favorecidas pela baixa fertilidade, onde a colonização e a esporulação são geralmente máximas. A adição de P suficiente para otimizar o crescimento da planta geralmente reduz a colonização micorrízica ou mesmo é capaz de inibi-la. Entretanto, isto não é regra, pois também se observa efeito neutro ou negativo. Outro aspecto a ser considerado diz respeito à fonte de fosfato que, devido a diferenças na solubilidade, afetam de forma diferente os FMAs.

Os FMAs ocorrem em solos com pH variando de 3 a 10, exibindo, portanto, grande plasticidade em relação a esse fator. O excesso de metais pesados reduz sua germinação, o crescimento micelial, o grau de colonização e esporulação causando grande impacto na sua ecologia e diversidade (Miranda, 2008; Smith & Read, 2010).

Os solos com elevado teor de umidade ou sujeitos à inundação, com aeração deficiente são geralmente desprovidos de FMAs porque os fungos e as raízes são aeróbios e poucas espécies hospedeiras crescem nessas condições. O máximo desenvolvimento das micorrizas

coincide com as condições de umidade e demais fatores que beneficiam o crescimento das plantas.

A camada arável do solo é onde se encontram as raízes absorventes das plantas, tornando-se, por isso, o principal habitat e reservatório de propágulos de FMAs nos ecossistemas. A mobilização do solo reduz a taxa de colonização por FMAs pois provoca a disrupção do micélio extraradicular fazendo com que a colonização seja preferencialmente iniciada por fontes de inóculo de crescimento mais lento (Gai *et al.*, 2015).

### **Efeitos nutricionais às plantas**

Nas raízes micorrizadas, hifas e micélio externo crescem solo adentro e aumentam a área de exploração pelas raízes e permitem a absorção de nutrientes fora da zona de esgotamento que surge ao redor das raízes em função da maior absorção de nutrientes, melhorando o aproveitamento dos nutrientes, principalmente do P. Em solos pobres em nutrientes, podem representar aumentos de 10 a 60 vezes na superfície e na taxa de absorção do nutriente, respectivamente (Da Silveira & Dos Santos Freitas, 2007) Plantas micorrizadas apresentam maior atividade fotossintética, maior atividade enzimática e de produção de substâncias reguladoras de crescimento (Silveira & Freitas, 2007) .

Os FMAs interferem direta ou indiretamente na aquisição de nitrogênio (N) pelas plantas, onde hifas fúngicas são capazes de absorver N nas formas orgânica e inorgânica, transferindo-as para as plantas (Silveira & Freitas, 2007; Moreira, 2011; Gai et al., 2015).

### **Efeitos não nutricionais às plantas**

O efeito mais importante das FMAs para as plantas depois dos benefícios nutricionais é o favorecimento da relação água-planta, aumento da resistência das plantas à seca, o que é geralmente atribuído à melhoria de seu estado nutricional e ao maior volume de solo explorado. Os FMAs também amenizam os efeitos ou danos causados pelos nematóides, fungos patogênicos do sistema radicular e algumas pragas, elevada acidez e metais pesados, estresse osmótico e produtos químicos fitotóxicos. As hifas formam uma rede biológica que entrelaça e mantém juntas as partículas do solo, melhorando a agregação e estabilidade dos agregados, que ao mesmo tempo que são estabilizados tornam-se ambiente funcional e de proteção às hifas de FMAs no solo (Miranda, 2008; Smith & Read, 2010).

## **Taxonomia e identificação de fungos micorrízicos arbusculares**

Os FMAs constituem um importante componente da microbiota da rizosfera em ecossistemas naturais (Verma et al., 2008), sendo que sua comunidade pode sofrer intensas alterações influenciadas por vários fatores, dentre os quais se encontram: condições ambientais, planta hospedeira e práticas agrícolas.

A distribuição geográfica dos FMAs é também influenciada pelos fatores edafoclimáticos que podem influenciar as comunidades indígenas em uma determinada área. Para se entender melhor as variações que as comunidades de FMAs sofrem, sua quantificação e determinação são de extrema importância. Sabendo-se da multifuncionalidade e importância da diversidade destes FMAs no funcionamento dos ecossistemas, grandes esforços têm sido realizados para se identificarem as espécies que colonizam plantas em ecossistemas naturais (Rodríguez-Echeverría & Freitas, 2006; Verma et al., 2008).

Para uma descrição completa da comunidade de FMAs em um determinado solo são necessárias as avaliações da densidade de FMAs presentes sob a forma de esporos, hifas no solo, hifas intrarradiculares e vesículas, bem como informações relativas à abundância de cada espécie em cada componente analisado (Douds Jr et al., 1993; Douds Jr & Millner, 1999). Esta caracterização completa das comunidades de FMAs pode se tornar laboriosa pelas técnicas normalmente utilizadas.

O método que se utiliza tradicionalmente para a identificação taxonômica das espécies de FMAs é a comparação entre as características morfológicas dos seus esporos extraídos do solo. A identificação dos FMAs é feita com base em características morfológicas dos esporos como tamanho, cor e estrutura da parede celular. A presença e a identificação dos esporos na rizosfera ou no solo são o método mais comum e mais simples para estimar a abundância e a riqueza específica de FMAs nas comunidades vegetais (Stürmer & Siqueira, 2011). A identificação baseada nos esporos é necessária porque os esporos representam o único estágio de desenvolvimento dos fungos que têm os caracteres morfológicos necessários para definir espécies nesse grupo de organismos. A determinação da diversidade das FMAs é feita pela análise de esporos recolhidos diretamente do campo ou de cultura armadilhas (Berbara et al., 2006).

O tipo de cultivo, o manejo e o impacto do uso do solo diminuem a riqueza de espécies de FMA. O uso da terra pode levar a alterações do ecossistema, reduzindo o desenvolvimento dos FMAs em até 80% e isto terá consequências para o funcionamento dos agrossistemas. O aumento da intensidade de uso do solo tem se correlacionado com a diminuição da riqueza de espécies de FMAs (Oehl et al., 2003; Oehl et al., 2008).

Foram identificados um total de 122 espécies de FMAs nos ecossistemas brasileiros, o que representa cerca de 56% do número total de espécies (217) formalmente descritas na literatura (Sousa et al., 2012), indicando que os biomas brasileiros são importantes fontes de diversidade de FMAs (Stürmer & Siqueira, 2011).

Ferreira et al. (2012) avaliaram, no bioma Cerrado, como a interferência antrópica, pelo manejo e a mudança de uso do solo, atua sobre a densidade de esporos e a diversidade dos FMAs, em um Latossolo Vermelho distroférico de Cerrado. Estes autores concluíram que a mudança no uso do solo promove alterações na comunidade de FMAs, podendo a densidade e a diversidade de esporos ser ampliadas, no caso da pastagem, ou reduzidas, no caso de desmatamento.

As associações micorrízicas devem ser levadas em consideração quando se pretende maximizar a produtividade de uma determinada área de maneira mais sustentável, principalmente se for empregado um manejo adequado, entendendo o perfil característico da associação micorrízica com a planta cultivada (Verma et al., 2008). Isto demonstra a importância de se conhecerem as espécies dos FMAs que mais influenciam o crescimento e desenvolvimento das plantas para se estabelecer as técnicas de manejo que melhor favoreçam esta associação, com o intuito de proporcionar uma condição de maior sustentabilidade da lavoura, principalmente em regiões onde as condições de fertilidade natural e pluviométrica não favorecem o bom desenvolvimento da planta.

## **A cultura do Trigo**

O trigo contemporâneo é uma das primeiras plantas cultivadas pelo homem e sua origem é a partir de um cruzamento entre espécies de gramíneas típicas da região dos rios Tigre e Eufrates, na Mesopotâmia (Silva et al., 1997), sendo esta uma região montanhosa, árida, com pouca precipitação e elevada amplitude térmica (CASTRO & KLUGE, 1999).

Para que a planta chegasse ao que se identifica hoje como trigo ocorreu tanto mutação involuntária, quanto mecanismos e processos de hibridação, além da seleção natural para adaptação às novas regiões, com o fim biológico de perpetuar a espécie.

No Brasil, o trigo foi introduzido em 1534 com a colonização, na capitania de São Vicente, da qual se difundiu para as demais capitanias (Café et al., 2003). Entretanto, os dados recentes da produção de trigo demonstram uma alta instabilidade produtiva e uma demanda interna sufocada, resultante da fragilidade do setor tritícola nacional..

A primeira década do XXI iniciou com uma produção abaixo de 2 mil toneladas de

grãos. Porém, na safra 2003/2004 iniciou-se um processo de crescimento da produção, em consequência do crescimento da área plantada no país, principalmente na expansão para a região do Cerrado, fato possibilitado pela pesquisa agropecuária nacional (CONAB, 2013).

As condições de solo, clima e topografia favoráveis ao cultivo de trigo, tanto de sequeiro quanto irrigado, em épocas e altitudes definidas pela pesquisa, fazem do Brasil Central uma região de grande potencial para a expansão dessa cultura, com a perspectiva de propiciar, em médio prazo, a autossuficiência na produção nacional. Além disso, a inserção do trigo no Cerrado contribui para diversificar os sistemas produtivos regionais (Silva et al, 1996).

Coelho et al. (2010) afirmam que devido a fatores culturais e bioclimáticos, durante muitos anos o cultivo de trigo se restringiu à região Sul do Brasil. No entanto, a região do Brasil Central constitui uma ótima alternativa para a expansão da produção tritícola, tanto em condições de sequeiro como sob sistema de irrigado. Os autores afirmam, ainda, que devem ser atendidas certas premissas, principalmente em termos de limites mínimos de altitude, época de semeadura e cultivares a serem utilizadas, pois existem duas estações climáticas bem definidas. Porém, quando se analisa apenas as médias de produção, a partir da década de 1970, além de ser perceptível que existem dois picos de produção, nas décadas de oitenta e no primeiro período do século XXI, que são consequência dos incentivos do governo e da expansão da área cultivada no país, respectivamente. Também é possível concluir que há um aumento da produção média iniciado na década de 1990. Deve-se salientar que os dados foram coletados a partir de 1977, o que pode interferir no valor da média referente à década de 1970.

Portanto, Mundstock (1999) afirma que a falta de incentivo à produção, o baixo teto da produtividade e o pouco estímulo às pequenas áreas produtivas colaboram para o não atendimento da demanda interna pela produção nacional, justificando a instabilidade na produção. Porém, o cenário atual mostra um crescimento da produtividade a partir de 1990.

### **Plantas de cobertura**

A implantação de agroecossistemas no bioma Cerrado sem considerar questões relacionadas à qualidade do solo vem causando sérios problemas de degradação de seus atributos físicos, químicos e biológicos, acentuando principalmente, as perdas de matéria orgânica (Silva et al., 1994). Com isso, ocorrem reduções nos teores de carbono e nitrogênio do solo, além de outros efeitos negativos como: menor eficiência na ciclagem de nutrientes,

erosão, assoreamento e contaminação dos mananciais hídricos e redução na biodiversidade de fauna e flora. Aplicações de altas doses de fertilizantes, uso de irrigação sem o devido controle, mecanização intensiva com acentuado revolvimento do solo e incorporação de resíduos vegetais são consideradas práticas que contribuem significativamente para a degradação da matéria orgânica e redução dos estoques de C e N do solo (Wutke et al., 2009). No SPD (sistema plantio direto), a maioria desses problemas de degradação do solo tem sido detectado com frequência.

Embora o SPD seja um sistema conservacionista, para que este seja verdadeiramente sustentável, é necessário um manejo do solo adequado, associado a práticas conservacionistas de caráter mecânico, edáfico e vegetativo, dentre as quais a utilização de adubação verde e plantas de cobertura são componentes essenciais. De acordo com pesquisas realizadas em sistemas agrícolas do Cerrado, espécies vegetais tolerantes ao estresse hídrico e com decomposição mais lenta favorecem a cobertura na superfície, e no caso de algumas leguminosas, além de adicionar nitrogênio, melhoram quantitativa e qualitativamente a matéria orgânica do solo (Melero et al., 2013). O uso dessas leguminosas com elevada capacidade de fixar nitrogênio do ar atmosférico e de outras espécies vegetais com altos aportes de N, contribui tanto para reduzir as quantidades de fertilizantes nitrogenados (Carvalho, 2005; Melero et al., 2013) quanto para a melhoria de atributos químicos, físicos e biológicos do solo.

Plantas de cobertura podem influenciar o funcionamento biológico do solo e, conseqüentemente na sua qualidade. O carbono da biomassa microbiana (CBM) é um dos principais parâmetros microbiológicos que se relaciona à taxa de decomposição de resíduos vegetais e à ciclagem de nutrientes, sendo considerado um bom indicador dos impactos de sistemas de manejo do solo. A avaliação de enzimas do solo, relacionadas ao ciclo do carbono (ex:  $\beta$ -glucosidase) é uma forma rápida, simples e barata de detectar esses efeitos, uma vez que essa enzima apresenta boa correlação com a matéria orgânica do solo, principal componente de fertilidade dos solos tropicais (Peixoto et al., 2010).

De acordo com pesquisas em SPD no Cerrado algumas espécies de plantas de cobertura, como o feijão-bravo-do-ceará e guandu, apresentam alta eficiência em se associar com fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) (Miranda, 2008) e que as hifas desses fungos produzem uma glicoproteína insolúvel denominada glomalina.

### **Cana-de-açúcar**

A cultura da cana-de-açúcar foi uma das primeiras culturas introduzidas no país com fins lucrativos (Lucchesi, 1995). A agroindústria desta cultura exerce uma forte influência

socioeconômica, sendo a maior geradora de empregos diretos e indiretos, além de gerar valores econômicos e culturais consideráveis (Rodrigues, 2004). Isso se deve em parte à sua grande amplitude de utilização, sendo empregada como matéria-prima na produção de açúcar e álcool anidro, na fabricação de rapadura, melado, aguardente e fertilizantes, na produção de energia e papel à partir do bagaço, na alimentação animal como forragem ou na complementação de ração animal à partir da vinhaça (Lucchesi, 1995).

A cana-de-açúcar depende de solos férteis cujo esgotamento se torna pronunciado quando cultivada na forma de monocultura. A cultura requer P em menores quantidades do que N e K, porém em solos tropicais e subtropicais a maior parte do P do solo se encontra em formas pouco disponíveis para as plantas, fator este que limita a produtividade agrícola.

Estudos sobre influencia micorrízica em cana-de-açúcar, Azevedo (2008) relataram a existência da simbiose entre FMAs e essa importante cultura. Nesse trabalho foram avaliadas oito variedades de cana cultivadas no município de Piracicaba (SP), sendo que os níveis de colonização variaram de zero a 22 %, sugerindo que as variedades diferiram em sua capacidade de formar micorrizas. Os esporos encontrados foram predominantemente dos gêneros *Glomus* e *Gigaspora*. Andreola (1982) observou esporulação de fungos micorrízicos de 433 a 1620/100 mL de solo e colonização radicular variando de 3 a 45% em áreas cultivadas com cana na região de Piracicaba. Novamente, constatou-se o predomínio do gênero *Glomus*, com 70- 96 % das ocorrências de esporos. Esse autor não encontrou relação entre os níveis de colonização radicular e o desenvolvimento da planta, fato atribuído à alta disponibilidade de P nos solos em que foram realizadas as avaliações.

Kelly et al. (2001) afirmam que essa relação inversa seja decorrente da utilização de grande quantidade de fertilizantes químicos, principalmente fosfáticos, o que inibe a colonização micorrízica. Em estudo realizado na Austrália, os autores observaram pouca resposta da cultura da cana à micorrização com *Glomus clarum* quando comparada às culturas do milho e da soja, classificando-a como de baixa dependência micorrízica. Ainda assim, os autores concluíram que, quando há suficiente número de propágulos de fungos micorrízicos no solo, a adubação com fertilizante fosfático, para as condições avaliadas, só se faz necessária quando a disponibilidade de P for menor que 30 mg kg<sup>-1</sup> (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,005 M), enquanto que na ausência de propágulos de FMA, esse nível sobe para 47 mg kg<sup>-1</sup> de P.

Em levantamento realizado por Reis et al. (1999) em plantios comerciais de cana no Rio de Janeiro e Pernambuco, em várias condições de solo, variedades e sistemas de manejo, concluiu-se que a não realização da queima da cultura por ocasião do corte aumentou o número de esporos de fungos micorrízicos no solo, bem como a diversidade de espécies de FMAs

encontradas. O aumento da quantidade e da diversidade de espécies de FMA pode contribuir para outras culturas utilizadas em rotação por ocasião da reforma do canavial, comprovadamente mais responsivas à micorrização, especialmente a soja e o milho, conforme demonstrado por Kelly et al. (2006).

Se em condições de campo a cultura da cana caracteriza-se por apresentar baixa dependência micorrízica, a inoculação com fungos micorrízicos arbusculares para aumentar o índice de sobrevivência durante a aclimatação e o vigor de mudas obtidas a partir da cultura de tecidos parece ser promissora. Andreola (1982), empregando mini toletes de três variedades de cana com uma gema, que recebeu tratamento térmico para controle de patógenos, constatou que a micorrização promoveu maior crescimento da planta, mas a eficiência do FMA variou com a variedade.

Nas condições de Cerrado, estima-se que a taxa de colonização seja maior pois o regime hídrico proporciona condições ideais para a associação simbiótica, tendo em vista que estresse hídrico é um dos fatores que estimula a interação. As condições nutricionais baixas dos solos de Cerrado também colaboram para o estímulo da colonização.

## **OBJETIVOS**

### **Geral:**

O objetivo do presente trabalho é estudar o impacto de diferentes usos de solo no Cerrado na densidade, diversidade e ecologia dos fungos micorrízicos arbusculares.

### **Específicos:**

Avaliar a ocorrência de fungos micorrízicos e teores de glomalina, em solo sob diferentes plantas de cobertura, após a cultura do milho com e sem adubação de cobertura.

Identificar as espécies de fungos micorrízicos e avaliar taxa de colonização e a densidade de esporos de fungos micorrízicos em cinco genótipos de trigo sob os sistemas de plantio direto e convencional de plantio.

Avaliar a ocorrência, número de esporos no solo e taxa de colonização micorrízica em diferentes variedades de cana-de-açúcar sob dois sistemas de produção

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDREOLA, F. **Micorrizas vesiculares-arbusculares em cana de açúcar**. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 1982. 85 p. (Tese de Mestrado).

ANGELINI, G. A. R.; LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; TORRES, J. L. R.; JÚNIOR, O. J. S. **Colonização micorrízica, densidade de esporos e diversidade de fungos micorrízicos arbusculares em solo de Cerrado sob plantio direto e convencional**. Semina: Ciências Agrárias, v. 33, n. 1, p. 115-130, 2012.

AZEVEDO, J.; MELO, I. **Biodiversidade microbiana e potencial biotecnológico**. Ecologia Microbiana. EMBRAPA CNPMA, Jaguariúna, 1998.

AZEVEDO, L.C.B. **Comunidades de Fungos Micorrízicos Arbusculares no solo e raízes de cana-de-açúcar**. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2008. 110p. (Tese de Doutorado)

BEDINI, S.; AVIO, L.; ARGESE, E.; GIOVANNETTI, M. **Effects of long-term land use on arbuscular mycorrhizal fungi and glomalin-related soil protein**. Agriculture, ecosystems & environment, v. 120, n. 2, p. 463-466, 2007.

BENEDETTI, T.; ANTONIOLLI, Z. I.; GIRACCA, E. M. N.; STEFFEN, R. B. **Diversidade de fungos micorrízicos arbusculares na cultura do milho após uso de espécies de plantas de cobertura de solo**. Revista de Ciências Agroveterinárias, v. 4, n. 1, p. 44-51, 2005.

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

BIRD, S. B.; HERRICK, J. E.; WANDER, M.; WRIGHT, S. **Spatial heterogeneity of aggregate stability and soil carbon in semi-arid rangeland**. Environmental Pollution, v. 116, n. 3, p. 445-455, 2002.

BORIE, F.; RUBIO, R.; ROUANET, J.; MORALES, A.; BORIE, G.; ROJAS, C. **Effects of tillage systems on soil characteristics, glomalin and mycorrhizal propagules in a Chilean Ultisol**. Soil and Tillage Research, v. 88, n. 1, p. 253-261, 2006.

CAFÉ, S. L.; FONSECA, P. S. M. D.; AMARAL, G. F.; MOTTA, M. F. D. S. R.; ROQUE, C. A. L.; ORMOND, J. G. P. **Cadeia produtiva do trigo**. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 18, p. 193-219, 2003.

CARVALHO, A.M. **Uso de plantas condicionadoras com incorporação e sem incorporação no solo: Composição química e decomposição de resíduos vegetais; disponibilidade de fósforo e emissão de gases**. Brasília, Universidade de Brasília, 2005. 199p. (Tese de Doutorado)

COELHO, M. A. de O.; TEIXEIRA CONDE, A. B.; YAMANAKA, C. H.; CORTE, H. R. **EVALUATED OF WHEAT (*Triticum aestivum* L.) PRODUCTIVITY IN RAINFED CONDITIONS IN MINAS GERAIS STATE**. BIOSCIENCE JOURNAL, v. 26, n. 5, p. 717-723, 2010.

CONAB. **Avaliação da safra agrícola de cana-de-açúcar 2013/2014**. ABASTECIMENTO, C. N. D. Brasília: 1-15 p. 2013.

DOUDS JR, D. D.; JANKE, R. R.; PETERS, S. E. **VAM fungus spore populations and colonization of roots of maize and soybean under conventional and low-input sustainable agriculture**. Agriculture, ecosystems & environment, v. 43, n. 3-4, p. 325-335, 2// 1993. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0167880993900957> >.

DOUDS JR, D. D.; MILLNER, P. D. **Biodiversity of arbuscular mycorrhizal fungi in agroecosystems**. Agriculture, ecosystems & environment, v. 74, n. 1-3, p. 77-93, 6// 1999. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167880999000316> >.

FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V. C.; BAILEY, B. A. **Role of Cover Crops in Improving Soil and Row Crop Productivity**. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, v. 36, n. 19-20, p. 2733-2757, 2005/10/01 2005. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1080/00103620500303939> >. Acesso em: 2015/02/23.

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

FRANZLUEBBERS, A.; WRIGHT, S.; STUEDEMANN, J. **Soil aggregation and glomalin under pastures in the Southern Piedmont USA**. Soil Science Society of America Journal, v. 64, n. 3, p. 1018-1026, 2000.

GAI, J. P.; CHRISTIE, P.; FENG, G.; LI, X. L. **Twenty years of research on community composition and species distribution of arbuscular mycorrhizal fungi in China: a review**. Mycorrhiza, v. 16, n. 4, p. 229-239, 2006/06/01 2006. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1007/s00572-005-0023-8> >.

GAI, J.; GAO, W.; LIU, L.; CHEN, Q.; FENG, G.; ZHANG, J.; CHRISTIE, P.; LI, X. **Infectivity and community composition of arbuscular mycorrhizal fungi from different soil depths in intensively managed agricultural ecosystems**. Journal of Soils and Sediments, p. 1-12, 2015.

HADDAD, M.; SARKAR, D. **Glomalin, a newly discovered component of soil organic matter: Part II Relationship with soil properties**. Environmental Geosciences, v. 10, n. 3, p. 99-106, 2003.

INVAM. **International Culture Collection of Arbuscular Mycorrhizal Fungi**. 2014. Disponível em: < <http://invam.caf.wvu.edu/fungi/taxonomy/classification.htm> >.

KABIR, Z.; KOIDE, R. T. **The effect of dandelion or a cover crop on mycorrhiza inoculum potential, soil aggregation and yield of maize**. Agriculture, ecosystems & environment, v. 78, n. 2, p. 167-174, 4// 2000. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167880999001218> >.

KELLY, R.; EDWARDS, D.; THOMPSON, J.; MAGAREY, R. **Growth responses of sugarcane to mycorrhizal spore density and phosphorus rate**. Crop and Pasture Science, v. 56, n. 12, p. 1405-1413, 2006.

KELLY, R.; EDWARDS, D.; THOMPSON, J.; MAGAREY, R. **Responses of sugarcane, maize, and soybean to phosphorus and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi**. Crop and Pasture Science, v. 52, n. 7, p. 731-743, 2001.

LOVELOCK, C. E.; WRIGHT, S. F.; CLARK, D. A.; RUESS, R. W. **Soil stocks of glomalin produced by arbuscular mycorrhizal fungi across a tropical rain forest landscape**. *Journal of Ecology*, v. 92, n. 2, p. 278-287, 2004.

LUCCHESI, A. **Processos fisiológicos da cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*)**. Piracicaba: ESALQ/USP, 1995.

MELERO, M. M.; DE CASTILHO GITTI, D.; ARF, O.; RODRIGUES, R. A. F. **Coberturas vegetais e doses de nitrogênio em trigo sob sistema plantio direto**. *Pesquisa Agropecuária Tropical (Agricultural Research in the Tropics)*, v. 43, n. 4, p. DOI: 10.1590/S1983-40632013000400001, 2013.

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

MIRANDA, J. D.; MIRANDA, L. D. **Seleção e recomendação de uso de espécies de fungos micorrízicos arbusculares**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2001.

MOHAN, J. E.; COWDEN, C. C.; BAAS, P.; DAWADI, A.; FRANKSON, P. T.; HELMICK, K.; HUGHES, E.; KHAN, S.; LANG, A.; MACHMULLER, M. **Mycorrhizal fungi mediation of terrestrial ecosystem responses to global change: mini-review**. *Fungal Ecology*, v. 10, p. 3-19, 2014.

MOREIRA, B. C. **Fungos micorrízicos arbusculares em rizosfera de pinhão-mansão**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa 2011. Tese de Mestrado.

MOREIRA, F. M. D. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e Bioquímica do Solo**. Editora UFLA, 2006.

MUNDSTOCK, C.M. **Planejamento e manejo integrado da lavoura de trigo**. Porto Alegre : ed. do Autor, 1999. 228p

NICHOLS, K.; WRIGHT, S. **Carbon and nitrogen in operationally defined soil organic matter pools**. *Biology and fertility of soils*, v. 43, n. 2, p. 215-220, 2006.

OEHL, F.; DE SOUZA, F. A.; SIEVERDING, E. **Revision of Scutellospora and description of five new genera and three new families in the arbuscular mycorrhiza-forming Glomeromycetes.** Mycotaxon, v. 106, n. 1, p. 311-360, 2008.

OEHL, F.; SIEVERDING, E.; INEICHEN, K.; MÄDER, P.; BOLLER, T.; WIEMKEN, A. **Impact of land use intensity on the species diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in agroecosystems of Central Europe.** Applied and Environmental Microbiology, v. 69, n. 5, p. 2816-2824, 2003.

OLSSON, P. A.; WILHELMSSON, P. **The growth of external AM fungal mycelium in sand dunes and in experimental systems.** Plant and Soil, v. 226, n. 2, p. 161-169, 2000.

PEIXOTO, R.; CHAER, G.; FRANCO, N.; JUNIOR, F. R.; MENDES, I.; ROSADO, A. **A decade of land use contributes to changes in the chemistry, biochemistry and bacterial community structures of soils in the Cerrado.** Antonie van Leeuwenhoek, v. 98, n. 3, p. 403-413, 2010.

POUYU-ROJAS, E.; SIQUEIRA, J. O.; SANTOS, J. G. D. **Compatibilidade simbiótica de fungos micorrízicos arbusculares com espécies arbóreas tropicais.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 30, n. 03, p. 413-424, 2006.

QUEREJETA, J.; EGERTON-WARBURTON, L. M.; ALLEN, M. F. **Topographic position modulates the mycorrhizal response of oak trees to interannual rainfall variability.** Ecology, v. 90, n. 3, p. 649-662, 2009.

REDECKER, D.; SCHÜBLER, A.; STOCKINGER, H.; STÜRMER, S.; MORTON, J.; WALKER, C. **An evidence-based consensus for the classification of arbuscular mycorrhizal fungi (Glomeromycota).** Mycorrhiza, v. 23, n. 7, p. 515-531, 2013/10/01 2013. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1007/s00572-013-0486-y> >.

REIS, V. M.; PAULA, M. A. D.; DÖBEREINER, J. **Ocorrência de micorrizas arbusculares e da bactéria diazotrófica *Acetobacter diazotrophicus* em cana-de-açúcar.** Pesq. Agropec. Bras, v. 34, n. 10, p. 1933-1941, 1999.

RILLIG, M. C. **Arbuscular mycorrhizae, glomalin, and soil aggregation.** Canadian Journal of Soil Science, v. 84, n. 4, p. 355-363, 2004.

RILLIG, M. C.; MAESTRE, F. T.; LAMIT, L. J. **Microsite differences in fungal hyphal length, glomalin, and soil aggregate stability in semiarid Mediterranean steppes.** Soil biology and biochemistry, v. 35, n. 9, p. 1257-1260, 2003.

RILLIG, M. C.; MUMMEY, D. L. **Mycorrhizas and soil structure.** New phytologist, v. 171, n. 1, p. 41-53, 2006.

RILLIG, M. C.; STEINBERG, P. D. **Glomalin production by an arbuscular mycorrhizal fungus: a mechanism of habitat modification?** Soil biology and biochemistry, v. 34, n. 9, p. 1371-1374, 2002.

RODRIGUES, R. **Século XXI, o novo tempo da agroenergia renovável.** Visão Agrícola, v. 1, n. 1, p. 4-7, 2004.

RODRÍGUEZ-ECHEVERRÍA, S.; FREITAS, H. **Diversity of AMF associated with *Ammophila arenaria* ssp. *arundinacea* in Portuguese sand dunes.** Mycorrhiza, v. 16, n. 8, p. 543-552, 2006.

RUY, R. **Indicadores microbiológicos e bioquímicos de qualidade em solo de baixa fertilidade natural que recebeu calagem e adubação fosfatada.** Embrapa Soja-Teses/dissertações, 2015.

SILVA, D. B. da; GUERRA, A. F.; REIN, T. A.; ANJOS, J. de R. N. dos; ALVES, R. T.; RODRIGUES, G. C.; SILVA, I. A. C. **Trigo para o abastecimento familiar: do plantio à mesa.** Brasília, DF: Embrapa-SPI; Planaltina: Embrapa-CPAC, 1996. 176 p.

SILVA, J. da; LEMAINSKI, J.; RESCK, D. **Perdas de matéria orgânica e suas relações com a capacidade de troca catiônica em solos da região de cerrados do oeste baiano.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 18, n. 3, p. 541-547, 1994.

SILVA, J.E. & RESCK, D.V.S. **Matéria orgânica do solo.** In: VARGAS, M.A.T. & HUNGRIA, M., eds. Biologia dos solos do cerrado. Planaltina, EMBRAPA-CPAC, 1997. p.465-524

SILVEIRA, A. P. D. da; FREITAS, S. dos S. **Microbiota do solo e qualidade ambiental.** Instituto Agrônômico, 2007.

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

SMITH, Sally E.; READ, David J. **Mycorrhizal symbiosis**. Academic press, 1996.

SOUSA, C. S.; MENEZES, R. S. C.; SAMPAIO, E. V. D. S. B.; LIMA, F. S. **Glomalina: características, produção, limitações e contribuição nos solos**. Semina: Ciências Agrárias, v. 33, n. 6Supl1, p. 3033-3044, 2012.

STÜRMER, S.; SIQUEIRA, J. **Species richness and spore abundance of arbuscular mycorrhizal fungi across distinct land uses in Western Brazilian Amazon**. Mycorrhiza, v. 21, n. 4, p. 255-267, 2011/05/01 2011. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1007/s00572-010-0330-6> >.

TRESEDER, K. K.; TURNER, K. M. **Glomalin in ecosystems**. Soil Science Society of America Journal, v. 71, n. 4, p. 1257-1266, 2007.

VERMA, N.; TARAFDAR, J. C.; SRIVASTAVA, K. K.; PANWAR, J. **Arbuscular mycorrhizal (AM) diversity in Prosopis cineraria (L.) Druce under arid agroecosystems**. Agricultural Sciences in China, v. 7, n. 6, p. 754-761, 2008.

VODNIK, D.; GRČMAN, H.; MAČEK, I.; VAN ELTEREN, J. T.; KOVAČEVIČ, M. **The contribution of glomalin-related soil protein to Pb and Zn sequestration in polluted soil**. Science of the total environment, v. 392, n. 1, p. 130-136, 2008.

WRIGHT, S. F.; UPADHYAYA, A. **Extraction of an abundant and unusual protein from soil and comparison with hyphal protein of arbuscular mycorrhizal fungi**. Soil Science, v. 161, n. 9, p. 575-586, 1996.

WRIGHT, S.; GREEN, V.; CAVIGELLI, M. **Glomalin in aggregate size classes from three different farming systems**. Soil and Tillage Research, v. 94, n. 2, p. 546-549, 2007.

WRIGHT, S.; UPADHYAYA, A. **Quantification of arbuscular mycorrhizal fungi activity by the glomalin concentration on hyphal traps**. Mycorrhiza, v. 8, n. 5, p. 283-285, 1999.

WUTKE, E. B.; TRANI, P. E.; AMBROSANO, E. J.; DRUGOWICH, M. I. **Adubação verde no estado de São Paulo**. Coordenadoria de Assistência Técnica Integral, 2009.

**CAPÍTULO 1: Micorriza arbuscular em genótipos de trigo, sob plantio direto e convencional.**

## INTRODUÇÃO

A expansão da cultura do trigo para a região do Cerrado brasileiro pode contribuir para o aumento na produção deste importante cereal. Estudos sobre o desenvolvimento e produtividade de grãos de trigo e a utilização de elementos biológicos edáficos são fundamentais para a cultura do trigo, tendo-se em vista o alto potencial tecnológico utilizado nesta região (Melero *et al.*, 2013; Santos *et al.*, 2013; Viola *et al.*, 2013).

A melhoria na qualidade química, física e biológica do solo, pela utilização do sistema plantio direto, está associada ao aumento do teor de matéria orgânica do solo, (Mazurana *et al.*, 2013), com conseqüente melhoria na produtividade das culturas inseridas no sistema de produção e, também, podem contribuir para a redução nos custos de produção, principalmente na aquisição de fertilizantes, garantindo maior lucratividade e sustentabilidade da agricultura brasileira (Reis *et al.*, 2011; Melero *et al.*, 2013; Santos *et al.*, 2013; Viola *et al.*, 2013).

O trigo cultivado sob plantio direto tem apresentado rendimento 25% superior na produção de grãos comparado ao preparo convencional (Reis *et al.*, 2011).

No solo, na região da rizosfera das plantas, existe grande diversidade de microrganismos que estão em constante interação em razão da grande quantidade de exsudatos liberados pelas raízes das plantas (Moreira & Siqueira, 2006; Sala *et al.*, 2007; Gai *et al.*, 2015; Soka & Ritchie, 2015)

Os fungos micorrízicos arbusculares são um grupo de microrganismos capazes de realizar associações simbióticas mutualísticas com plantas, denominadas micorrizas, onde o fungo emite uma estrutura interativa no interior do córtex vegetal chamado arbúsculo (Gai *et al.*, 2015; Soka & Ritchie, 2015). Essas associações entre raízes de plantas e fungos do filo Glomeromycota são de grande importância para a manutenção da sanidade vegetal (Schüßler *et al.*, 2001). Os fungos micorrízicos ocorrem naturalmente nos solos aumentando a capacidade de absorção de nutrientes do solo pelas plantas, a resistência ao ataque de patógenos do sistema radicular e aumentando também a capacidade de absorção de água (Jeffries *et al.*, 2003; Mohan *et al.*, 2014; Gai *et al.*, 2015; Soka & Ritchie, 2015).

Nos sistemas micorrízicos os nutrientes minerais são ciclados com perdas mínimas. As raízes micorrizadas possuem uma maior longevidade e absorvem mais água e nutrientes. Essa associação possui grande importância nos solos dos Cerrado onde o nível de fertilidade é baixo e os solos são ácidos (Silva *et al.*, 1997; Gai *et al.*, 2015; Soka & Ritchie, 2015).

O sistema de cultivo utilizado promove alterações quantitativas na população de fungos micorrízicos arbusculares nativos, pois a associação micorrízica é favorecida pela existência de

exsudatos radiculares que contém moléculas que estimulam a germinação de esporos e o crescimento de fungos micorrízicos (Sala *et al.*, 2007; Elbon & Whalen, 2014; Mohan *et al.*, 2014).

As alterações causadas pelo preparo do solo podem causar modificações na quantidade e predominância de espécies micorrízicas no solo. Práticas de manejo promovem alterações diferenciadas no número e na diversidade de espécies presentes na comunidade micorrízica arbuscular nativa e interferem na eficiência da simbiose (Miranda & Miranda, 2001; Da Silveira & Dos Santos Freitas, 2007; Sala *et al.*, 2007; Gai *et al.*, 2015).

De modo geral, alterações intensivas nos ecossistemas edáficos reduzem a abundância e a diversidade dos fungos micorrízicos arbusculares (Sabbott & Robson, 1991; Jeffries *et al.*, 2003; Oehl *et al.*, 2003; Oehl *et al.*, 2004; Da Silveira & Dos Santos Freitas, 2007; Ferreira *et al.*, 2012; Mohan *et al.*, 2014; Gai *et al.*, 2015; Soka & Ritchie, 2015). Práticas de manejo sustentáveis e conservacionistas, como o plantio direto, tem impacto positivo na população de FMAs e outros organismos benéficos nas rizosferas dos sistemas cultivados (Johnson, 1993; Kiers *et al.*, 2002; Johnson *et al.*, 2004; Mohan *et al.*, 2014).

Nas plantas colonizadas estabelece-se uma estrutura que dá à planta uma superfície extra de absorção ultrapassando assim os limites normais de sua capacidade de absorver nutrientes que normalmente seria realizada pela superfície das raízes nas plantas não infectadas. Nas hifas extra radiculares formam-se esporos que garantem a sobrevivência e a dispersão dos fungos (Silva *et al.*, 1997; Elbon & Whalen, 2014; Mohan *et al.*, 2014; Gai *et al.*, 2015; Soka & Ritchie, 2015).

Estudos mostram que cultivares de trigo inoculadas com *Glomus mosseae* mostram diferentes graus de micorrização e dependência micorrízica (Azcon & Ocampo, 1981).

Com isso se faz necessário o estudo sobre os efeitos benéficos destas associações e da adequada utilização de sistema de cultivo de modo a beneficiar a propagação dos fungos micorrízicos no solo e sua associação com raízes de plantas.

Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi identificar as espécies de fungos micorrízicos e avaliar taxa de colonização e a densidade de esporos de fungos micorrízicos em cinco genótipos de trigo sob os sistemas de plantio direto e convencional de plantio.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

O experimento foi conduzido na Embrapa Cerrados, Planaltina, DF, situada a 15°35'30" latitude S, 47°42'30" longitude. O solo da área é classificado como Latossolo Vermelho A moderado, textura argilosa, fase Cerrado e o relevo é plano. Segundo a classificação de Köppen

(1931), o clima é tropical estacional (Aw), sendo caracterizado por duas estações bem definidas (seca e chuvosa), podendo ocorrer períodos de estiagem durante a estação chuvosa. A precipitação média anual nessa região oscila de 1.400 mm a 1.600 mm, e a temperatura média anual do ar varia entre 15°C e 27 °C. O experimento ocorreu na estação seca isto e, no inverno com quase ausência de precipitação.

A área foi mantida por um longo período com braquiária, sendo que a partir de 2005, fez-se uma rotação de trigo no inverno, soja no verão e feijão na safrinha. Antes do plantio do trigo, na safra de 2011, a área experimental foi cultivada com crotalária (*Crotalaria juncea*), que foi coletada e triturada na floração e sua palhada foi depositada na área experimental, em Março de 2011. Em metade da área experimental, a palhada foi incorporada com uma grade aradora e na outra metade da área os restos vegetais foram mantidos como cobertura do solo, sem revolvimento.

A análise de solo antes da condução do experimento está apresentada na Tabela 1.

**Tabela 1.** Análise de solo (0-20 cm) da área experimental antes da instalação do experimento.

pH H <sub>2</sub> O	P	K	Al	Ca	Mg	H + Al	MO (g kg <sup>-1</sup> )
	mg/L		---mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ---				
5,63	5,49	80	0,16	2,43	1,08	4,5	20

Em maio do mesmo ano, realizou-se o plantio dos cinco genótipos de trigo de forma mecanizada em quatro linhas por parcela para cada genótipo, com espaçamento de 0,20 cm entre as linhas. As sementes foram plantadas a 5 cm de profundidade e densidade de 300 sementes por m<sup>2</sup>.

A adubação dos genótipos de trigo foi de 400 kg ha<sup>-1</sup> da fórmula 4-14 8 (NPK) e 100 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio em cobertura, na forma de ureia, no perfilhamento das plantas.

O delineamento experimental foi em blocos ao acaso com três repetições, com esquema de subparcelas. As parcelas foram compostas por dois sistemas de produção: plantio direto e convencional e as subparcelas por cinco genótipos de trigo: Aliança, Brilhante, BRS 254, PF37 e PF62.

Para o controle de plantas daninhas, foi feita a aplicação de Herbadox® nas parcelas em maio e Ally® e Decis® para o controle de pulgão. Lâminas leves de irrigação no total de 30 mm de água foram aplicadas em todo o experimento, até o perfilhamento, e uma lamina de 300 mm até a data de coleta.

Durante o experimento, a precipitação total foi de 5,8 mm, a temperatura máxima de 34°C e a mínima de 8,3°C. A umidade relativa do ar correspondeu a 54%, conforme dados extraídos da Estação Agroclimatológica do Centro de Pesquisas Agropecuárias do Cerrado.

Na floração dos genótipos de trigo, foram realizadas coletas de solo e plantas de forma aleatória. Em cada parcela foram coletadas raízes de cinco plantas e de solo rizosférico. O solo rizosférico, coletado a uma profundidade de 0-20 cm, foi separado das raízes e as amostras compostas foram homogeneizadas e armazenadas sob refrigeração. As raízes foram lavadas e conservadas em álcool 50%.

Para a determinação da porcentagem de colonização, as raízes foram clarificadas e coradas com 0,05% de Azul-de-Trypan em lactoglicerol (Phillips & Hayman, 1970) e a avaliação da colonização foi feita em microscópio estereoscópico, seguindo a técnica de interseção dos quadrantes (Giovannetti & Mosse, 1980). Segmentos finos de raízes foram colocados em lâminas de microscópio e em cada uma foram colocados 50 pedaços de raízes, totalizando 300 segmentos por tratamento.

Os esporos de fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) foram extraídos do solo utilizando-se 50 cm<sup>3</sup> de cada amostra composta, pela técnica de peneiramento úmido (Gerdemann & Nicolson, 1963) seguida por centrifugação em água e solução de sacarose 50%. Os esporos foram separados de acordo com suas características fenotípicas como cor, tamanho e forma, compondo os diferentes morfotipos, sob lupa binocular estereoscópica.

Para a determinação da proteína reativa facilmente extraível (ou glomalina facilmente extraível) foi utilizado o método de Bradford, seguindo a metodologia de Wright e Upadhyaya (1996). Pesou-se 1 g de solo em tubos tipo falcon, com capacidade para 50 ml e foram feitas duplicatas de cada amostra de solo. Adicionaram-se 8 ml de solução tampão de citrato de sódio 20mM (pH 7,0) em cada tubo, que foi autoclavado por 30 minutos a 121° C. Em seguida, os frascos foram centrifugados a 5000 rpm por 10 minutos.

Para a determinação da concentração de glomalina, pipetaram-se 50 µL do extrato em tubo de ensaio, adicionando-se 1 ml do reagente de Bradford aos tubos.

Os tubos foram agitados em vortex e após 10 minutos foi feita a leitura de absorbância em espectrofotômetro a 595 nm.

Para a identificação das espécies de FMAs a partir das características morfológicas, os esporos foram separados de acordo com seus morfotipos e montados em lâminas com polivinil-lacto-glicerol (PVLG) puro e PVLG misturados com Melzer (1:1 v/v). A identificação dos FMAs foi realizada no Laboratório de Fungos Micorrízicos da Embrapa Agrobiologia, com o auxílio de um microscópio óptico equipado com ocular micrométrica. Para subsidiar o trabalho

de identificação, foram utilizados artigos originais da descrição das espécies e descrições das espécies fornecidas no site da “International Culture Collection of Arbuscular and Vesicular-Arbuscular Mycorrhizal Fungi” (Invam, 2014).

Os dados de número de esporos e colonização micorrízica foram submetidos à análise estatística clássica por meio do programa Sisvar (Ferreira, 2008). As análises de componentes principais e análises de correspondência canônica foram realizadas pelo programa de análises estatísticas Past (Hammer, 2013).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Colonização micorrízica em cinco genótipos de trigo cultivadas em plantio direto e plantio convencional

Em todos os genótipos estudados, a colonização micorrízica foi maior no sistema de plantio direto quando comparado ao plantio convencional (Tabela 2), mostrando que o sistema de produção alterou a colonização micorrízica, já no primeiro ano de implantação, época em que o sistema de plantio direto ofereceu melhores condições para o desenvolvimento de fungos micorrízicos.

**Tabela 2.** Colonização micorrízica (%) de cinco genótipos de trigo, em sistema de plantio direto e convencional.

Genótipo	Sistema de Produção	
	Plantio direto	Plantio convencional
Aliança	60,67 aA	41,20 bcB
Brilhante	59,20 aA	39,90 cB
PF62	54,00 bA	41,97 abcB
PF37	54,07 bA	45,37 aB
BRS 264	61,07 aA	43,70 abB

CV(%)– sistema de produção - 3,01; CV(%) – genótipos de trigo – 2,79  
Médias seguidas pela mesma letra maiúscula nas linhas e minúscula nas colunas, não diferem diferem entre si, pelo teste de Tukey (p<0,05)

Os fungos micorrízicos arbusculares ocupam um importante nicho ecológico nos ecossistemas, e são influenciados pelas práticas de manejo do solo como aração e adubação, que podem reduzir a incidência de algumas espécies de FMA (Moreira & Siqueira, 2006; Mohan *et al.*, 2014; Gai *et al.*, 2015; Higo *et al.*, 2015; Soka & Ritchie, 2015). Para Higo *et al.* (2015), a área principal de desenvolvimento de espécies de fungos micorrízicos e colonização é a camada de 0 a 20 cm e alterações no solo devido ao manejo interferem negativamente na quantidade e qualidade de espécies de FMA. O preparo do solo convencional (aração e gradagem) rompe a rede de hifas, o que reduz o potencial de inóculo de FMA e expõe seus

propágulos, como hifas, esporos e raízes colonizadas a altas temperaturas, excesso de oxigênio (oxidação) e a predadores, tornando-os inviáveis (Cordeiro *et al.*, 2007).

Em outras culturas como o milho e a soja sob plantio direto e convencional, tem-se observado que os sistemas conservacionistas apresentaram valores estatisticamente superiores de colonização micorrízica, 80% para soja e 95% para milho, que sistemas convencionais de plantio (Antelini *et al.*, 2012). Tem-se obtido, ainda, que a cobertura vegetal promove um aumento da taxa de colonização micorrízica em trigo, cultivado sem o revolvimento do solo Brito (Brito, 2012). Isso indica que em sistemas de cultivo menos estressantes a microbiota do solo, como o plantio direto utilizado no presente trabalho, propiciam um ambiente mais favorável à exsudação de substâncias radiculares, que por sua vez influenciam na colonização micorrízica (Bertin *et al.*, 2003).

Schneider *et al.* (2011) verificaram em um experimento de longa duração com outras culturas (soja e rotação nabo forrageiro e ervilhaca) que os sistemas de manejo do solo afetaram a colonização e a produção de micélio fúngico nas culturas estudadas e que o sistema de preparo convencional do solo reduziu a colonização de fungos micorrízicos arbusculares, principalmente a presença de arbúsculos e vesículas.

Os genótipos de trigo Aliança, o Brilhante e BRS 264 apresentaram maior colonização micorrízica que o PF 36 e PF, por outro lado, sob plantio convencional, o PF 37 apresentou maior colonização micorrízica que o Aliança e o Brilhante, mostrando que houve efeito do sistema de produção nos genótipos estudados.

No solo sob plantio direto, os genótipos Aliança, Brilhante e BRS 264 apresentaram valores de colonização micorrízica semelhante estatisticamente e estas foram de 60,67, 59,20 e 61,07, respectivamente. Os genótipos PF62 e PF37 apresentaram menor colonização micorrízica, que foi em torno de 54% (Tabela 2). Genótipos de uma mesma espécie de plantas possuem diferenças em sua exsudação radicular (Azcon & Ocampo, 1981), e isso interfere na resposta ambiental em relação à associação com as espécies de fungos micorrízicos. Os autores avaliaram a taxa de colonização em treze genótipos de trigo inoculados com *Glomus mosseae*, apresentaram taxa de colonização entre 0, para os cultivares Negrillo e Champlain e 38%, para Lozano e a colonização foi influenciada pela produção de açúcares exsudados na rizosfera. Este fato pode explicar a diferença de colonização entre os sistemas de cultivo para os mesmos genótipos. Os valores obtidos no presente trabalho com colonização natural em genótipos de trigo sob dois sistemas de produção, variaram entre 39,90 e 61,07%, mostrando que a colonização natural da cultura, nas condições deste trabalho foi quase o dobro da encontrada pelos autores acima.

No plantio convencional, os genótipos PF62, BRS 264 e PF37 apresentaram maiores colonizações micorrízica (41,97, 43,70 e 45,37%, respectivamente). Neste sistema de produção, devido ao revolvimento do solo, ocorre o rompimento das hifas, provocando a redução do potencial de inoculo de FMA e expondo hifas, esporos e raízes colonizadas às condições adversas como as altas temperaturas e organismos predadores, por outro lado, o sistema plantio direto é menos impactante e beneficia o estabelecimento dos FMAs (Beltrano & Ronco, 2008). Neste experimento, a colonização micorrízica de todos os genótipos se mostrou sensível ao impacto do revolvimento do solo que ocorre no plantio convencional, porém os genótipos Aliança e Brilhante, mostraram uma sensibilidade maior que os demais.

### Densidade de esporos de FMA em cinco genótipos de trigo cultivadas em plantio direto e plantio convencional

Em todos os genótipos estudados, assim como na colonização micorrízica (Tabela 2), o número de esporos foi maior no sistema de plantio direto, quando comparado ao convencional, apresentando, em geral, o dobro do número de esporos (Tabela 3).

Sistemas de plantio conservacionistas apresentam ambiente ideal para o desenvolvimento de organismos edáficos, seja do ponto de vista químico, como a disponibilidade de nutrientes ou do ponto de vista físico, como uma menor amplitude térmica com temperaturas mais amenas e disponibilidade de água (Anderson *et al.*, 1987; Santos Junior & Franz, 2009; Reis *et al.*, 2011; De Souza *et al.*, 2014; Gai *et al.*, 2015).

No sistema plantio direto, os genótipos PF62 e Brilhante apresentaram maior número de esporos que os demais (247 e 238,33 por 50 g de solo, respectivamente). (Tabela 3). No plantio convencional, além desses genótipos, o PF 37 também apresentou maior número de esporos.

**Tabela 3.** Número de esporos no solo (n0/50 g solo) de cinco genótipos de trigo, em sistema de plantio direto e convencional.

Genótipo	Sistema de Produção	
	Plantio direto	Plantio convencional
Aliança	221,33 cA	112,33 bB
Brilhante	238,33 abA	128,33 aB
PF62	247,00 aA	132,33 aB
PF37	232,00 bcA	136,67 aB
BRS 264	227,67 bcA	112,00 bB

CV(%)– sistema de produção – 1,25

CV(%) – genótipos de trigo – 3.04

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula nas linhas e minúscula nas colunas, não diferem entre si, pelo teste de Tukey (p<0,05)

Dentre os genótipos de trigo estudados, independente do sistema de preparo de solo, o BRS 264 e o Aliança apresentaram menor número de esporos que os demais. Por outro lado,

Mao *et al.* (2014) avaliaram a densidade de esporos em 21 genótipos de trigo e não encontraram diferenças estatísticas no número de esporos.

Há relatos do aumento tanto na colonização radicular quanto no número de esporos de FMAs no sistema plantio direto em relação ao convencional. Gai *et al.* (2015) encontraram maior densidade de esporo em solo superficial de áreas sob sistema de plantio direto quando comparados a áreas de mecanização intensa e cultivo protegido em estufa.

A cobertura vegetal também pode influenciar positivamente a quantidade de esporos na rizosfera de trigo (Brito *et al.*, 2012); os autores avaliaram a influência da cobertura vegetal durante dois anos na densidade de esporos em trigo e nos tratamentos sem revolvimento os valores de densidade foram superiores aos tratamentos com revolvimento do solo.

### **Glomalina Facilmente extraível de cinco genótipos de trigo cultivadas em plantio direto e plantio convencional**

Em relação à glomalina facilmente extraível, não houve diferença estatística entre os genótipos de trigo estudados. Porém, no sistema de plantio direto foram obtidos valores superiores de glomalina facilmente extraível quando comparada ao sistema de plantio convencional (Tabela 4). Os valores obtidos são próximos aos observados por Truber e Fernandes (2014) em várias culturas cultivadas após a cana-de-açúcar; os autores observaram entre 1,12 e 1,24 mg g<sup>-1</sup> solo. Em áreas com consorcio de diferentes culturas e áreas não perturbadas, tem-se obtido valores entre 6,51 e 10,56 mg g<sup>-1</sup> solo, respectivamente (Fokom *et al.*, 2012).

**Tabela 4.** Glomalina facilmente extraível (GFE) de trigo cultivado em plantio direto e plantio convencional (mg g<sup>-1</sup> solo).

Genótipo de trigo	Sistema de produção		Média
	Plantio direto	Plantio convencional	
Aliança	1,72	1,57	1,64a
Brilhante	1,57	1,46	1,51a
PF62	1,74	1,33	1,53a
PF37	1,74	1,48	1,61a
BRS 264	1,59	1,55	1,57a
Média	1,67 A	1,48 B	
CV(%)- genótipo de trigo -13,44	CV(%)- sistema de produção -11,98		

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem entre si, pelo teste de Tukey (p<0,05)

A glomalina é uma proteína hidrofóbica, recalcitrante e termoestável que pode ser produzida por organismos dos solos, em especial pelos fungos micorrízicos arbusculares (Da Silveira & Dos Santos Freitas, 2007; Sousa *et al.*, 2012). Características do solo, condições

climáticas, sistema de uso do solo, práticas de manejo agrícola, presença e tipo de vegetação, dentre outros fatores, influenciam na quantidade de glomalina produzida pelos FMA. A propriedade cimentante da glomalina auxilia a fixação das partículas do solo, favorecendo a formação de agregados estáveis, além disso, essa proteína adsorve metais pesados, reduzindo a disponibilidade e o risco de toxicidade destes elementos para organismos e plantas em solos poluídos (Morales *et al.*, 2005).

A glomalina reduz a decomposição de materiais orgânicos através da formação de agregados, que ficam protegidos da atividade enzimática dos micro-organismos decompositores, portanto, sistemas conservacionistas possuem teores mais elevados de carbono (Winck *et al.*, 2014). Para Bedini *et al.* (2007), a glomalina e o carbono orgânico apresentam semelhantes dinâmicas de deposição e decomposição.

A produção de glomalina varia entre as espécies fúngicas, principalmente devido a efeitos ambientais sobre o metabolismo fúngico, bem como, a diferenças intrínsecas das espécies fúngicas. Wright e Upadhyaya (1999) verificaram que houve diferença significativa na produção de glomalina entre diferentes espécies de FMAS. *Glomus caledonium* e *Gigaspora rósea*, que produziram respectivamente, 30 e 43% mais glomalina que *Glomus intraradices*. Quando cultivados em meio de cultura, *Gigaspora rosea* e *Gigaspora gigantea* apresentaram maior produção de glomalina que *Glomus intraradices* e *Glomus etunicatum* (Wright & Upadhyaya, 1996).

A presença de cobertura vegetal é um indicativo da disponibilidade de fotossintatos para os FMA, aspecto que, segundo Rillig *et al.* (2003), possivelmente justificou maiores concentrações de glomalina sob arbustos e gramíneas que em áreas descobertas, no Mediterrâneo. Resultados semelhantes foram observados em um ecossistema semi-árido na América do Norte por Bird *et al.* (2002), onde maiores concentrações de glomalina foram registradas em áreas com cobertura vegetal. Segundo estes autores, solos sob copas de plantas acumulam mais matéria orgânica e estão menos expostos a perturbações, o que promove melhor condição para crescimento fúngico e produção de glomalina.

A composição da comunidade vegetal também pode influenciar na produção de glomalina pelos FMA nos solos (Rillig & Steinberg, 2002). Em um sistema de rotação com trigo, milho e milho, concentrações de glomalina foram significativamente maiores em comparação com outros sistemas de rotação que incluíram girassol.

Solos sob rotação de cultura com período de pousio apresentaram menores concentrações de glomalina que solos sob rotação onde houve cultivo contínuo (Wright & Anderson, 2000). A presença da vegetação resulta em maior disponibilidade de fotossintatos para os FMA,

consequentemente, favorecendo a produção de glomalina por estes micro-organismos (Treseder & Turner, 2007).

Diversos estudos têm também relatado que a produção de glomalina pode ser influenciada pelo sistema de uso do solo, sendo menor em solos agrícolas do que em solos nativos ou não cultivados (Rillig *et al.*, 2003). Em áreas sob pastagens, seus valores são maiores que sob plantio direto (Wright & Upadhyaya, 1999) e sob plantio direto e convencional, foram obtidos valores entre 7,2 e 5,8 mg g<sup>-1</sup> de solo (Borie *et al.*, 2006).

### Frequência de espécies de FMA em cinco genótipos de trigo cultivadas em plantio direto e plantio convencional

Na identificação de espécies encontradas nos diferentes genótipos de trigo e sistemas de manejo, os indivíduos mais frequentes pertencem aos gêneros *Gigaspora*, *Acaulospora*, *Glomus*, *Archaeospora* e *Scutellospora* (Tabela 5). Os FMAs são organismos assexuados e a morfologia dos esporos distingue as famílias, os gêneros e espécies (Stirmer & Siqueira, 2006; Soka & Ritchie, 2015).

**Tabela 5.** Espécies de fungos micorrízicos arbusculares encontrados em áreas de plantio direto e convencional de cinco genótipos de trigo.

Espécie	Genótipo / Sistema de cultivo									
	Aliança	Brilhante	BRS 264	PF37	PF62	Aliança	Brilhante	BRS 264	PF37	PF62
	Plantio Convencional					Plantio Direto				
<i>A. laevis</i>	-	-	+	+	+	-	-	+	+	-
<i>A. scrobiculata</i>	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+
<i>A. denticulata</i>	-	-	-	-	+	-	+	-	+	-
<i>A. foveata</i>	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+
<i>A. tuberculata</i>	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-
<i>Ar. leptoticha</i>	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-
<i>G. clavispórum</i>	+	+	-	+	+	+	+	-	+	+
<i>G. lamellosum</i>	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-
<i>G. tortuosum</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>G. microaggregatum</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+
<i>G. macrocarpum</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Gigaspora sp</i>	+	+	-	-	+	-	-	-	+	+
<i>S. gregria</i>	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-
<i>S. pérsica</i>	-	+	-	-	-	-	+	+	-	+
<i>S. pelúcida</i>	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+
Riqueza de espécies	6	6	6	7	8	6	7	7	9	9

A=Acaulospora; Ar= Archaeospora; G= Glomus; S= Scutellospora..

Em relação à diversidade de espécies verificou-se que a composição da comunidade de FMAs foi diferente para os genótipos de trigo e para os sistemas de manejo agrícola, sendo encontradas 15 espécies de FMAs, destacando-se os gêneros *Acaulospora*, *Gigaspora*, *Scutellospora* e *Glomus* (Tabela 5).

Quanto à riqueza de espécies, o plantio direto apresentou riqueza semelhante ao convencional, ambos com 12 espécies das 15 encontradas na área. As espécies mais frequentes foram *A. scrobiculata* presente em 9 dos 10 tratamentos, *G. tortuosum* e *G. macrocarpum*, encontradas em todos os genótipos, em ambos sistemas de cultivo.

As espécies do gênero *Acaulospora* foram encontradas em ambos os sistemas de cultivo e genótipos de trigo investigadas e os indivíduos identificados foram *A. laevis*, *A. scrobiculata*, *A. denticulata*, *A. foveata* e *A. tuberculata* (Figura 1).

A espécie *A. foveata* foi encontrada somente sob sistema de plantio direto e *A. tuberculata* sob plantas de trigo cultivadas em sistema convencional e somente na rizosfera do genótipo PF62 (Tabela 5).

*Archaeospora leptoticha* foi a única espécie identificada dentro do gênero e somente na genótipo BRS264 sob sistema de plantio convencional. As espécies do gênero *Glomus* também foram identificadas em ambos sistemas de cultivo, sendo que as espécies foram *G. claviformis*, *G. tortuosum* e *G. macrocarpum* foram encontradas em todos os genótipos em ambos sistemas de cultivo (Figura 1). *G. microagregatum* foi identificado somente na genótipo PF62 sob sistema de plantio direto e *G. lamellosum* na genótipo PF37 sob sistema de plantio convencional.

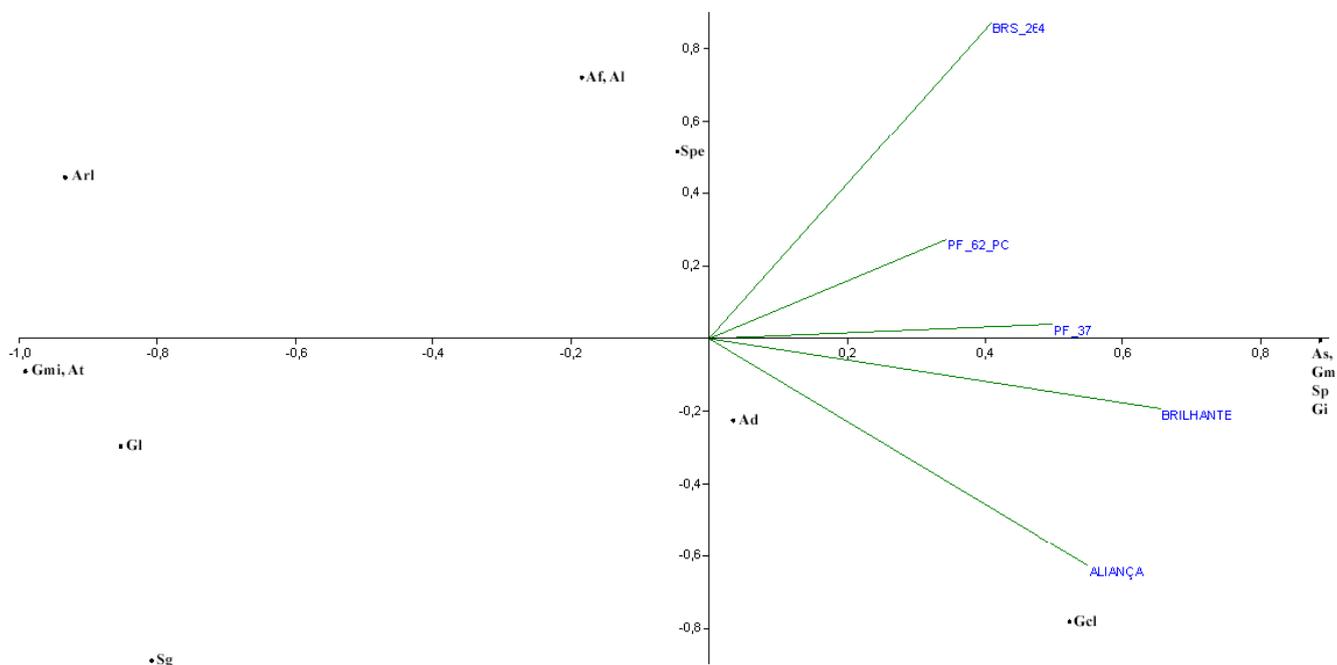
A colonização micorrízica (Tabela 2), o número de esporos (Tabela 3) e a presença de espécies de fungos micorrízicos associadas aos cultivares de trigo (Tabela 5) foram afetados tanto pelo manejo do solo como pelas diferentes cultivares de trigo e, segundo Mao et al., (2014), sugere-se que os cultivares de trigo podem regular a colonização e a comunidade de espécies de fungos micorrízicos na região da rizosfera e que a interação planta fungos micorrízicos ocorre a nível de cultivares de uma mesma espécie de planta.

Em trabalho realizado com tres genótipos de trigo, Higo et al. (2015), encontraram cinco espécies do gênero *Glomus*, três espécies do gênero *Gigaspora*, duas espécies do gênero *Acaulospora*, e uma espécie de cada um dos gêneros *Funneliformis*, *Rhizophagus*, *Racocetra*, *Claroideoglomus*, *Diversispora* e *Sclerocystis*. Os autores verificaram, ainda, que o manejo do solo com cobertura vegetal influenciou positivamente na população de FMAs, corroborando com os dados obtidos no presente trabalho. Comportamento semelhante foi encontrado por Brito et al. (2012) ao analisar o efeito de cobertura vegetal na frequência de espécies

micorrízicas em trigo na região do mediterrâneo, onde os tratamentos sem revolvimento obtiveram valores superiores de colonização e densidade de esporos que os tratamentos com revolvimento de solo.

Em sistema de plantio direto e convencional com a cultura do milho, Angelini *et al.* (2012) encontraram 19 espécies dentro dos gêneros *Acaulospora*; *Archaeospora*; *Glomus* e *Scutellospora* e o número total de espécies encontradas no sistema de plantio direto foi superior ao encontrado no solo sob sistema de plantio convencional. Por outro lado, Gai *et al.* (2015), ao estudarem a composição da comunidade micorrízica em solos sob sistemas de plantio direto e convencional não encontraram diferenças significativas na frequência do número de espécies de FMA.

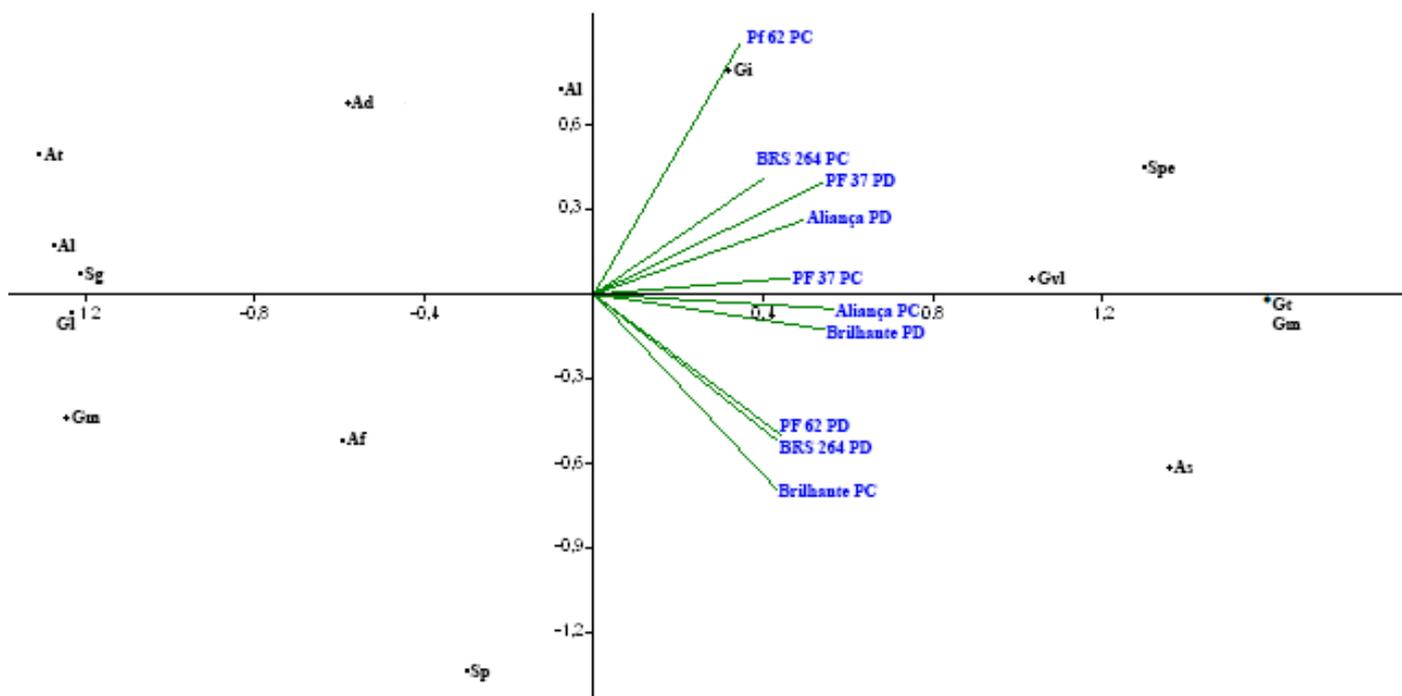
A análise de componentes principais apresenta a correlação dos genótipos de trigo analisadas com a presença das espécies de fungos micorrízicos arbusculares. A frequência das espécies de FMA presentes na rizosfera dos genótipos Aliança, Brilhante, BRS 264, PF37 e PF62 demonstra a existência de uma aproximação entre as espécies *A. scrobiculata*, *A. tuberculata*, *G. macrocarpum*, *S. pellucida* e *Giaspora sp* e os genótipos estudados. A ocorrência de *A. denticulata* em solo sob plantio convencional ocorreu somente associada a PF62 e *G. clavisporum* se aproximam mais dos genótipos Aliança e Brilhante (Figura 1).



**Figura 1** Análise de componentes principais da frequência de espécies de fungos micorrízicos arbusculares nos genótipos de trigo Aliança, Brilhante, BRS 264, PF37 e PF62. (Arl: *Ar. leptoticha*, Gmi: *G. microaggregatum*, At: *A. tuberculata*, Sg: *S. Gregaria*, Gl: *G. lamellosum*, Ad: *A. denticulata*, Gcl: *G. clavisporum*, Af: *A. foveata*, Al: *A. laevis*, As: *A. scrobiculata*, Gm: *G. macrocarpum*, Sp: *S. pellucida*, Gi: *Giaspora sp.*)

Há um distanciamento entre os genótipos investigados e a presença das espécies *A. laevis*, *A. foveata*, *Ar. leptoticha*, *G lamellosum*, *G. tortuosum*, *G. microaggregatum*, *S. gregaria* e *S. persica*, o que indica casualidade no aparecimento destas espécies.

Considerando-se o sistema de cultivo direto e convencional, a análise de componentes principais da frequência de espécies de FMA nos genótipos trigo Aliança, Brilhante, BRS 264, PF37 e PF62 (Figura 2), é possível observar um distanciamento das genótipos de trigo das espécies *A. denticulata*, *A. tuberculata*, *A. foveata*, *A. laevis*, *Ar. leptoticha*, *G. microaggregatum*, *G. lamellosum*, *S. gregaria* e *S. persica*, indicando que a ocorrência estas espécies não se correlaciona com os sistemas de preparo e os genótipos de trigo. As espécies *S. pellucida*, *G. clavisporum*, *G. tortuosum*, *G. macrocarpum*, *A. scrobiculata* e *Gigaspora sp.* estão mais próximas dos genótipos estudados, sob sistemas de plantio convencional e direto.



**Figura 2.** Análise de componentes principais da frequência de espécies de Fungos Micorrízicos Arbusculares nos genótipos trigo Aliança, Brilhante, BRS 264, PF37 e PF62 sob sistema de plantio direto e convencional. (At: *A. tuberculata*, Al: *Ar. leptoticha*, Sg: *S. gregaria*, Gl: *G. lamellosum*, Gm: *G. microaggregatum*, Af: *A. foveata*, Ad: *A. denticulata*, Sp: *S. persica*, Al: *A. laevis*, Gi: *Gigaspora sp.*, Gvl: *G. clavisporum*, Spe: *S. pellucida*, As: *A. scrobiculata*, Gt: *G. tortuosum*, Gm: *G. macrocarpum*)

Ao analisar a frequência de espécies em sistemas conservacionistas e áreas com revolvimento do solo, Gai et al. (2015), assim como nos dados apresentados na figura 4 do presente trabalho, não encontraram distanciamento de espécies considerando os sistemas de

manejo do solo. As espécies *S. pellucida*, *G. clavisporum*, *G. tortuosum*, *G. macrocarpum*, *A. scrobiculata* e *Gigaspora sp* também foram encontradas em rizosfera de trigo, tomate e milho.

Angelini *et al.* (2012) verificaram distanciamento entre a frequência de espécies de FMA na rizosfera de milho e soja identificadas em sistema de plantio direto e espécies identificadas no sistema de plantio convencional. Assim como na figura 3, Angelini *et al.* (2012) também identificaram as espécies *G. macrocarpum*, *A. scrobiculata* e *S. pellucida* também foram encontrados nos sistemas de plantio direto e convencional.

A análise de correspondência canônica mostra a correlação da ocorrência das espécies de fungos micorrízicos arbusculares identificados com os genótipos de trigo cultivados sob sistema de plantio direto e convencional. Na rizosfera do genótipo Aliança (Figura 3A) mostrou que a frequência das espécies não se diferencia entre os dois sistemas de cultivo. *Gigaspora sp.* e *S. gregaria* não ocorreram nos dois sistemas de produção, para essa cultivar.

Cui *et al.* (2015) também não encontraram sinais de colonização de *Gigaspora* e *S. gregaria* em trigo independente do sistema de manejo de solo. Entretanto, Ferreira *et al.* (2012) e Higo *et al.* (2015) identificaram a presença destes organismos associados a trigo, e também identificaram *S. pellucida*, *G. clavisporum*, *G. tortuosum*, *G. macrocarpum*, *A. scrobiculata* e *Gigaspora sp.*

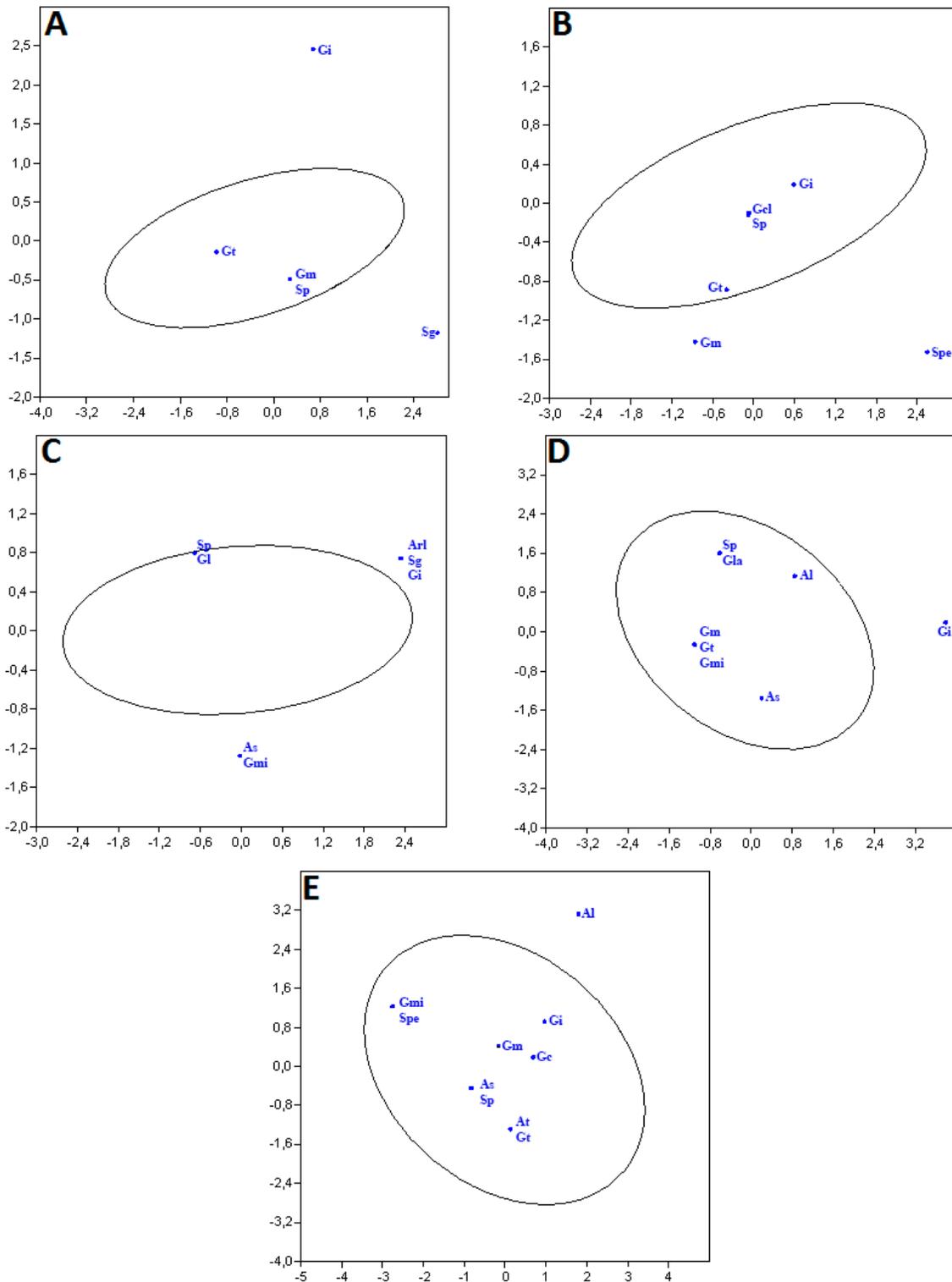
Estes resultados implicam na frequente correlação das espécies de fungos identificados associados à rizosfera dos genótipos avaliados.

A análise de correspondência canônica do genótipo Brilhante (Figura 3B) mostrou que a frequência das espécies não se diferencia entre os dois sistemas de cultivo. *G. macrocarpum* e *S. persica* não são comumente encontradas nos sistemas analisados. Comportamento semelhante ao do genótipo aliança (Figura 3A) onde *S. persica* também ocorreu casualmente.

Ferreira *et al.* (2012), ao estudarem sistemas de plantio direto, convencional, pastagem e áreas nativas também não identificaram *S. persica*, porém *G. macrocarpum* foi identificado.

O fato de não haver separação de grupos de espécies fungos micorrízicos arbusculares frequentemente encontrados associados ao genótipo Brilhante é explicado pelo fato dos sistemas de plantio direto e convencional não influenciarem na exsudação radicular (Azcon & Ocampo, 1981).

No genótipo BRS 264 apenas *G. tortuosum* e *S. pellucida* são comumente encontradas nos sistemas analisados de acordo com a análise de correspondência canônica (Figura 3C). As espécies *A. scrobiculata*, *G. macrocarpum*, *Gigaspora sp.* não estão comumente associadas a este genótipo.



**Figura 3** Análise de correspondência canônica da frequência de espécies de fungos micorrízicos arbusculares nos genótipos Aliança (A), Brilhante (B), BRS 264 (C), PF37 (D) e PF62 (E) em Plantio Direto e Convencional. (At: *A. tuberculata*, Arl: *Ar. leptoticha*, Sg: *S. gregaria*, Gl: *G. lamellosum*, Gm: *G. microaggregatum*, Af: *A. foveata*, Ad: *A. denticulata*, Sp: *S. persica*, Al: *A. laevis*, Gi: *Gigaspora sp.*, Gvl: *G. clavisporum*, Spe: *S. pelucida*, As: *A. scrobiculata*, Gt: *G. tortuosum*, Gmi: *G. macrocarpum*)

A análise de correspondência canônica da genótipo BRS264 (Figura 3D) mostrou que a frequência das espécies não se diferencia entre os dois sistemas de cultivo, como as demais genótipos estudadas devido ao sistema de cultivo não influenciar na qualidade e quantidade de substâncias exsudadas pelas raízes (Azcon & Ocampo, 1981), sendo assim não havendo diferenças nas espécies de FMAS encontradas nesta genótipo.

A análise de correspondência canônica da genótipo PF37 (Figura 3D) mostrou que a frequência das espécies não se diferencia entre os dois sistemas de cultivo e apenas *Gigaspora* sp não é comumente encontrada nos sistemas analisados, devido ao sistemas de cultivo não influenciarem na qualidade e quantidade de exsudatos radiculares (Azcon & Ocampo, 1981).

Assim como nas demais genótipos, o gênero *Gigaspora* sp. não é comumente encontrado associado aos genótipos estudados, com exceção do genótipo PF62. Outros autores também encontraram resultados semelhantes em relação à presença e frequência desta espécie em sistemas conservacionistas (Cordeiro *et al.*, 2007; Ferreira *et al.*, 2012; Cui *et al.*, 2015; Higo *et al.*, 2015).

A análise de correspondência canônica da genótipo PF62 (Figura 3E) mostrou que a frequência das espécies não se diferencia entre os dois sistemas de cultivo e apenas *A. laevis* não é comumente encontradas nos sistemas analisados, resultado semelhante encontrado por Higo *et al.* (2015).

Azcon e Ocampo (1981) encontraram diferenças na taxa de colonização e densidade de esporos ao analisar treze genótipos diferentes de trigo, Tormes, Anza, Negrillo, 7 Cerros, Bastion, Pane 247, Lozano, Cocorit, Champlein, Castan, Tajo, Boulmiche and Jupateco. Essa variação é explicada pela diferença de exudação de compostos pelas raízes na rizosfera.

A linhagem PF62 foi a que apresentou mais espécies identificadas na rizosfera em ambos os sistemas quando comparada às demais genótipos analisados. As espécies *A. denticulata*, *A. foveata*, *A. scrobiculata*, *A. tuberculata*, *G. clavisorum*, *G. tortuosum*, *G. microaggregatum*, *G. macrocarpum*, *Gigaspora* sp, *S. persica*, *S. pellucida*, *A. scrobiculata*, *A. tuberculata*, *G. clavisorum*, *G. lamellosum*, *G. tortuosum*, *G. microaggregatum*, *G. macrocarpum*, *Gigaspora* sp, *S. persica* e *S. pellucida* foram identificadas na rizosfera da linhagem PF62.

## CONCLUSÕES

1. Neste experimento, para todos os genótipos sob plantio convencional, houve diminuição da colonização micorrízica, número de esporos na rizosfera e a glomalina facilmente extraível;
2. A composição da comunidade de FMAs foi diferente para os genótipos de trigo e para os sistemas de manejo. O plantio direto apresentou riqueza semelhante ao convencional, ambos com doze espécies.
3. As espécies mais frequentes foram *A. scrobiculata*, *G. tortuosum* e *G. macrocarpum*, encontradas em todos os genótipos em ambos sistemas de cultivo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDERSON, E.; MILLNER, P.; KUNISHI, H. **Maize root length density and mycorrhizal infection as influenced by tillage and soil phosphorus**. Journal of Plant Nutrition, v. 10, n. 9-16, p. 1349-1356, 1987.
- ANGELINI, G. A. R.; LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; TORRES, J. L. R.; JÚNIOR, O. J. S. **Colonização micorrízica, densidade de esporos e diversidade de fungos micorrízicos arbusculares em solo de Cerrado sob plantio direto e convencional**. Semina: Ciências Agrárias, v. 33, n. 1, p. 115-130, 2012.
- AZCON, R.; OCAMPO, J. **Factors affecting the vesicular-arbuscular infection and mycorrhizal dependency of thirteen wheat cultivars**. New phytologist, v. 87, n. 4, p. 677-685, 1981.
- BEDINI, S.; AVIO, L.; ARGESE, E.; GIOVANNETTI, M. **Effects of long-term land use on arbuscular mycorrhizal fungi and glomalin-related soil protein**. Agriculture, ecosystems & environment, v. 120, n. 2, p. 463-466, 2007.
- BELTRANO, J.; RONCO, M. G. **Improved tolerance of wheat plants (*Triticum aestivum* L.) to drought stress and rewatering by the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus claroideum*: effect on growth and cell membrane stability**. Brazilian Journal of Plant Physiology, v. 20, p. 29-37, 2008. Disponível em: < <http://www.scielo.br/scielo.php?script=>
- BIRD, S. B.; HERRICK, J. E.; WANDER, M.; WRIGHT, S. **Spatial heterogeneity of aggregate stability and soil carbon in semi-arid rangeland**. Environmental Pollution, v. 116, n. 3, p. 445-455, 2002.
- BORIE, F.; RUBIO, R.; ROUANET, J.; MORALES, A.; BORIE, G.; ROJAS, C. **Effects of tillage systems on soil characteristics, glomalin and mycorrhizal propagules in a Chilean Ultisol**. Soil and Tillage Research, v. 88, n. 1, p. 253-261, 2006.

BRITO, I.; GOSS, M.; DE CARVALHO, M. **Effect of tillage and crop on arbuscular mycorrhiza colonization of winter wheat and triticale under Mediterranean conditions.** Soil Use and Management, v. 28, n. 2, p. 202-208, 2012.

CORDEIRO, M. A. S.; CARNEIRO, M. A. C.; PAULINO, H. B.; JUNIOR, O. J. S. **Colonização e densidade de esporos de fungos micorrízicos em dois solos do cerrado sob diferentes sistemas de manejo.** Pesquisa Agropecuária Tropical (Agricultural Research in the Tropics), v. 35, n. 3, p. 147-153, 2007.

CUI, H.; ZHOU, Y.; GU, Z.; ZHU, H.; FU, S.; YAO, Q. **The combined effects of cover crops and symbiotic microbes on phosphatase gene and organic phosphorus hydrolysis in subtropical orchard soils.** Soil biology and biochemistry, v. 82, n. 0, p. 119-126, 3// 2015. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038071715000139> >.

DA SILVEIRA, A. P. D.; DOS SANTOS FREITAS, S. **Microbiota do solo e qualidade ambiental.** Instituto Agronômico, 2007.

DE SOUZA, R. F.; MADEIRA, N. R.; DE FIGUEIREDO, C. C. **Perdas de solo, água e nutrientes em área cultivada com hortaliças sob sistema de plantio direto.** Científic@, v. 1, n. 1, p. 37 a 50, 2014.

ELBON, A.; WHALEN, J. K. **Phosphorus supply to vegetable crops from arbuscular mycorrhizal fungi: a review.** Biological Agriculture & Horticulture, n. ahead-of-print, p. 1-18, 2014.

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

FERREIRA, D. F. **SISVAR: um programa para análises e ensino de estatística.** Revista Symposium: UFLA. 6 2008.

FOKOM, R.; ADAMOU, S.; TEUGWA, M.; BOYOGUENO, A. B.; NANA, W.; NGONKEU, M.; TCHAMENI, N.; NWAGA, D.; NDZOMO, G. T.; ZOLLO, P. A. **Glomalin related soil protein, carbon, nitrogen and soil aggregate stability as affected by land use variation in the humid forest zone of south Cameroon.** Soil and Tillage Research, v. 120, p. 69-75, 2012.

GAI, J.; GAO, W.; LIU, L.; CHEN, Q.; FENG, G.; ZHANG, J.; CHRISTIE, P.; LI, X. **Infectivity and community composition of arbuscular mycorrhizal fungi from different soil depths in intensively managed agricultural ecosystems.** Journal of Soils and Sediments, p. 1-12, 2015.

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

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

HAMMER, Ø. **PAST - Palaeontological statistics**. Natural History Museum: University of Oslo 2013.

HIGO, M.; ISOBE, K.; KONDO, T.; YAMAGUCHI, M.; TAKEYAMA, S.; DRIJBER, R. A.; TORIGOE, Y. **Temporal variation of the molecular diversity of arbuscular mycorrhizal communities in three different winter cover crop rotational systems**. *Biology and fertility of soils*, v. 51, n. 1, p. 21-32, 2015.

INVAM. **International Culture Collection of Arbuscular Mycorrhizal Fungi**. 2014. Disponível em: < <http://invam.caf.wvu.edu/fungi/taxonomy/classification.htm> >.

JEFFRIES, P.; GIANINAZZI, S.; PEROTTO, S.; TURNAU, K.; BAREA, J.-M. **The contribution of arbuscular mycorrhizal fungi in sustainable maintenance of plant health and soil fertility**. *Biology and fertility of soils*, v. 37, n. 1, p. 1-16, 2003.

JOHNSON, D.; VANDENKOORNHUYSE, P. J.; LEAKE, J. R.; GILBERT, L.; BOOTH, R. E.; GRIME, J. P.; YOUNG, J. P. W.; READ, D. J. **Plant communities affect arbuscular mycorrhizal fungal diversity and community composition in grassland microcosms**. *New phytologist*, v. 161, n. 2, p. 503-515, 2004.

JOHNSON, N. C. **Can fertilization of soil select less mutualistic mycorrhizae?** *Bulletin of the Ecological Society of America*, v. 3, n. 4, p. 749-757, 1993.

KIERS, E. T.; WEST, S. A.; DENISON, R. F. **Mediating mutualisms: Farm management practices and evolutionary changes in symbiont co-operation**. *Journal of Applied Ecology*, v. 39, n. 5, p. 745-754, 2002.

KÖPPEN, W. P. **Grundriss der klimakunde**. 1931.

MAO, L.; LIU, Y.; SHI, G.; JIANG, S.; CHENG, G.; LI, X.; AN, L.; FENG, H. **Wheat cultivars form distinctive communities of root-associated arbuscular mycorrhiza in a conventional agroecosystem**. *Plant and Soil*, v. 374, n. 1-2, p. 949-961, 2014.

MAZURANA, M.; FINK, J. R.; CAMARGO, E.; SCHMITT, C.; ANDREAZZA, R.; OLIVEIRA, F. A. D. **Estoque de carbono e atividade microbiana em sistema de plantio direto consolidado no Sul do Brasil**. *Revista de Ciências Agrárias*, v. 36, n. 3, p. 288-296, 2013.

MELERO, M. M.; DE CASTILHO GITTI, D.; ARF, O.; RODRIGUES, R. A. F. **Coberturas vegetais e doses de nitrogênio em trigo sob sistema plantio direto**. *Pesquisa Agropecuária Tropical (Agricultural Research in the Tropics)*, v. 43, n. 4, p. DOI: 10.1590/S1983-40632013000400001, 2013.

MIRANDA, J. D.; MIRANDA, L. D. **Seleção e recomendação de uso de espécies de fungos micorrízicos arbusculares**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2001.

MOHAN, J. E.; COWDEN, C. C.; BAAS, P.; DAWADI, A.; FRANKSON, P. T.; HELMICK, K.; HUGHES, E.; KHAN, S.; LANG, A.; MACHMULLER, M. **Mycorrhizal fungi mediation of terrestrial ecosystem responses to global change: mini-review**. *Fungal Ecology*, v. 10, p. 3-19, 2014.

MORALES, A.; CASTILLO, C.; RUBIO, R. **Niveles de glomalina en suelos de dos ecosistemas del sur de Chile.** RC Suelo Nutr. Veg, v. 5, n. 1, p. 37-45, 2005.

MOREIRA, F. M. D. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e Bioquímica do Solo.** Editora UFLA, 2006.

OEHL, F.; SIEVERDING, E.; INEICHEN, K.; MÄDER, P.; BOLLER, T.; WIEMKEN, A. **Impact of land use intensity on the species diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in agroecosystems of Central Europe.** Applied and Environmental Microbiology, v. 69, n. 5, p. 2816-2824, 2003.

OEHL, F.; SIEVERDING, E.; MÄDER, P.; DUBOIS, D.; INEICHEN, K.; BOLLER, T.; WIEMKEN, A. **Impact of long-term conventional and organic farming on the diversity of arbuscular mycorrhizal fungi.** Oecologia, v. 138, n. 4, p. 574-583, 2004.

PHILLIPS, J.; HAYMAN, D. **Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection.** Transactions of the British Mycological society, v. 55, n. 1, p. 158-IN18, 1970.

REIS, W. P.; BALIZA, D. P.; RESENDE, P. M. D.; ALBUQUERQUE, A. D.; PASSOS, A. M. A. D.; BOTREL, É. P. **Comparação de sistemas de cultivo (plantio direto e convencional) e de cultivares de trigo, em sucessão à soja.** Revista de Agricultura, v. 86, n. 1, p. 83-96, 2011.

RILLIG, M. C.; MAESTRE, F. T.; LAMIT, L. J. **Microsite differences in fungal hyphal length, glomalin, and soil aggregate stability in semiarid Mediterranean steppes.** Soil biology and biochemistry, v. 35, n. 9, p. 1257-1260, 2003.

RILLIG, M. C.; STEINBERG, P. D. **Glomalin production by an arbuscular mycorrhizal fungus: a mechanism of habitat modification?** Soil biology and biochemistry, v. 34, n. 9, p. 1371-1374, 2002.

SABBOTT, L.; ROBSON, A. **Factors influencing the occurrence of vesicular-arbuscular mycorrhizas.** Agriculture, ecosystems & environment, v. 35, n. 2, p. 121-150, 1991.

SALA, V. M. R.; FREITAS, S. D. S.; SILVEIRA, A. D. **Interação entre fungos micorrízicos arbusculares e bactérias diazotróficas em trigo.** Pesq Agropec Bras, v. 42, p. 1593-1600, 2007.

SANTOS JUNIOR, J.; FRANZ, C. **Manejo e conservação do solo e da água em sistema de plantio direto no Cerrado.** Embrapa Cerrados. Documentos, 2009.

SANTOS, H. P.; FONTANELI, R. S.; DE CASTRO, R. L.; FONTANELI, R. S.; LAMPERT, E. A. **Rendimento de grãos de trigo em sistemas de produção com integração lavoura-pecuária, sob plantio direto.** Rev. Bras. Ciênc. Agrár. Recife, v. 8, n. 3, p. 408-415, 2013.

SCHNEIDER, J.; KLAUBERG-FILHO, O.; FONTOURA, S. M. V.; ALVES, M. V. **Influência de diferentes sistemas de manejo e calagem em experimento de longa duração sobre fungos micorrízicos arbusculares.** Ci. Agrotec, v. 35, p. 701-709, 2011.

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

SILVA, J.E. & RESCK, D.V.S. **Matéria orgânica do solo**. In: VARGAS, M.A.T. & HUNGRIA, M., eds. Biologia dos solos do cerrado. Planaltina, EMBRAPA-CPAC, 1997. p.465-524

SOKA, G.; RITCHIE, M. **ARBUSCULAR MYCORRHIZAL SYMBIOSIS, ECOSYSTEM PROCESSES AND ENVIRONMENTAL CHANGES IN TROPICAL SOILS**. APPLIED ECOLOGY AND ENVIRONMENTAL RESEARCH, v. 13, n. 1, p. 229-245, 2015.

SOUSA, C. S.; MENEZES, R. S. C.; SAMPAIO, E. V. D. S. B.; LIMA, F. S. **Glomalina: características, produção, limitações e contribuição nos solos**. Semina: Ciências Agrárias, v. 33, n. 6Sup11, p. 3033-3044, 2012.

STIIRMER, S.; SIQUEIRA, J. **Diversity of Arbuscular Mycorrhizal Fungi in Brazilian Ecosystems**. Soil Biodiversity in Amazonian and other Brazilian Ecosystems, p. 206, 2006.

TRESEDER, K. K.; TURNER, K. M. **Glomalin in ecosystems**. Soil Science Society of America Journal, v. 71, n. 4, p. 1257-1266, 2007.

TRUBER, P. V.; FERNANDES, C. **Arbuscular mycorrhizal fungal communities and soil aggregation as affected by cultivation of various crops during the sugarcane fallow period**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 38, p. 415-422, 2014. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-06832014000200006&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832014000200006&nrm=iso)>.

VIOLA, R.; BENIN, G.; CASSOL, L. C.; PINNOW, C.; FLORES, M. F.; BORNHOFEN, E. **Adubação verde e nitrogenada na cultura do trigo em plantio direto**. Bragantia, v. 72, n. 1, p. 90-100, 2013.

WINCK, B. R.; VEZZANI, F. M.; DIECKOW, J.; FAVARETTO, N.; MOLIN, R. **Carbono e nitrogênio nas frações granulométricas da matéria orgânica do solo, em sistemas de culturas sob plantio direto**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 38, n. 3, p. 980-989, 2014.

WRIGHT, S. F.; UPADHYAYA, A. **Extraction of an abundant and unusual protein from soil and comparison with hyphal protein of arbuscular mycorrhizal fungi**. Soil Science, v. 161, n. 9, p. 575-586, 1996.

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

WRIGHT, S.; UPADHYAYA, A. **Quantification of arbuscular mycorrhizal fungi activity by the glomalin concentration on hyphal traps**. Mycorrhiza, v. 8, n. 5, p. 283-285, 1999.

**CAPITULO 2. Fungos micorrízicos arbusculares em solos cultivados com diferentes variedades de cana-de-açúcar em sistema de produção orgânico e convencional**

## INTRODUÇÃO

O interesse mundial em diminuir a dependência pelos combustíveis fósseis e diversificar a matriz energética para atenuar o aquecimento global tem despertado a atenção para os biocombustíveis, em especial o etanol de cana-de-açúcar, o que tem promovido a expansão das áreas de cultivo canavieiro e o aumento do número de usinas, notadamente em terras do Cerrado, sobretudo no estado de Goiás (Castro *et al.*, 2010; Franco, 2015). Para atender à demanda crescente de etanol é necessário aumentar a produção de cana-de-açúcar, mediante o incremento tanto da área cultivada quanto da produtividade (Franco, 2015).

O Cerrado contém extensas áreas com condições ambientais favoráveis à agricultura intensiva. Nos anos 60 e 70 o Cerrado foi alvo de expansão da nova fronteira agrícola, baseada na modernização da agricultura, voltada principalmente para a produção de grãos, em particular a soja, além de algodão e carne, dentre outros, agregando-se à meta federal de incorporação de suas terras ao sistema produtivo nacional e à exportação na forma de commodities agrícolas (Castro *et al.*, 2010).

O Estado de Goiás não apresenta desenvolvimento notável do setor sucroalcooleiro na fase da expansão durante o Proálcool e nem atualmente, em decorrência de vários fatores, dentre eles por ser uma fronteira agrícola, com ênfase em grãos, algodão, arroz e gado. Nos anos 80, uma expansão começa, mas é após o final da década de 90 que de fato se observa uma expansão notável. Essa expansão se intensifica mais ainda no início do presente século motivada pela grande busca de mudanças na matriz energética, motivada pelos impactos ambientais decorrentes da anterior, baseada em combustíveis fósseis (Castro *et al.*, 2010).

O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, a área cultivada que será colhida e destinada à atividade sucroalcooleira na safra 2013/14 está estimada em 8.810,79 mil hectares. O estado de São Paulo permanece como o maior produtor com 51,66% (4.552.040 hectares) da área plantada, seguido por Goiás com 9,29% (818.390 hectares), Minas Gerais com 8,85% (779.830 hectares), Paraná com 6,66% (586.400 hectares), Mato Grosso do Sul com 7,08% (624.110 hectares), Alagoas com 5,02% (442.590 hectares) e Pernambuco com 3,25% (286.030 hectares). Nos demais estados produtores as áreas são menores, com representações abaixo de 3,0% (Conab, 2013).

A previsão é que o Brasil tenha um acréscimo na área de cerca de 325,8 mil hectares, equivalendo a 3,8% em relação à safra 2012/13. O acréscimo é reflexo do aumento de área da região Centro-Sul. A região Norte/Nordeste praticamente se mantém com a mesma área para a próxima safra. São Paulo, Goiás, Mato Grosso do Sul e Minas Gerais deverão ser os estados com maior acréscimo de áreas com 132,6 mil hectares, 92,5 mil hectares, 81,4 mil hectares e

58,0 mil hectares, respectivamente. Este crescimento se deve à expansão de novas áreas de plantio das principalmente das novas usinas em funcionamento que estão consolidando suas áreas (Conab, 2013).

Manzatto et al. (2009) e Castro *et al.* (2007) afirmaram que o estado de Goiás possui boa aptidão agrícola para a cultura da cana. Estes autores destacaram duas regiões como as mais importantes, a do Centro, com usinas no município de Goianésia, e do Sul Goiano, região mais significativa por concentrar 2/3 das usinas, tanto em operação como nas demais fases.

O sistema orgânico de produção se intensificou em grande escala na década de 80, pela Usina São Francisco de Sertãozinho, com projeto denominado de “Cana Verde”. Em 1994, iniciou-se a produção de cana-de-açúcar orgânica para a produção de açúcar. Nesse ano surgiram outras empresas, como a Usina UNIVALE e a Usina Santo Antônio. Todas com grande sucesso, principalmente após o aparecimento e a exigência da cana crua sem queima com colhedoras modernas para terrenos não muito acidentados (Machado, 2008).

Quanto à adubação, há a necessidade de considerar duas situações distintas, adubação para cana-planta e para soqueiras, sendo que, em ambas, as dosagens serão determinadas pela análise do solo. Há uma forte tendência da utilização da vinhaça e torta de filtro, resíduos da produção de álcool, nos canaviais, na forma de fertiirrigação, como uma importante fonte de potássio. Os sistemas básicos de aplicação são por infiltração, por veículos e aspersão, sendo que cada sistema apresenta modificações (Ribeiro *et al.*, 2014)

A adição de compostos orgânicos e a ausência da aplicação de produtos químicos influenciam diretamente a microbiota edáfica, dentre eles, destacam-se as micorrizas arbusculares que são associações simbióticas mutualistas formadas entre fungos Zigomicetos da ordem Glomales e raízes da maioria das plantas superiores (Moreira & Siqueira, 2006; Mohan *et al.*, 2014; Soka & Ritchie, 2015). Plantas micorrizadas apresentam maior atividade fotossintética, maior atividade enzimática e de produção de substâncias reguladoras de crescimento. Essas alterações metabólicas conferem às plantas maior resistência aos efeitos provocados por estresses de natureza biótica (pragas e doenças) ou abiótica (déficits hídricos e nutricionais ou estresses térmicos). Ecologicamente, a micorrização possibilita melhor utilização e conservação dos nutrientes disponíveis no sistema solo-planta, por possibilitar às plantas melhor adaptação ao ecossistema, bem como a maior capacidade de adaptação de mudas transplantadas (Reis, V. M. *et al.*, 1999; Moreira & Siqueira, 2006; Colozzi Filho & Nogueira, 2007; Da Silveira & Dos Santos Freitas, 2007; Mohan *et al.*, 2014; Gai *et al.*, 2015; Soka & Ritchie, 2015).

Os fungos micorrízicos realizam associação simbiótica mutualística com a maioria das plantas cultivadas e nativas, beneficiam o desenvolvimento da planta pela maior absorção de nutrientes, principalmente o P que possui baixa mobilidade no solo (George *et al.*, 1995; Elbon & Whalen, 2014).

Os fungos micorrízicos arbusculares ocupam um importante nicho ecológico nos ecossistemas, e são influenciados pelas práticas de manejo do solo como aração e adubação, as monoculturas extensivas e os agrotóxicos, que podem reduzir a incidência de algumas espécies de FMA (Moreira & Siqueira, 2006; Ferreira *et al.*, 2012; Mohan *et al.*, 2014; Soka & Ritchie, 2015). Isso adquire relevância no bioma Cerrado devido à fragilidade e grande diversidade edáfica e biológica.

O preparo do solo convencional (aração e gradagem) rompe a rede de hifas, os esporos e raízes colonizadas são expostas a altas temperaturas, excesso de oxigênio (oxidação) e a predadores, tornando-os inviáveis (Kabir *et al.*, 1997; Moreira & Siqueira, 2006; Santos Junior & Franz, 2009; Angelini *et al.*, 2012; Mazurana *et al.*, 2013; De Souza *et al.*, 2014). Embora alguns autores, como (Al-Karaki *et al.*, 2004), afirmem que práticas que provoquem situações estressantes podem influenciar positivamente a associação simbiótica entre os fungos e as plantas.

É, portanto, de grande importância avaliar a influência de sistemas de manejo de solo sobre os fungos micorrízicos arbusculares no bioma Cerrado. A escolha da espécie de vegetal a ser utilizada é importante, pois estas podem promover alterações quantitativas e qualitativas na população de fungos micorrízicos arbusculares nativos, pois a associação micorrízica é favorecida pela existência de exsudatos radiculares que contém moléculas que estimulam a germinação de esporos e o crescimento de fungos micorrízicos (Reis, V. M. *et al.*, 1999; An *et al.*, 2010; Schneider *et al.*, 2011).

São escassos os trabalhos que avaliam a influência dos sistemas de manejo em cana-de-açúcar sobre a comunidade de fungos micorrízicos arbusculares. As práticas agrícolas podem influenciar de forma significativa a composição da comunidade de FMAs na forma de esporos no solo. O efeito do manejo de cultivo convencional e orgânico de pomares e viveiros de citros sobre as comunidades de FMAs foi avaliado por Focchi *et al.* (2004). Em 36 amostras de 6 pomares, dois viveiros e uma área de mata nativa, foram recuperadas 26 espécies de FMAs. Os autores não encontraram diferenças nas comunidades de FMAs em função do manejo adotado, embora práticas conservacionistas, como rotação de culturas, possam contribuir para o aumento da diversidade e riqueza de FMAs no solo (Douds Jr *et al.*, 1993). Embora sistemas mais

estressantes podem beneficiar a interação entre planta e fungo micorrízico (Bethlenfalvay & Linderman, 1992).

O objetivo deste trabalho foi avaliar a ocorrência, número de esporos no solo e taxa de colonização micorrízica em diferentes variedades de cana-de-açúcar sob dois sistemas de produção.

## MATERIAL E MÉTODOS

As amostras foram retiradas da lavoura comercial da usina Jalles Machado SA, no município de Goianésia, Goiás, situada nas coordenadas geográficas -15.213778, -48.985023, em talhões com três anos de cultivo. O solo da área é classificado como Latossolo Vermelho. O clima no local é classificado, segundo Köppen (1931), como tropical estacional (Aw), sendo caracterizado por duas estações bem definidas (seca e chuvosa), assim como a ocorrência de períodos de estiagem durante a estação chuvosa.

A análise de solo da área onde as amostras foram retiradas está apresentada na Tabela 1.

**Tabela 6.** Análise de solo na profundidade de 0 a 10 cm em área de produção convencional e orgânica de cana-de-açúcar da usina Jalles Machado S/A.

Sistema de produção	pH CaCl	P mg dm <sup>3</sup>	K ---mmolc	Ca dm <sup>-3</sup>	Mg ---	H+Al	MO g kg <sup>-3</sup>	Areia ---- g kg <sup>-1</sup>	Silte ----	Argila ----
Convencional	5,6	32,6	1,70	48,2	5,0	26,4	11,9	468	86	446
Orgânico	5,2	56,8	2,72	56,2	6,0	25,6	18,2	232	162	606

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, em esquema de subparcelas, com cinco repetições. As parcelas foram compostas por dois sistemas de produção: convencional e orgânico; as subparcelas foram as variedades médias/tardias de cana-de-açúcar de terceiro ano de cultivo: CTC 4, IACSP 94-2101 e IACSP 95-5000.

A área de cultivo orgânico foi manejada com aplicação de 15 Mg ha<sup>-1</sup> de torta de filtro e aplicação de 230 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> de vinhaça. E a área de cultivo convencional foi manejado com aplicação de 100 Mg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio e de K<sub>2</sub>O e 30 Mg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup>.

Foram coletadas aleatoriamente nas parcelas de 1 hectare, a uma profundidade de zero a 20 cm com trado holandês, raízes com solo rizosférico das variedades de cana-de-açúcar e para cada tratamento, foram coletadas três amostras simples, formando uma composta. O solo das amostras compostas foi homogeneizado e armazenado sob refrigeração até o momento da contagem de esporos. As amostras de raízes foram lavadas e mantidas em álcool 50% até a avaliação.

Para a determinação da porcentagem de colonização, as raízes foram clarificadas e coradas com 0,05% de Azul-de- Trypan em lactoglicerol (Phillips & Hayman, 1970) e a avaliação da colonização foi feita em microscópio estereoscópico, seguindo a técnica de interseção dos quadrantes (Giovannetti & Mosse, 1980).

Os esporos de fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) foram extraídos do solo utilizando-se 50 cm<sup>3</sup> de cada amostra composta, pela técnica de peneiramento úmido (Gerdemann & Nicolson, 1963) seguida por centrifugação em água e solução de sacarose 50 %. Os esporos foram separados de acordo com suas características fenotípicas como cor, tamanho e forma, compondo os diferentes morfotipos, sob lupa binocular estereoscópica.

Para a determinação da proteína reativa facilmente extraível (ou glomalina facilmente extraível) foi utilizado o método de Bradford, seguindo a metodologia de Wright e Upadhyaya (1996). Pesou-se 1 g de solo em tubos tipo falcon, com capacidade para 50 ml. Foram feitas duplicatas de cada amostra de solo. Adicionaram-se 8 ml de solução tampão de citrato de sódio 20mM, pH 7,0, em cada tubo, os quais foram autoclavados por 30 minutos a 121° C. Em seguida, os frascos foram centrifugados a 5000 rpm por 10 minutos. Para a determinação da concentração de glomalina, pipetou-se 50 µL do extrato em tubo de ensaio, adicionou-se 1 ml do reagente de Bradford, agitou-se em vortex e após 10 minutos foi feita a leitura de absorbância em espectrofotômetro a 595 nm.

Para a identificação das espécies de FMAs a partir das características morfológicas, os esporos foram separados de acordo com seus morfotipos e montados em lâminas com polivinil-lacto-glicerol (PVLG) puro e PVLG misturados com Melzer (1:1 v/v). A identificação dos FMAs foi realizada no Laboratório de Fungos Micorrízicos da Embrapa Agrobiologia, com o auxílio de um microscópio óptico equipado com ocular micrométrica. Para subsidiar o trabalho de identificação, foram utilizados artigos originais da descrição das espécies e descrições das espécies fornecidas no site da “International Culture Collection of Arbuscular and Vesicular-Arbuscular Mycorrhizal Fungi” (Invam, 2014).

Os dados de número de esporos e colonização micorrízica foram submetidos à análise estatística clássica por meio do programa Sisvar (Ferreira, 2008). As análises de componentes principais e análises de correspondência canônica foram realizadas pelo programa de análises estatísticas Past (Hammer, 2013).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Densidade de esporos de FMA em três variedades de cana sob sistema de cultivo convencional e orgânico.

A análise de variância (Tabela 2) mostra que não houve diferença estatística significativa entre as variedades para nenhum dos parâmetros avaliados, exceto para a colonização micorrízica, que apresentou efeito do sistema de produção de cultivo.

**Tabela 7.** Análise de variância da concentração de glomalina (mg kg<sup>-1</sup> solo) facilmente extraída, taxa de colonização micorrízica (%) e número de esporos (N0.50g<sup>-1</sup> de solo em três variedades de cana-de-açúcar sob sistema de cultivo convencional e orgânico).

Fonte de Variação	Teste F		
	Glomalina	Colonização	Esporos
Variedade (F1)	0.0824 ns	2.0274 ns	1,2993 ns
Sistema de cultivo (F2)	2,2381 ns	51,7916 **	1,0562 ns
Interação (F1x F2)	3.6124 ns	1.6627 ns	1,0854 ns

\*\* - significativo ao nível de 1% de probabilidade ( $p < .01$ )

ns - não significativo ( $p \geq .05$ )

Não houve diferença significativa para a densidade de esporos de FMAs nas variedades de cana-de-açúcar e nos sistemas de produção orgânico e convencional para todas as variedades estudadas (Tabela 3).

**Tabela 3.** Densidade de esporos de fungos micorrízicos (N/50 g de solo) em três variedades de cana-de-açúcar sob sistema de cultivo convencional e orgânico. Dados transformados em  $\log(x+1)$ .

Variedade	Sistema de produção		Média
	Convencional	Orgânico	
IACSP94-2101	368,4	315,2	395,5
IACSP95-5000	449,4	315,2	321,2
CTC4	336,0	352,2	311,0
Média	384,6	339,6	

CV% - sistema de produção = 14.71 CV%-variedades = 33.12

Vários autores também não obtiveram diferenças significativas na densidade de esporos de fungos micorrízicos na rizosfera de cana-de-açúcar em diferentes condições ambientais, como em rotação, após o cultivo de leguminosas (Ambrosano *et al.* (2011), após rotação de culturas com girassol, amendoim e mucuna Ambrosano *et al.* (2011), após queima e com ou sem aplicação de vinhaça (Aleixo *et al.*, 2011, Reis *et al.* 1999).

Datta e Kulkarni (2012) investigaram a densidade de esporos em quarenta em uma área produtora de cana-de-açúcar em dez distritos de Maharashtra, Índia, e não verificaram diferenças significativas entre os tratamentos. Comportamento semelhante foi obtido por Sivakumar (2013) ao analisar quatorze áreas produtoras de cana-de-açúcar na Índia.

A cana-de-açúcar é pouco sensível à presença de fungos micorrízicos arbusculares e uma densidade de até quatro esporos por grama de solo parece incapaz de influenciar na capacidade de resposta, seja positiva ou negativa (Kelly et al., 2006). Por outro lado, os autores observaram que a cana cultivada em áreas com alta densidade de esporos e alta disponibilidade de P, não promoveram redução do rendimento da cana-de-açúcar.

### **Colonização micorrízica em três variedades de cana sob sistema de cultivo convencional e orgânico.**

Houve diferença significativa na taxa de colonização micorrízica somente entre os sistemas de cultivo. Todas as variedades de cana-de-açúcar cultivadas sob sistema de produção orgânico apresentaram maiores taxas de colonização micorrízica (Tabela 4).

**Tabela 4.** Taxa de colonização micorrízica (%) em três variedades de cana-de-açúcar sob sistemas de cultivo convencional e orgânico sob cultivo orgânico e convencional. Dados transformados em  $\arcsin(x/100)^{1/2}$ .

Variedade	Sistema de produção		Média
	Convencional	Orgânico	
IACSP94-2101	56,22	78,00	67,11a
IACSP95-5000	54,50	72,50	63,50a
CTC4	55,00	66,33	60,67a
Média	55,24 B	72,28 A	
CV% - 10,72			

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula nas linhas e minúscula nas colunas, não diferem entre si, pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ )

Há escassez de trabalhos que avaliariam a influência de sistemas orgânicos e convencionais na taxa de colonização micorrízica em cana-de-açúcar, mas no presente trabalho o sistema orgânico promoveu um aumento de 22,04% na colonização micorrízica. Em outras culturas, sob os sistemas orgânico e convencional, os resultados não são conclusivos. Na rizosfera de cebola, Galvan et al. (2009) obtiveram maior taxa de taxa de colonização em sistemas orgânicos (85%) que os sistemas convencionais (72%). Na cultura do trigo, Dai et al. (2014) também obtiveram maior colonização micorrízica no sistema orgânico do que no sistema convencional. Por outro lado, em videira sob sistemas de cultivo convencional e orgânico

durante três safras, Ávila *et al.* (2007) também não encontraram diferenças na taxa de colonização micorrízica.

Em outros sistemas conservacionistas, como no plantio direto, Angelini *et al.* (2012) obtiveram em culturas anuais colonização micorrízica de 80% para soja e 95% para milho, que sistemas convencionais de plantio.

Ao comparar a taxa de colonização micorrízica em diferentes sistemas de manejo de solo no cerrado com áreas nativas, Cordeiro *et al.* (2007) verificaram que áreas com manejo de gramíneas como braquiária e milho, apresentaram valores estatisticamente superiores a áreas de cerrados nativo.

Sistemas de cultivo mais conservacionista como o orgânico propiciam um ambiente mais favorável à exsudação de substâncias radiculares (Rovira, 1969; Bertin *et al.*, 2003) o que pode ser uma possível explicação no presente trabalho, para a obtenção de maior colonização micorrízica na cana-de-açúcar sob cultivo orgânico. Deve-se considerar, ainda, que, mesmo sob altos teores de P no solo (Tabela 1), sob cultivo orgânico, este sistema de produção apresentou maior colonização micorrízica que sob cultivo convencional.

### **Glomalina facilmente extraível em três variedades de cana sob sistema de cultivo convencional e orgânico.**

Em relação à glomalina facilmente extraível (GFE), não houve diferença significativa entre as variedades analisadas, independente do sistema de cultivo adotado (Tabela 5).

**Tabela 5.** Glomalina facilmente extraível (mg g<sup>-1</sup> solo) em três variedades de cana sob sistema de cultivo convencional e orgânico.

Variedade	Sistema de produção		Média
	Convencional	Orgânico	
IACSP94-2101	1,89	2,04	1,97
IACSP95-5000	2,27	1,78	2,03
CTC4	2,04	1,95	1,99
Média	2,07	1,93	
CV%- sistema de produção = 17,44 CV%- variedades = 13,38			

A glomalina é uma proteína hidrofóbica, recalcitrante e termoestável que pode ser produzida por organismos dos solos, em especial pelos fungos micorrízicos arbusculares e recebeu esse nome por ter sido inicialmente isolada a partir de fungos do gênero *Glomus* (Moreira & Siqueira, 2006; Da Silveira & Dos Santos Freitas, 2007; Sousa *et al.*, 2012).

Características do solo, condições climáticas, sistema de uso do solo, práticas de manejo agrícola, presença e tipo de vegetação, dentre outros fatores, influenciam na quantidade de glomalina produzida pelos FMA. A propriedade de cimentante da glomalina auxilia a fixação das partículas do solo, favorecendo a formação de agregados estáveis.

Uma maneira de se inferir o índice de glomalina nos solos é a determinação de carbono orgânico. Em solos sob sistemas nativos e áreas agrícolas é possível encontrar correlações positivas entre as frações de glomalina e o teor de carbono orgânico (Franzluebbers *et al.*, 2000; Bird *et al.*, 2002; Nichols & Wright, 2006). Um dos motivos para que sistemas conservacionistas possuam maiores teores de carbono é o fato da glomalina reduzir a decomposição de materiais orgânicos através da formação de agregados, que ficam protegidos da atividade enzimática dos micro-organismos decompositores, portanto, sistemas conservacionistas possuem teores mais elevados de carbono (Winck *et al.*, 2014) e propiciam ambiente ideal para produção de glomalina.

Diversos estudos têm também relatado que a produção de glomalina pode ser influenciada pelo sistema de uso do solo, sendo menor em solos agrícolas do que em solos nativos ou não cultivados (Rillig *et al.*, 2003). Além disso, a composição da comunidade vegetal também pode influenciar na produção de glomalina pelos FMA nos solos (Rillig & Steinberg, 2002)

Concentrações de glomalina aumentaram em solos submetidos a preparo reduzido com 7,4 mg g<sup>-1</sup> de solo e plantio direto com 7,2 mg g<sup>-1</sup> de solo, comparadas à solos com preparo convencional com 5,8 mg g<sup>-1</sup> de solo (Borie *et al.*, 2006).

### **Frequência de espécies de FMA em três variedades de cana sob sistema de cultivo convencional e orgânico.**

Na identificação de espécies encontradas nos diferentes genótipos de cana-de-açúcar e sistemas de cultivo, os indivíduos mais frequentes pertencem aos gêneros *Gigaspora*, *Acaulospora*, *Glomus*, *Archaeospora* e *Scutellospora* (Tabela 6). Os FMAs são organismos assexuados e a morfologia dos esporos distingue as famílias, os gêneros e espécies (Moreira & Siqueira, 2006; Stiirmer & Siqueira, 2006; Soka & Ritchie, 2015).

Em relação à diversidade de espécies, a composição da comunidade de FMAs foi diferente para as variedades estudadas e para os sistemas de manejo. Foram identificadas 13 espécies de FMAs no solo sob os sistemas de produção e as variedades de cana-de-açúcar, pertencentes aos gêneros *Acaulospora*, *Archeospora*, *Gigaspora*, *Scutellospora* e *Glomus* (Tabela 6).

**Tabela 8.** Espécies de fungos micorrízicos arbusculares encontrados em áreas de cultivo orgânico e convencional de três variedades de cana-de-açúcar.

Espécie	Variedade / Sistema de cultivo					
	IACSP94 -2101	IACSP95 -5000	CTC4	IACSP94 -2101	IACSP95 -5000	CTC4
	Convencional			Orgânico		
<i>A. laevis</i>	-	+	+	+	+	-
<i>A. scrobiculata</i>	+	+	+	+	+	+
<i>A. tuberculata</i>	+	-	-	-	-	-
<i>A. spinosa</i>	+	-	-	+	-	-
<i>Ar. leptoticha</i>	-	-	-	+	-	-
<i>G. clavisporum</i>	+	+	+	-	+	+
<i>G. lamellosum</i>	+	-	-	-	-	-
<i>G. tortuosum</i>	+	+	+	+	+	+
<i>G. microaggregatum</i>	+	-	-	-	-	-
<i>G. macrocarpum</i>	+	-	+	-	-	-
<i>Gigaspora sp</i>	+	-	-	-	-	-
<i>S. persica</i>	+	-	-	-	-	+
<i>S. pellucida</i>	-	+	+	-	-	+
Riqueza de espécies	10	5	6	5	4	5

*A=Acaulospora; Ar= Archaeospora; G= Glomus; S= Scutellospora.*

O solo cultivado com as variedades de cana-de-açúcar sob sistema de plantio convencional apresentaram maior riqueza de espécies de fungos micorrízicos arbusculares.

Das 13 espécies de fungos micorrízicos encontradas sob as raízes das 3 variedades de cana-de-açúcar nos dois sistemas de cultivos, 12 delas ocorreram no sistema convencional, com exceção de *Ar. Leptoticha*. Já na rizosfera das mesmas variedades de cana-de-açúcar cultivadas sob o sistema orgânico foram encontradas apenas 8 das 13 espécies de fungos micorrízicos. Nas Figuras 1 e 2 são apresentados os esporos das espécies encontradas nos sistemas de produção e nas variedades estudadas.

As plantas que se desenvolvem sob estresse normalmente se associam mais com fungos micorrízicos arbusculares e estes auxiliam na absorção de água e nutrientes, minimizando as condições adversas (Cavalcante *et al.*, 2013; Mohan *et al.*, 2014; Gai *et al.*, 2015). Sistemas orgânicos e conservacionistas são ambientes menos estressantes que sistemas em que se revolve o solo, além da aplicação de pesticidas adubação química Oehl *et al.* (2004), portanto em sistemas convencionais pode ocorrer maior variabilidade de espécies de fungos micorrízicos arbusculares que em sistemas convencionais (Oehl *et al.* (2003)

Em geral, a variedade que apresentou maior diversidade de espécies no solo rizosférico foi a IACSP94-2101 em sistema de plantio convencional, com 10 espécies identificadas, que foram *A. scrobiculata*, *A. tuberculata*, *A. spinosa*, *G. clavisporum*, *G. lamellosum*, *G.*

*tortuosum*, *G. microaggregatum*, *G. macrocarpum*, *S. persica* e o gênero *Gigaspora* sp. No sistema orgânico, para esta mesma variedade, foram encontradas somente cinco espécies de fungos micorrízicos arbusculares: *A. laevis*, *A. scrobiculata*, *A. sipinosa*, *Ar. leptoticha* e *G. tortuorum* (Tabela 6, Figuras 1 e 2).

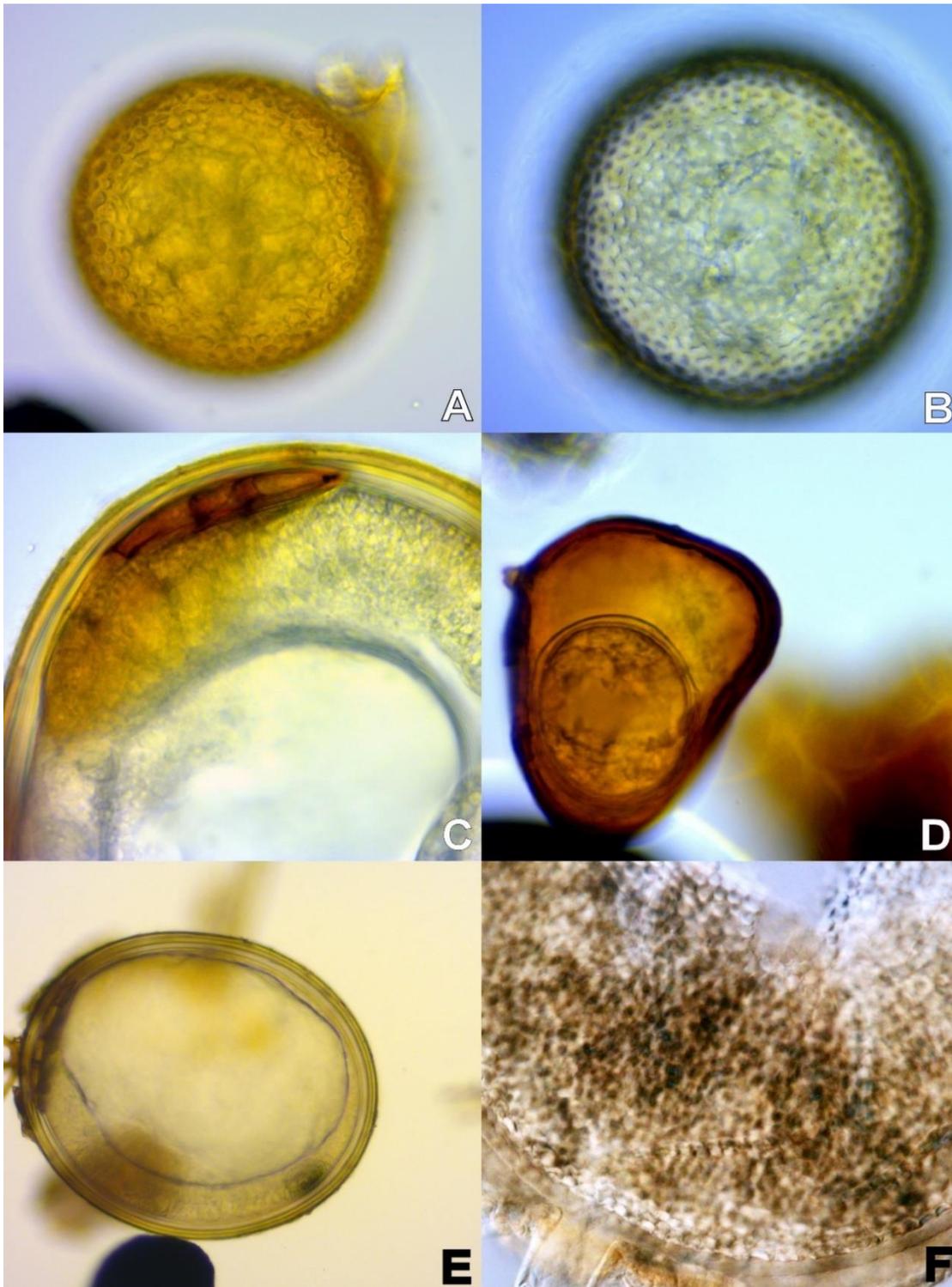
A variedade IACSP 95-5000 quando cultivada sob sistema de plantio convencional associação com uma maior variedade de espécies de fungos micorrízicos; *A. laevis*, *A. scrobiculata*, *G. clavisporum*, *G. tortuosum* e *S. pellucida*, que quando cultivado sob sistema orgânico de produção; *A. laevis*, *A. scrobiculata*, *G. clavisporum* e *G. tortuosum*.

A variedade CTC4 sob sistemas orgânico e convencional apresentaram comportamento semelhante entre os sistemas de produção. No sistema convencional foram identificadas: *A. laevis*, *A. scrobiculata*, *G. clavisporum*, *G. tortuosum*, *G. macrocarpum* e *S. pellucida*, e no sistema orgânico foram obtidas as espécies: *A. scrobiculata*, *G. clavisporum*, *G. tortuosum*, *S. persica* e *S. pellucida*.

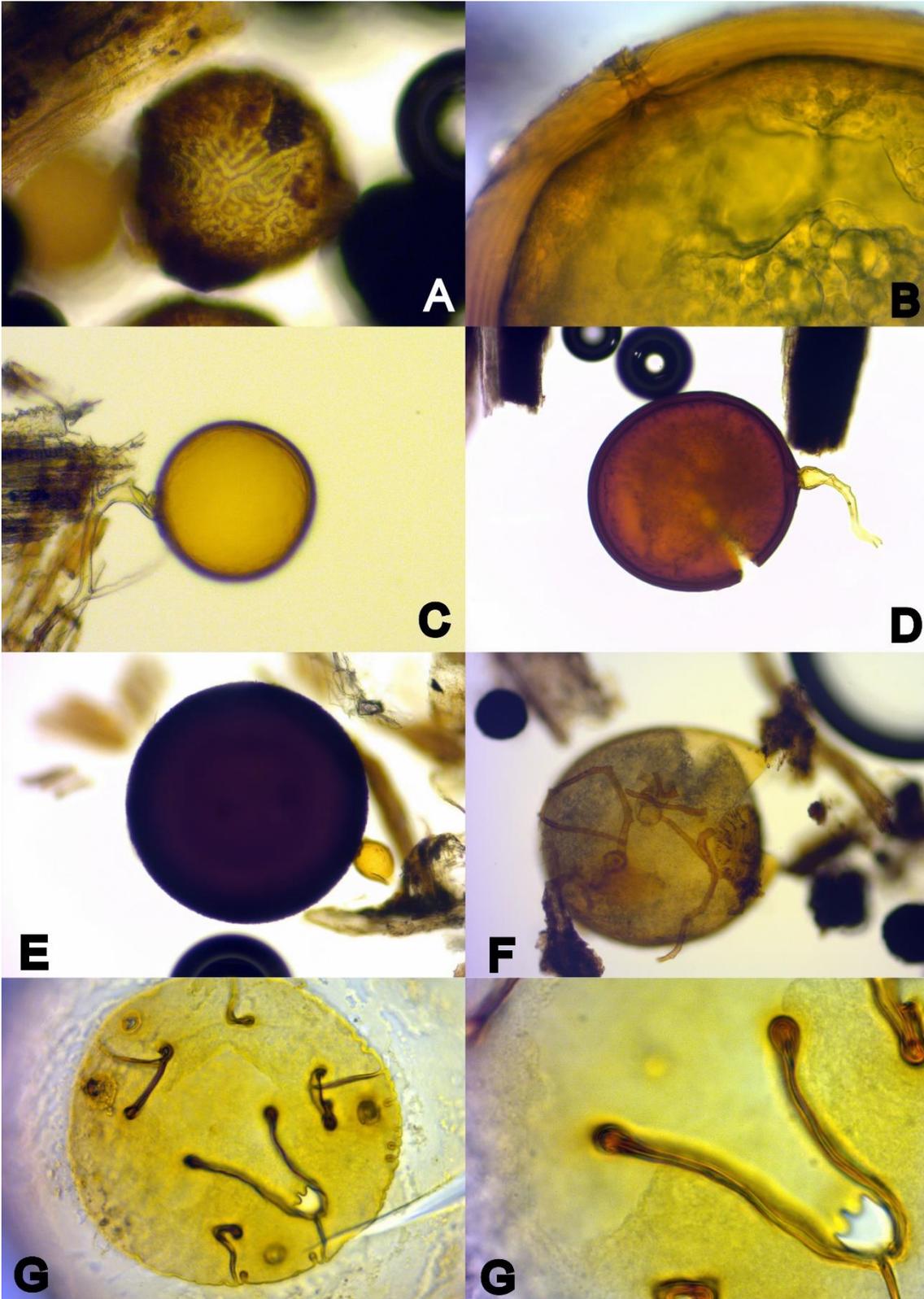
Datta e Kulkarni (2012) estudaram 41 áreas comerciais de produção de cana-de-açúcar de onze distritos na Índia e observaram a ocorrência de todas as espécies descritas na tabela 6.

A diversidade de espécies de fungos micorrízicos arbusculares em cana-de-açúcar sob cultivo convencional foi superior à obtida no sistema orgânico de produção, com doze e oito espécies, respectivamente. Em outras culturas, como no trigo, Dai et al. (2014) também obtiveram maior número ao avaliar a influência do sistema de produção e adubação na população de fungos micorrízicos em trigo. Entretanto, ao investigar a população de espécies fungos micorrízicos arbusculares em rizosfera de cebola sob cultivo orgânico e convencional, Galván *et al.* (2009) verificaram maior variabilidade de espécies no sistema orgânico, onze espécies, do que no sistema convencional de produção, sete espécies.

Apesar dos sistemas de produção estarem sob as mesmas condições de clima e tipo de solo, os níveis de fertilidade e matéria orgânica são diferentes, o que pode ter influenciado a ocorrência de diferentes espécies nos dois sistemas de produção, além disso, entre as variedades, outros autores também obtiveram diferenças na ocorrência de espécies na rizosfera de cana-de-açúcar (Rokni & Goltapeh, 2011), esses autores encontraram 16 espécies de fungos associados a quatro variedades de cana-de-açúcar.



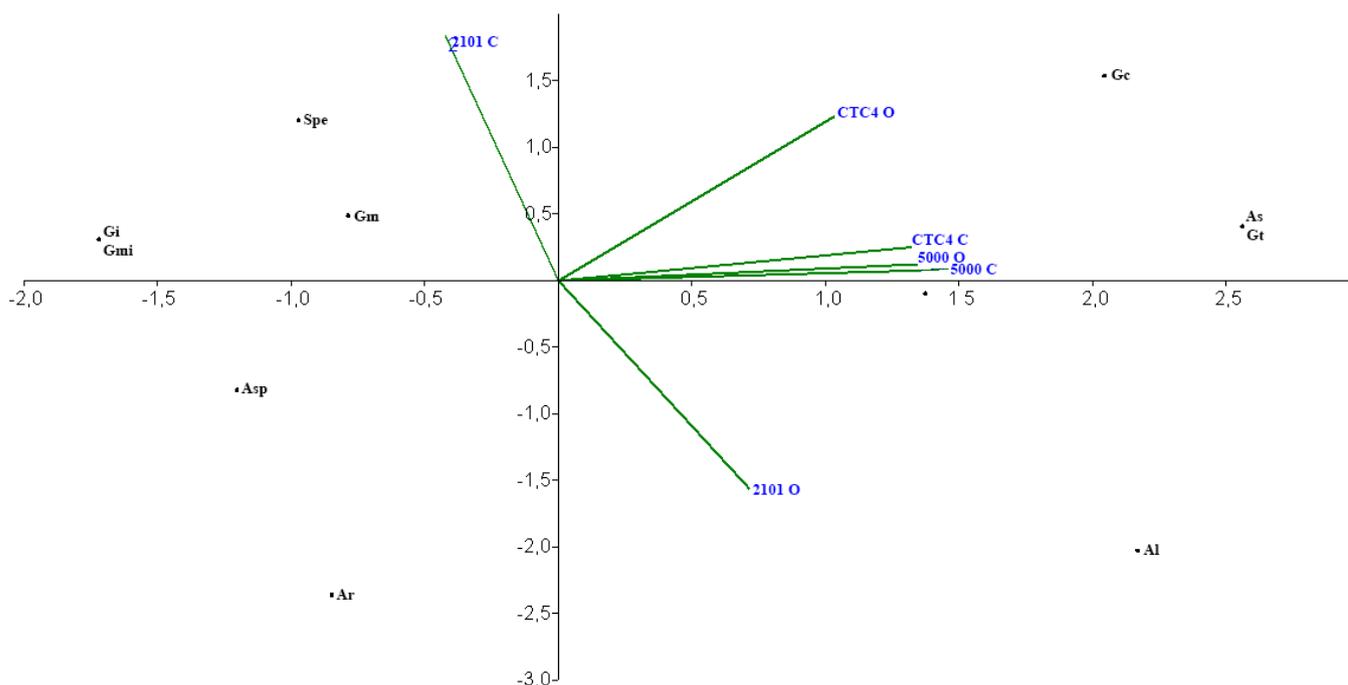
**Figura 1.** *Acaulospora denticulata* (A), *Acaulospora scrobiculata* (B), *Acaulospora laevis* (C), *Glomus clavisporum* (D), *Glomus lamellosum* (E) e *Achaeospora leptoticha* (F).



**Figura 2.** *Glomus tortuosum* (A), *Glomus microaggregatum* (B), *Glomus macrocarpum* (C), *Gigaspora* sp (D), *Scutellospora gregaria* (E), *Scutellospora persica* (F) e *Scutellospora pellucida* (G)

A análise de componentes principais apresenta a correlação das variedades de cana-de-açúcar sob cultivo orgânico e convencional analisadas com a presença das espécies de fungos micorrízicos arbusculares.

A Figura 3 mostra que há um grande distanciamento da variedade IACSP94-2101 quando cultivada em sistemas orgânico e convencional. Sob sistema orgânico de produção, as espécies *S. persica*, *G. macrocarpum* são mais frequentes, já a espécie *A. laevis* é mais próxima do sistema convencional de cultivo.



**Figura 3.** Análise de componentes principais da frequência de espécies de Fungos Micorrízicos Arbusculares nas variedades IACSP94-2101, IACSP95-5000 e CTC4 sob sistema orgânico e convencional. (Al: *A. laevis*, Asp: *A. scrobiculata*, As: *A. scrobiculata*; Ar: *Ar. leptoticha*, Ge: *G. etunicatum*, Gm: *G. macrocarpum*, Gmi: *G. microaggregatum*, Gt: *G. tortuosum*, Gi: *Gigaspora sp*, Spe: *Scutellospora pellucida*)

As variedades CTC4 e IACSP95-5000 apresentaram comportamento semelhante em relação à aproximação de espécies de FMA, independentemente do sistema de cultivo adotado. As espécies *G. clavisporum*, *A. scrobiculata* e *G. tortuosum* e *S. pellucida*, estão próximas das demais variedades em ambos sistemas e se distanciaram das demais espécies identificadas.

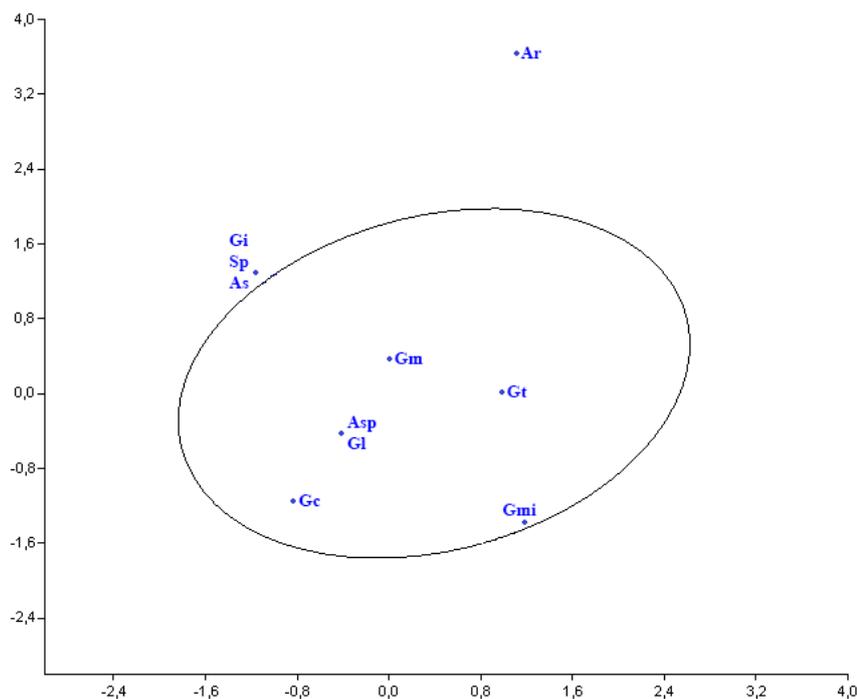
Galván et al. (2009) ao analisar rizosfera de cebola e Ávila et al. (2007) ao verificar interações micorrizicas em rizosfera de videira, afirmam que o sistema de manejo, orgânico ou convencional, observaram que a comunidade de FMA era semelhante. Ávila et al. (2007) verificaram também um efeito sazonal na esporulação dos FMAs associados as videiras, com

maior densidade nos meses mais secos, e também independem do sistema de cultivo implantado.

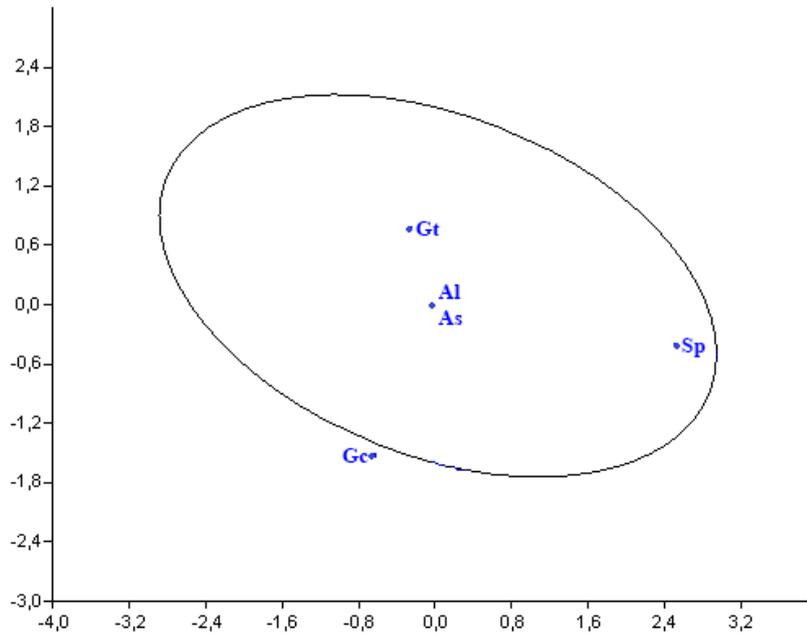
A análise de correspondência canônica da variedade IACSP94-2101 (Figura 4) mostrou que a frequência das espécies não se diferencia entre os sistemas de cultivo orgânico e convencional. As espécies *G. macrocarpum*, *G. tortuosum*, *A. spinosa*, *G. clavisporum*, *G. microaggregatum* e *G. lamellosum* são comumente encontradas colonizando esta variedade.

Entretanto, as espécies *Ar. leptoticha*, *Gigaspora*, *S. pellucida* e *A. denticulata*, embora presentes, não são frequentemente encontradas associadas à variedade IACSP94-2101.

A análise de correspondência canônica da variedade IACSP95-5000 (figura 5) mostrou que os sistemas orgânico e convencional não possuem diferenças na frequência de espécies de FMA que colonizam esta rizosfera, onde as espécies mais comumente encontradas associadas a essa variedade são *G. tortuosum*, *S. pellucida*, *A. laevis* e *A. scrobiculata* e somente *G. clavisporum*, embora presente, não é frequentemente encontrado rizosfera da variedade 5000.

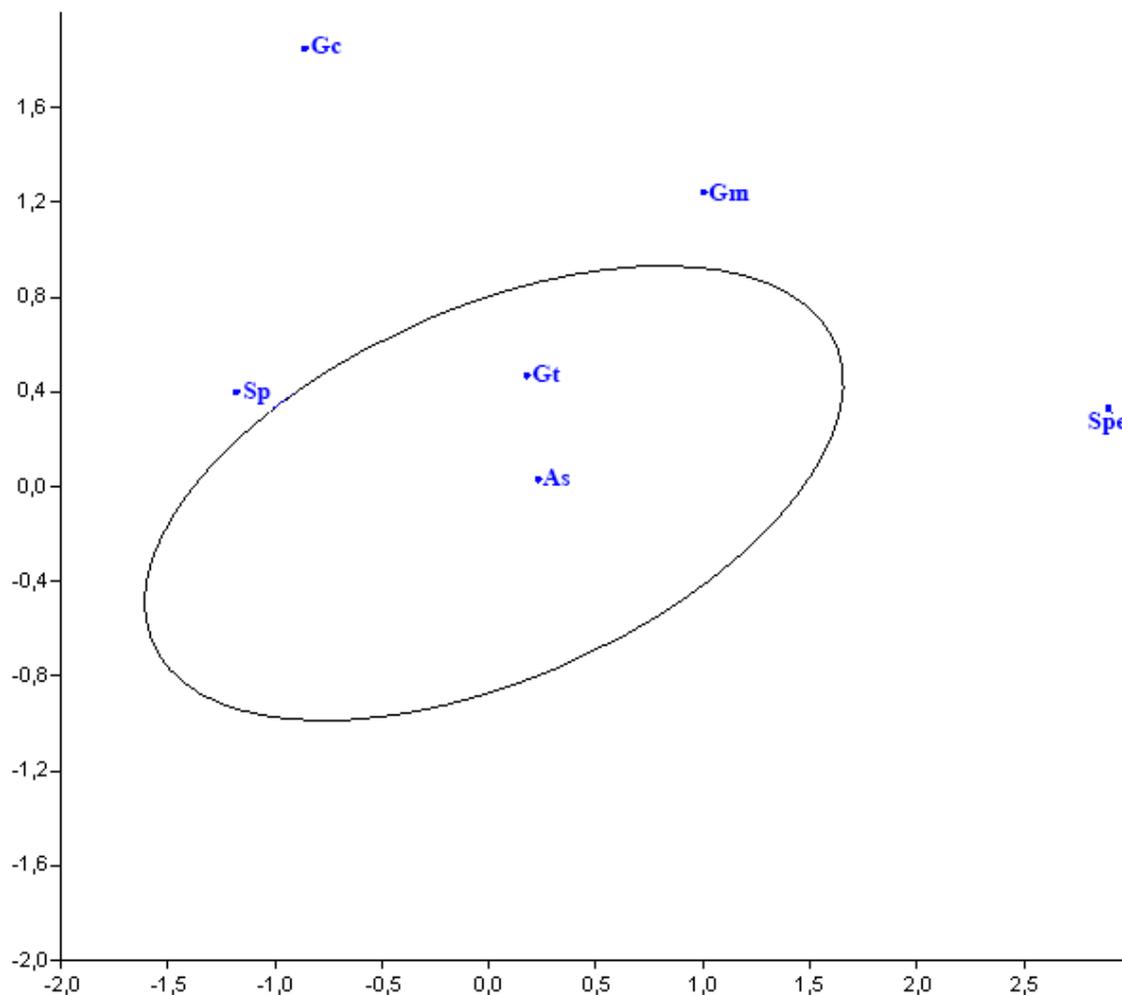


**Figura 4.** Análise de correspondência canônica da frequência de espécies de Fungos Micorrízicos Arbusculares na variedade IACSP94-2101 sob sistema orgânico e convencional. (Ar: *Ar. Leptoticha*; As: *A. scrobiculata*, Asp: *A. spinosa*, Gc: *G. clavisporum*, Gl: *G. lamellosum*, Gm: *G. macrocarpum*, Gmi: *G. microaggregatum*, Gt: *G. tortuosum*, Gv: *Gi: Gigaspora*; Sp: *Scutellospora pellucida*)



**Figura 5.** Análise de correspondência canônica da frequência de espécies de fungos micorrízicos arbusculares na variedade IACSP95-5000 sob sistema orgânico e convencional (Al: *A. laevis*, As: *A. scrobiculata*, Gc: *G. clavisporum*, Sp: *S. Pellucida*, Gt: *G. tortuosum* )

A Figura 6 mostra a análise de correspondência canônica da variedade CTC4, e não houve diferenças na frequência de espécies de FMA associadas a rizosfera de cana-de-açúcar nos sistemas orgânico e convencional. Somente as espécies *G. tortuosum*, *A. scrobiculata* e *A. laevis* são comumente encontradas associadas à variedade CTC4. As espécies *S. pellucida*, *G. macrocarpum*, *G. clavisporum* e *S. persica*, embora presentes, não são frequentemente encontradas associadas à variedade CTC4.



**Figura 6.** Análise de correspondência canônica da frequência de espécies de fungos micorrízicos arbusculares na variedade CTC4 sob sistema orgânico e convencional. (As: *A. scrobiculata*, Gm: *G. macrocarpum*, Gt: *G. tortuosum*, Spe: *S. persica*, Gc: *G. clavisporum*, Sp: *Scutellospora pellucida*)

Não houve separação de grupos da comunidade de FMAs nos sistemas de cultivo orgânico e convencional em todas as variedades analisadas. Embora as espécies frequentemente associadas diferem entre as variedades de cana-de-açúcar.

A espécie *G. tortuosum* é a única, dentre as espécies identificadas, que é frequentemente encontrada associada a todas as variedades de cana-de-açúcar. A variedade IACSP94-2101 é a que mais possui espécies de FMAs frequentemente associadas, quando comparada às demais variedades. A espécie *A. laevis* é frequentemente encontrada associada às variedades IACSP95-5000 e CTC4 e não foi identificada associada à variedade 2101.

Em estudos de diversidade de FMAs em cana-de-açúcar, Datta e Kulkarni (2012) observaram uma considerável diversidade de FMA em diferentes solos com a mesma variedade. Os autores verificaram que o estado nutricional do solo é o fator determinante na atividade micorrízica e a variedade da planta hospedeira não tem influência direta sobre os resultados. As

espécies *Glomus fasciculatum*, *Glomus intraradices*, *Glomus mosseae*, e *Glomus versiforme* foram os mais frequentes.

Azevedo (2008) avaliou a influência de áreas de manejo com e sem queima de cana-de-açúcar e verificou que a abundância, riqueza e diversidade de FMAs não diferiu entre os tratamentos sem queima e com queima, nem entre as variedades de cana-de-açúcar. Embora o sistema de manejo de colheita sem queima prévia estimulou a colonização micorrízica arbuscular em cana-de-açúcar quando comparado ao manejo com colheita com queima.

Reis *et al.* (1999) avaliaram a ocorrência dos FMAs e da bactéria diazotrófica endofítica *A. diazotrophicus*, em plantios comerciais de cana-de-açúcar e a sua presença em esporos dos FMAs e encontraram que fungos micorrízicos vesículo-arbusculares ocorrem naturalmente na rizosfera de plantas de cana-de-açúcar sob diferentes condições de solos e manejo e o número de esporos dos FMAs nas plantas de cana-de-açúcar apresenta variações quantitativas e qualitativas entre as localidades amostradas. A prática da queima da cana-de-açúcar por ocasião do corte diminui a diversidade das espécies de FMAs nativos.

São escassos os trabalhos que avaliam a influência de sistemas de cultivo e variedade na comunidade de fungos micorrízicos arbusculares, entretanto, Galván *et al.* (2009) ao avaliar a influência de cultivo orgânico e convencional em cebola, verificou que sistemas de produção orgânico e convencional tiveram número semelhante de espécies de FMA associados em rizosfera de cebola.

Ao analisar a frequência de espécies em sistemas conservacionistas e áreas com revolvimento do solo, Gai *et al.* (2015), assim como na Figura 3, não encontraram distanciamento de espécies considerando os sistemas de manejo do solo. As espécies *S. pellucida*, *G. clavisporum*, *G. tortuosum*, *G. macrocarpum*, *A. scrobiculata* e *Gigaspora sp* também foram encontradas em rizosfera de trigo, tomate e milho.

Cui *et al.* (2015) também não encontraram colonização de *Gigaspora* e *S. gregaria* em trigo independente do sistema de manejo de solo, comportamento semelhante as variedades analisadas. Entretanto Ferreira *et al.* (2012) e Higo *et al.* (2015) outros autores identificaram a presença destes organismos associados a trigo e também identificaram. *pellucida*, *G. clavisporum*, *G. tortuosum*, *G. macrocarpum*, *A. scrobiculata* e *Gigaspora sp*.

## CONCLUSÕES

1. Não houve efeito das variedades de cana-de-açúcar no número de esporos e teores de glomalina no solo.
2. O sistema convencional apresentou valores estatisticamente inferiores de taxa de colonização micorrízica comparado ao sistema orgânico;
3. As variedades cultivadas sob sistema de plantio convencional apresentaram maior diversidade de fungos micorrízicos arbusculares onde ocorrem 12 das 13 espécies diferentes de fungos micorrízicos encontradas em ambos os sistemas de cultivo.
4. As variedades CTC4 e IACSP95-5000 apresentaram comportamento semelhante em relação à aproximação de espécies de FMA, independentemente do sistema de cultivo adotado. As espécies *G. clavisporum*, *A. scrobiculata* e *G. tortuosum* e *S. pellucida*, estão próximos das demais variedades em ambos sistemas e se distanciaram das demais espécies identificadas;
5. Na variedade IACSP94-2101, a frequência das espécies não se diferencia entre os sistemas de cultivo orgânico e convencional. As espécies *G. macrocarpum*, *G. tortuosum*, *A. spinosa*, *G. clavisporum*, *G. microaggregatum* e *G. lamellosum* são comumente associadas a esta variedade. Entretanto as espécies *Ar. leptoticha*, *Gigaspora*, *S. pellucida* e *A. denticulata*, embora presentes, não são frequentemente encontradas associadas à variedade IACSP94-2101;
6. Nas variedades IACSP95-5000 e CTC4 os sistemas orgânico e convencional não possuem diferenças na frequência de espécies de FMA que colonizam esta rizosfera.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGHILI, F.; JANSA, J.; KHOSHGOFTARMANESH, A. H.; AFYUNI, M.; SCHULIN, R.; FROSSARD, E.; GAMPER, H. A. **Wheat plants invest more in mycorrhizae and receive more benefits from them under adverse than favorable soil conditions.** Applied Soil Ecology, v. 84, p. 93-111, 2014.

AL-KARAKI, G.; MCMICHAEL, B.; ZAK, J. **Field response of wheat to arbuscular mycorrhizal fungi and drought stress.** Mycorrhiza, v. 14, n. 4, p. 263-269, 2004.

AMBROSANO, E. J.; CANTARELLA, H.; AMBROSANO, G. M. B.; SCHAMMAS, E. A.; DIAS, F. L. F.; ROSSI, F.; TRIVELIN, P. C. O.; MURAOKA, T.; SACHS, R. C. C.; AZCÓN, R. **Produtividade da cana-de-açúcar após o cultivo de leguminosas.** Bragantia, v. 70, n. 4, p. 810-818, 2011.

AN, G.-H.; KOBAYASHI, S.; ENOKI, H.; SONOBE, K.; MURAKI, M.; KARASAWA, T.; EZAWA, T. **How does arbuscular mycorrhizal colonization vary with host plant genotype?** An example based on maize (*Zea mays*) germplasms. Plant and Soil, v. 327, n. 1-2, p. 441-453, 2010.

ANGELINI, G. A. R.; LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; TORRES, J. L. R.; JÚNIOR, O. J. S. **Colonização micorrízica, densidade de esporos e diversidade de fungos micorrízicos arbusculares em solo de Cerrado sob plantio direto e convencional.** Semina: Ciências Agrárias, v. 33, n. 1, p. 115-130, 2012.

ÁVILA, A. L.; DAL SOGLIO, F. K.; SOUZA, P. V. D. D.; CARRENHO, R. **Ocorrência de fungos micorrízicos arbusculares em cultivos de videira (*vitis sp.*) Sob diferentes tipos de manejo.** 2007, v. 2, n. 1, 2007-05-01 2007. Disponível em: < <http://www.abagroecologia.org.br/revistas/index.php/rbagroecologia/article/view/6377> >.

AZEVEDO, L. C. B. D. **Comunidades de fungos micorrízicos arbusculares no solo e raízes de cana-de-açúcar.** 2008. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz

BELTRANO, J.; RONCO, M. G. **Improved tolerance of wheat plants (*Triticum aestivum* L.) to drought stress and rewatering by the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus claroideum*: effect on growth and cell membrane stability.** Brazilian Journal of Plant Physiology, v. 20, p. 29-37, 2008. Disponível em: < [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1677-04202008000100004&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1677-04202008000100004&nrm=iso) >.

BERTIN, C.; YANG, X.; WESTON, L. A. **The role of root exudates and allelochemicals in the rhizosphere.** Plant and Soil, v. 256, n. 1, p. 67-83, 2003.

BETHLENFALVAY, G.; LINDERMAN, R. **Vesicular-arbuscular mycorrhizae and cultural stresses.** 1992.

BIRD, S. B.; HERRICK, J. E.; WANDER, M.; WRIGHT, S. **Spatial heterogeneity of aggregate stability and soil carbon in semi-arid rangeland.** Environmental Pollution, v. 116, n. 3, p. 445-455, 2002.

BORIE, F.; RUBIO, R.; ROUANET, J.; MORALES, A.; BORIE, G.; ROJAS, C. **Effects of tillage systems on soil characteristics, glomalin and mycorrhizal propagules in a Chilean Ultisol.** Soil and Tillage Research, v. 88, n. 1, p. 253-261, 2006.

CASTRO, S. D.; BORGES, R. D. O.; AMARAL, R. **Estudo da expansão da cana-de-açúcar no estado de Goiás: subsídios para uma avaliação do potencial de impactos ambientais.** Anais SBPC, 2007.

CASTRO, S. S. D.; ABDALA, K.; SILVA, A. A.; BÔRGES, V. M. S. **A expansão da cana-de-açúcar no cerrado e no estado de Goiás: elementos para uma análise espacial do processo.** 2010.

CAVALCANTE, U. M. T.; GOTO, B. T.; MAIA, L. C. **Aspectos da simbiose micorrízica arbuscular.** Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agronômica, v. 5, p. 180-208, 2013.

COLOZZI FILHO, A.; NOGUEIRA, M. A. **Micorrizas arbusculares em plantas tropicais: café, mandioca e cana-de-açúcar.** Microbiota do Solo e Qualidade Ambiental, p. 39, 2007.

CONAB. **Avaliação da safra agrícola de cana-de-açúcar 2013/2014.** ABASTECIMENTO, C. N. D. Brasília: 1-15 p. 2013.

CORDEIRO, M. A. S.; CARNEIRO, M. A. C.; PAULINO, H. B.; JUNIOR, O. J. S. **Colonização e densidade de esporos de fungos micorrízicos em dois solos do cerrado sob diferentes sistemas de manejo.** Pesquisa Agropecuária Tropical (Agricultural Research in the Tropics), v. 35, n. 3, p. 147-153, 2007.

CUI, H.; ZHOU, Y.; GU, Z.; ZHU, H.; FU, S.; YAO, Q. **The combined effects of cover crops and symbiotic microbes on phosphatase gene and organic phosphorus hydrolysis in subtropical orchard soils.** Soil biology and biochemistry, v. 82, n. 0, p. 119-126, 3// 2015. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038071715000139> >.

DA SILVEIRA, A. P. D.; DOS SANTOS FREITAS, S. **Microbiota do solo e qualidade ambiental.** Instituto Agronômico, 2007.

DAI, M.; HAMEL, C.; BAINARD, L. D.; ARNAUD, M. S.; GRANT, C. A.; LUPWAYI, N. Z.; MALHI, S. S.; LEMKE, R. **Negative and positive contributions of arbuscular mycorrhizal fungal taxa to wheat production and nutrient uptake efficiency in organic and conventional systems in the Canadian prairie.** Soil biology and biochemistry, v. 74, p. 156-166, 2014.

DATTA, P.; KULKARNI, M. **Arbuscular mycorrhizal fungal diversity in sugarcane rhizosphere in relation with soil properties.** Notulae Scientia Biologicae, v. 4, n. 1, p. 66-74, 2012.

DE SOUZA, R. F.; MADEIRA, N. R.; DE FIGUEIREDO, C. C. **Perdas de solo, água e nutrientes em área cultivada com hortaliças sob sistema de plantio direto.** Científic@, v. 1, n. 1, p. 37 a 50, 2014.

DOUDS JR, D. D.; JANKE, R. R.; PETERS, S. E. **VAM fungus spore populations and colonization of roots of maize and soybean under conventional and low-input sustainable**

**agriculture.** Agriculture, ecosystems & environment, v. 43, n. 3–4, p. 325-335, 2// 1993. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0167880993900957> >.

ELBON, A.; WHALEN, J. K. **Phosphorus supply to vegetable crops from arbuscular mycorrhizal fungi: a review.** Biological Agriculture & Horticulture, n. ahead-of-print, p. 1-18, 2014.

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

FERREIRA, D. F. **SISVAR: um programa para análises e ensino de estatística.** Revista Symposium: UFLA. 6 2008.

FOCCHI, S. S.; DAL SOGLIO, F. K.; CARRENHO, R.; DE SOUZA, P.; LOVATO, P. E. **Fungos micorrízicos arbusculares em cultivos de citros sob manejo convencional e orgânico.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 39, n. 5, p. 469-476, 2004.

FRANCO, Í. O. **Expansão da cana-de-açúcar na microrregião sudoeste de goiás: análise espacial das mudanças do uso e cobertura do solo nos anos de 2001, 2006 e 2011.** Boletim Goiano de Geografia, v. 34, n. 3, p. 481-499, 2015.

FRANZLUEBBERS, A.; WRIGHT, S.; STUEDEMANN, J. **Soil aggregation and glomalin under pastures in the Southern Piedmont USA.** Soil Science Society of America Journal, v. 64, n. 3, p. 1018-1026, 2000.

GAI, J.; GAO, W.; LIU, L.; CHEN, Q.; FENG, G.; ZHANG, J.; CHRISTIE, P.; LI, X. **Infectivity and community composition of arbuscular mycorrhizal fungi from different soil depths in intensively managed agricultural ecosystems.** Journal of Soils and Sediments, p. 1-12, 2015.

GALVÁN, G.; PARÁDI, I.; BURGER, K.; BAAR, J.; KUYPER, T.; SCHOLTEN, O.; KIK, C. **Molecular diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in onion roots from organic and conventional farming systems in the Netherlands.** Mycorrhiza, v. 19, n. 5, p. 317-328, 2009/06/01 2009. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1007/s00572-009-0237-2> >.

GEORGE, E.; MARSCHNER, H.; JAKOBSEN, I. **Role of arbuscular mycorrhizal fungi in uptake of phosphorus and nitrogen from soil.** Critical Reviews in Biotechnology, v. 15, n. 3-4, p. 257-270, 1995.

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

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

HAMMER, Ø. **PAST - Palaeontological statistics.** Natural History Museum: University of Oslo 2013.

HIGO, M.; ISOBE, K.; KONDO, T.; YAMAGUCHI, M.; TAKEYAMA, S.; DRIJBER, R. A.; TORIGOE, Y. **Temporal variation of the molecular diversity of arbuscular mycorrhizal communities in three different winter cover crop rotational systems.** *Biology and fertility of soils*, v. 51, n. 1, p. 21-32, 2015.

INVAM. **International Culture Collection of Arbuscular Mycorrhizal Fungi.** 2014. Disponível em: < <http://invam.caf.wvu.edu/fungi/taxonomy/classification.htm> >.

KABIR, Z.; O'HALLORAN, I.; FYLES, J.; HAMEL, C. **Seasonal changes of arbuscular mycorrhizal fungi as affected by tillage practices and fertilization: hyphal density and mycorrhizal root colonization.** *Plant and Soil*, v. 192, n. 2, p. 285-293, 1997.

KÖPPEN, W. P. **Grundriss der klimakunde.** 1931.

MACHADO, R. **Sistemas de produção orgânicos para a soca da cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum spp*), consorciado com milho (*Zea Mays*), feijão (*Phaseolus Vulgaris*) e mandioca (*Manihot Esculenta*).** 2008. UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

MANZATTO, C. V.; ASSAD, E.; BACA, J.; ZARONI, M. J.; PEREIRA, S. **Zoneamento agroecológico da cana-de-açúcar: expandir a produção, preservar a vida, garantir o futuro.** Embrapa Solos. Documentos, 2009.

MAZURANA, M.; FINK, J. R.; CAMARGO, E.; SCHMITT, C.; ANDREAZZA, R.; OLIVEIRA, F. A. D. **Estoque de carbono e atividade microbiana em sistema de plantio direto consolidado no Sul do Brasil.** *Revista de Ciências Agrárias*, v. 36, n. 3, p. 288-296, 2013.

MOHAN, J. E.; COWDEN, C. C.; BAAS, P.; DAWADI, A.; FRANKSON, P. T.; HELMICK, K.; HUGHES, E.; KHAN, S.; LANG, A.; MACHMULLER, M. **Mycorrhizal fungi mediation of terrestrial ecosystem responses to global change: mini-review.** *Fungal Ecology*, v. 10, p. 3-19, 2014.

MOREIRA, F. M. D. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e Bioquímica do Solo.** Editora UFLA, 2006.

NICHOLS, K.; WRIGHT, S. **Carbon and nitrogen in operationally defined soil organic matter pools.** *Biology and fertility of soils*, v. 43, n. 2, p. 215-220, 2006.

OEHL, F.; SIEVERDING, E.; INEICHEN, K.; MÄDER, P.; BOLLER, T.; WIEMKEN, A. **Impact of land use intensity on the species diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in agroecosystems of Central Europe.** *Applied and Environmental Microbiology*, v. 69, n. 5, p. 2816-2824, 2003.

OEHL, F.; SIEVERDING, E.; MÄDER, P.; DUBOIS, D.; INEICHEN, K.; BOLLER, T.; WIEMKEN, A. **Impact of long-term conventional and organic farming on the diversity of arbuscular mycorrhizal fungi.** *Oecologia*, v. 138, n. 4, p. 574-583, 2004.

PHILLIPS, J.; HAYMAN, D. **Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection.** *Transactions of the British Mycological society*, v. 55, n. 1, p. 158-IN18, 1970.

REIS, V. M.; PAULA, M. A. D.; DÖBEREINER, J. **Ocorrência de micorrizas arbusculares e da bactéria diazotrófica *Acetobacter diazotrophicus* em cana-de-açúcar.** *Pesq. Agropec. Bras.*, v. 34, n. 10, p. 1933-1941, 1999.

REIS, V. M.; PAULA, M. A. D.; DÖBEREINER, J. **Ocorrência de micorrizas arbusculares e da bactéria diazotrófica *Acetobacter diazotrophicus* em cana-de-açúcar.** *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 34, p. 1933-1941, 1999. Disponível em: < [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-204X1999001000021&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-204X1999001000021&nrm=iso) >.

RIBEIRO, P. H. P.; NETO, J. A. L.; TEIXEIRA, M. B.; GUERRA, H. O. C.; DA SILVA, N. F.; CUNHA, F. N. **Distribuição de potássio aplicado via vinhaça em latossolo vermelho amarelo e nitossolo vermelho**-DOI: 10.7127/rbai.v8n500257. *REVISTA BRASILEIRA DE AGRICULTURA IRRIGADA-RBAI*, v. 8, n. 5, p. 403-410, 2014.

RILLIG, M. C.; MAESTRE, F. T.; LAMIT, L. J. **Microsite differences in fungal hyphal length, glomalin, and soil aggregate stability in semiarid Mediterranean steppes.** *Soil biology and biochemistry*, v. 35, n. 9, p. 1257-1260, 2003.

RILLIG, M. C.; STEINBERG, P. D. **Glomalin production by an arbuscular mycorrhizal fungus: a mechanism of habitat modification?** *Soil biology and biochemistry*, v. 34, n. 9, p. 1371-1374, 2002.

ROKNI, N.; GOLTAPPEH, E. M. **Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi associated with common sugarcane varieties in Iran.** *J Agric Technol*, v. 7, p. 1017-1022, 2011.

ROVIRA, A. D. **Plant root exudates.** *The Botanical Review*, v. 35, n. 1, p. 35-57, 1969.

SALA, V. M. R.; FREITAS, S. D. S.; SILVEIRA, A. D. **Interação entre fungos micorrízicos arbusculares e bactérias diazotróficas em trigo.** *Pesq Agropec Bras*, v. 42, p. 1593-1600, 2007.

SANTOS JUNIOR, J.; FRANZ, C. **Manejo e conservação do solo e da água em sistema de plantio direto no Cerrado.** Embrapa Cerrados. Documentos, 2009.

SCHNEIDER, J.; KLAUBERG-FILHO, O.; FONTOURA, S. M. V.; ALVES, M. V. **Influência de diferentes sistemas de manejo e calagem em experimento de longa duração sobre fungos micorrízicos arbusculares.** *Ci. Agrotec*, v. 35, p. 701-709, 2011.

SIVAKUMAR, N. **Effect of edaphic factors and seasonal variation on spore density and root colonization of arbuscular mycorrhizal fungi in sugarcane fields.** *Annals of Microbiology*, v. 63, n. 1, p. 151-160, 2013/03/01 2013. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1007/s13213-012-0455-2> >.

SOKA, G.; RITCHIE, M. **Arbuscular mycorrhizal symbiosis, ecosystem processes and environmental changes in tropical soils.** *APPLIED ECOLOGY AND ENVIRONMENTAL RESEARCH*, v. 13, n. 1, p. 229-245, 2015.

SOUSA, C. S.; MENEZES, R. S. C.; SAMPAIO, E. V. D. S. B.; LIMA, F. S. **Glomalina: características, produção, limitações e contribuição nos solos.** Semina: Ciências Agrárias, v. 33, n. 6Supl1, p. 3033-3044, 2012.

STIIRMER, S.; SIQUEIRA, J. **Diversity of Arbuscular Mycorrhizal Fungi in Brazilian Ecosystems.** Soil Biodiversity in Amazonian and other Brazilian Ecosystems, p. 206, 2006.

STONOR, R. N.; SMITH, S. E.; MANJARREZ, M.; FACELLI, E.; SMITH, F. A. **Mycorrhizal responses in wheat: shading decreases growth but does not lower the contribution of the fungal phosphate uptake pathway.** Mycorrhiza, p. 1-8, 2014.

WINCK, B. R.; VEZZANI, F. M.; DIECKOW, J.; FAVARETTO, N.; MOLIN, R. **Carbono e nitrogênio nas frações granulométricas da matéria orgânica do solo, em sistemas de culturas sob plantio direto.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 38, n. 3, p. 980-989, 2014.

WRIGHT, S. F.; UPADHYAYA, A. **Extraction of an abundant and unusual protein from soil and comparison with hyphal protein of arbuscular mycorrhizal fungi.** Soil Science, v. 161, n. 9, p. 575-586, 1996.

**CAPÍTULO 3. Fungos micorrízicos arbusculares em diferentes plantas de cobertura em plantio direto com e sem adição de nitrogênio**

## INTRODUÇÃO

O desafio de se implantar agroecossistemas no Cerrado é conciliar atributos relacionados à qualidade do solo com altas produtividades, evitando sua degradação, que é identificada através de alterações dos atributos físicos, químicos e biológicos do solo, devido, principalmente, à diminuição dos teores de matéria orgânica (Da Silva *et al.*, 1994; Winck *et al.*, 2014; Souza *et al.*, 2015).

Práticas de manejo convencionais causam reduções nos teores de carbono e nitrogênio do solo, além de outros efeitos negativos como: menor eficiência na ciclagem de nutrientes, erosão, assoreamento e contaminação dos mananciais hídricos e redução na biodiversidade de fauna e flora (De Souza *et al.*, 2014). Aplicações de altas doses de fertilizantes, uso de irrigação sem o devido controle, mecanização intensiva com acentuado revolvimento do solo e incorporação de resíduos vegetais contribuem significativamente para a degradação da matéria orgânica e redução dos estoques de C e N do solo (Wutke *et al.*, 1993; Wutke *et al.*, 2009; De Souza *et al.*, 2014; Souza *et al.*, 2015).

Para que a sustentabilidade do sistema de plantio direto seja efetiva é necessário um manejo do solo adequado, associado a práticas conservacionistas de caráter mecânico, edáfico e vegetativo, dentre as quais a utilização de adubação verde e plantas de cobertura são componentes essenciais (Santos Junior & Franz, 2009; De Souza *et al.*, 2014; Winck *et al.*, 2014).

A melhoria na qualidade química, física e biológica do solo, pela utilização do sistema plantio direto, está associada ao aumento do teor de C no solo e, conseqüentemente, ao seu teor de matéria orgânica. Estes benefícios aumentam a produtividade das culturas inseridas no sistema de produção e, também, podem contribuir para a redução nos custos de produção, principalmente na aquisição de fertilizantes, garantindo maior lucratividade e sustentabilidade da agricultura brasileira (Melero *et al.*, 2013).

Plantas de cobertura podem influenciar o funcionamento biológico do solo e, conseqüentemente na sua qualidade e os fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) são um dos principais parâmetros microbiológicos que podem ser intimamente relacionados à sanidade vegetal, sendo, assim, considerados um bom indicador de impactos em sistemas de manejo do solo.

Para fungos micorrízicos, o estudo de sua diversidade em condições de campo pode ser feito em estudos qualitativos e quantitativos de esporos e associação micorrízica (Benedetti *et al.*, 2005).

Somente os valores da abundância de esporos no solo não são indicativos da associação micorrízica e mesmo a ausência do esporo não indica necessariamente a ausência do fungo, pois existe um espaço de tempo entre a associação micorrízica e a esporulação (Moreira & Siqueira, 2006). Por esse fato, muitos fungos não podem ser identificados com precisão a partir do esporo coletado no campo, mas fornecem um indicativo da população presente no solo em um dado momento ou ciclo de cultivo. O conhecimento da diversidade das populações de fungos micorrízicos arbusculares, seu papel e interações com o meio são requisitos básicos para o estabelecimento de manejo que permita o aumento no crescimento da planta, a sobrevivência e persistência de espécies fúngicas em um determinado ambiente (Benedetti *et al.*, 2005).

De acordo com pesquisas em SPD no Cerrado algumas espécies de plantas de cobertura, como o feijão-bravo-do-ceará e guandu, apresentam alta eficiência em se associar com fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) (Carvalho & Amabile, 2006; Moreira & Siqueira, 2006) e que as hifas desses fungos produzem uma glicoproteína insolúvel denominada glomalina (Wright & Upadhyaya, 1996). A glomalina se constitui num importante estoque de C e N no solo (Nichols & Wright, 2006), atuando efetivamente na cimentação e incrementa estabilidade dos agregados, já promovida pelo efeito físico das redes de hifas fúngicas extrarradiculares que envolvem e interligam as partículas do solo. Na condição de glicoproteína, a glomalina possui quantidades expressivas de carbono (C), representando elevada proporção do C orgânico e com potencial de “estocar” C no solo. A maior incorporação de P e N no solo pelas associações das plantas de cobertura com fungos micorrízicos arbusculares são também contribuições relevantes das plantas de cobertura em sistemas agrícolas (Carvalho & Amabile, 2006).

O objetivo deste trabalho foi avaliar a ocorrência de fungos micorrízicos e teores de glomalina, em solo sob diferentes plantas de cobertura, após a cultura do milho com e sem adubação de cobertura.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

O experimento foi conduzido em Latossolo Vermelho distrófico argiloso na área experimental da Embrapa Cerrados. O clima do local é tropical estacional (Aw) conforme Köppen (1931).

Antes da instalação do experimento a área foi mantida com rotação soja/milho entre os anos de 1999 e 2004 e na instalação do mesmo a composição química do solo era a seguinte: pH (em água) = 6,0; MO = 21,7 g kg<sup>-1</sup>; P<sub>Mehlich1</sub> = 0,9 mg kg<sup>-1</sup>; Al<sup>3+</sup> = 0,1 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>; Ca<sup>2+</sup>+Mg<sup>2+</sup> = 2,9 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>; K<sup>+</sup> = 0,1 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>.

O experimento foi instalado em Outubro de 2005 sob sistema de plantio direto, com o plantio do milho em Outubro e após a colheita da cultura foram semeadas as plantas de cobertura. Foi utilizado o espaçamento de 0,5 m entre as linhas de semeadura para todas as espécies, conforme recomendação de Carvalho e Amabile (2006).

Foram utilizadas as seguintes plantas de cobertura: feijão-bravo-do-ceará (*Canavalia brasiliensis* M.), guandu (*Cajanus cajan*), crotalária-juncea (*Crotalaria juncea*), milheto (*Pennisetum glaucum*), sorgo (*Sorghum bicolor*), com e sem aplicações de nitrogênio em cobertura na cultura anterior, que foi o milho. A testemunha absoluta do experimento foi o tratamento sem uso de plantas de cobertura (vegetação espontânea).

O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, em esquema de subparcelas, com três repetições. Logo após a colheita do milho, foram semeadas as plantas de cobertura e nas subparcelas foi feita a adubação nitrogenada em cobertura (com e sem N) na cultura do milho. Os fatores foram definidos pelas espécies de plantas de cobertura e pela aplicação ou não do nitrogênio em cobertura na cultura de milho. Nas parcelas em que foi feita a adubação em cobertura do milho, a dose aplicada de N foi de 120 kg ha<sup>-1</sup>, sendo 20 kg ha<sup>-1</sup> aplicados na semeadura e o restante (100 kg ha<sup>-1</sup>) durante as emissões do quarto (50 kg ha<sup>-1</sup>) e oitavo (50 kg ha<sup>-1</sup>) pares de folhas da cultura do milho. Nas parcelas sem adubação em cobertura do milho, foram aplicados 20 kg N ha<sup>-1</sup> no plantio da cultura do milho e a adubação dos outros nutrientes foi a mesma que no tratamento com N em cobertura no milho.

O experimento apresentou o mesmo desenho experimental até o ano de 2012, e na época de floração das plantas de cobertura, em junho deste ano, foram coletados raízes e solo rizosférico na profundidade de 0-20 cm com trado holandês. De cada um dos tratamentos foi retirada uma amostra composta formada por três sub-amostras de pontos aleatórios da subparcela e essas amostras compostas foram homogeneizadas.

Os esporos de FMAs foram extraídos do solo utilizando-se 50 ml de cada amostra composta, pela técnica de peneiramento úmido (Gerdemann & Nicolson, 1963), seguida por centrifugação em água e depois em solução de sacarose 50 %. Posteriormente, foram realizadas a quantificação e a separação dos esporos por características morfológicas, sob lupa binocular estereoscópica.

Para a determinação da porcentagem de colonização, as raízes foram clarificadas e coradas com 0,05% de Azul-de-Trypan em lactoglicerol (Phillips & Hayman, 1970) e a avaliação da colonização foi feita em microscópio estereoscópico, seguindo a técnica de interseção dos quadrantes (Giovannetti & Mosse, 1980).

Para a determinação da proteína reativa facilmente extraível (ou glomalina facilmente extraível) foi utilizado o método de Bradford, seguindo a metodologia de Wright e Upadhyaya (1996). Pesou-se 1 g de solo em tubos tipo falcon, com capacidade para 50 ml. Foram feitas duplicatas de cada amostra de solo. Adicionaram-se 8 ml de solução tampão de citrato de sódio 20mM, pH 7,0, em cada tubo, os quais foram autoclavados por 30 minutos a 121° C. Em seguida, os frascos foram centrifugados a 5000 rpm por 10 minutos.

Para a determinação da concentração de glomalina, pipetaram-se 50 microlitros do extrato em tubo de ensaio, adicionando-se 1 ml do reagente de Bradford aos tubos.

Após esse procedimento, os tubos foram levados para agitação em vortex, após 10 minutos foi feita a leitura de absorbância em espectrofotômetro a 595 nm.

Para a identificação das espécies de FMAs a partir das características morfológicas, esporos foram separados de acordo com seus morfotipos e montados em lâminas com polivinil-lacto-glicerol (PVLG) puro e PVLG misturados com Melzer (1:1 v/v). A identificação das espécies de fungos micorrízicos foi realizada no Laboratório de Micorrizas da EMBRAPA Agrobiologia, seguindo as descrições das culturas de referência presentes no International Culture Collection of Arbuscular and Vesicular-Arbuscular Mycorrhizal Fungi- (Invam, 2014).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Densidade de esporos de FMA em diferentes plantas de cobertura em plantio direto com e sem adição de nitrogênio

A análise de variância (Tabela 1) mostrou que não houve diferença estatística significativa para a maioria das variáveis analisadas, com exceção da densidade de esporos que apresentou diferença mínima significativa em relação às plantas de cobertura.

**Tabela 1.** Análise de variância dos teores de glomalina facilmente extraída, taxa de colonização micorrízica e número de esporos de solo.

Fonte de Variação	Teste F		
	Glomalina	Colonização	Esporos
Cobertura Vegetal (F1)	2,4862ns	1,6936ns	4,8520*
Nitrogênio (F2)	0,2522ns	0,0106ns	0,2844ns
Interação (F1xF2)	1,2453ns	1,0037ns	1,8369ns

\* - significativo ao nível de 5% de probabilidade ( $p < .05$ )

ns - não significativo ( $p \geq .05$ )

O solo sob guandu e crotalária apresentaram o maior número de esporos e estes diferiram significativamente do solo sob milheto. Nos tratamentos com feijão bravo do Ceará, sorgo e vegetação espontânea, apresentaram valores intermediários de densidade de esporos. (Tabela 2).

**Tabela 9.** Densidade de esporos (nº./50 ml) de plantas de cobertura, após a cultura do milho, com e sem adubação nitrogenada em cobertura, no milho. Dados transformados em log (x+1).

Planta de cobertura	Adubação nitrogenada		Média
	Com N	Sem N	
Crotalária	552,33	833,00	692,67a
Feijão Bravo do Ceara	560,67	465,00	512,83ab
Sorgo	411,33	680,33	545,83ab
Guandú	921,00	587,67	754,83a
Milheto	235,50	398,00	316,74b
Vegetação espontânea	495,50	443,00	468,25ab
Média	529,05A	567,83A	
CV%- plantas de cobertura = 5,43    CV%- adubação nitrogenada = 5,40			

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula nas linhas e minúscula nas colunas, não diferem entre si, pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ )

São escassos os trabalhos que avaliam a influência do efeito residual da adubação de nitrogênio em cobertura do milho sobre a população micorrízica nas plantas de cobertura. Entretanto, Benedetti et al. (2005) avaliaram a densidade de esporos em solo sob o cultivo de milho após o plantio de milheto, crotalária, guandu, mucuna, feijão de porco e vegetação espontânea (com aplicação de nitrogênio na vegetação espontânea) sem aplicação de nitrogênio nas plantas de cobertura. Os autores encontraram valores bem menores no solo sob a cultura do milho, principalmente nos tratamentos sob vegetação espontânea. A densidade de esporos na cultura do milho variou entre 39 e 50 esporos  $50 \text{ cm}^{-3}$  e não houve diferença significativa entre as plantas de cobertura. No presente trabalho, foi avaliado o número de esporos nas plantas de cobertura e estas apresentaram um número de esporos bem elevado que variou entre 316 a 692 esporos  $50 \text{ cm}^{-3}$ , indicando que a utilização de plantas de cobertura estimula a formação de esporos no solo.

No tratamento com a aplicação de nitrogênio em cobertura na cultura do milho, cultivada anteriormente às plantas de cobertura, apresentaram número médio de esporos (529,05 esporos/50g de solo) superior ao tratamento sem aplicação de nitrogênio (567,83 esporos/50g de solo).

Ahiabor *et al.* (2007) avaliando densidade de esporos sob diferentes plantas de cobertura encontraram valores de densidade de esporos em crotalária de 142 esporos/50 g de solo em região de savana, no norte de Ghana e estes foram inferiores aos obtidos no presente trabalho.

Ao avaliar a densidade de esporos em soja e milho sucedidos de milheto, crotalária e ervas espontâneas, Angelini *et al.* (2012), obtiveram que a densidade de esporos foi superior em milho quando sucedido das plantas de cobertura citadas, com densidade de esporos de 608, 414 e 306, respectivamente, quando comparado à soja sucedida das mesmas plantas de cobertura, com densidade de esporos de 239, 287 e 259, respectivamente.

### **Colonização micorrízica em diferentes plantas de cobertura em plantio direto com e sem adição de nitrogênio**

De acordo com a Tabela 3, não houve diferença significativa entre as plantas de cobertura e a aplicação ou não de N em cobertura na cultura do milho, antes do plantio das plantas de cobertura na colonização micorrízica e esta variou entre 63,07 e 78,97%. nas diferentes espécies.

**Tabela 3.** Colonização micorrízica (%) de plantas de cobertura, após a cultura do milho, com e sem adubação nitrogenada em cobertura, no milho.

Planta de cobertura	Adubação nitrogenada		Média
	Com N	Sem N	
Crotalária	75,55	77,69	76,62
Feijão Bravo do Ceara	63,62	62,51	63,07
Sorgo	74,62	83,33	78,97
Guandú	75,55	73,62	74,59
Milheto	71,74	81,67	76,70
Vegetação espontânea	68,48	71,30	69,89
Média	71,60	75,02	
CV%- plantas de cobertura = 14,71    CV%- adubação nitrogenada = 13,99			

Pedro *et al.* (2012) avaliaram a influência de coberturas vegetais guandu, *Crotalária juncea*, milheto, guandu+milheto, *Crotalária juncea*+milheto e vegetação espontânea sob aplicação de quatro doses de nitrogênio, zero, 30, 60 e 90 kg ha<sup>-1</sup>, sob a taxa de colonização micorrízica e também não encontraram diferenças estatísticas entre os tratamentos e a colonização micorrízica esteve entre 58 e 63% nas diferentes plantas de cobertura.

Apesar da taxa de colonização micorrízica ser semelhante entre as plantas de cobertura, em trabalho como o de Angelini *et al.* (2012), as plantas de cobertura tem alterado a colonização micorrízica na cultura em subsequencia. Os autores verificaram que a taxa de colonização micorrízica em soja e milho sucedidos de milheto, crotalária e ervas espontâneas apresentou densidade de esporos superior em milho quando sucedido das plantas das cobertura citadas, 98,7%, 95,5% e 94,5%, respectivamente, quando comparado à soja sucedido das mesmas plantas de cobertura, com 91,5%, 94,5% e 80,7% respectivamente.

Cordeiro et al. (2007), encontraram densidade de esporos e colonização micorrízica em sorgo, estatisticamente inferiores às encontradas em área de vegetação espontânea, em área de cerrado, entretanto, áreas com gramíneas como sorgo e milho, apresentaram valores superiores de colonização e densidade de esporos quando comparados a áreas com cultivo de leguminosas como crotalária, soja e feijão de porco.

#### **Glomalina facilmente extraível em plantio direto com e sem adição de nitrogênio**

A glomalina facilmente extraível não apresentou diferença significativa entre as espécies de plantas de cobertura e a aplicação de nitrogênio em cobertura do milho, plantado anteriormente (Tabela 4).

**Tabela 4.** Glomalina facilmente extraível ( $\text{mg kg solo}^{-1}$ ) de plantas de cobertura, após a cultura do milho, com e sem adubação nitrogenada em cobertura, no milho.

Planta de cobertura	Adubação nitrogenada		Média
	Com N	Sem N	
Crotalária	1,96	1,42	1,69
Feijão Bravo do Ceara	1,76	1,77	1,74
Sorgo	1,71	2,23	1,99
Guandú	1,71	2,03	1,87
Milheto	1,48	1,56	1,51
Vegetação espontânea	1,57	1,57	1,57
Média	1,70	1,76	
CV%- plantas de cobertura = 16,12		CV%- adubação nitrogenada = 22,08	

Por outro lado, Silva et al. (2013) avaliaram glomalina facilmente extraível em solo sob *Crotalária juncea*, feijão de porco, guandu, mucuna preta e sorgo em sucessão a culturas em sistemas agroflorestais no Cerrado, e verificaram que os maiores teores da glomalina foram observados nos tratamentos com mucuna e crotalária em sucessão a milho e feijão. Menores teores foram verificados em parcelas de milho em sucessão à crotalária e feijão em sucessão a feijão de porco e guandu.

Os teores de glomalina no solo são alterados pela cobertura vegetal e manejo do solo (Borie et al., 2006; Roldán et al. 2007; Rillig & Steinberg, 2002), pois as plantas disponibilizam mais fotossintatos aos FMA, favorecendo a produção de glomalina por estes microrganismos (Treseder & Turner, 2007). Além disso, os teores de carbono do solo que favorecem a formação e manutenção de agregados no solo (Winck et al., 2014).

Em solos sob sistemas nativos e áreas sob culturas é possível encontrar correlações positivas entre as frações de glomalina e o teor de carbono orgânico (Franzluebbers *et al.*, 2000; Bird *et al.*, 2002; Nichols & Wright, 2006).

Diversos estudos têm também relatado que a produção de glomalina pode ser influenciada pelo sistema de uso do solo, sendo menor em solos agrícolas do que em solos nativos ou não cultivados (Rillig *et al.*, 2003).

O revolvimento do solo destrói as hifas fungicas e deste modo, influencia negativamente na produção de glomalina pelos FMA. Valores de estabilidade de agregados e glomalina em áreas mesmo após 3 anos de plantio direto, foram substancialmente menores quando comparados com valores observados em áreas de pasto inalteradas por 15 anos (Wright & Upadhyaya, 1999).

### Frequência de espécies de FMA em diferentes plantas de cobertura em plantio direto com e sem adição de nitrogênio

As espécies dos gêneros *Acaulospora*, *Archeospora*, *Glomus*, *Gigaspora* e *Scutellospora* foram identificados na rizosfera de crotalária, feijão bravo do ceará, sorgo, guandu, milho e vegetação espontânea, com e sem aplicação de nitrogênio (Tabela 5).

**Tabela 5.** Espécies de fungos micorrízicos arbusculares encontrados em rizosfera de crotalaria (C), feijão bravo do Ceará (FBC), sorgo (S), guandu (G), milho (M) e vegetação espontânea (VE) com e sem adição de nitrogênio em plantio direto no cerrado.

Espécie	C	FBC	S	G	M	VE	C	FBC	S	G	M	VE
	Com N						Sem N					
<i>A. foveata</i>	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-
<i>A. scrobiculata</i>	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+
<i>A. tuberculata</i>	-	-	+	+	+	-	+	-	+	+	-	-
<i>Ar. leptoticha</i>	+	-	+	-	+	+	-	+	-	+	+	+
<i>G. claviforme</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-
<i>G. tortuosum</i>	+	+	+	-	+	-	-	+	+	-	-	+
<i>G. microaggregatum</i>	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-
<i>G. macrocarpum</i>	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Gigaspora sp</i>	-	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	-
<i>S. gregária</i>	-	+	-	+	-	+	+	-	-	+	-	+
<i>S. pérsica</i>	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	-	-
<i>S. pellucida</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Total de espécies	6	7	7	7	8	7	6	8	6	8	6	6

A=Acaulospora; Ar= Archaeospora; G= Glomus; S= Scutellospora.

A única espécie que ocorreu associada a todas as plantas de cobertura, com e sem aplicação de nitrogênio na cultura anterior, foi a *S. pellucida*.

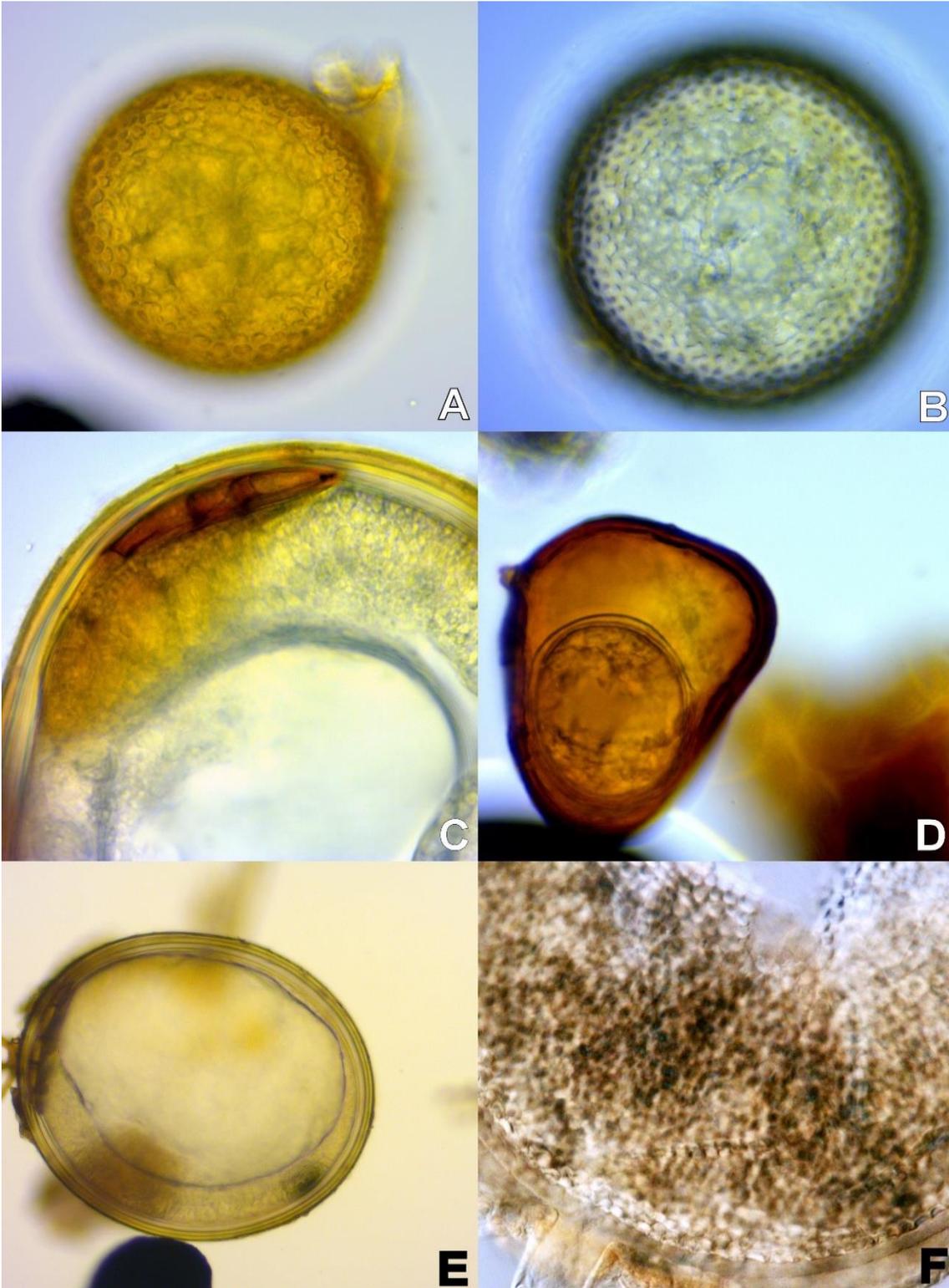
As espécies *A. foveata* e *G. claviformis* não foram encontradas na rizosfera de nem uma das plantas de cobertura em solos com adição de N, talvez porque sejam espécies mais adaptadas a solos mais pobres em N, ao contrário da espécie *G. microaggregatum* que não aparece na rizosfera de nenhuma planta em solos com adição de N.

As espécies *Ar. leptoticha* (Figura 1F) e *S. persica* (Figura 2F) somente foram identificadas em rizosfera de crotalaria sob aplicação de nitrogênio, ao passo que *A. tuberculata*, *S. gregaria* (Figura 2E) e *Gigaspora* sp (Figura 2D) foram encontradas somente sob crotalaria sem aplicação de nitrogênio. As espécies *A. scrobiculata* (Figura 1B), *G. macrocarpum* (Figura 2C) e *S. pellucida* (Figura 2G) foram identificados em rizosfera de crotalaria com e sem aplicação de nitrogênio.

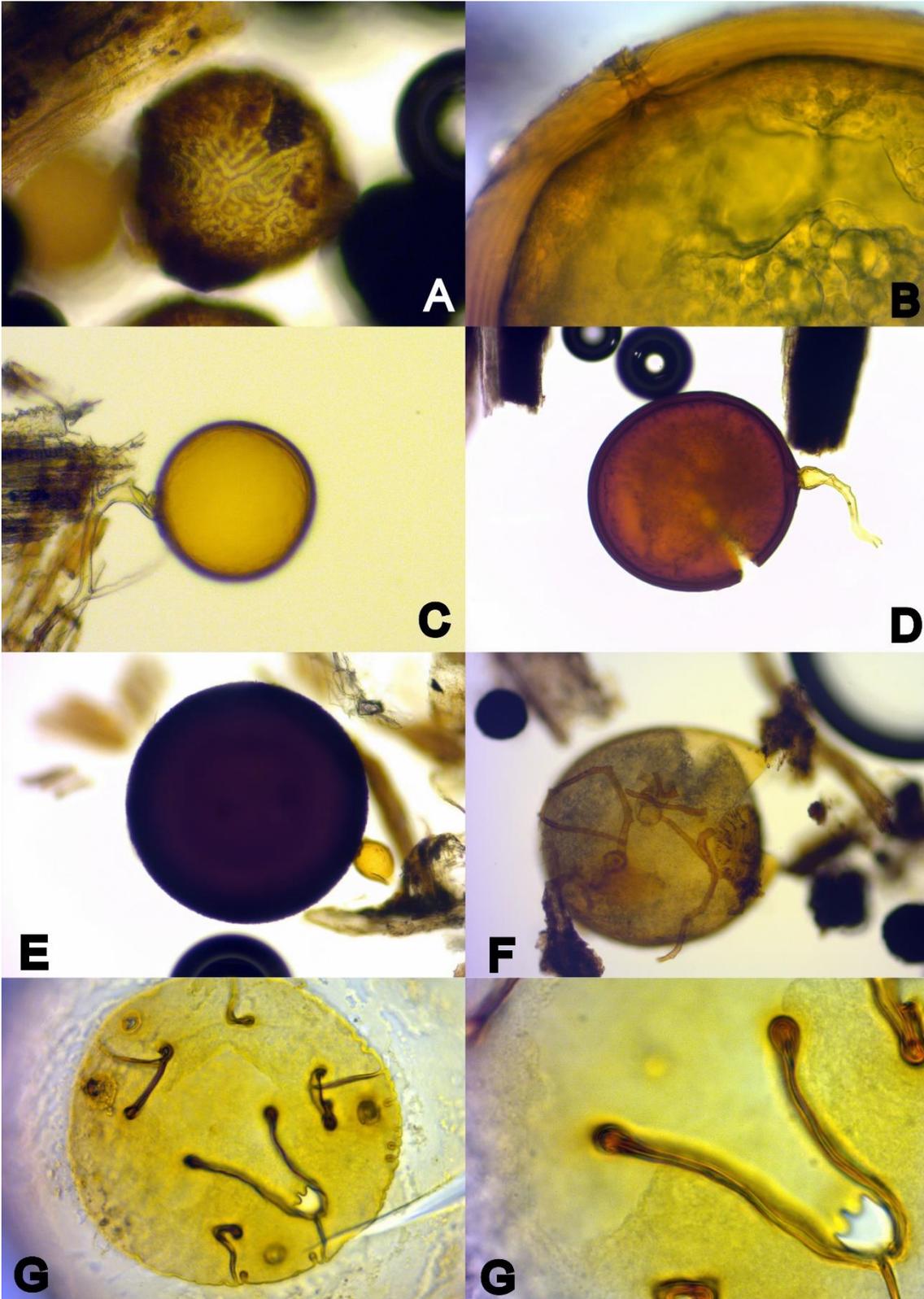
A espécie *S. gregaria* ocorreu<sup>78</sup> somente na rizosfera de feijão bravo do ceará com a aplicação de nitrogênio em cobertura no milho e nos sem aplicação de nitrogênio foram identificadas *A. foveata* e *Ar. leptoticha*. As espécies *A. scrobiculata*, *G. tortuosum*, *G. macrocarpum*, *Gigaspora* sp., *S. persica* e *S. pellucida* foram identificadas em rizosfera de plantas de feijão bravo do ceará com e sem aplicação de nitrogênio.

A espécie *G. macrocarpum* ocorreu somente na rizosfera de sorgo sem aplicação de nitrogênio em cobertura no milho e em sorgo somente sob aplicação de nitrogênio foram identificadas as espécies *Ar. leptoticha* e *Gigaspora* sp. As espécies *A. scrobiculata*, *A. tuberculata*, *G. tortuosum*, *S. persica* e *S. pellucida* foram identificadas em rizosfera de sorgo com e sem aplicação e nitrogênio em cobertura no milho.

Dentre as espécies identificadas na rizosfera de guandu *A. scrobiculata*, *A. tuberculata*, *G. macrocarpum*, *Gigaspora* sp., *S. gregaria*, *S. persica* e *S. pellucida* ocorreram tanto nas parcelas com adição de nitrogênio, quanto nas que não foi aplicado N em cobertura no milho. A espécie *Ar. leptoticha* foi encontrado somente em áreas sem aplicação de nitrogênio.



**Figura 1.** *Acaulospora denticulata* (A), *Acaulospora scrobiculata* (B), *Acaulospora laevis* (C), *Glomus claviforme* (D), *Glomus lamellosum* (E) e *Achaeospora leptoticha* (F).



**Figura 2.** *Glomus tortuosum* (A), *Glomus microaggregatum* (B), *Glomus macrocarpum* (C), *Gigaspora* sp (D), *Scutellospora gregaria* (E), *Scutellospora persica* (F) e *Scutellospora pellucida* (G).

Em solo rizosferico de milho, com e sem aplicação de nitrogênio em cobertura na cultura anterior, foram identificadas as espécies *A. scrobiculata*, *Ar. leptoticha*, *G. macrocarpum*, *Gigaspora sp* e *S.pellucida*. Nos tratamentos sem aplicação de nitrogênio de N em cobertura no milho, foi identificada ainda a espécie *G. clavisporum* ao passo que em áreas com aplicação de nitrogênio houve ainda a presença das espécies *A. tuberculata*, *G. tortuosum* e *S. persica*.

Na rizosfera das plantas que surgiram espontaneamente (vegetação espontânea) com aplicação de nitrogênio em cobertura na cultura anterior as espécies *G. microaggregatum*, *Gigaspora sp.* e *S. pérsica* ocorreram somente neste tratamento, por outro lado, nos tratamentos sem a aplicação de nitrogênio em cobertura na cultura anterior, as espécies identificadas que ocorreram somente neste tratamento foram *A. scrobiculata* e *G. tortuosum*. Já as espécies *Ar. leptoticha*, *G. macrocarpum*, *S. gregaria* e *S. pellucida* foram identificadas em ambos tratamentos, com e sem aplicação de nitrogênio.

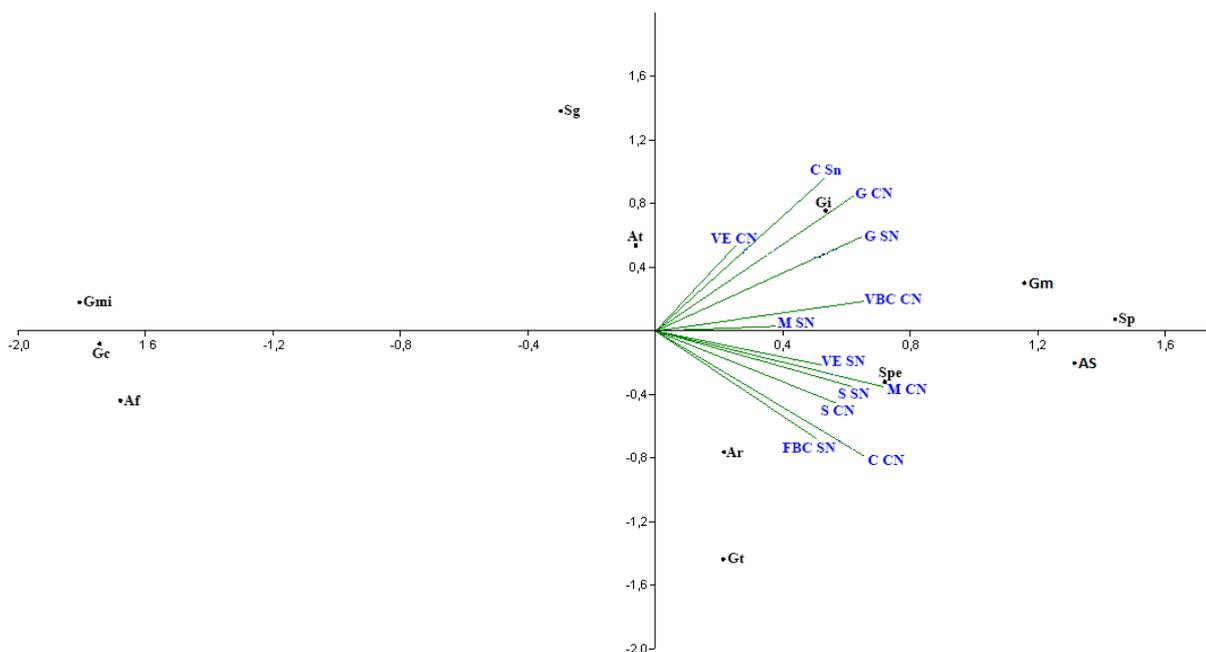
Benedetti *et al.* (2005) investigando a diversidade de fungos micorrízicos arbusculares na rizosfera de diferentes plantas de cobertura, encontram *A. delicata*, *A. spinosa*, *G. caledonium*, *G. etunicatum*, *G. tortuosum* e *S. persica* associadas à milho. *A. laevis*, *G. microaggregatum* e *G. etunicatum* associadas em rizosfera de guandu, *A. spinosa*, *A. scrobiculata*, *G. etunicatum*, *G. geosporum* e *Glosmus sp* em rizosfera de crotalária. Associadas a plantas espontâneas sem aplicação de nitrogênio foram encontrados as espécies *A. spinosa*, *G. microaggregatum*, *G. claroideum*, *G. etunicatum*, *G. geosporum* e *Scutellospora sp*; já na rizosfera das plantas espontâneas com aplicação de nitrogênio foram encontrados *A. spinosa*, *A. scrobiculata*, *G. microaggregatum*, *G. etunicatum*, *G. geosporum*, *S. gregaria* e *S. persica*.

Neste trabalho, observou-se resultado semelhante ao encontrado por Benedetti *et al.* (2005), para a espécie *G. microaggregatum* que não ocorre na rizosfera de nenhuma outra espécie de planta de cobertura com ou sem adição de N, apenas na rizosfera de vegetação espontânea com a adição de N, podendo-se inferir que, mesmo sendo indicada a casualidade no aparecimento, que seja uma espécie adaptada a solos sem alterações pelo plantio de outras espécies de plantas de coberturas, carecendo, no entanto, de mais estudos sobre a dinâmica da diversidade desta e de outras espécies de fungos micorrízicos que ocorrem na rizosfera das plantas.

A análise de componentes principais aponta a correlação das espécies de plantas de cobertura analisadas com a presença e frequência das espécies de fungos micorrízicos arbusculares encontradas associadas na rizosfera. Todas as espécies de plantas de cobertura

estudas apresentam comportamento semelhante em relação à frequência de espécies de fungos micorrízicos arbusculares que colonizam a rizosfera (Figura3).

O tratamento com crotalária e aplicação de nitrogênio em cobertura na cultura anterior se distancia do tratamento crotalária sem aplicação de nitrogênio em relação às espécies de fungos micorrízicos arbusculares mais frequentes em solo rizosférico (Figura 3). As espécies *A. tuberculata*, *G. macrocarpum* e *Gigaspora* sp são mais comumente presentes em rizosfera de crotalária com aplicação de nitrogênio e *Ar. leptoticha* *G. tortuosum* e *S. persica* estão mais próximas do tratamento sem aplicação de N em cobertura no milho.



**Figura 4.** Análise de componentes principais da frequência de espécies de fungos micorrízicos arbusculares encontrados em rizosfera de crotalária (C), feijão bravo do Ceara (FBC), sorgo (S), guandu (G), milho (M) e vegetação espontânea (VE) com e sem adição de nitrogênio. (Af: *A. foveata*, At: *A. tuberculata*, Ar: *Ar. leptoticha*, Gc: *G. clarum*, Gmi: *G. microaggregatum*, Gt: *G. tortuosum*, Gi: *Gigaspora* sp, Sg: *S. gregaria*, Sp: *S. pellucida* Spe: *S. persica*, Gm: *G. macrocarpum*, As: *A. scrobiculata*)

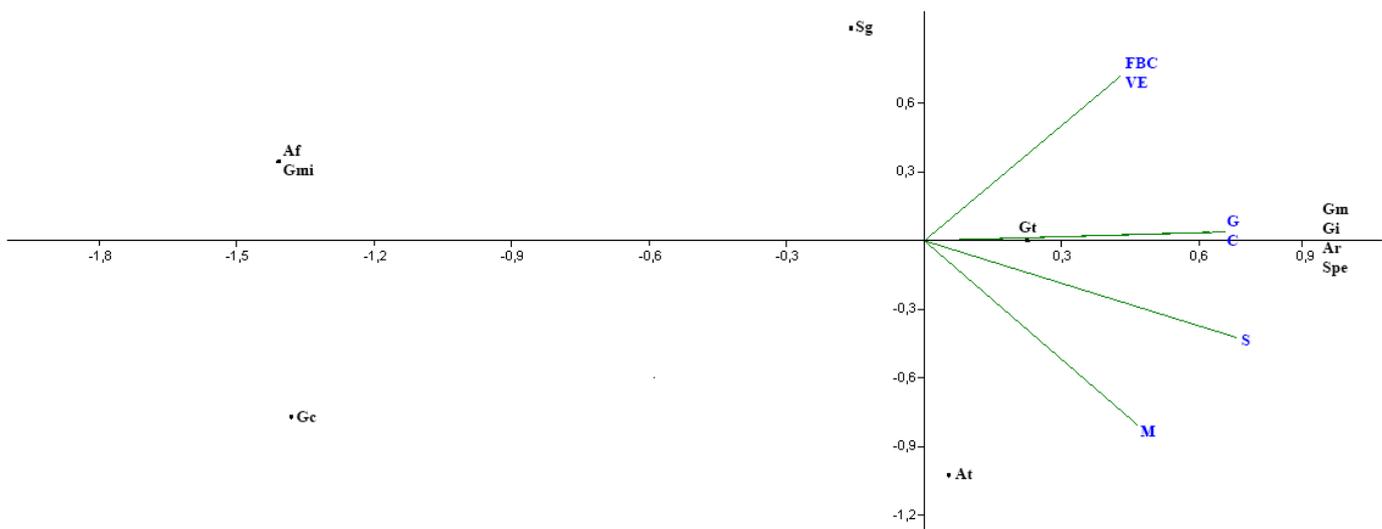
O solo sob as plantas de cobertura guandu e feijão bravo do Ceará, além da vegetação espontânea com aplicação de nitrogênio e o tratamento sem aplicação apresentaram comportamento semelhante em relação à presença de espécies FMA. As espécies *G. macrocarpum*, *Gigaspora* sp, *S. pellucida* e *A. tuberculata* são mais frequentes na rizosfera de plantas sob aplicação de nitrogênio, e *A. scrobiculata*, *S. persica*, *Ar. leptoticha* e *G. tortuosum* estão mais próximas das espécies sem aplicação de nitrogênio.

O solo sob milho, independente da aplicação de nitrogênio, apresentou aproximação das espécies *S. persica*, *Ar. leptoticha* e *G. tortuosum*.

As espécies *G. microaggregatum*, *S. gregaria*, *G. clavisporum* e *A. foveata*, de acordo com a análise de componentes principais (Figura 3), não são frequentemente encontradas em rizosfera das plantas de cobertura analisadas, indicando casualidade no aparecimento das demais espécies presentes em solo rizosférico dos tratamentos (Tabela 5).

Ao analisar a comunidade de fungos micorrízicos arbusculares de plantas de cobertura no cerrado, Angelini *et al.* (2012), observaram aproximação das espécies frequentes em crotalária, milho e ervas espontâneas, assim como nos dados mostrados na Figura 3.

Ao se considerar somente as plantas de cobertura (Figura 4), as espécies *G. microaggregatum*, *S. gregaria*, *G. clavisporum* e *A. foveata* se distanciam de todas as plantas de cobertura analisadas, o que indica casualidade no aparecimento destas espécies em rizosfera das plantas estudadas. O solo rizosférico sob crotalaria, guandu, e feijão bravo do Ceará tiveram comportamento semelhante quanto à proximidade das espécies *G. macrocarpum*, *Gigaspora*, *Ar. leptoticha*, *G. tortuosum* e *S. persica*.



**Figura 4.** Análise de componentes principais da frequência de espécies de fungos micorrízicos arbusculares encontrados em rizosfera de crotalaria (C), feijão bravo do Ceara (FBC), sorgo (S), guandu (G), milho (M) e vegetação espontânea (VE). (Af: *A. foveata*, At: *A. tuberculata*, Ar: *Ar. leptoticha*, Ge: *G. etunicatum*, Gm: *G. macrocarpum*, Gmi: *G. microaggregatum*, Gt: *G. tortuosum*, Gi: *Gigaspora* sp, Sg: *S. gregaria*, Spe: *S. persica*)

Li *et al.* (2007) analisaram a população de fungos micorrízicos arbusculares em vegetação espontânea de áreas não cultivadas e encontraram um total de 47 espécies de FMAs, em que 31 espécies pertenciam ao gênero *Glomus*, 8 de *Acaulospora*, 6 de *Scutellospora* e 1 de *Entrophospora* e 1 de *Gigaspora*.

A análise de correspondência canônica mostrou a correlação da ocorrência das espécies de fungos micorrízicos arbusculares identificados com as plantas de cobertura e os tratamentos investigados (Figuras 5 A a F).

Na rizosfera de crotalária, a frequência das espécies de FMA não se diferenciou nos tratamentos com aplicação e sem aplicação de nitrogênio (Figura 5A).

Não houve diferenciação de grupos de organismos identificados, portanto, as espécies presentes nos tratamentos com nitrogênio são as mesmas que ocorrem em áreas sem aplicação de nitrogênio. Este comportamento também é observado na análise de componentes principais (Figura 3). *S. pellucida* e *S. persica* não são comumente encontradas em rizosfera dessa espécie de planta de cobertura, indicando casualidade no aparecimento.

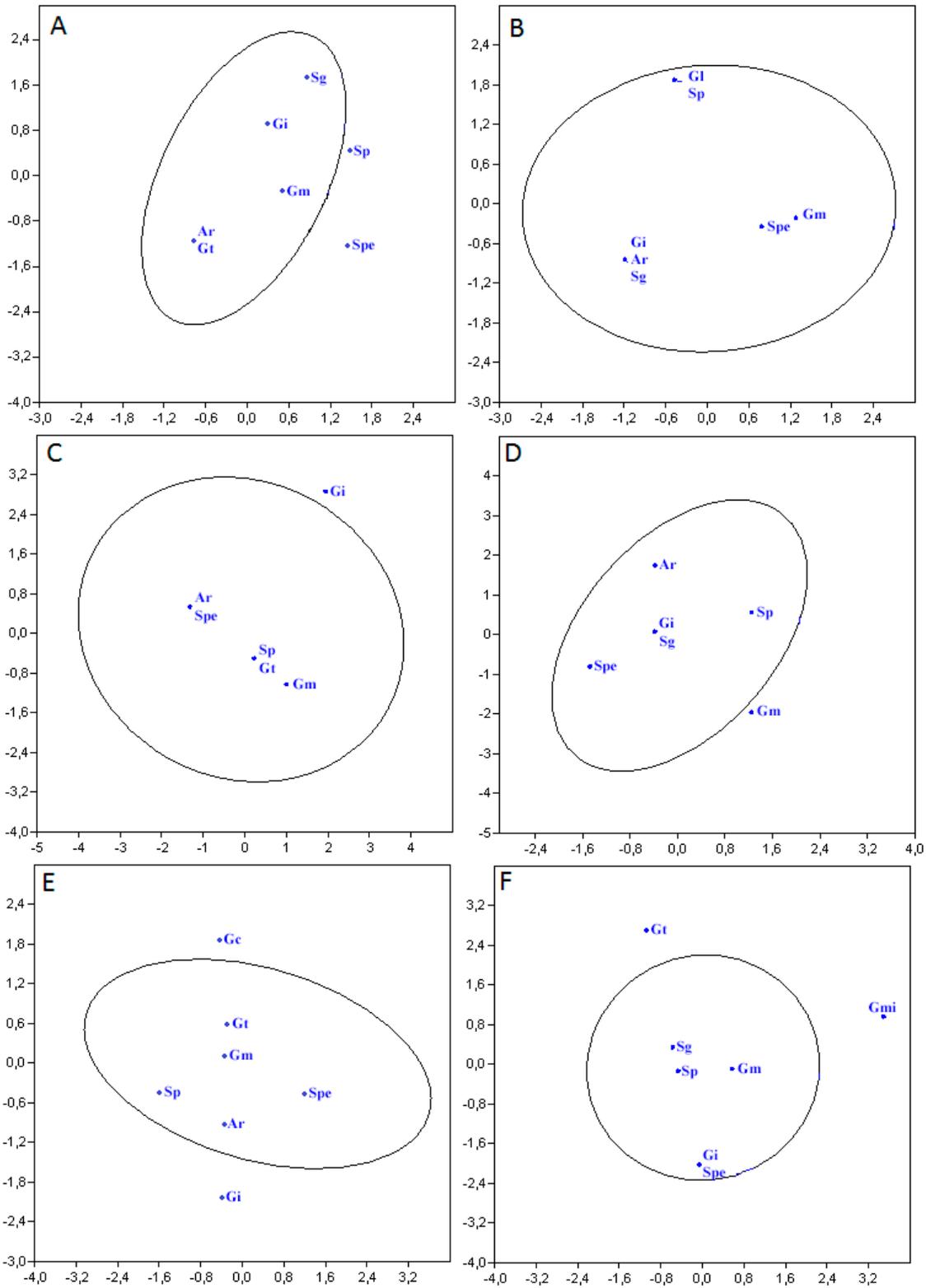
Em rizosfera de soja e milho cultivadas em sucessão a crotalaria, Angelini *et al.* (2012) verificaram as espécies *A. scrobiculata*, *A. mellea*, *Acaulospora sp.*, *Gigaspora sp.*, *G. tortuosum*, *S. scutata* e *S. gregaria*.

Em rizosfera de feijão bravo do Ceará, a frequência das espécies de FMA não se diferencia nos tratamentos com aplicação e sem aplicação de nitrogênio (Figura 5B).

Não houve diferenciação de grupos de fungos micorrízicos arbusculares identificados, portanto, as espécies presentes nos tratamentos com nitrogênio são as mesmas que ocorrem em áreas sem aplicação de nitrogênio. Este comportamento também é observado na análise de componentes principais (Figura 3). Todas as espécies de fungos micorrízicos arbusculares identificadas são comumente encontradas em rizosfera de feijão bravo do ceara.

A frequência de fungos micorrízicos arbusculares encontrados em rizosfera de sorgo não se diferencia entre os tratamentos com aplicação de nitrogênio e os tratamentos sem aplicação (Figura 5C).

Não houve diferenciação de grupos de fungos micorrízicos arbusculares identificados, portanto, as espécies presentes nos tratamentos com nitrogênio são as mesmas que ocorrem em áreas sem aplicação de nitrogênio. Este comportamento também é observado na análise de componentes principais (Figura 3). *Gigaspora sp.* não foi encontrada em rizosfera de sorgo, indicando casualidade em seu aparecimento. Todas as demais espécies de fungos micorrízicos arbusculares identificadas na rizosfera de feijão bravo do ceara foram comumente encontradas associadas a esta espécie de planta de cobertura.



**Figura 5.** Análise de correspondência canônica da frequência de espécies de fungos micorrízicos arbusculares em crotalária (A), feijão Bravo do Ceara (B), sorgo (C), guandu (D), milheto (E) e vegetação espontânea (F), com e sem aplicação de nitrogênio. (Ar: *Ar. leptoticha*, Gc: *G. clarum*, Gm: *G. macrocarpum*, Gmi: *G. microaggregatum*, Gt: *G. tortuosum*, Gi: *Gigaspora sp.*, Gl: *Glomus sp.*, Sg: *S. gregaria*, Sp: *S. pellucida*, Spe: *S. persica*.)

A frequência de fungos micorrízicos arbusculares encontrados em rizosfera de guandu não se diferencia entre os tratamentos com aplicação de nitrogênio e os tratamentos sem aplicação (Figura 5D).

Não houve diferenciação de grupos de fungos micorrízicos arbusculares identificados, portanto, as espécies presentes nos tratamentos com nitrogênio são as mesmas que ocorrem em áreas sem aplicação de nitrogênio. Este comportamento também é observado na análise de componentes principais (Figura 3). *G. macrocarpum*. não é comumente encontrado em rizosfera de Guandu, indicando casualidade no aparecimento. Todas as demais espécies de fungos micorrízicos arbusculares encontradas na rizosfera de guandu são comumente encontradas associadas a esta espécie de planta de cobertura.

A frequência de fungos micorrízicos arbusculares encontrados em rizosfera de milho não se diferencia entre os tratamentos com aplicação de nitrogênio e os tratamentos sem aplicação (Figura 5E).

Não houve diferenciação de grupos de fungos micorrízicos arbusculares identificados, portanto, as espécies presentes nos tratamentos com nitrogênio aplicado na cultura anterior são as mesmas que ocorrem em áreas sem aplicação de nitrogênio. Este comportamento também é observado na análise de componentes principais (Figura 3). *G. macrocarpum* e *G. clavisporum* não são comumente encontradas em rizosfera de milho, indicando casualidade em seu aparecimento. Todas as demais espécies de fungos micorrízicos arbusculares encontradas na rizosfera de milho são comumente encontradas associadas a esta espécie de planta de cobertura.

Angelini et al. (2012) encontraram associadas a milho no cerrado as espécies *A. scrobiculata*, *A. scavata*, *A. mellea*, *Ar. leptoticha*, *Gigaspora* sp. *G. macrocarpum*, *G. tortuosum*, *S. scutata* e *S. gregaria*.

A frequência de fungos micorrízicos arbusculares encontrados em rizosfera de vegetação espontânea não se diferencia entre os tratamentos com aplicação de nitrogênio e os tratamentos sem aplicação (Figura 5F).

Não houve diferenciação de grupos de fungos micorrízicos arbusculares identificados, portanto, as espécies presentes nos tratamentos com nitrogênio em cobertura no milho são as mesmas que ocorrem em áreas sem aplicação de nitrogênio. Este comportamento também é observado na análise de componentes principais (Figura 3). *G. microaggregatum* e *G.*

*tortuosum* não são comumente encontradas em rizosfera do solo sob vegetação espontânea, indicando casualidade em seu aparecimento. Todas as demais espécies de fungos micorrízicos arbusculares encontradas na rizosfera das plantas espontâneas são comumente encontradas associadas a estas espécies de plantas de cobertura.

Massenssini *et al.* (2014) analisaram a correlação de 19 espécies de fungos micorrízicos com vegetação espontânea em solos de Minas Gerais e não verificaram nenhuma diferença significativa na colonização radicular entre as áreas estudadas. Já Angelini *et al.* (2012), em áreas de vegetação espontânea no cerrado, verificaram a presença de *A. scrobiculata*, *A. scavata*, *A. mellea*, *Gigaspora sp*, *G. microaggregatum*, *G. tortuosum*, *S. scutata* e *S. gregaria*.

## CONCLUSÕES

1. Não houve diferença significativa ou efeito dos tratamentos de cobertura vegetal, de adição de nitrogênio em cobertura no milho, nem da interação de ambos na colonização micorrízica e glomalina. Para o número de esporos na rizosfera observou-se efeito apenas da cobertura vegetal, com ou sem adição de N, sendo encontrada maior esporulação na rizosfera de guandu e crotalária e menor esporulação em milheto.
2. Todas as espécies de plantas de cobertura estudadas apresentam comportamento semelhante em relação à frequência de espécies de fungos micorrízicos arbusculares que colonizam a rizosfera e não houve diferenciação de grupos de fungos micorrízicos com a adição ou não de N.
3. As espécies *G. microaggregatum*, *S. gregaria*, *G. clavisporum* e *A. foveata* se distanciam de todas as plantas de cobertura analisadas, o que indica casualidade no aparecimento destas espécies em rizosfera das plantas estudadas;
4. Com exceção do feijão bravo do Ceará, em cuja rizosfera todas as espécies identificadas são comumente encontradas, todas as demais plantas de cobertura apresentam micorrizas com aparecimentos esporádicos. E, por não serem comumente encontradas nas rizosferas das respectivas plantas, são indicado como casual o aparecimento das seguintes micorrizas nas seguintes plantas: *S. Pellucida* e *S. pérsica* à crotalária; *Gigaspora sp* ao sorgo; *G. macrocarpum* ao guandu; *G. macrocarpum* e *G. clavisporum* ao milheto; e *G. microaggregatum* e *G. tortuosum* à vegetação espontânea.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AHIABOR, B.; FOSU, M.; TIBO, I.; SUMAILA, I. **Comparative Nitrogen fixation, native arbuscular mycorrhiza formation and biomass production potentials of some grain legume species grown in the field in the Guinea Savanna Zone of Ghana.** West African Journal of Applied Ecology, v. 11, n. 1, 2007.

ALGUACIL, M.; LUMINI, E.; ROLDAN, A.; SALINAS-GARCIA, J.; BONFANTE, P.; BIANCIOTTO, V. **The impact of tillage practices on arbuscular mycorrhizal fungal diversity in subtropical crops.** Ecological Applications, v. 18, n. 2, p. 527-536, 2008.

ANGELINI, G. A. R.; LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; TORRES, J. L. R.; JÚNIOR, O. J. S. **Colonização micorrízica, densidade de esporos e diversidade de fungos micorrízicos arbusculares em solo de Cerrado sob plantio direto e convencional.** Semina: Ciências Agrárias, v. 33, n. 1, p. 115-130, 2012.

BENEDETTI, T.; ANTONIOLLI, Z. I.; GIRACCA, E. M. N.; STEFFEN, R. B. **Diversidade de fungos micorrízicos arbusculares na cultura do milho após uso de espécies de plantas de cobertura de solo.** Revista de Ciências Agroveterinárias, v. 4, n. 1, p. 44-51, 2005.

BIRD, S. B.; HERRICK, J. E.; WANDER, M.; WRIGHT, S. **Spatial heterogeneity of aggregate stability and soil carbon in semi-arid rangeland.** Environmental Pollution, v. 116, n. 3, p. 445-455, 2002.

BORIE, F.; RUBIO, R.; ROUANET, J.; MORALES, A.; BORIE, G.; ROJAS, C. **Effects of tillage systems on soil characteristics, glomalin and mycorrhizal propagules in a Chilean Ultisol.** Soil and Tillage Research, v. 88, n. 1, p. 253-261, 2006.

CARVALHO, A. D.; AMABILE, R. F. **Cerrado: adubação verde.** Planaltina: Embrapa Cerrados, 2006.

CORDEIRO, M. A. S.; CARNEIRO, M. A. C.; PAULINO, H. B.; JUNIOR, O. J. S. **Colonização e densidade de esporos de fungos micorrízicos em dois solos do cerrado sob diferentes sistemas de manejo.** Pesquisa Agropecuária Tropical (Agricultural Research in the Tropics), v. 35, n. 3, p. 147-153, 2007.

DA SILVA, J.; LEMAINSKI, J.; RESCK, D. **Perdas de matéria orgânica e suas relações com a capacidade de troca catiônica em solos da região de cerrados do oeste baiano.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 18, n. 3, p. 541-547, 1994.

DE SOUZA, R. F.; MADEIRA, N. R.; DE FIGUEIREDO, C. C. **Perdas de solo, água e nutrientes em área cultivada com hortaliças sob sistema de plantio direto.** Científic@, v. 1, n. 1, p. 37 a 50, 2014.

FRANZLUEBBERS, A.; WRIGHT, S.; STUEDEMANN, J. **Soil aggregation and glomalin under pastures in the Southern Piedmont USA.** Soil Science Society of America Journal, v. 64, n. 3, p. 1018-1026, 2000.

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

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

INVAM. **International Culture Collection of Arbuscular Mycorrhizal Fungi.** 2014. Disponível em: < <http://invam.caf.wvu.edu/fungi/taxonomy/classification.htm> >.

KÖPPEN, W. P. **Grundriss der klimakunde.** 1931.

LI, L.-F.; LI, T.; ZHAO, Z.-W. **Differences of arbuscular mycorrhizal fungal diversity and community between a cultivated land, an old field, and a never-cultivated field in a hot and arid ecosystem of southwest China.** Mycorrhiza, v. 17, n. 8, p. 655-665, 2007/11/01 2007. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1007/s00572-007-0143-4> >.

MASSENSINI, A.; BONDUKI, V.; TÓTOLA, M.; FERREIRA, F.; COSTA, M. **Arbuscular mycorrhizal associations and occurrence of dark septate endophytes in the roots of Brazilian weed plants.** Mycorrhiza, v. 24, n. 2, p. 153-159, 2014/02/01 2014. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1007/s00572-013-0519-6> >.

MELERO, M. M.; DE CASTILHO GITTI, D.; ARF, O.; RODRIGUES, R. A. F. **Coberturas vegetais e doses de nitrogênio em trigo sob sistema plantio direto.** Pesquisa Agropecuária Tropical (Agricultural Research in the Tropics), v. 43, n. 4, p. DOI: 10.1590/S1983-40632013000400001, 2013.

MOREIRA, F. M. D. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e Bioquímica do Solo.** Editora UFLA, 2006.

NICHOLS, K.; WRIGHT, S. **Carbon and nitrogen in operationally defined soil organic matter pools.** Biology and fertility of soils, v. 43, n. 2, p. 215-220, 2006.

PEDRO, G.; SANTOS, A.; CORSINI, D.; ARF, O.; CASSIOLATO, A. **Coberturas vegetais e doses de nitrogênio sobre a micorrização de feijoeiro em sistema de plantio direto.** CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UNESP, 2012.

PHILLIPS, J.; HAYMAN, D. **Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection.** Transactions of the British Mycological society, v. 55, n. 1, p. 158-IN18, 1970.

RILLIG, M. C.; MAESTRE, F. T.; LAMIT, L. J. **Microsite differences in fungal hyphal length, glomalin, and soil aggregate stability in semiarid Mediterranean steppes.** Soil biology and biochemistry, v. 35, n. 9, p. 1257-1260, 2003.

RILLIG, M. C.; STEINBERG, P. D. **Glomalin production by an arbuscular mycorrhizal fungus: a mechanism of habitat modification?** Soil biology and biochemistry, v. 34, n. 9, p. 1371-1374, 2002.

ROLDÁN, A.; SALINAS-GARCÍA, J. R.; ALGUACIL, M. M.; CARAVACA, F. **Soil sustainability indicators following conservation tillage practices under subtropical maize**

**and bean crops.** Soil and Tillage Research, v. 93, n. 2, p. 273-282, 4// 2007. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167198706001188> >.

SANTOS JUNIOR, J.; FRANZ, C. **Manejo e conservação do solo e da água em sistema de plantio direto no Cerrado.** Embrapa Cerrados. Documentos, 2009.

SILVA, F. B.; PEREIRA, C. D.; BEAL, J.; FARIA, E. A. J.; MACHADO, C. T. T. **13518-Glomalina facilmente extraível nas faixas de diferentes espécies cultivadas em sucessão em um sistema agroflorestal no Cerrado.** Cadernos de Agroecologia, v. 8, n. 2, 2013.

SOUZA, J. L.; GUIMARÃES, G. P.; FAVARATO, L. F. **Adubação verde associada a compostos orgânicos com distintos níveis de N, sobre o desenvolvimento de hortaliças e os atributos do solo.** Horticultura Brasileira, v. 33, n. 01, 2015.

TRESEDER, K. K.; TURNER, K. M. **Glomalin in ecosystems.** Soil Science Society of America Journal, v. 71, n. 4, p. 1257-1266, 2007.

WINCK, B. R.; VEZZANI, F. M.; DIECKOW, J.; FAVARETTO, N.; MOLIN, R. **Carbono e nitrogênio nas frações granulométricas da matéria orgânica do solo, em sistemas de culturas sob plantio direto.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 38, n. 3, p. 980-989, 2014.

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

WRIGHT, S.; UPADHYAYA, A. **Quantification of arbuscular mycorrhizal fungi activity by the glomalin concentration on hyphal traps.** Mycorrhiza, v. 8, n. 5, p. 283-285, 1999.

WRIGHT, S. F.; UPADHYAYA, A. **Extraction of an abundant and unusual protein from soil and comparison with hyphal protein of arbuscular mycorrhizal fungi.** Soil Science, v. 161, n. 9, p. 575-586, 1996.

WUTKE, E.; WUTKE, E.; BULISANI, E.; MASCARENHAS, H. **Adubação verde: manejo da fitomassa e espécies utilizadas no Estado de São Paulo**. Curso sobre adubação verde no Instituto Agronômico. Campinas: Instituto Agronômico, v. 1, p. 17-29, 1993.

WUTKE, E. B.; TRANI, P. E.; AMBROSANO, E. J.; DRUGOWICH, M. I. **Adubação verde no estado de São Paulo**. Coordenadoria de Assistência Técnica Integral, 2009.

YAMATO, M.; IKEDA, S.; IWASE, K. **Community of arbuscular mycorrhizal fungi in a coastal vegetation on Okinawa island and effect of the isolated fungi on growth of sorghum under salt-treated conditions**. *Mycorrhiza*, v. 18, n. 5, p. 241-249, 2008/07/01 2008. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1007/s00572-008-0177-2> >.