

UFRRJ

INSTITUTO DE AGRONOMIA

**CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
CIÊNCIA DO SOLO**

TESE

**Fungos Micorrízicos Arbusculares no Bioma Caatinga:
Ecologia e Caracterização da Estrutura da Comunidade de
FMA em Função da Variação na Fisionomia Vegetal**

Camila Pinheiro Nobre

2014



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE AGRONOMIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
CIÊNCIA DO SOLO**

**FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES NO BIOMA CAATINGA:
ECOLOGIA E CARACTERIZAÇÃO DA ESTRUTURA DA
COMUNIDADE DE FMA EM FUNÇÃO DA VARIAÇÃO NA
FISIONOMIA VEGETAL**

CAMILA PINHEIRO NOBRE

Sob orientação do professor

Ricardo Luís Louro Berbara

e Co-orientação dos professores

Bruno Tomio Goto e

Marcos Gervasio Pereira

Tese submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Doutora**, no Curso de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração em Ciência do Solo.

Seropédica, RJ
Novembro de 2014

631.460
98134 Nobre, Camila Pinheiro, 1985-
N754f Fungos micorrízicos arbusculares no bioma
T caatinga: ecologia e caracterização da estrutura da
comunidade de FMA em função da variação na
fisionomia vegetal / Camila Pinheiro Nobre. – 2014.
99 f.: il.

Orientador: Ricardo Luís Louro Berbara.
Tese (doutorado) – Universidade Federal
Rural do Rio de Janeiro, Curso de Pós-Graduação
em Agronomia – Ciência do Solo, 2014.
Bibliografia: f. 79-96.

1. Micro-organismos do solo – Chapada do
Araripe (PE: Microrregião) - Teses. 2. Micorriza
vesículo-arbuscular - Chapada do Araripe (PE:
Microrregião) - Teses. 3. Micorriza vesículo-
arbuscular - Ecologia – Chapada do Araripe (PE:
Microrregião) - Teses. I. Berbara, Ricardo Luís
Louro, 1956- II. Universidade Federal Rural do Rio
de Janeiro. Curso de Pós-Graduação em Agronomia
– Ciência do Solo. III. Título.

É permitida a cópia parcial ou total desta Tese, desde que seja citada a fonte.

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE AGRONOMIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA - CIÊNCIA DO SOLO

CAMILA PINHEIRO NOBRE

Tese submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Doutora**, no Curso de Pós-Graduação em Agronomia, área de Concentração em Ciência do Solo.

TESE APROVADA EM 24/11/2014.

Ricardo Luis Louro Berbara. Ph.D. UFRRJ
(Orientador)

Camila Maistro Patreze. Dra. UNIRIO

Irene da Silva Coelho. Dra. UFRRJ

Orivaldo José Saggin Júnior. Dr. Embrapa-Agrobiologia

Wallace Luís de Lima. Dr. IFES

DEDICATÓRIA

Aos meus pais **Wilson Nobre** (*in memoriam*) e **Valdênia Nobre**
Aos meus irmãos **Rafael** e **Luiza Nobre**
Ao meu companheiro de vida **Eduardo Mendonça**

DEDICO.

AGRADECIMENTOS

À UFRRJ pela oportunidade de fazer parte de sua história e ao curso de Pós Graduação em Ciência do Solo.

A CAPES e FAPERJ pelas bolsas de estudo.

À UFRN pela acolhida nos 18 meses que vivi em Natal.

Ao CNPq pelo auxílio financeiro dos programas PROTAX e PPBio;

À minha família, base de tudo e sem a qual faltariam forças para continuar a luta com toda essa distância.

Ao meu orientador Ricardo Berbara pela condução na caminhada mestrado/doutorado e pelo exemplo de profissional ético.

Aos meus co-orientadores Marcos Gervasio Pereira e Bruno Goto pelas discussões sobre solos e taxonomia de FMA.

À Caatinga e à Chapada do Araripe por sua beleza e riqueza ainda subestimada;

Ao ICMBio e Flora Araripe, na figura do diretor Willian Brito, pelas autorizações de coletas e auxílio com informações técnicas.

Aos membros da banca pela participação.

Aos que foram a campo comigo e sofreram nas viagens Natal-Crato e nas coletas carregando bastante peso: Naná, Ruy, Carla Lira, Marcelo e Hudson.

Às pessoas que dedicaram um tempo de suas graduações me auxiliando em coletas e análises: Welliklécia Gonçalves, Marcela Lázaro, Flávia Vinhas e Ernane Gomes.

Aos amigos do laboratório de Biologia do solo – UFRRJ: Andrés, Livia, Beto, Mariana, Marcela, Sael, Ernane, Carol, Cecília e Flávia pela convivência nesses anos.

Aos amigos da UFRN: Bianca Denise, Marcelinho, Naná, Cacau, Aretha, Ruy, Julieth, Hudson e Iuri Basea pela temporada agradável em terras potiguares.

Aos amigos do Departamento de Solos: Paula Fernanda, Anderson, Celeste, Eloísa, Érica, Michel, Leilane, Eduardo, Júlio, Daniel, Isabela, Yusimi, Talita, Sandra, Adriana e tantos outros que participaram dessa tese quer seja emprestando reagentes ou aparelhos, ajudando em análises ou apenas passando para um cafezinho.

Aos funcionários do Departamento de Solo: Cris, Vagner, Michelle e Marquinhos pelas ajudas burocráticas e por sempre estarem dispostos a ajudar.

A Danielle Karla pela ajuda com análises ecológicas e ao Orlando Huertas pela mega ajuda na estatística.

A Luiza Akemi, Mariana, Danilo, Luiz Guilherme e Ivan por comporem a Maraca e estarem sempre presentes em momentos fora da ciência.

Agradeço aos que contribuíram na construção da tese, afinal de contas uma tese não é feita por apenas uma pessoa.

Muito obrigada!

BIOGRAFIA

Camila Pinheiro Nobre nasceu na cidade de Imperatriz (MA) em 13 de fevereiro de 1985. Ingressou no curso de Agronomia na Universidade Estadual do Maranhão no ano de 2003. Foi monitoria da disciplina de bioquímica e bolsista de iniciação científico tecnológica pelo CNPq e bolsista de iniciação científica pela BIC/UEMA. Diplomou-se no ano de 2008. No ano de 2009 ingressou no curso de pós graduação em ciência do solo na Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, onde obteve o título de mestre em ciências em fevereiro de 2011. No mesmo ano ingressou no mesmo curso de pós graduação para obtenção do doutorado. Durante o curso, realizou estágio na Universidade Federal do Rio Grande do Norte no Laboratório de Micorrizas e foi contemplada como bolsista nota 10 da FAPERJ. No mês de novembro de 2014, concluiu sua tese de doutorado.

RESUMO GERAL

NOBRE, Camila Pinheiro. **Fungos micorrízicos arbusculares no bioma Caatinga: ecologia e caracterização da estrutura da comunidade de FMA em função da variação na fisionomia vegetal**. 2014. 99f. Tese (Doutorado em Agronomia, Ciência do Solo). Instituto de Agronomia, Departamento de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2014.

A Caatinga é um bioma rico com elevada diversidade de fungos micorrízicos arbusculares (FMA). A variação de fisionomias vegetais dentro do bioma, assim como os efeitos sazonais e as propriedades químicas do solo podem influenciar a comunidade de FMA. Com o objetivo de associar diversidade taxonômica e atividade dos fungos micorrízicos arbusculares às mudanças de cobertura vegetal e às características químicas e físicas do solo este estudo foi proposto. A análise do vínculo da produção de glomalina, proteína produzida apenas pelos organismos do filo *Glomeromycota*, com características químicas e físicas dos solos (teores de carbono e estabilidade de agregados); a determinação aspectos ecológicos relacionados à diversidade e riqueza de espécies de FMA em áreas de Caatinga; a averiguação da dinâmica sazonal da comunidade de FMA e sua atividade e sua influência na ocorrência de espécies de FMA na Chapada do Araripe foram ainda objetivos propostos inicialmente e estão respondidos nos três capítulos que compõem a tese. A área de estudo é de extrema importância tanto por estar situada num bioma tipicamente brasileiro quanto por estar inserida em uma chapada permitindo peculiaridades nas variações vegetacionais. Foram realizadas coletas sazonais durante o período de 2011 a 2013, em começo e final de épocas seca e chuvosa. Foram identificadas as espécies de ocorrência em áreas de brejo de altitude (BA), carrasco (CA) e cerradão (CE), assim como a variação sazonal das comunidades de FMA. A sazonalidade é um fator importante para a dinâmica populacional dos fungos micorrízicos arbusculares. O regime hídrico afeta tanto a biologia como a produção de glomerosporos e glomalina e a composição das comunidades de FMA. Cada fitofisionomia estudada apresenta peculiaridades quanto às suas propriedades químicas do solo quanto à composição da comunidade de FMA. A diversidade de fungos micorrízicos arbusculares na Chapada do Araripe é elevada, apresentando 87 espécies. No brejo de altitude os gêneros *Glomus* e *Acaulospora* foram os predominantes enquanto no carrasco e cerradão as espécies com glomerosporos tipo gigasporóides foram dominantes.

Palavras-chave: Diversidade. Sazonalidade. BRSP. Chapada do Araripe.

GENERAL ABSTRACT

NOBRE, Camila Pinheiro. **Arbuscular mycorrhizal fungi in the Caatinga: ecology and characterization of the community structure of AMF according to variation in vegetation.** 2014. 99p. Tese (Doutorado em Agronomia, Ciência do Solo). Instituto de Agronomia, Departamento de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2014.

The Caatinga is a biome with high diversity of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF). The variation of vegetation types within the biome, as well as seasonal effects and the chemical properties of the soil can influence the community of AMF. Aiming to associate taxonomic diversity and activity of mycorrhizal fungi to changes in vegetation cover and the chemical and physical characteristics of the soil this study was proposed. The analysis of the relationship of the production of glomalin, a protein produced only by organisms of *Glomeromycota* phylum, chemical and physical characteristics of soil (carbon content and water stability aggregate); determining environmental aspects related to diversity and richness of AMF species in areas of Caatinga; to investigate the seasonal dynamics of the community of AMF and its activity and influence on the occurrence of AMF in the Araripe were also initially proposed objectives and are answered in the three chapters of the thesis. The study area is very important both to be situated in a typically Brazilian biome and to be inserted into a plateau, allowing peculiarities variations in vegetation. Soil samples were collected seasonally during the period of 2011 to 2013 at the beginning and at the ending of the rainy and dry seasons. We identified the species of AMF that occurred on 'brejo de altitude' (BA), 'carrasco' (CA) and 'cerradão' (CE) and also the seasonal variation on communities of AMF. Seasonality is an important factor to the populational dynamic of arbuscular mycorrhizal fungi. The biology, the production of glomerospores and glomalin, and the community composition were affected by the water regime. Each fisionomy has peculiarities in soil chemical properties and AMF community composition. The diversity of AMF was high in the Araripe plateau with 87 species identified. The genus *Acaulospora* and *Glomus* were predominant on 'brejo de altitude' and spores gigasporoids were dominant on 'carrasco' and 'cerradão'.

Key words: Diversity. Seasonality. BRSP. Araripe Plateau.

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 - Terminologias utilizadas para as diversas frações protéicas do solo e glomalina. Adaptado de Rillig (2004).....	17
Tabela 02 - Levantamento de espécies vegetais em áreas da FLONA-Araripe. Modificado de Fernandes 1990.....	24
Tabela 03 - Caracterização química dos solos das fitofisionomias estudadas na época seca (dezembro/2011) e chuvosa (maio/2012).....	26
Tabela 04 - Análise textural dos solos das fitofisionomias estudadas na época seca (dezembro/2011) e chuvosa (maio/2012).....	27
Tabela 05 - Diâmetro médio ponderado (DMP) e diâmetro médio geométrico (DMG) em diferentes profundidades (0,00 - 0,05, 0,05 - 0,10 e 0,10 - 0,20 m) em brejo de altitude (BA), carrasco (CA) e cerradão (CE) na Chapada do Araripe durante estação seca (dez/2011) e chuvosa maio/2012).....	28
Tabela 06 - Teores de carbono orgânico total (COT) e carbono orgânico particulado (COP) em diferentes profundidades (0,00 - 0,05, 0,05 - 0,10 e 0,10 - 0,20 m) em brejo de altitude (BA), carrasco (CA) e cerradão (CE) na Chapada do Araripe durante estação seca (dez/2011) e chuvosa maio/2012).....	29
Tabela 07 - Matriz de correlação entre as variáveis analisadas em distintas fisionomias vegetais na chapada do Araripe durante a época chuvosa.....	33
Tabela 08 - Matriz de correlação entre as variáveis analisadas em distintas fisionomias vegetais na chapada do Araripe durante a época seca.....	33
Tabela 09 - Matriz de correlação entre as variáveis analisadas em distintas fisionomias vegetais na chapada do Araripe durante os dois períodos de observação.....	34
Tabela 10 - Teores de carbono da fração ácido húmico (C-FAH), carbono da fração ácido fúlvico (C-FAF) e carbono da fração humina (C-HU) em brejo de altitude (BA), carrasco (CA) e cerradão (CE) na Chapada do Araripe durante época seca (dezembro/2011) e época chuvosa (maio/2012).....	35
Tabela 11 - Caracterização química de solos em área de Caatinga sob diferentes coberturas vegetais: Brejo de Altitude (BA), Carrasco (CA) e Cerradão (CE), no nordeste do Brasil.....	43
Tabela 12 - Espécies de FMA registradas na Chapada do Araripe em Brejo de Altitude (BA), Carrasco (CA) e Cerradão (CE).....	44

Tabela 13 - Número de glomerosporos (50 g de solo) e índices de diversidade e dominância da comunidade de FMA em ambientes de Brejo de altitude (BA), Carrasco (CA) e Cerradão (CE) na Chapada do Araripe – CE.....	51
Tabela 14 - Caracterização química de solos em área de Caatinga sob diferentes coberturas vegetais (Brejo de Altitude, Carrasco e Cerradão, durante estação seca e chuvosa, no nordeste do Brasil.....	58
Tabela 15 - Análise de Variância Multivariada (MANOVA) das propriedades químicas e biológicas do solo entre sazonalidade e fitofisionomias na Chapada do Araripe - Ce. Consistência do padrão de agrupamento em relação à distância de Mahalanobis (D2), para variáveis quantitativas, em função do coeficiente de correlação cofenética e consistência via Mantel.....	59
Tabela 16 – Ocorrência de espécies de FMA em brejo de altitude, carrasco e cerradão em início de seca (IS), fim de seca (FS), início de chuva (IC) e fim de chuva (FC).....	63
Tabela 17 – Abundância relativa (AR) e frequência de ocorrência (FO) em Brejo de altitude (BA), Carrasco (CA) e Cerradão (CE) durante estações seca e chuvosa na Chapada do Araripe – CE.....	67
Tabela 18 – Índice de diversidade de Shannon (H'), equitabilidade de Pielou (J') e dominância de Simpson (λ) em coletas realizadas em estações seca e chuvosa, em Brejo de altitude (BA), Carrasco (CA) e Cerradão (CE) na Chapada do Araripe – Ceará.....	70

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 – Localização da Caatinga. (Fonte: Sá, Riché & Fotius, 2003).....	2
Figura 02 – Localização da Chapada do Araripe e formações florestais encontradas. (Fonte: Mendonça et al., 2010).....	4
Figura 03 - Seção cronoestratigráfica esquemática do grupo Araripe da Bacia do Araripe. Modificado de Martill, 2001.....	5
Figura 04 - Perfil esquemático dos brejos de altitude no Nordeste brasileiro. (Fonte: Tabarelli & Santos 2004, adaptado de Mayo & Fevereiro, 1982).....	6
Figura 05 – Aspectos gerais do Brejo de Altitude.....	6
Figura 06 – Aspectos gerais do Carrasco.....	7
Figura 07 – Aspectos gerais do Cerradão.....	8
Figura 08 – Precipitação observada durante anos de 2011, 2012 e 2013 na Chapada do Araripe – CE. Δ Coleta Dez/2011 – fim época seca, \star Coleta Maio/2012 – fim época chuvosa. Fonte: FUNCEME.....	23
Figura 09 - Teores de proteína reativa ao Bradford do solo (mg g^{-1}), fração facilmente extraível (EE-BRSP) em diferentes profundidades (0,00-0,05, 0,05-0,10 e 0,10-0,20m) em (A)- brejo de altitude (BA), (B) - carrasco (CA) e (C) - cerradão (CE) na Chapada do Araripe durante estação seca (dez/2011) e chuvosa (maio/2012).....	30
Figura 10 - Teores de proteína reativa ao Bradford do solo (mg.g^{-1}), fração total (BRPS) em diferentes profundidades (0,00-0,05, 0,05-0,10 e 0,10-0,20m) em (A) - brejo de altitude (BA), (B) - carrasco (CA) e (C) - cerradão (CE) na Chapada do Araripe durante estação seca (dez/2011) e chuvosa (maio/2012).....	32
Figura 11 – Fitofisionomias estudadas na Floresta Nacional do Araripe: Brejo de altitude (a), Carrasco (b) e Cerradão (c).....	42
Figura 12 – Abundância de gêneros de FMA distribuídos por fitofisionomia. BA – Brejo de altitude, CA- Carrasco e CE – Cerradão.....	47
Figura 13 – Curva de acumulação de espécies (Sobs) e estimativa de riqueza pelo índice Jackknife primeira ordem (Jackknife 1) nas áreas de brejo de altitude (A), carrasco (B) e cerradão (C) na Chapada do Araripe, Ceará.....	49
Figura 14 - Similaridade de espécies de FMA (baseada no índice de Sørensen) entre as áreas estudadas (brejo de altitude – BA, carrasco – CA e cerradão – CE), na Chapada do Araripe, Ceará.....	50

- Figura 15** - Precipitação durante os anos de 2011, 2012 e 2013 na área de coleta, na Chapada do Araripe – CE. Fonte: FUNCEME. Onde: Δ época seca, \star época chuvosa. Fonte: FUNCEME..... 57
- Figura 16** – Variação sazonal dos teores de proteína do solo reativa ao Bradford ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$) fração facilmente extraível. BA – brejo de altitude, CA- carrasco e CE – cerradão. Onde: Δ início período seco, \blacktriangle fim período seco, \square início período chuvoso, \blacksquare fim período chuvoso..... 60
- Figura 17** – Variação sazonal dos teores de proteína do solo reativa ao Bradford ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$) fração total em BA – brejo de altitude, CA- carrasco e CE – cerradão. Onde: Δ início período seco, \blacktriangle fim período seco, \square início período chuvoso, \blacksquare fim período chuvoso..... 61
- Figura 18** – Teores de proteína reativa ao Bradford do solo (BRSP), frações facilmente extraível (EE-BRSP) e total (BRSP) em brejo de altitude – BA, carrasco – CA e cerradão – CE, na Chapada do Araripe durante época seca e chuvosa. Barras encimadas com letras minúsculas comparam entre ambientes na mesma estação e letras maiúsculas comparam mesmo ambiente entre estações. EE-BRSP teste de Tukey ($p < 0,05$) e BRSP teste de Kruskall-Wallis ($p < 0,05$)..... 61
- Figura 19** – Densidade de glomerosporos em 50g de solo em brejo de altitude – BA, carrasco – CA e cerradão – CE, durante época seca e chuvosa. Média de 56 amostras. Letras minúsculas comparam entre ambientes na mesma estação e letras maiúsculas comparam mesmo ambiente entre estações. Teste de Kruskall-Wallis ($p < 0,05$)..... 62
- Figura 20** – Similaridade entre os ambientes estudados na Chapada do Araripe (BA- brejo de altitude, CA – carrasco e CE - cerradão, durante a época seca (A) e chuvosa (B))..... 72
- Figura 21** – Análise de cluster mostrando a relação entre os parâmetros químicos e biológicos, sazonalidade e as fitofisionomias da Chapada do Araripe-Ce. Foi utilizada a distância de mahalanobis com distribuição tipo UPGMA. Onde: Δ Brejo de altitude (BA) época seca, \blacktriangle brejo de altitude (BA) época chuvosa, \circ carrasco (CA) época seca, \bullet carrasco (CA) época chuvosa, \square cerradão (CE) época seca e \blacksquare cerradão época chuvosa..... 73
- Figura 22** – Diagrama de ordenação (PCA) das propriedades químicas e biológicas de três fisionomias vegetais com influência sazonal na Chapada do Araripe, CE. Onde: Δ Brejo de altitude (BA) época seca, \blacktriangle brejo de altitude (BA) época chuvosa, \circ carrasco (CA) época seca, \bullet carrasco (CA) época chuvosa, \square cerradão (CE) época seca e \blacksquare cerradão época chuvosa..... 74

LISTA DE ABREVIações E SÍMBOLOS

FMA	Fungos micorrízicos arbusculares
BRSP	Proteína total reativa pelo método de Bradford
AMF	Arbuscular mycorrhizal fungi
FUNCEME	Fundação cearense de meteorologia e recursos hídricos
FLONA	Floresta Nacional
UCF	Unidade de conservação federal
COT	Carbono orgânico total
COP	Carbono orgânico particulado
DMP	Diâmetro médio ponderado
DMG	Diâmetro médio geométrico
EE-BRSP	Proteína reativa pelo método de Bradford fração facilmente extraível
MOS	Matéria orgânica do solo
C-FAH	Carbono da fração ácido húmico
C-FAF	Carbono da fração ácido fúlvico
C-HU	Carbono da fração humina
rRNA	RNA ribossômico
rDNA	DNA ribossômico
ITS	Espaços intergênicos
DNA	Ácido desoxirribonucléico
RNA	Ácido ribonucléico
ARDRA	Análise de restrição do DNA ribossomal amplificado
DGGE	Eletroforese em gel com gradiente desnaturante
TGGE	Eletroforese em gel com gradiente de temperatura
T-RFLP	Polimorfismo do comprimento dos fragmentos terminais de restrição
PCR	Reação em cadeia da polimerase
MIP	Potencial micorrízico de inóculo
μM	Micromolar
RPM	Rotação por minuto
μL	Microlitro
g	Gramas
pH	Potencial hidrogeniônico
P	Fósforo
N	Nitrogênio
K	Potássio
Na	Sódio
Mg	Magnésio
Al	Alumínio
Ca	Cálcio
H+Al	Acidez potencial
SB	Soma de bases
CTC	Capacidade de troca catiônica

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	2
2.1 Bioma Caatinga	2
2.2 Floresta e Chapada Nacional do Araripe.....	4
2.2.1 Brejo de altitude.....	6
2.2.2 Carrasco.....	7
2.2.3 Cerradão.....	8
2.3 Fungos Micorrízicos Arbusculares em Caatinga.....	8
2.4 Classificação de FMA.....	10
2.5 Taxonomia Morfológica e Molecular.....	14
2.6 Ecologia de FMA.....	15
2.7 Glomalina.....	16
3. CAPÍTULO I - VARIAÇÕES DA AGREGAÇÃO DO SOLO, TEORES DE GLOMALINA, CARBONO ORGÂNICO TOTAL E FRACIONAMENTO QUÍMICO DA MATÉRIA ORGÂNICA EM DIFERENTES FISIONOMIAS NA CHAPADA DO ARARIPE	19
1. RESUMO.....	20
2. ABSTRACT.....	21
3. INTRODUÇÃO.....	22
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	23
4.1 Áreas de Estudo.....	23
4.2 Amostragem e Processamento das Amostras.....	24
4.3 Agregação do Solo e Carbono Orgânico Total (COT).....	24
4.4 Glomalina e Carbono Orgânico Particulado (COP)	25
4.5 Fracionamento Químico da Matéria Orgânica do Solo (MOS).....	25
4.6 Análises Estatísticas.....	25
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	26
6. CONCLUSÕES.....	36
4. CAPÍTULO II - DIVERSIDADE DE FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES NA CHAPADA DO ARARIPE	37
1. RESUMO.....	38
2. ABSTRACT.....	39
3. INTRODUÇÃO.....	40
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	42
4.1 Áreas de Estudo.....	42
4.2 Amostragem e Processamento das Amostras.....	42
4.3 Análises de Diversidade de FMA.....	43
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	44
6. CONCLUSÕES.....	52
5. CAPÍTULO III - SAZONALIDADE DE FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES EM ÁREAS DE CAATINGA NA CHAPADA DO ARARIPE - CEARÁ	53
1. RESUMO.....	54
2. ABSTRACT.....	55
3. INTRODUÇÃO.....	56

4. MATERIAL E MÉTODOS.....	57
4.1 Áreas de Estudo.....	57
4.2 Amostragem e Processamento das Amostras.....	57
4.3 Análises Estatísticas ANOVA e MANOVA.....	58
4.4 Análises de Diversidade de FMA.....	59
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	60
6. CONCLUSÕES.....	76
6. CONCLUSÕES GERAIS.....	77
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	78
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	79
9. ANEXOS.....	97

1. INTRODUÇÃO GERAL

Os fungos micorrízicos arbusculares (FMA) são organismos mutualistas e estabelecem simbiose com a maioria dos vegetais conhecidos, desde briófitas até angiospermas (Smith & Read, 1997). Evidências moleculares e registros fósseis sugerem que este grupo de fungos foi fundamental no processo de colonização do habitat terrestre pelas plantas (Hegelson & Fitter, 2005; Dozler et al., 2006). De caráter cosmopolita, os FMA têm ocorrência na maioria dos ecossistemas terrestres, dos desérticos aos árticos (Siqueira, 1994).

Apesar de datados do período Ordoviciano (Redecker et al., 2000), os FMA ainda são pouco compreendidos, tanto em relação às suas características (esporulação, germinação, colonização vegetal) quanto à sua real diversidade. Atualmente são conhecidas cerca de 270 espécies desse grupo de fungos inseridos no filo Glomeromycota (Silva et al., 2014).

Ao longo dos anos os estudos sobre a associação micorrízica e sobre a biologia dos fungos que a formam vêm aumentando. O potencial dessa simbiose na nutrição vegetal (Moreira & Siqueira, 2006) é um dos principais fatores que levam ao crescente número de trabalhos nessa área da micologia.

A comunidade de FMA é responsável pela diversidade vegetal (Kiers et al., 2000; Tawaraya et al., 2003) e pela sobrevivência das plantas em condições restritivas tais como excesso de salinidade (Maia & Yano-Melo, 2005), estresse hídrico (Augé, 2004) e solos com metais pesados (Lins et al., 2006). Entender como os fungos micorrízicos se comportam em situações de estresse ambiental e como isso altera a dinâmica de sua comunidade afetando os vegetais, geram muitos debates e trabalhos sobre o tema.

A Caatinga ocupa cerca de 70% da região Nordeste do Brasil e é um bioma típico do país com espécies vegetais adaptadas à condição de seca severa (MMA, 2002). De forma diferente do que se acreditava esse bioma não é pobre (Leal et al., 2003) e possui áreas com grande concentração de espécies endêmicas com risco de perda de seus habitats (*hotspots*) (Myers, 1988; Myers, 1990).

A Caatinga vem sendo objeto de estudos a fim de compreender o comportamento dos FMA (Maia & Trufem, 1990; Maia et al., 2006; Mergulhão et al., 2008). Contudo, como o bioma engloba ainda os estados da Bahia, Sergipe, Alagoas, Pernambuco, Paraíba, Rio Grande do Norte, Ceará e Piauí e algumas áreas de Minas Gerais, ainda há muito trabalho a ser realizado.

O objetivo desse estudo foi associar diversidade e atividade dos fungos micorrízicos arbusculares às mudanças de cobertura vegetal e às características químicas e físicas do solo em diferentes fisionomias vegetais na Chapada do Araripe.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Bioma Caatinga

A Caatinga é um bioma exclusivamente brasileiro. Sua extensão territorial ocupa, aproximadamente, 11% do território nacional e 70% do nordeste (MMA, 2002), abrangendo cerca de 800.000 km² do Brasil. Sua maior concentração territorial está na região semi-árida do país (região Nordeste) (Moura & Ramos, 2004), entre os estados da Bahia, Sergipe, Alagoas, Pernambuco, Paraíba, Rio Grande do Norte, Ceará e Piauí e algumas áreas de Minas Gerais (Figura 01).

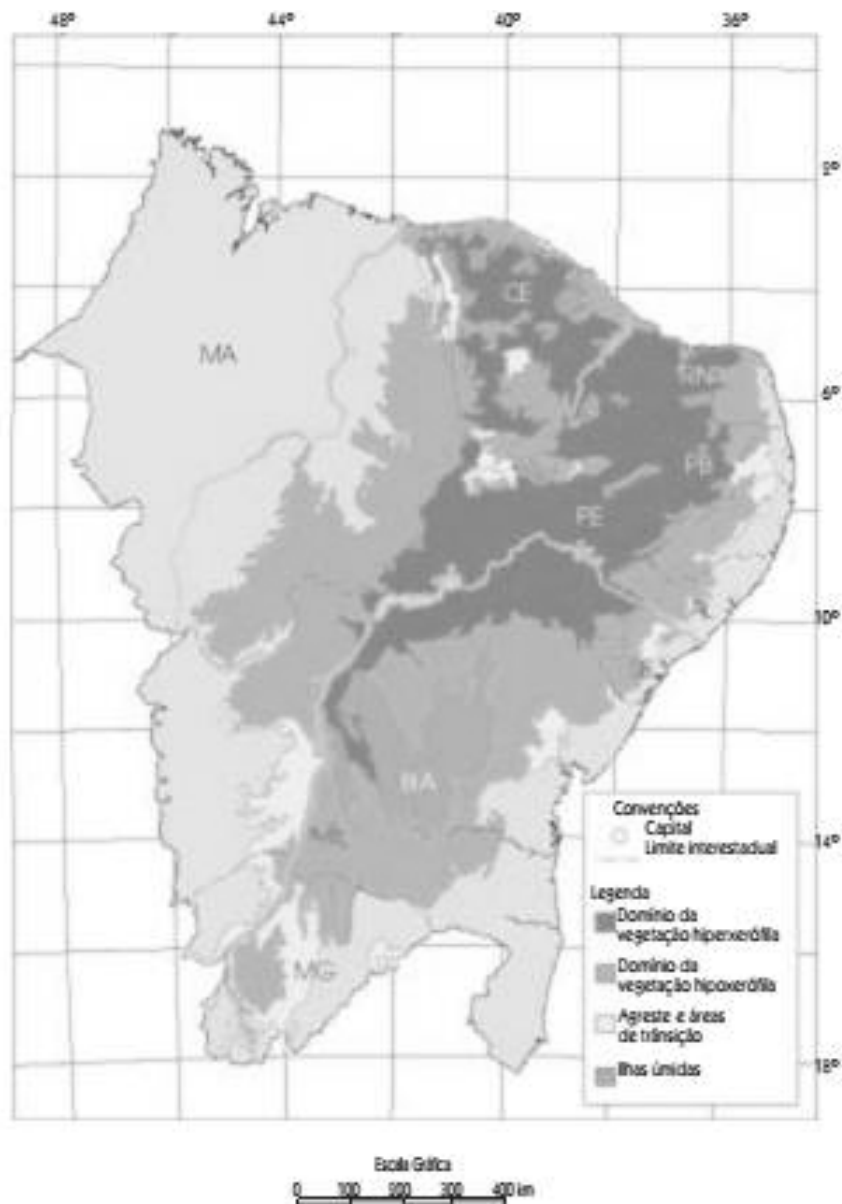


Figura 01 – Localização da Caatinga.

Fonte: Sá, Riché & Fotius, 2003

A área ocupada pelo bioma Caatinga, por si só, seria relevante para programas de conservação do bioma e, somando-se o fato de possuir áreas comprovadamente com várias espécies endêmicas (*hotspots* de diversidade) (Leal et al., 2003). Mesmo com essa importância ecológica, a Caatinga é proporcionalmente a região natural menos estudada e protegida no Brasil, com menos de 2% do território definido como unidades de conservação (Tabarelli et al., 2000). A falta de unidades de conservação no bioma é reflexo do pré-conceito da maioria da população de que a Caatinga teria baixa biodiversidade por estar inserida em uma área sob regime de chuvas escasso e solos pobres.

“Mata branca” ou “floresta branca” é o significado da palavra Caatinga em tupi-guarani; uma referência direta ao aspecto que as plantas adquirem durante a estiagem: as folhas ao caírem deixam o tronco de árvores e arbustos à mostra com um tom branco e brilhoso (Albuquerque & Bandeira, 1995).

A Caatinga é um mosaico vegetacional constituído por diversas fisionomias e não, como se acreditou durante anos, um tipo vegetacional único característico, devendo então ser denominada Caatingas (Andrade-Lima, 1966; Sampaio, 1995). Os seguintes tipos vegetacionais são característicos das Caatingas: Florestas de Caatinga alta, média e baixa, Caatinga arbórea aberta, Caatinga arbustiva, Caatinga arbustiva aberta, Floresta de caatinga de galeria e Floresta de caatinga média (Andrade-Lima, 1981; Prado, 2003).

Tais fisionomias dependem do regime de chuvas e do tipo de solo. Assim, as Caatingas se apresentaram como florestas arbóreas ou arbustivas, com árvores e arbustos baixos, decíduos durante a estação seca, muitos com espinhos e características xerofíticas (Prado, 2003).

A insuficiência hídrica é uma característica marcante dos solos sob fisionomia de Caatinga em que as espécies vegetais estão condicionadas (Trovão et al., 2007). Essa vegetação é constituída de arbustos e árvores e refletem as condições de clima existentes; as chuvas são irregulares concentradas em somente quatro meses do ano e o ar muito seco e quente. A água é escassa tanto por causa das poucas chuvas como também pelos solos serem muito rasos, armazenando pouca água. Por essas condições, a vegetação tem um grau de adaptação à seca muito elevada e apresenta caracteristicamente grande número de cactáceas, que possuem abundância de espinhos e perda de folhas, o que representa uma defesa contra a perda de água dos vegetais (Lepsch, 2002).

No Nordeste do Brasil a maior parte da Caatinga é localizada em regiões de baixa altitude, raramente ultrapassando 200 m, entretanto, este tipo de vegetação pode se manifestar em áreas superiores aos 1.000 m de altitude, constituídas por Serras e Chapadas. Estas unidades de relevo podem se estender por longas distâncias, retendo frentes úmidas, resultando na formação em linhas de locais mais úmidos nas bordas destes planaltos (Prado, 2003). É devido à altitude local que a umidade atmosférica é maior, as temperaturas são mais amenas, resultando no melhor balanço hídrico e a taxa de evapotranspiração é inferior em relação às áreas de Caatinga de baixa altitude. A umidade dessas regiões favorece a presença de espécies florestais mais adaptadas a condições úmidas e gera áreas de fisionomias vegetais mais diversificadas, que vão desde vegetação de cerrado a florestas úmidas perenifólias ou semidecíduas nos topos das serras (Prado, 2003; Giulletti et al., 2004).

Dentre as várias chapadas localizadas em áreas de Caatinga, destaca-se a Chapada do Araripe, que ocupa os Estados do Ceará, Paraíba e Pernambuco, abrangendo formações vegetacionais diversas entre elas o brejo de altitude, cerrado (Sampaio, 2010) e carrasco.

2.2 Floresta e Chapada Nacional do Araripe

Localizada no sul do Estado do Ceará entre os municípios de Barbalha, Crato, Jardim e Santana do Cariri, a Floresta Nacional do Araripe está situada sob uma chapada e bacia homônimas a qual é assentada sobre sedimentos de rochas do cretáceo, oriundas de regressões fluviais (Assine, 1994; Arai, 2000) (Figura 02).

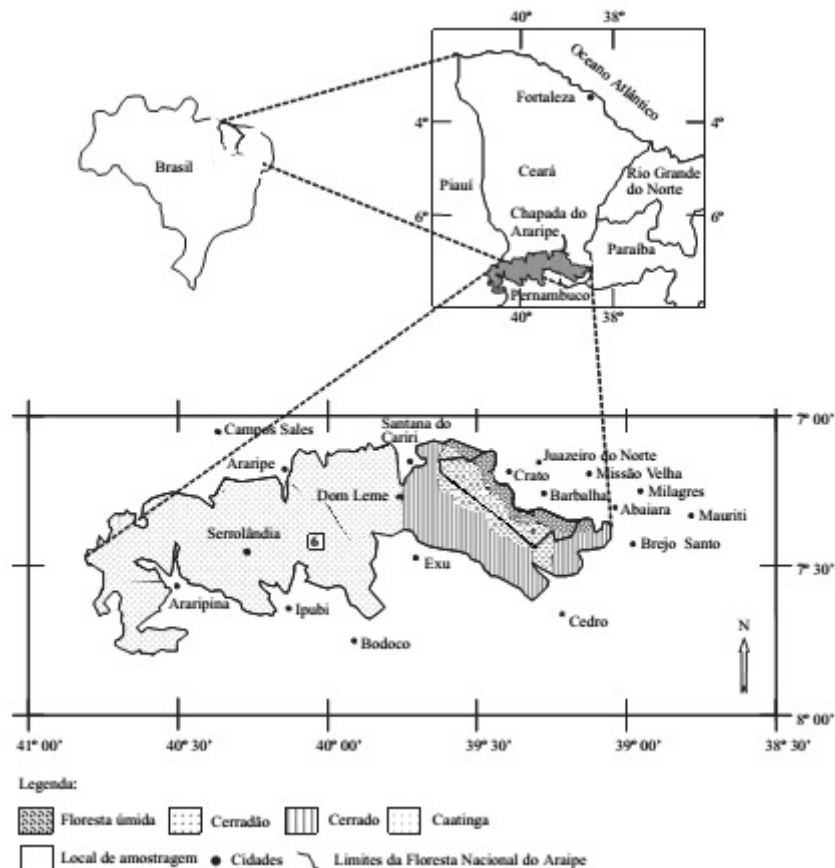


Figura 02 – Localização da Chapada do Araripe e Formações Florestais Encontradas.
Fonte: Mendonça et al., 2010

A Floresta Nacional do Araripe-Apodi (FLONA - Araripe) é uma unidade de conservação federal sob responsabilidade do Instituto Chico Mendes (ICMbio). Foi fundada em 02 de maio de 1946, sendo a primeira floresta nacional do país. Seu nome tem origem tupi e significa 'lugar das araras' (arara + ype). Na época do Brasil colônia era ocupada pelos índios kariris antes desses serem dizimados pelos tupis na época da invasão holandesa (Largman, 1996). A floresta ocupa uma área de mais de 38.000 hectares.

A bacia do Araripe, bacia homônima à Chapada e Floresta, é composta por diversas formações, a saber: formação Cariri, Brejo Santo, Missão Velha, Abaiara, Barbalha, Santana e Exu (Assine, 1992). Sob os arenitos da formação Exu, com mais de 200m de profundidade e datada do período cretáceo, que se desenvolve a Floresta Nacional do Araripe (Figura 03).

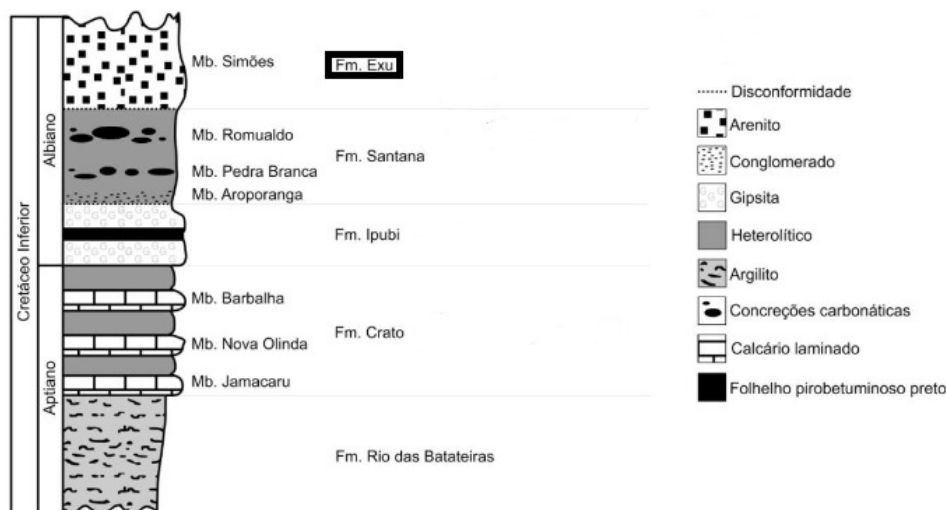


Figura 03 - Seção Cronoestratigráfica Esquemática do Grupo Araripe da Bacia do Araripe. Modificado de Martill, 2001.

Sua geomorfologia se destaca no nordeste brasileiro, apresentando relevo tabuliforme e em níveis altimétricos que influenciaram na manifestação de padrões vegetacionais distintos, tais como vegetação higrófila, escleromórfica ou subxerófila (Cavalcanti & Lopes, 1994). A chapada possui níveis altimétricos que variam de 800 a 900 m. O topo se apresenta na horizontal, sendo seu rebordo quase sempre associado aos folhelhos com concreções calcárias e argilitos da Formação Santana (Sudec, 1986).

A altitude e a exposição aos ventos úmidos são os principais determinantes da ocorrência dessa floresta, considerando-se ainda a importância da água subterrânea, cuja ressurgência nas encostas da Chapada do Araripe contribui para a permanência da vegetação. As chuvas orográficas são condicionantes principais da ocorrência das florestas serranas aliadas à outra forma de precipitação, o orvalho, determinado pelo nevoeiro sobre os níveis mais elevados (Modesto, 1997).

Os solos da região são geralmente classificados como Latossolos Amarelo e Latossolo Vermelho-Amarelo com textura média a argilosa. Segundo LIMA et al. (1983), a Floresta Nacional do Araripe apresenta como principal classe de solos os Latossolos Vermelho-Amarelos. São bem profundos e com boa drenagem. Sua principal limitação é a presença de alumínio tóxico em alguns pontos e a baixa fertilidade natural (Cavalcanti & Lopes, 1994).

O clima da região apresenta duas estações bem distintas, uma de seca e outra de chuvas, sendo caracterizado como Aw equatorial segundo Köppen. Os menores índices pluviométricos estão distribuídos nos meses de maio a novembro. A temperatura média anual é de 25,7°C, precipitação pluviométrica média de 754,4 mm e altitude média de 800 m (Viana & Neumann, 2002; Santos et al. 2009).

Considerada uma área de tensão ecológica, a FLONA-Araripe, possui cinco unidades fitoecológicas principais (IBAMA, 2003). Estas são (i) Cerrado (42,67%); (ii) Floresta Subcaducifolia Tropical Xeromorfa ou Cerradão (37,32%); (iii) Floresta Subperenifolia Tropical Plúvio-Nebular também denominada Mata úmida serrana ou brejo de altitude (12,34%); (iv) Carrasco (6,67%) e (v) Matas Secundárias (0,07%). Menos de 1% da área da FLONA-Araripe encontra-se sem Cobertura Florestal (0,93%).

No presente estudo foram escolhidas as três fitofisionomias mais representativas, excluindo-se o cerrado.

2.2.1 Brejo de altitude

Inseridos em regiões semi-áridas, os brejos de altitudes são exceção ao contexto da vegetação circundante (Lins, 1989; Rodrigues et al., 2008); Segundo ANDRADE-LIMA (1982) os brejos de altitude são ‘ilhas’ de floresta úmida estabelecidas na região semi-árida, sendo cercadas por uma vegetação de caatinga.

A origem desta formação vegetal está associada às variações climáticas ocorridas durante o Pleistoceno (2 milhões - 10.000 anos atrás), permitindo que a floresta Atlântica penetrasse nos domínios da Caatinga, e após períodos interglaciais, gerando um ‘recuo’ da vegetação de Mata Atlântica à sua distribuição atual, favorecendo a formação de ilhas de floresta Atlântica que se estabeleceram em locais de microclima favorável (Andrade-Lima, 1982).

A existência dessas ilhas de floresta úmida em regiões de baixa precipitação - 240 – 900 mm (IBGE 1985, Lins 1989) - é fortemente associada à ocorrência de chapadas e planaltos (entre 500 e 1.100 m de altitude) como as Chapadas do Araripe e Ibiapaba e Planalto da Borborema. Nessas áreas as chuvas orográficas são responsáveis pela elevada precipitação, com níveis superiores aos 1.200 mm/ano (Andrade-Lima, 1960; 1961). São áreas privilegiadas quanto à umidade do solo e do ar, temperatura e cobertura vegetal quando comparadas às regiões semi-áridas (Andrade-Lima, 1966) (Figura 04).

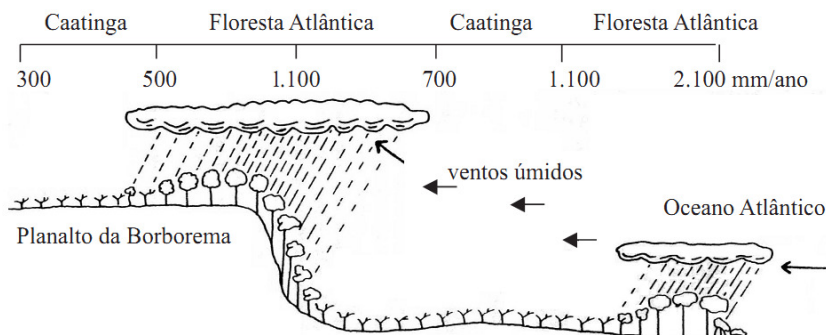


Figura 04 - Perfil esquemático dos brejos de altitude no Nordeste brasileiro. (Fonte: Tabarelli & Santos 2004, adaptado de Mayo & Feveiro, 1982)

Atualmente 43 brejos de altitude são reconhecidos, distribuídos nos Estados do Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba e Pernambuco, cobrindo uma área original de aproximadamente 18.500 km² (Vasconcelos-Sobrinho, 1971; Tabarelli & Santos, 2004). A área de brejo de altitude é representada na figura 05.



Figura 05 – Aspectos gerais do Brejo de Altitude

2.2.2 Carrasco

O termo carrasco é utilizado na designação de diferentes tipos de vegetação que ocorrem tanto no nordeste do Brasil quanto fora dele. Abrange caatingas arbustivas de solos pedregosos, capoeiras e áreas de vegetação aberta com arbustos de pequeno porte, que ocorrem nas chapadas de Minas Gerais (Araújo et al., 1998). De acordo com ANDRADE-LIMA (1978) o carrasco (características xerófilas, também denominado catanduva) é uma vegetação que ocorre em solos arenosos sobre chapadas contíguas à vegetação das caatingas. O mesmo autor sugere que essa vegetação seria uma entidade própria devido à ausência de cactáceas e bromeliáceas, mas, que também poderia ser inserida como um tipo de caatinga, por sua característica caducifolia.

O carrasco é um termo usado para vegetação com as seguintes características: arbustos raquíticos bastante ramificados e adensados, formando moitas, variando entre fisionomias abertas a densas, presente em áreas com declividade suave e depósito de areia, em altitude variando em torno de 800 e 1.200 m na Serra do Ambrósio, cadeia do Espinhaço em Minas Gerais (Meguro et al., 1994; Pirani et al., 1994). Mas sua fisionomia e composição florística não são as mesmas do carrasco ocorrente no planalto da Ibiapaba e chapada do Araripe (Araújo et al., 1998).

Vegetação tipo carrasco é amplamente utilizada em todo o Brasil para se referir, geralmente a tipos vegetacionais arbustivos, denso ou aberto, e que se desenvolvem em solos pobres em nutrientes. Carrasco, no nordeste do país, refere-se à vegetação arbustiva densa xerófila presentes no planalto da Ibiapaba e na chapada do Araripe, a um tipo de cerrado denso na Bahia, ou a alguns tipos de caatingas arbustivas em solos pedregosos (Araújo et al., 1999) (Figura 06).

Ainda não há um consenso sobre em qual conceituação fitogeográfica o carrasco esteja inserido. Alguns autores afirmam que a destruição e devastação parcial do cerradão deram origem à vegetação de carrasco, assemelhando-se a uma capoeira densa, ocorrendo em relevos elevados e tabulares do reverso do planalto de Ibiapaba e da Chapada do Araripe, também passível de ocorrência em áreas da Chapada Diamantina, na Bahia (Fernandes, 1990; Fernandes & Bezerra, 1990). ARAÚJO et al. (1999) argumentam que o carrasco pode ser uma variação fisionômica da caatinga, da floresta úmida ou do cerrado, devido as condições especiais de solo, clima e relevo; ou mesmo uma variante ecotonal entre esses tipos vegetacionais.



Figura 06 – Aspectos gerais do Carrasco

2.2.3 Cerradão

O Cerradão ou savana florestada é uma das subunidades fitogeográficas do Cerrado, possui fisionomia florestal, com árvores de até 15 metros de altura e dossel contínuo, ausência de gramíneas e sua ocorrência é predominante em clima tropical estacional (Veloso et al., 1991).

De acordo com IBGE (1992) as savanas florestadas ou cerradões são um subgrupo vegetacional restrito a áreas areníticas, lixiviadas, de solos profundos e clima tropical estacional. Já para RIBEIRO & WALTER (1998), o cerradão seria uma formação florestal mesmo que em termos florísticos tenha maior similaridade com o cerrado propriamente dito. Possui árvores que variam de 8 a 15 metros, reduzida diversidade de espécies, características caducifólia no período seco (Lima et al. 1983; Durigan et al. 2011) e ocorrem, em sua maioria, em solos profundos e bem drenados (Oliveira-Filho & Ratter, 2002).

A composição florística do cerradão possui características repetidas por toda sua extensão territorial (norte a sul do país). A presença de cipós e espécies epifíticas é reduzida, o que facilita a locomoção em seu interior. A vegetação ainda apresenta resistência ao fogo, com espécies vegetais de caules menos suberosos e com número menor de espécies herbáceas quando comparado ao cerrado *stricto sensu* (IBGE, 1992). Uma característica chave para diferenciar cerradão de cerrado é que no primeiro tipo vegetacional existem plantas que necessitam da sombra de outras plantas para se desenvolver (Durigan et al. 2011) (Figura 07).



Figura 07 – Aspectos gerais do Cerradão

2.3 Fungos Micorrízicos Arbusculares em Caatinga

Os fungos micorrízicos arbusculares (FMA) são organismos pertencentes ao filo Glomeromycota (Schüßler et al., 2001) e são um dos grupos de organismos mais importantes do planeta (Read, 1992), atuando principalmente na nutrição das plantas e na sua capacidade de competir nos ecossistemas (Bethenfalvy & Linderman, 1992).

Sua origem e evolução estão diretamente relacionadas com a evolução das plantas terrestres (Schüßler et al., 2001). Os primeiros registros fósseis datam o aparecimento desse grupo de fungos no período Ordoviciano, a aproximadamente 460 milhões de anos atrás. Nesse período é datado o início da colonização do ambiente terrestre pelas plantas. Esse fato leva a sugerir que os fungos tenham desempenhado importante papel no processo de colonização terrestre das plantas (Redecker et al., 2000).

Ao contrário dos vegetais que tiveram alto grau de diversificação, os FMA se mantiveram quase que inalterados ao longo de todos esses anos (Croll & Sanders, 2009). Essa premissa se dá ao fato dos registros fósseis desse grupo de fungos apresentarem características quanto ao modo de formação do esporo (glomóide, acaulosporóide e gigasporóide) e formas de estrutura (tais como escudo de germinação) similares às espécies de FMA atuais, sugerindo, ainda, que a diversificação de famílias dos FMA seja mais antiga que o surgimento das plantas vasculares terrestres (Souza et al., 2010). Atualmente cerca de 270 espécies de FMA são reconhecidas (Silva et al., 2014).

Os FMA se associam com a maioria das raízes de plantas, formando uma simbiose denominada micorriza arbuscular. Essa associação pode ser detectada em raízes de pteridófitas, gimnospermas e magnoliófitas e em rizóides de briófitas e é encontrada na maioria dos ambientes terrestres naturais (dunas, florestas tropicais, savanas, pastagens), assim como em agroecossistemas e áreas degradadas (Read et al., 2000, Nebel et al., 2004).

Diversos são os efeitos na comunidade vegetal promovidos pelos FMA, os quais contribuem na manutenção das comunidades de plantas (Tawaraya et al., 2003), tais como absorção facilitada de nutrientes, em especial o fósforo por ser um elemento limitante em solos tropicais (Onguene & Kuyper, 2001). E também, podem afetar a composição da comunidade vegetal de determinado habitat, já que influenciam o estabelecimento vegetal (Kiers et al., 2000).

Suas hifas formam uma rede extensa que explora o solo em busca de nutrientes e água. Essa rede é tão extensa que é capaz de conectar raízes de mesmas ou diferentes plantas. Além de atuar diretamente na nutrição vegetal, as hifas também apresentaram outras funções ecológicas como: (i) alimento para outros organismos; (ii) ciclagem de nutrientes através da troca de nutrientes de raízes mortas para a serrapilheira; (iii) previne a lixiviação de nutrientes; (iv) auxiliam na dispersão de bactérias (van der Heijden & Horton, 2009) e; (v) produção de glomalina, uma glicoproteína de produção exclusiva do filo (Wright et al., 1996).

A Caatinga ainda é um bioma bastante negligenciado em relação aos FMA. Contudo, trabalhos de levantamento da diversidade de FMA nesse bioma têm demonstrado um número significativo de espécies desses organismos (Goto et al. 2010). MAIA et al. (2006) mencionam 52 espécies presentes na Caatinga. Em levantamento de espécies de FMA para o Brasil, realizado por STÜRMER & SIQUEIRA (2008), são citadas 99 espécies de ocorrência no país e mencionam 30 espécies para a Caatinga. GOTO et al. (2010) relatam a ocorrência de 79 espécies de FMA nesse bioma e BERBARA et al (2013) aumentam o número de espécies de ocorrência na Caatinga para 90, representando o equivalente a 36,2% da diversidade global do filo. Em termos de Brasil são reportadas 119 espécies de FMA, caracterizando 48% da diversidade global (de Souza et al., 2010). Sendo assim, de 75,6% de todas as espécies de fungos micorrízicos arbusculares com registro no Brasil tem ocorrência na Caatinga (Berbara et al., 2013).

Como esse bioma é bastante heterogêneo (elevada diversidade vegetal, de solos e variações climáticas) e a distribuição das espécies de fungos micorrízicos arbusculares tem sido relacionada com as alterações ambientais, é provável que o número de espécies de FMA em Caatinga seja bastante superior ao estimado. Com o aumento do esforço amostral e maior atenção dada a esses organismos do solo, poderão ser identificadas novos representantes do filo Glomeromycota para a Caatinga.

Alguns trabalhos realizados em pontos isolados de Caatinga têm reportado um aumento considerável no número de espécies novas de FMA nesse bioma (Goto et al., 2009; 2010; 2011). De acordo com Goto et al. (2012a; 2012b) áreas tropicais podem ser fontes de endemismo para determinados grupos de FMA, especialmente da ordem Gigasporales. Essa hipótese vem sendo confirmada com a publicação de novas espécies dessa ordem nos últimos anos tais como: *Scutellospora alterata* (Pontes et al., 2013), *Fuscutata aurea* (Mello et al.,

2012), *Intraornatospora intraornata* (Goto et al., 2012), *Dentiscutata colliculosa* (Goto et al. 2010), *Racocetra tropicana* (Goto et al., 2010) e *Scutellospora pernambucana* (Silva et al., 2009). Contudo espécies de outras famílias também vêm sendo registradas nesse bioma.

Para área de Caatinga inserida no Estado do Ceará apenas um estudo foi realizado na reserva Serra das Almas, levantando 32 espécies de FMA (Pagano et al, 2013). Para a Chapada do Araripe há apenas um levantamento com o registro de 56 espécies de organismos do filo Glomeromycota (Lira et al., 2014).

2.4 Classificação de FMA

Apesar dos fungos micorrízicos arbusculares terem seu surgimento datado do período Ordoviciano, os estudos taxonômicos desses organismos se iniciaram apenas no final do século XIX, pelos irmãos Tuzlani com a descrição de um novo gênero *Glomus* com duas espécies (*G. macrocarpum* e *G. microcarpum*) em 1845. Após 28 anos sem avanços, em 1873, Berkeley & Broome descreveram o gênero *Sclerocystis* (espécie tipo *Sclerocystis coremioides*). Os dois gêneros citados estavam inseridos na família Endogonaceae (ordem Endogonales, filo Zygomycota).

Em 1922, TAXTER realizou uma revisão sobre a família Endogonaceae e propuseram a transferência das espécies do gênero *Glomus* para o gênero *Endogone*. Um grande marco para a taxonomia de FMA foi o trabalho de GERDEMANN & TRAPPE (1974), em que esses autores, revisando a família Endogonaceae, propuseram as bases até hoje utilizadas para a identificação e classificação dos FMA. Incluíram 30 espécies na lista das que formavam micorriza arbuscular, validaram o gênero *Glomus*, considerando-o distinto de *Endogone* e ainda descreveram dois novos gêneros: *Acaulospora* e *Gigaspora*, além de manter o gênero *Sclerocystis*. Os FMA permaneceram no filo Zycomycota, ordem Mucorales e família Endogonaceae com sete gêneros (*Acaulospora*, *Gigaspora*, *Glomus*, *Sclerocystis*, *Endogone*, *Modicella* e *Glaziella*), sendo os quatro primeiros gêneros formadores de micorriza arbuscular.

Em 1979, AMES & SCHNEIDER descreveram o gênero *Entrophospora*, com única espécie *Entrophospora infrequens* (antes denominado *Glomus infrequens*). Sua proposta foi baseada na posição de formação do esporo em relação ao sáculo esporífero. Os autores observaram que a estrutura (sáculo) também era presente no gênero *Acaulospora*, mas os glomerosporos se formavam intercaladamente ao pescoço do sáculo esporífero. WALKER & SANDERS (1986) estudando espécies do gênero *Gigaspora*, observaram que alguns representantes possuíam parede interna (germinativa *sensu* Morton) e estruturas especializadas de germinação. Estes autores separaram então essas espécies em um novo gênero (*Scutellospora*), levando em consideração principalmente seu modo de germinação. Uma nova família (Glomaceae) foi proposta por PIROZYNSKI & DALPÉ (1989) para agrupar os gêneros *Glomus* e *Sclerocystis* devido à similaridade entre os glomerosporos vivos e fósseis desses gêneros.

MORTON & BENNY (1990) propuseram uma nova classificação para os fungos micorrízicos arbusculares. Esse trabalho foi a base de uma mudança expressiva na taxonomia dos FMA, sendo baseado em análises cladísticas em associação com as características sobre o modo de desenvolvimento dos glomerosporos. A proposta consistiu na criação da ordem Glomales para agrupar os fungos que formavam micorrizas arbusculares, com duas subordens: (i) Glomineae com duas famílias: Glomaceae e Acaulosporaceae, e; (ii) Gigasporinae apenas com a família Gigasporaceae. A diferença entre as subordens consistia na formação de vesículas no córtex das raízes dos vegetais (Glomineae) enquanto Gigasporinae se caracteriza pela ausência de vesículas no córtex e presença de células auxiliares ao longo do micélio externo, no solo. Este trabalho foi alvo de críticas,

principalmente em relação ao gênero *Glomus* ser monofilético. Walker (1992) foi um dos primeiros a propor que o referido gênero seria polifilético.

Em 1990, ALMEIDA & SCHENCK revisaram morfológicamente as 14 espécies de *Sclerocystis*, mantendo apenas uma espécie no gênero (*Sclerocystis coremioides*), movendo cinco espécies para o gênero *Glomus* e sinonimizando outros táxons. Com o passar dos anos mais mudanças são propostas à classificação dos FMA. CAVALIER-SMITH (1998) revisando os seis reinos conhecidos propôs uma classe exclusiva para os fungos formadores de micorriza arbuscular. A classe denominada Glomomycetes foi inserida no novo filo proposto, Archemycota, um dos quatro filios do reino Fungi.

Os estudos moleculares evoluíram e o número de informações genéticas sobre os FMA foram aumentando. Com base na congruência de dados morfológicos e moleculares MORTON & REDECKER (2001) proporam duas novas famílias e dois novos gêneros: família Archaeosporaceae com o gênero *Archaeospora* (indivíduos formando glomerosporos dimórficos – acaulosporóide e glomóide – e indivíduos com glomerosporos monomórficos – acaulosporóide) e a família Paraglomeraceae com o gênero *Paraglomus* o qual possui glomerosporos do tipo glomóide. Ambos os gêneros possuem reação fraca ou ausente ao azul de tripan (Morton & Redecker, 2001; Stürmer, 2012).

Recentemente o estudo mais importante para a história da taxonomia dos FMA foi o trabalho de SCHÜBLER *et al.* (2001). Os avanços nos estudos moleculares, associados a dados morfológicos e ecológicos permitiram a elevação da ordem Glomerales em um novo filo (Glomeromycota) compreendendo os fungos micorrízicos arbusculares e uma espécie que forma simbiose com cianobactérias (*Geosiphon pyriformis*). Três novas ordens foram criadas (Paraglomerales, Archaeosporales, Diversisporales) e a família Diversisporaceae. A classificação proposta foi a seguinte::

Filo: Glomeromycota

Classe: Glomeromycetes

Ordem: Glomerales

Família: Glomeraceae (*Glomus*)

Ordem: Diversisporales

Famílias: Diversisporaceae (*Diversispora*), Acaulosporaceae (*Acaulospora* e *Entrophospora*), Gigasporaceae (*Gigaspora* e *Scutellospora*)

Ordem: Paraglomerales

Família: Paraglomeraceae (*Paraglomus*)

Ordem: Archaeosporales

Famílias: Geosiphonaceae (*Geosiphon*), Archaeosporaceae (*Archaeospora*)

Baseando-se em análises morfológicas, OEHL & SIEVERDING (2004) publicaram o gênero *Pacispora*. O gênero proposto possui glomerosporos formados terminalmente às hifas, com dois grupos de parede e cada um composto por três camadas sendo a camada média da parede interna reativa ao melzer. As hifas de sustentação desses glomerosporos são geralmente cilíndricas, com parede confluyente às camadas externa e média da parede externa do esporo. Este gênero foi incluído na família Glomeraceae.

No mesmo ano, WALKER *et al.* (2004) publicaram uma família e um gênero novos: Gerdemanniaceae e *Gerdemannia*, respectivamente e utilizaram como base para a proposição desses táxons caracteres morfológicos, análises moleculares e filogenéticas. Os glomerosporos produzidos possuíam três grupos de paredes, sendo a parede interna reativa no melzer, apresentaram escudo de germinação (Orb) e hifa de sustentação do tipo glomóide. A proposição da nova família foi suportada pelas análises moleculares da menor subunidade (SSU) rDNA que separaram bem o grupo da família Gigasporaceae.

A proposição dos dois gêneros foi baseada no *Glomus scintillans* e, como o trabalho de *Pacispora* tinha sido publicado antes do trabalho que propunha *Gerdemannia*, este teve prioridade de acordo com o Código de Nomenclatura Botânica. Assim, a família Gerdemanniaceae foi considerada ilegítima sendo substituída pela nova família Pacisporaceae (Walker et al., 2008).

SIEVERDING & OEHL (2006), tendo como bases a ontogenia e morfologia dos glomerosporos, propuseram a criação da família Entrophosporaceae com o gênero *Entrophospora* e a proposição do gênero *Kuklospora* o qual foi inserido na família Acaulosporaceae.

SPAIN et al. (2006) propuseram o gênero *Appendicispora* dentro da família Archaeosporaceae baseado em caracteres morfológicos (morfologia da parede, germinação, estruturas micorrízicas e desenvolvimento do esporo de algumas espécies). O novo gênero se diferenciava de *Archaeospora* (dois grupos de paredes) por apresentar três grupos de parede. WALKER et al. (2008), utilizando as mesmas espécies que SPAIN et al (2006), publicam uma nova família e gênero: Ambisporaceae e *Ambispora* baseado na associação de caracteres morfológicos e análises moleculares. Como os gêneros *Appendicispora* e *Ambispora* se referiam ao mesmo grupo de organismos, foi validado o primeiro gênero, mas em 2008 foi ressuscitado o gênero *Ambispora* já que *Appendicispora* seria homônimo a um gênero publicado anteriormente (*Appendicospora*) na família Xylariaceae e, portanto, invalidando o gênero proposto por SPAIN et al. (2006).

O gênero *Scutellospora* foi revisado por OEHL et al. (2008) e, com base em características morfológicas e moleculares foi dividido em cinco novos gêneros (*Scutellospora*, *Racocetra*, *Cetraspora*, *Dentiscutata*, *Quatunica* e *Fuscutata*) e três famílias (Scutellosporaceae, Racocetraceae e Dentiscutataceae).

A proposta de OEHL et al (2008) foi rejeitada por MORTON & MSISKA (2010), que, analisando características morfológica e moleculares, mantiveram apenas uma família (Gigasporaceae) com três gêneros: *Gigaspora*, *Scutellospora* e *Racocetra*. KAONONBUA et al. (2010) rejeitaram o gênero *Kuklospora*, transferindo as duas espécies então representantes do gênero para *Acaulospora*, devido a falta de evidências para separá-las em outro gênero.

Em 2010, SCHÜBLER & WALKER propuseram uma nova classificação para o filo Glomeromycota. A família Glomeraceae foi dividida em duas: Glomeraceae, com três novos gêneros: *Sclerocystis*, *Funneliformis* e *Rhizophagus*, além do gênero *Glomus*; e família Claroideoglomeraceae com o gênero *Claroideoglomus*.

Outro gênero proposto por esses autores foi o *Redeckera*. O trabalho foi realizado apenas com análises moleculares e, por esse motivo, espécies que não puderam ser testadas foram colocadas em posição incerta. Além disso, a classificação proposta suportou alguns clados propostos por OEHL et al. (2008) como o gênero *Racocetra* e sinonimizar *Intraornata* com *Archaeospora*.

Em 2011 o grupo de Oehl publica uma nova classificação para os FMA, propondo alterações a níveis de classes e ordens. Criaram as classes Archaeosporomycetes e Paraglomeromycetes com as ordens Archeosporales e Paraglomerales, respectivamente e inseriram a ordem Gigasporales na classe Glomeromycetes (Oehl et al., 2011a). Transferiram as espécies *Scutellospora pernambucana* e *S. projecturata* para um novo gênero *Orbispora*. As análises moleculares dessas espécies indicaram que o gênero proposto seria basal a *Scutellospora*, suportando que espécies com escudo germinativo no formato de espiral seria ancestral ao grupo que forma célula esporogênica (bulbo) (Oehl et al., 2011b).

Analisando espécies do então gênero *Glomus*, OEHL et al. (2011c), através da combinação de informações genéticas e observações morfológicas de material tipo, reorganizaram as espécies de *Glomus* em gêneros existentes ou novos. A família Glomeraceae passou a possuir quatro gêneros: *Glomus*, *Funneliformis*, *Simiglomus* e *Septoglomus*. Ainda

inseriram um novo gênero na família Claroideoglomeraceae, *Viscospora*. Estes autores sinonimizaram a família Entrophosporaceae com Claroideoglomeraceae e a transferiram da ordem Diversisporales para Glomerales. Proporam ainda novos gêneros: *Albahypha* na família Claroideoglomeraceae, *Tricispora* (= *Tricispora nevadensis*) inserida na família Diversisporaceae e o gênero *Sacculospora* para acomodar a espécie *Sacculospora baltica* (= *Entrophospora baltica*) inserida na nova família Sacculosporaceae. (Oehl et al., 2011d). GOTO et al. (2012) publicaram uma nova família (Intraornatosporaceae) inserida na ordem Gigasporales. Essa família foi sugerida com dois gêneros: *Intraornatospora* (*Intraornatospora intraornata*) e *Paradentiscutata*.

REDECKER et al. (2013), revendo a classificação dos FMA, propuseram alterações rejeitando alguns táxons e sinonimizando outros. Dessa forma, a classificação proposta se constitui dessa forma:

Filo: Glomeromycota

Classe: Glomeromycetes

Ordem: Diversisporales

Família: Diversisporaceae (*Tricispora*, *Otospora*, *Diversispora*, *Corymbiglomus* e *Redeckera*), Acaulosporaceae (*Acaulospora*), Sacculosporaceae (*Sacculospora*), Pacisporaceae (*Pacispora*), Gigsawasporaceae (*Scutellospora*, *Gigaspora*, *Intraornatospora*, *Paradentiscutata*, *Dentiscutata*, *Cetraspora* e *Racocetra*).

Ordem: Glomerales

Família: Claroideoglomeraceae (*Claroideoglomus*), Glomeraceae (*Glomus*, *Funneliformis*, *Septoglomus*, *Rhizophagus* e *Sclerocystis*).

Ordem: Archaeosporales

Família: Ambisporaceae (*Ambispora*), Geosiphonaceae (*Geosiphon*) e Archaeosporaceae (*Archaeospora*).

Ordem: Paraglomerales

Família: Paraglomeraceae (*Paraglomus*)

No presente trabalho, será utilizada a seguinte classificação, baseada em OEHL et al. (2011) e inclusões de GOTO et al. (2012), BLAZKOWSKI & CHWAT (2013), BLAZKOWSKI et al. (2014), MARINHO et al. (2014), SIEVERDING et al. (2014) e OEHL et al. (2014):

Filo: Glomeromycota

Classe: Glomeromycetes

Ordem: Glomerales

Família: Glomeraceae (*Glomus*, *Funneliformis*, *Simiglomus*, *Septoglomus*, *Kamienskia*, *Rhizoglomus*, *Dominikia*, *Sclerocystis*)

Ordem: Diversisporales

Famílias: Diversisporaceae (*Tricispora*, *Diversispora*, *Redeckera*, *Corymbiglomus* e *Otospora*), Acaulosporaceae (*Acaulospora* e *Kuklospora*), Entrophosporaceae (*Albahypha*, *Entrophospora*, *Claroideoglomus*, *Viscospora*), Pacisporaceae (*Pacispora*), Sacculosporaceae (*Sacculospora*)

Ordem: Gigasporales

Famílias: Gigasporaceae (*Gigaspora*), Scutellosporaceae (*Bulbospora*, *Orbispora* e *Scutellospora*), Racocetraceae (*Racocetra* e *Cetraspora*), Dentiscutataceae (*Dentiscutata*, *Fuscutata* e *Quatunica*) e Intraornatosporaceae (*Intraornatospora* e *Paradentiscutata*)

Classe: Paraglomeromycetes

Ordem: Paraglomerales

Família: Paraglomeraceae (*Paraglomerus*)

Classe: Archaeosporomycetes

Ordem: Archaeosporales

Famílias: Geosiphonaceae (*Geosiphon*), Archaeosporaceae (*Archaeospora*, *Intraspora*, *Paleospora*) e Ambisporaceae (*Ambispora*).

2.5 Taxonomia Morfológica e Molecular

A diversidade de FMA em ecossistemas estava, exclusivamente, baseada na morfologia dos glomerosporos. Estes são os maiores propágulos observados no Reino Fungi variando de 22 a 1050 µm em diâmetro (de Souza et al., 2010) e são unidades básicas de reprodução e sobrevivência desse filo, que apresentaram alta diversidade estrutural (Goto & Maia, 2006). Tipos e quantidade de paredes (Morton, 1998), estruturas germinativas, características da hifa de sustentação e modo de desenvolvimento dos glomerosporos são caracteres levados em consideração quando da identificação desses propágulos (Oelh et al., 2008; Oelh et al., 2011a). Entretanto, o acesso à diversidade dessa maneira se dá de forma parcial já que muitos glomerosporos recuperados do solo se encontram velhos ou parasitados, com falta de alguma estrutura, como no caso de espécies onde a hifa é essencial para a identificação ou, simplesmente, não estão esporulando na época das coletas.

Uma alternativa que vem sendo usada, atualmente, são as ferramentas moleculares. Apesar da genética desses fungos ainda ser pouco conhecida, os estudos nesse campo vêm avançando. Estes estudos utilizam diversos protocolos, fundamentados, principalmente na amplificação de regiões de DNA que codificam o rRNA, conhecidas como rDNA e seus espaçadores intergênicos (ITS) (Gasparotto et al., 2010).

Avanços na biologia molecular permitiram a identificação de FMA no interior das raízes das plantas hospedeiras e têm revelado uma grande diversidade em vários ecossistemas (Husband et al., 2002; Vandenkoornhuyse et al., 2002; Gollotte et al., 2004; Rosendahl & Stukenbrock, 2004).

Diferentes técnicas moleculares podem proporcionar diferentes graus de resolução para avaliar a biodiversidade dos microrganismos. Essas técnicas, de forma geral, utilizam-se de fragmentos do DNA oriundos da comunidade de FMA que colonizam as raízes. ARDRA (Análise de restrição do DNA ribossomal amplificado), DGGE (eletroforese em gel com gradiente desnaturante), TGGE (eletroforese em gel com gradiente de temperatura) ou T-RFLP (polimorfismo do comprimento dos fragmentos terminais de restrição) são algumas das técnicas mais utilizadas para acessar a diversidade de FMA. O uso de diferentes técnicas e mais de uma região do genoma pode ser a estratégia mais adequada para que os resultados obtidos sejam comparáveis com a biodiversidade ambiental.

As técnicas moleculares com base na extração, purificação e caracterização de ácidos nucleicos (principalmente as moléculas de DNA e RNA) podem proporcionar uma medida mais precisa da extensão da diversidade microbiana no solo que os métodos culturais (Johnsen et al. 2001). Algumas análises fornecem resoluções em nível intermediário e são baseadas nas diferentes sequências de genes conservados como as que codificam para os genes rDNA (Johnsen et al. 2001) Estes genes são universalmente distribuídos entre os diferentes grupos de seres vivos e constituem a molécula com maior grau de conservação existente.

Com o emprego da PCR, a qual permite a amplificação do DNA a partir de uma pequena amostra, tornou-se possível a identificação de FMA tanto em vida livre no solo (na forma de glomerosporos), como também durante a fase simbiótica micelial nos tecidos radiculares (Helgason et al. 1998; van Tuinen et al. 1998; Kjoller & Rosendahl 2000; Kowalchuk et al. 2002; de Souza et al. 2005; Ma et al. 2005; Renker et al. 2005).

Simon e colaboradores (1993 a; 1993b) foram os primeiros a aplicarem técnicas de PCR ao estudo de genes nucleares codificadores da subunidade 18S rDNA, desenhando os *primers* (oligonucleotídeo) “específicos” para Glomeromycetes os quais são capazes de amplificar o DNA fúngico em raízes colonizadas por FMA.

A utilização dos genes ribossomais (rRNA) apresentaram inúmeras vantagens para as análises de diversidade microbiana: são unidades repetidas e conservadas no genoma de todos os organismos eucariotos (Débaud et al., 1999), possuem muitas cópias, fato que auxilia a amplificação (van Tuinen et al., 1998a; 1998b); as regiões são muito conservadas (18S, 5.8S e 28S) e com isso, o desenho dos ‘*primers*’ é facilitado (Gardes & Bruns, 1993); essas regiões são muito informativas já que estão separadas por sequências divergentes, de alta variabilidade, com polimorfismo na sequência e tamanho, devido deleções e inserções e, representam uma impressão genômica única para cada fungo (Gardes & Bruns, 1993). O gene mais conservado é o 18S e por esse motivo é o mais utilizado nas análises filogenéticas de organismos relacionados distintamente na evolução, enquanto o 28S é mais variável e permite a comparação entre gêneros distintos ou até espécies distintas. Quando a molécula de rDNA não oferece variação suficiente para diferenciar linhagens dentro de espécies são utilizadas as sequências intergênicas espaçadoras (ITS) entre o 28S e o 18S do rDNA (Gasparotto et al., 2010).

As técnicas de biologia molecular têm revolucionado os estudos ecológicos dos FMA. O uso de ácidos nucleicos, a partir de seu isolamento e caracterização, facilita o acesso da diversidade, pois não requerem o cultivo dos organismos, identificando a comunidade microbiana diretamente de amostras de campo (Borges, 2010). Melhorias nessas técnicas podem favorecer a identificação direta da população de FMA nas plantas (Husband et al., 2002a; 2002b).

2.6 Ecologia de FMA

Os fungos micorrízicos arbusculares são organismos sensíveis às alterações ambientais e podem ser utilizados como indicadores biológicos de qualidade do solo (Schloter et al., 2003). Quando um solo passa a ser explorado de forma mais intensificada a abundância e comunidade de FMA são afetadas (Oehl et al., 2003). A mudança na comunidade de FMA pode refletir alterações ambientais (sazonalidade), alterações de manejo (agricultura orgânica ou tradicional) e por isso, a inclusão de avaliações da diversidade e dinâmica dos FMA é um importante ponto em estudos ecológicos.

Metodologias que indicam presença e atividade dos FMA (quantificação de glomerosporos, colonização micorrízica das raízes, número mais provável, potencial de inóculo e quantificação dos teores de glomalina produzida) em associação com a identificação de espécies, oferecem informações sobre a diversidade a níveis estruturais e funcionais desses organismos (Schloter et al., 2003).

Apesar da importância dos estudos ecológicos para esse grupo de microrganismos, há uma limitação que reside em sua natureza. Os FMA são biotróficos obrigatórios, pois, para completar seu ciclo de vida, precisam estar associados às raízes de plantas vivas as quais provêm nutrientes necessários para seu desenvolvimento (Siqueira et al., 1989). Os glomerosporos dos FMA presentes no solo recebem sinalizações químicas das raízes das plantas e, através do crescimento da hifa e criação de apressório conseguem penetrar nas raízes do simbionte. Através da diferenciação das hifas se inicia a formação da estrutura chave do mutualismo desse grupo, os arbúsculos. As hifas continuam a crescer intra e extra radicular e, são as responsáveis pela formação de novos glomerosporos, concluindo o ciclo de vida do fungo micorrízico (Moreira & Siqueira, 2006).

Fatores como o ambiente e o hospedeiro simbiote são capazes de influenciar a ecologia micorrízica (Brundrett, 1991). As propriedades do solo, forma de dispersão, competição interespecífica e condições climáticas são os principais fatores que afetam a diversidade dos FMA (Lekberg et al., 2007; Ji et al., 2012).

Alguns estudos demonstram que a produção dos glomerosporos possui uma dinâmica sazonal e o padrão é variável de acordo com a espécie (Morton et al., 2004). Há relatos de que haja um acréscimo no número de glomerosporos na estação chuvosa quando comparada à estação seca (Allen et al., 1998; Silva et al., 2006; Nobre et al., 2010). De acordo com CAPRONI et al. (2003) o número de glomerosporos tende a diminuir com as chuvas, já que estes são estruturas de resistência e outras estruturas tais como as hifas estão mais abundantes.

As diversas espécies de FMA apresentaram comportamentos sazonais de esporulação diferenciados. Relatos na literatura indicam que *Gigaspora gigantea* possui sazonalidade na esporulação, com elevada quantidade de glomerosporos no outono e germinação no verão (Bever et al., 2001). O mesmo trabalho indicou que *Acaulospora colossica* possuía comportamento inverso, esporulando bastante no verão e com aumento da germinação no inverno.

É de grande importância o conhecimento sobre a ecologia dos FMA, em especial em relação à esporulação já que os glomerosporos são as estruturas utilizadas para a identificação das espécies do filo. Além disso, conhecer e determinar o período onde a colonização micorrízica é elevada pode indicar os períodos onde os vegetais estejam mais dependentes da simbiose e em que os benefícios nutricionais seriam mais expressivos (Sanders & Fitter, 1992).

Qualquer propágulo de fungo micorrízico (glomerosporos, fragmentos de raízes ou micélio) é capaz de colonizar as raízes de um simbiote vegetal. Essa capacidade, que as estruturas possuem em formarem associações micorrízicas, é conhecida como potencial micorrízico do inóculo (MIP) do solo ou, simplesmente, como potencial de micorrização (Koske et al., 2008).

Além da sazonalidade, atributos químicos e físicos do solo podem afetar diretamente a comunidade de FMA. O pH, teores de nutrientes e matéria orgânica no solo influenciam diretamente nesses organismos (Moreira & Siqueira, 2006).

O impacto desses fungos no funcionamento dos ecossistemas é bastante significativo já que os FMA têm potencial para influenciar tanto no ciclo do carbono como no do fósforo (Sanders et al., 1996). Caracterizar a comunidade de FMA em áreas naturais e antropizadas se faz importante para a proteção e conservação destas espécies, pois, algumas são mais sensíveis que outras às perturbações (Turrini et al., 2010). Conhecer a dinâmica das comunidades de plantas-FMA pode ajudar a entender processos de sucessão vegetal e contribuir para a recuperação de florestas tropicais, devendo levar em consideração a identificação das espécies, o papel da fauna como agentes dispersores e predadores e o efeito dos parâmetros abióticos do solo (Ramos-Zapata et al., 2011).

2.7 Glomalina

A identificação dos FMA sempre foi um dos grandes entraves nos estudos ecológicos desse grupo de fungos. Tendo em vista esse problema, WRIGHT et al. (1987) iniciaram estudos com anticorpos para a detecção de FMA, mas os resultados obtidos demonstraram que os anticorpos não eram capazes de reconhecer sequências que possibilitassem a diferenciação de espécies.

Os estudos avançaram nesse campo com a intenção de entender as propriedades desses antígenos. WRIGHT et al. (1996) utilizaram o anticorpo monoclonal MAb32B11, obtido de

Glomus intraradices para visualizar o antígeno. Usando imunofluorescência indireta com este anticorpo, a glomalina foi revelada em hifas fúngicas de FMA, em raízes colonizadas, matéria orgânica, partículas do solo e dentro das células das raízes (Wright et al., 1996; Wright & Upadhyaya, 1999; Wright & Anderson, 2000). No mesmo estudo foi sugerido que a glomalina fosse uma proteína e iniciou a busca por metodologias de extração tanto de solo quanto de micélio (Wright et al., 1996; Wright & Upadhyaya, 1998). Os autores ainda demonstraram que tal antígeno possuía natureza protéica por possuir bandas eletroforéticas similares às bandas observadas em proteínas do solo extraídas pelo método de Bradford (Wright & Upadhyaya, 1999) e pelo antígeno apresentar resultado positivo para lectina ligadora (Wright et al., 1996) e eletroforese capilar (Wright et al., 1998).

PURIN & RILLIG (2008) trabalhando com *Glomus intraradices*, em culturas *in vitro* e utilizando anticorpo monoclonal, MAb32B11, detectaram produção de glomalina em células citoplasmáticas das paredes das hifas e dos glomerosporos de FMA.

A quantidade de glomalina é abundante (variando de 2 a 15 mg.g⁻¹ de proteína reativa por grama de solo) e já foi detectada em diversos ambientes (Wright & Upadhyaya, 1998; Wright et al., 1999; Rillig et al., 2001).

De acordo com as diferentes formas de quantificação, RILLIG (2004) introduziu nova nomenclatura para identificar a glomalina do solo, substituindo a então proposta por Wright & Upadhyaya (1998). Se ela for quantificada via método de ELISA é chamada de GRSP (glomalin related soil-protein - proteína do solo relacionada com a glomalina). Caso ela seja quantificada pelo método de Bradford, a concentração de glomalina total é denominada BRSP (Bradford related soil protein - proteína do solo relacionada com Bradford) e representa a concentração de glomalina total no solo. (Tabela 1)

A principal função atribuída à glomalina é a de agregação do solo e essa proteína é bastante sensível às alterações no uso do solo, podendo ser utilizada como bom indicador de qualidade. Contudo, RILLIG et al. (2003) e PURIN, (2005) conferem papel secundário da glomalina na agregação do solo. Devido à ligação da BRSP com os FMA, vários estudos utilizam os teores dessa substância para identificar a presença desses fungos em culturas de casa de vegetação (Wright et al., 1996).

A ecologia dos FMA é um campo com limitada amplitude de mensuração da abundância e atividade. Isso é feito através da identificação dos glomerosporos de campo, do comprimento do micélio externo, a colonização radicular e do potencial de inoculação. Todas essas variáveis tem limitações técnicas. A inclusão da BRSP dentre as variáveis de ecologia dos FMA é interessante, pois a quantificação da proteína é rápida, objetiva, barata e relativamente fácil de ser conduzida (Purin & Rillig, 2007).

Tabela 1 - Terminologias utilizadas para as diversas frações protéicas do solo e glomalina. Adaptado de Rillig (2004)

Termos propostos por Wright	Termos atuais	Justificativa
TG (glomalina total)	BRSP (proteína total reativa pelo método de Bradford)	O método de Bradford não é específico para uma única proteína
EEG (Glomalina facilmente extraível)	EE-BRSP (proteína facilmente extraível reativa pelo método de Bradford)	O método de Bradford não é específico para uma única proteína
IRTG (Glomalina total)	IRSP (fração de BRSP reativa)	Possibilidade de reatividade

imunoreativa)	com MAb32b11)	cruzada com o anticorpo
IREEG (Glomalina facilmente extraível imunoreativa)	EE-IRSP (fração de EE-BRSP reativa MAb32b11)	Possibilidade de reatividade cruzada com o anticorpo
Glomalina	GRSP (glomalina e proteínas do solo relacionadas)	O termo glomalina deve ser utilizado apenas para o nome da proteína como produto do gene.

3. CAPÍTULO I

VARIAÇÕES DA AGREGAÇÃO DO SOLO, TEORES DE GLOMALINA, CARBONO ORGÂNICO TOTAL E FRACIONAMENTO QUÍMICO DA MATÉRIA ORGÂNICA EM DIFERENTES FISIONOMIAS NA CHAPADA DO ARARIPE

1. RESUMO

Vários fatores estão envolvidos na formação dos agregados do solo, sendo estes de origem química, física e biológica. A glomalina, uma proteína produzida por fungos micorrízicos arbusculares (FMA), é uma das substâncias associadas com a agregação do solo. O objetivo desse estudo foi quantificar os teores de carbono orgânico do solo e glomalina em diferentes fitofisionomias no bioma Caatinga, na Chapada do Araripe, CE e verificar sua relação com a estabilidade dos agregados e com a sazonalidade. Foram realizadas coletas de amostras de solo, em épocas seca e chuvosa, em três fitofisionomias (Brejo de altitude, Carrasco e Cerradão) na Floresta Nacional do Araripe para a determinação da estabilidade dos agregados, teores de carbono total, carbono particulado e glomalina. Os teores de carbono orgânico e glomalina facilmente extraível (EE-BRSP) apresentaram padrão sazonal, sendo seus maiores teores observados na época seca. BRSP não apresentou variações sazonais significativas sugerindo ser EE-BRSP mais sensível às estações do ano. As maiores correlações foram observadas entre teores de carbono (COT e COP) e as frações da glomalina (EE-BRSP e BRSP) indicando que a proteína influencia diretamente nas concentrações de carbono no solo da Chapada do Araripe sendo um importante componente de sua agregação. As frações C-FAF e C-HU apresentaram comportamento sazonal, sendo os maiores teores quantificados no período seco. Além disso, a fração humina é a mais abundante no solo das fisionomias da Chapada do Araripe.

Palavras chave: Agregação do solo. Indicadores de qualidade do solo. BRSP. Caatinga.

2. ABSTRACT

Several factors are involved in the formation of soil aggregates, specially chemical, physical and biological origin. The glomalin, a protein produced by arbuscular mycorrhizal fungi (AMF), is one of the substances associated with soil aggregation. The aim of this study was to quantify the levels of soil organic carbon and glomalin in different vegetation types in Caatinga biome in Araripe plateau - Ceará state, and verify the relationship with aggregate stability and seasonality. Soil samples were carried out in dry and rainy seasons, in three vegetation types (Brejo de altitude, Carrasco and Cerradão) in Araripe National Forest to determine the water stability aggregate, soil total carbon, particulate carbon and glomalin. The amount of soil organic carbon and EE-BRSP had and seasonal comportament and the higher rates were observed in dry season. The higher correlations were observed between carbon amount (COT and COP) and the glomalin fractions (EE-BRSP and BRSP) suggesting that the protein has directly influence on the concentrations of soil carbon in the Araripe plateau, being a important component on the aggregation. The humic fractions C-FAF and C-HU had also seasonal comportament, and the high amounts were quantified during dry season. The humin fraction is the more abundant in soils of the Araripe plateau.

Key Words: Soil aggregate. Soil quality indicators. BRSP. Caatinga.

3. INTRODUÇÃO

Os agregados compõem a estrutura do solo e são importantes para a manutenção da sua porosidade e aeração, para o crescimento vegetal e microbiano, além da infiltração da água e controle dos processos erosivos (Bastos et al., 2005). Adicionalmente, conferem proteção química e física contra a mineralização da matéria orgânica, visto que reduzem a ação de compostos orgânicos de microrganismos, exsudatos e difusão do oxigênio, além de contribuir de forma significativa no armazenamento de carbono e ciclagem de nutrientes (Lützow et al., 2006). A agregação do solo pode ser alterada diretamente pelo seu manejo ou, indiretamente, por fatores bióticos e abióticos que afetam a sua estabilidade (Barto et al., 2010), sendo, portanto considerada indicador físico de qualidade dos solos.

O processo de formação dos agregados é influenciado por diversos fatores tais como: qualidade e teor de argila, cátions polivalentes, óxido-hidróxidos de ferro e óxidos de alumínio, matéria orgânica, exsudatos radiculares, ação compressiva de raízes e hifas e ciclos de umedecimento e secagem (Castro Filho et al., 1998).

Alguns grupos de microrganismos estão relacionados com processos de agregação dos solos. Dentre estes grupos mencionam-se os fungos micorrízicos arbusculares (FMA), filo *Glomeromycota* (Schußler et al., 2001). Sua importância se dá não apenas pelo efeito mecânico das hifas, mas também pela produção da glicoproteína de natureza hidrofóbica denominada glomalina. Dentre as principais funções desta proteína, citam-se o auxílio na proteção das hifas fúngicas à dessecação e na agregação das partículas minerais e orgânicas presentes no solo (Barto et al., 2010; Peng et al., 2013). A natureza da glomalina (resistência ao calor, insolubilidade e hidrofobicidade) garante sua função cimentante, sendo usualmente utilizada em estudos de agregação devido a forte correlação com a estabilidade de agregados (Peng et al., 2013).

A relevância da glomalina em solos se dá, principalmente, pela associação ao carbono, contribuindo para aumento de seu reservatório no solo (Driver et al., 2005). Usualmente essa proteína é separada em duas frações, fração 1 ou facilmente extraível e fração 2 ou total (extraída com dificuldade) (Wright & Upadhyaya, 1996). A primeira fração teria referência com a glomalina recentemente produzida pelos fungos, enquanto a segunda resultaria do acúmulo da primeira ao longo do tempo, mais recalcitrante influenciada por ações do intemperismo (Wu et al., 2014; Koide & Peoples, 2013; Wright & Upadhyaya, 1996).

Lacunhas no protocolo de extração da glomalina e, principalmente, quantificação, levam a debates sobre a metodologia. PREGER et al. (2007) e HONTORIA et al. (2009) assumem que ácidos húmicos e outras proteínas de solo são extraídas pelo citrato de sódio usado no processo de extração da proteína dos FMA, além de polifenóis, e que a determinação com reagente de Bradford não corresponderia à quantidade de glomalina nos solos. KOIDE & PEOPLES (2013), baseados nessa discussão, concluíram que o uso deste reagente na quantificação de glomalina é eficiente.

A dinâmica dos FMA é afetada por fatores abióticos (temperatura, umidade, pH, fertilidade do solo) e bióticos (organismos de solo e vegetação) (Moreira & Siqueira, 2006). A Floresta Nacional do Araripe possui diferentes coberturas vegetais com características marcantes entre si, que podem afetar o comportamento dos FMA, em especial a produção de glomalina.

Os objetivos do estudo foram estimar em duas estações do ano a estabilidade de agregados dos solos e quantificar os teores de carbono orgânico e glomalina, correlacionando-os com agregação do solo de três fitofisionomias na Chapada do Araripe – CE, bioma Caatinga.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Áreas de Estudo

O estudo foi realizado na Floresta Nacional do Araripe – FLONA Araripe – (38.000 ha), localizada na chapada homônima (39° 28' W – 39° 32' W e 7° 14' S - 7° 17'S). O clima da região apresenta duas estações bem distintas, sendo caracterizado como Aw equatorial segundo Köppen. A temperatura média anual é de 25,7 °C e precipitação média de 754,4 mm, com altitude média de 800 m (Santos et al., 2009). Os solos da região são predominantemente classificados como Latossolos Vermelho-Amarelo (Jacomine et al., 1973). A figura 08 apresenta o gráfico de distribuição das chuvas durante as épocas de coleta.

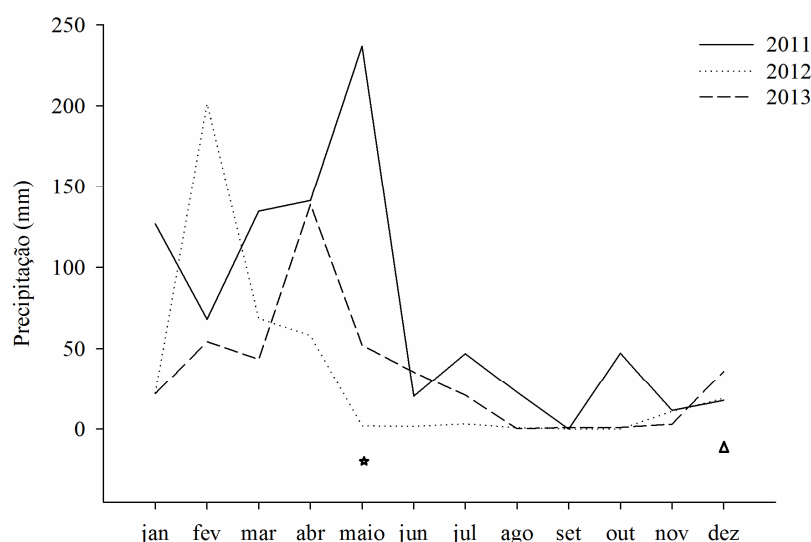


Figura 08 – Precipitação observada durante anos de 2011, 2012 e 2013 na Chapada do Araripe – CE. Δ Coleta Dez/2011 – fim época seca, \star Coleta Maio/2012 – fim época chuvosa. Fonte: FUNCEME

Foram selecionadas três fitofisionomias para a realização do estudo na FLONA-Araripe: Floresta Subperenifolia Tropical Plúvio-Nebular – Brejo de Altitude (BA); Floresta Subcaducifolia Tropical Xeromorfa – Cerradão (CE); e Carrasco (CA).

Segundo ANDRADE-LIMA (1981) os brejos de altitude são ‘ilhas’ de floresta úmida estabelecidas na região semi-árida, sendo cercadas por uma vegetação de Caatinga. Carrasco é um termo que tem sido utilizado para designar diferentes tipos de vegetação do Nordeste do Brasil e fora dele, o qual abrange Caatingas arbustivas de solos pedregosos, capoeiras (vegetação secundária) e áreas de vegetação aberta com arbustos de pequeno porte, que ocorrem nas chapadas de Minas Gerais (Araújo et al., 1998). O cerradão ou savana florestada é uma das subunidades fitogeográficas do Cerrado. Possui fisionomia florestal, com árvores de até 15 metros de altura e dossel contínuo, ausência de gramíneas e sua ocorrência é predominante em clima tropical estacional (Veloso et al., 1991). FERNANDES (1990) estudando vegetação do Estado do Ceará realizou levantamento de espécies vegetais de ocorrência na FLONA-Araripe (Tabela 02).

Tabela 02 - Levantamento de espécies vegetais em áreas da FLONA-Araripe. Modificado de Fernandes 1990. *BA – Brejo de altitude, CA – Carrasco, CE – Cerradão.

Espécies vegetais	Fitofisionomias			Espécies vegetais	Fitofisionomias		
	BA*	CA	CE		BA	CA	CE
<i>Acacia langsdorfii</i>	-	X	-	<i>Enterolobium contortisiliquum</i>	X		
<i>Agonandra brasiliensis</i>	-	-	X	<i>Erytroxylum barbatum</i>			X
<i>Anacardium microcarpum</i>	-	X	X	<i>Gochinatia lucida</i>		X	X
<i>Andira humilis</i>	-	X	-	<i>Hancornia speciosa</i>			X
<i>Anemopaegma scandens</i>	-	-	X	<i>Hirtella glandulosa</i>	X		
<i>Annona coriácea</i>	-	X	X	<i>Hymenaea eriogyne</i>		X	
<i>Atropha mutabilis</i>	-	X	-	<i>Hymenaea maranhensis</i>			X
<i>Bauhinia forficata</i>	X	-	-	<i>Hymenaea martiana</i>	X		
<i>Bauhinia macrostachya</i>	X	-	-	<i>Jacaranda brasiliensis</i>		X	
<i>Bocoa molis</i>	-	X	-	<i>Luetzelburgia auriculata</i>		X	
<i>Bowdichia virgilioides</i>	-	-	X	<i>Mimosa verrucosa</i>		X	
<i>Brosimum gaudichaudii</i>	X	-	-	<i>Parkia platycephala</i>			X
<i>Byrsonima crassifolia</i>	-	-	X	<i>Piptadenia obliqua</i>		X	
<i>Byrsonima sericea</i>	-	-	X	<i>Pirostegia venusta</i>	X		
<i>Caryocar coriaceum</i>	-	-	X	<i>Pithecellobium polycephalum</i>	X		
<i>Cassia ferruginea</i>	X	-	-	<i>Roupala montana</i>			X
<i>Chuquiragua sprengleriana</i>			X	<i>Senna gardeneri</i>		X	
<i>Cratylia floribunda</i>	X			<i>Senna rugosa</i>			X
<i>Croton argyrophyloides</i>		X		<i>Tabebuia ochracea</i>		X	X
<i>Croton jacobinensis</i>	X			<i>Vismia guianensis</i>	X		
<i>Croton zehntneri</i>		X		<i>Zanthoxylum gardneri</i>			X
<i>Dalbergia nigra</i>			X	<i>Zanthoxylum rhoifolium</i>	X		

4.2 Amostragem e processamento das amostras

Foram realizadas duas coletas durante o final das estações seca (dezembro/2011) e chuvosa (maio/2012). Seis trincheiras (0,60 x 0,40 m) foram abertas em cada uma das três fisionomias vegetais estudadas para a coleta de amostras de solos e agregados nas profundidades 0,00-0,05, 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m, perfazendo um total de 54 amostras de solos e agregados por estação. O solo foi utilizado para análises de fertilidade (Embrapa, 1997) e análise textural (Day, 1965). Os torrões foram passados em peneiras de 8 e 4 mm de diâmetro de malha conforme Embrapa (1997). Os agregados retidos na peneira de 4 mm foram utilizados para as análises.

4.3 Agregação do Solo e Carbono Orgânico Total (COT)

Pesaram-se vinte e cinco gramas de cada amostra de agregados retida na peneira de 4 mm e submeteu-se à análise de determinação da distribuição dos agregados via úmida, utilizando o aparelho de oscilação vertical de Yooder (Kemper & Chepil, 1965). Foi utilizado um jogo com cinco peneiras (2; 1; 0,5; 0,25 e 0,105 mm). O material presente em cada peneira, após a tamisação em água por 15 minutos no aparelho de Yooder, foi seco a 45° C em estufa até atingir massa constante, pesados e utilizados para cálculo dos índices de agregação. Após a determinação do diâmetro médio ponderado (DMP) e diâmetro médio geométrico (DMG), os agregados retidos na peneira de 2 mm foram macerados, passados em

peneira de 53 μm e utilizados para a determinação dos teores de carbono orgânico total (COT) segundo YEOMANS & BREMNER (1988).

4.4 Glomalina e Carbono Orgânico Particulado (COP)

Parte dos agregados não submetidos à análise de estabilidade foram macerados para se determinar teores de proteína do solo reativa ao Bradford (BRSP) em suas duas frações (facilmente extraível e total) (Wright & Upadhyaya, 1996). Pesou-se um grama de solo para cada fração e foram adicionados 8 mL de citrato de sódio (20 μM a pH 7,0 e 50 μM a pH 8,0) e submetidos ao autoclave por 30 minutos e por 1 hora, respectivamente para fração facilmente extraível e total. Após autoclavagem, procedeu-se centrifugação dos extratos por 15 e 10 minutos, de acordo com a fração em determinação a 5000 RPM. Para a fração total foram realizados quantos ciclos necessários até que o extrato apresentasse cor amarelo claro. Os teores de proteína foram determinados a partir do método de determinação de proteínas de Bradford (Bradford, 1976). O carbono orgânico particulado (COP) foi determinado segundo CAMBARDELLA & ELLIOT (1992) e a determinação do carbono na fração areia por YEOMANS & BREMNER (1988).

4.5 Fracionamento Químico da Matéria Orgânica do Solo (MOS)

Para o fracionamento e quantificação das frações das substâncias húmicas foi utilizada a técnica de solubilidade diferencial (Swift, 1996), obtendo-se o carbono orgânico nas frações ácido fúlvico (C-FAF), fração ácido húmicos (C-FAH) e humina (C-HUM).

A determinação quantitativa de carbono nos extratos das frações ácido fúlvico, ácido húmico e humina foram feitas segundo método de YEOMANS & BREMNER (1988). Foram calculados os valores absolutos de cada fração, em grama de carbono por quilograma de solo conforme SWIFT et al. (1996) com adaptações de BENITES et al. (2003).

4.6 Análises estatísticas

As análises foram arranjadas em delineamento inteiramente casualizado, esquema fatorial (3 áreas x 2 coletas x 3 profundidades) com seis (6) repetições. Os dados obtidos foram submetidos a análises de normalidade da distribuição dos erros (Lilliefors) e homogeneidade da variância (Cochran e Bartlett). Os dados normais foram submetidos à análise de variância e os testes de Bonferroni e Tukey ao nível de 5% de significância. Os dados não normais foram submetidos ao teste de Kruskal-Wallis a 5% de significância. Além disso, estimou-se a correlação de Pearson para os teores de glomalina, agregação e carbono. Utilizou-se o programa SAEG 5.0 para os testes estatísticos e correlação de Pearson.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A variação das propriedades químicas ao longo do perfil entre época seca e chuvosa para as três fisionomias estudadas é apresentada na tabela 03.

Tabela 03 - Caracterização química dos solos das fitofisionomias estudadas na época seca (dezembro/2011) e chuvosa (maio/2012).

Época seca											
Profundidade 0,00 - 0,05 m											
Área	pH	N	P	Ca	Mg	Al	K	Na	H+Al	SB	CTC
	H ₂ O	g.kg ⁻¹	mg.dm ⁻³	----- cmol _c .dm ⁻³ -----							
BA*	4,45b	2,24b	1,20b	0,00b	0,45 ^{ns}	2,32 ^{ns}	4,85 ^{ns}	5,99b	11,22b	11,29b	22,51b
CA	5,16a	1,30 ^{ns}	1,43b	0,00b	0,98 ^a	0,57b	4,51b	0,68b	5,20 ^{ns}	6,18b	11,37b
CE	5,16a	1,61 ^a	1,43a	0,00 ^{ns}	0,73 ^a	0,98 ^{ns}	4,21 ^{ns}	1,43a	5,53a	6,36 ^{ns}	11,89 ^{ns}
Profundidade 0,05 - 0,10 m											
Área	pH	N	P	Ca	Mg	Al	K	Na	H+Al	SB	CTC
	H ₂ O	g.kg ⁻¹	mg.dm ⁻³	----- cmol _c .dm ⁻³ -----							
BA	4,81b	2,20b	0,77b	0,00a	0,37 ^{ns}	1,97 ^{ns}	3,93 ^{ns}	4,78b	9,41b	9,07b	18,47b
CA	4,80b	1,18 ^{ns}	0,91b	0,00a	0,82 ^a	0,75a	3,51b	0,57b	5,50 ^{ns}	4,89b	10,39b
CE	5,01b	1,90 ^a	0,98a	0,00 ^{ns}	0,55 ^a	1,12 ^{ns}	3,90 ^{ns}	1,60a	5,86a	6,05 ^{ns}	11,91 ^{ns}
Profundidade 0,10 - 0,20 m											
Área	pH	N	P	Ca	Mg	Al	K	Na	H+Al	SB	CTC
	H ₂ O	g.kg ⁻¹	mg.dm ⁻³	----- cmol _c .dm ⁻³ -----							
BA	4,41b	2,16b	0,77b	0,00a	0,40 ^{ns}	1,92 ^{ns}	3,89 ^{ns}	3,74b	10,78a	7,53b	18,31b
CA	4,40b	1,27 ^{ns}	0,85b	0,00a	0,68 ^a	0,83a	3,51b	0,33b	5,67 ^{ns}	4,32b	9,99b
CE	4,91b	1,57 ^a	0,78b	0,00 ^{ns}	0,48 ^a	1,17 ^{ns}	3,28 ^{ns}	1,43b	5,89a	5,20 ^{ns}	11,08 ^{ns}
Época Chuva											
Profundidade 0,00 - 0,05 m											
Área	pH	N	P	Ca	Mg	Al	K	Na	H+Al	SB	CTC
	H ₂ O	g.kg ⁻¹	mg.dm ⁻³	----- cmol _c .dm ⁻³ -----							
BA	5,17a	4,10 ^a	3,01a	0,16 ^a	0,48 ^{ns}	2,55 ^{ns}	8,82 ^{ns}	9,35a	15,89a	18,80a	34,70a
CA	5,00b	1,26 ^{ns}	2,75a	0,14 ^a	0,57b	0,75a	6,79a	2,16a	4,47 ^{ns}	9,65a	14,12a
CE	5,06a	1,29 ^a	2,11a	0,04 ^a	0,38b	0,95 ^{ns}	4,63 ^{ns}	1,94a	5,05a	6,98 ^{ns}	12,03 ^{ns}
Profundidade 0,05 - 0,10 m											
Área	pH	N	P	Ca	Mg	Al	K	Na	H+Al	SB	CTC
	H ₂ O	g.kg ⁻¹	mg.dm ⁻³	----- cmol _c .dm ⁻³ -----							
BA	5,30a	3,40 ^a	2,27a	0,05 ^a	0,28 ^{ns}	1,78 ^{ns}	7,39 ^{ns}	9,13a	12,38a	16,84a	29,21a
CA	5,04a	0,95 ^{ns}	2,55a	0,09 ^a	0,54b	0,89a	6,43a	2,27a	5,47 ^{ns}	9,33a	14,80a
CE	5,29a	1,04b	1,44a	0,02 ^{ns}	0,28b	1,05 ^{ns}	4,27 ^{ns}	1,94a	4,76b	6,50 ^{ns}	11,26 ^{ns}
Profundidade 0,10 - 0,20 m											
Área	pH	N	P	Ca	Mg	Al	K	Na	H+Al	SB	CTC
	H ₂ O	g.kg ⁻¹	mg.dm ⁻³	----- cmol _c .dm ⁻³ -----							
BA	5,49a	3,41 ^a	2,13a	0,02 ^a	0,27 ^{ns}	1,59 ^{ns}	6,43 ^{ns}	9,35a	11,61a	16,06a	27,66a
CA	5,02a	1,31 ^{ns}	2,09a	0,04 ^a	0,48 ^a	0,91a	5,83a	2,48a	5,62 ^{ns}	8,83a	14,45a
CE	5,36a	1,50 ^a	1,80a	0,00 ^{ns}	0,25b	1,10 ^{ns}	3,79 ^{ns}	2,27a	5,18a	6,30 ^{ns}	11,49 ^{ns}

*BA – Brejo de altitude, Ca – Carrasco e CE – Cerradão. Média das seis trincheiras. Letras diferentes demonstram diferença estatística significativa entre estações para mesma profundidade pelo teste de Tukey à 5% de probabilidade. NS = Não significativo.

Os teores de P, SB e CTC em todas as profundidades e fitofisionomias foram mais elevados na época chuvosa quando comparados à época seca. Teores de K em CA e Na em BA e CA também foram maiores na época chuvosa. Os valores de pH em CA e CE, nas profundidades 0,05-0,10 e 0,10-0,20, foram superiores durante a época chuvosa.

Os maiores teores de N foram encontrados durante a época chuvosa em BA e durante o período seco em CE. Em BA e CA as maiores quantidades de Ca foram quantificadas durante época chuvosa apenas na profundidade 0,00-0,05 m, assim como teores de Al em CA. Os teores de Mg em CA e CE e H+Al em CE foram superiores durante a época seca.

O pH do solo nas fitofisionomias estudadas é baixo (variando de 4,4 a 5,49), com teores de Al e a acidez potencial (H+Al) de médio a alto (tabela 03). Os baixos valores de pH podem estar relacionados com a lixiviação de bases ou absorção pelas árvores, onde em solos mais intemperizados apresenta maior expressão por serem pobres em nutrientes e com baixo poder de tamponamento (Mafra et al., 2008), como é o caso dos solos da FLONA Araripe.

Tabela 04 - Análise textural dos solos das fitofisionomias estudadas na época seca (dezembro/2011) e chuvosa (maio/2012).

Época Seca									
Área	0,00 - 0,05 m			0,05 - 0,10 m			0,10 - 0,20 m		
	Areia	Argila	Silte	Areia	Argila	Silte	Areia	Argila	Silte
	----- g.kg ⁻¹ -----			----- g.kg ⁻¹ -----			----- g.kg ⁻¹ -----		
BA*	300	454	246	377	587	36	348	487	165
CA	302	668	30	262	642	96	250	670	80
CE	360	536	104	262	616	19	270	560	170
Época Chuvosa									
Área	0,00 - 0,05 m			0,05 - 0,10 m			0,10 - 0,20 m		
	Areia	Argila	Silte	Areia	Argila	Silte	Areia	Argila	Silte
	----- g.kg ⁻¹ -----			----- g.kg ⁻¹ -----			----- g.kg ⁻¹ -----		
BA	371	552	77	324	471	205	351	527	122
CA	279	610	111	312	651	37	332	628	40
CE	433	557	10	396	590	14	424	571	5

*BA – Brejo de altitude, CA – Carrasco e CE – Cerradão. Média das seis trincheiras.

Os valores do diâmetro médio ponderado (DMP) dos agregados em época chuvosa foram superiores aos obtidos em época seca, apresentando incremento de 9,24 % em seus valores (Tabela 05). Houve diferenças estatísticas significativas entre as fisionomias para mesma época e profundidade, sendo brejo de altitude e carrasco os ambientes com maiores valores de DMP quando comparadas com CE. Em relação às profundidades em mesma fitofisionomia, os valores obtidos não foram significativamente diferentes.

O diâmetro médio geométrico (DMG) foi superior na época chuvosa, com exceção de BA na profundidade 0,00 – 0,05 m onde o maior valor (4,73) foi obtido em época seca. Estatisticamente foram observadas diferenças entre as fitofisionomias estudadas para mesma profundidade (Tabela 05). Os valores de DMG observados em BA foram sempre superiores às demais fisionomias, demonstrando que nesse ambiente os agregados de maior classe (> 2 mm) estão presentes em maior quantidade.

Tabela 05 - Diâmetro médio ponderado (DMP) e diâmetro médio geométrico (DMG) em diferentes profundidades (0,00 - 0,05, 0,05 - 0,10 e 0,10 - 0,20 m) em brejo de altitude (BA), carrasco (CA) e cerradão (CE) na Chapada do Araripe durante estação seca (dez/2011) e chuvosa maio/2012).

Fitofisionomias	Estação Seca		Estação Chuvosa	
	DMP	DMG	DMP	DMG
Profundidade 0,00 - 0,05 m				
----- (mm) -----				
BA	4,18 aB	4,73 aA	4,71 aA	4,54 aB
CA	4,02 aB	3,21 bB	4,23 aA	3,72 bA
CE	3,12 bB	1,85 cB	3,98 bA	2,77 cA
Profundidade 0,05-0,10 m				
----- (mm) -----				
BA	4,16 aB	4,28 aB	4,78 aA	4,50 aA
CA	4,33 aB	3,75 bB	4,38 aA	3,93 bA
CE	3,27 bB	2,16 cB	3,68 bA	2,53 cA
Profundidade 0,10-0,20 m				
----- (mm) -----				
BA	4,17 aB	4,75 aB	4,88 aA	4,89 aA
CA	4,30 aB	3,83 bB	4,50 aA	3,97 bA
CE	3,84 bB	2,73 cB	3,89 bA	2,90 cA

Letras minúsculas demonstram diferenças estatísticas para mesma profundidade entre as diferentes fitofisionomias. Letras maiúsculas demonstram diferenças entre as estações estudadas. Teste t - Bonferroni a 5% de probabilidade. Média das seis trincheiras.

Um solo bem estruturado apresenta agregados estáveis às ações mecânicas e, quanto maior forem os agregados, maior foram os espaços porosos entre os agregados, conferindo maior taxa de infiltração da água e tornando o solo menos susceptível a processos erosivos (Castro Filho et al., 1998). Os solos das fitofisionomias estudadas, em especial das áreas BA e CA apresentaram altos valores de DMP, caracterizando solos com boa agregação e capacidade de infiltração e retenção de água. FONTANA et al. (2010) estudando os índices de agregação de Argissolo e Latossolo em tabuleiros costeiros no estado do Rio de Janeiro, observaram a redução do DMP em relação à profundidade. WENDLING et al. (2005), estudando diferentes manejos em um Latossolo vermelho em Minas Gerais, verificaram redução nos valores de DMP e DMG em profundidade.

No presente estudo não foi observada redução em profundidade, mas sim manutenção ou acréscimo de DMP e incremento de DMG de acordo com o ambiente estudado. BA foi o ambiente com maior valor de DMP e DMG quando comparado aos demais. Isso pode ser um indicativo de menor grau de perturbação. Os menores valores obtidos em CE podem estar relacionados à perturbação antrópica de extração de lenha, pelas próprias características da área: árvores mais esparças e sem espinho, quando comparadas a CA. Áreas com vegetação nativa e com maior aporte de material vegetal, sem interferência de cultivos, apresentaram maiores valores de DMG, DMP, além de agregados mais estáveis (Loss et al., 2011).

Os teores de COT foram superiores na estação seca quando comparados com a época chuvosa em BA e CE. Em CA os valores de COT são maiores na época chuvosa (Tabela 6). O

ambiente com COT mais elevado foi BA em ambas as estações e em todas as profundidades. Apenas na estação chuvosa os teores de COT em CA foram superiores aos de CE.

Os teores de COP na época chuvosa foram maiores quando comparados com a época seca, com exceção de CE o qual apresentou maior valor de carbono associado à fração areia durante a estação seca (Tabela 06). Na área de fisionomia BA foram observados os maiores teores de COP o que está diretamente relacionado à quantidade de matéria orgânica fornecida pelos vegetais presentes nesta área.

Tabela 06- Teores de carbono orgânico total (COT) e carbono orgânico particulado (COP) em diferentes profundidades (0,00 - 0,05, 0,05 - 0,10 e 0,10 - 0,20 m) em brejo de altitude (BA), carrasco (CA) e cerradão (CE) na Chapada do Araripe durante estação seca (dez/2011) e chuvosa maio/2012).

Fitofisionomias	Estação Seca		Estação Chuvosa	
	COT	COP	COT	COP
Profundidade 0,00 - 0,05 m				
	----- (g kg ⁻¹) -----			
BA	51,27 aA	18,25 aB	34,27 aB	27,06 aA
CA	27,27 bA	6,22 cB	27,62 bA	7,72 bA
CE	21,97 bA	9,65 bA	14,97 cB	4,49 cB
Profundidade 0,05 - 0,10 m				
	----- (g kg ⁻¹) -----			
BA	47,18 aA	16,13 aB	33,49 aB	20,87 aA
CA	20,06 bB	6,42 cB	26,38 bA	8,50 bA
CE	20,85 bA	9,69 bA	15,42 cB	4,53 cB
Profundidade 0,10 - 0,20 m				
	----- (g kg ⁻¹) -----			
BA	45,47 aA	14,82 aB	31,16 aB	22,49 aA
CA	20,06 bB	6,38 cB	26,22 abA	8,24 bA
CE	24,82 bA	10,64 bA	16,58 bB	5,93 cB

Letras minúsculas comparam fitofisionomias em mesma profundidade. Letras maiúsculas comparam fitofisionomias nas diferentes estações, em mesma profundidade. Teste t -Bonferroni à 5% de probabilidade.

Segundo WENDLING et al. (2005), a vegetação influencia diretamente nos teores de carbono do solo e em sua agregação, devido a ação cimentante de exsudados de raízes ou sua ação mecânica. A fitofisionomia BA, por possuir vegetação mais densa e de maior porte, apresentou maior deposição de serrapilheira quando comparada a CA e CE. Estas duas fitofisionomias apresentaram árvores de porte reduzido quando comparadas ao brejo, perdem suas folhas durante a época seca (carrasco) ou possuem densidade populacional de árvores reduzidas, com grandes áreas de clareira (cerradão).

O sistema radicular e o acúmulo de material vegetal podem influenciar nos maiores teores de carbono nas camadas superficiais do solo (Cordeiro et al., 2010). A exposição do solo na área de cerradão, devido a esparsa cobertura vegetal, promove um aumento na decomposição da matéria orgânica pelos microrganismos, resultando na rápida oxidação da matéria orgânica (Canellas et al., 2002).

O COP funciona como um bom indicador físico para verificar modificações no manejo ou substituição da vegetação natural por cultivos, relacionando-se diretamente ao aporte de material vegetal ao solo (Loss et al., 2009). O acréscimo de COP na estação chuvosa pode ser justificado pelo acúmulo de folhas sobre o solo e possível redução na taxa de decomposição.

O teores de glomalina facilmente extraível (EE-BRSP), nas três fitofisionomias estudadas, foram mais elevados na época seca (média de 0,023 mg g⁻¹), quando comparada com a estação chuvosa (média de 0,019 mg g⁻¹) (Figura 09).

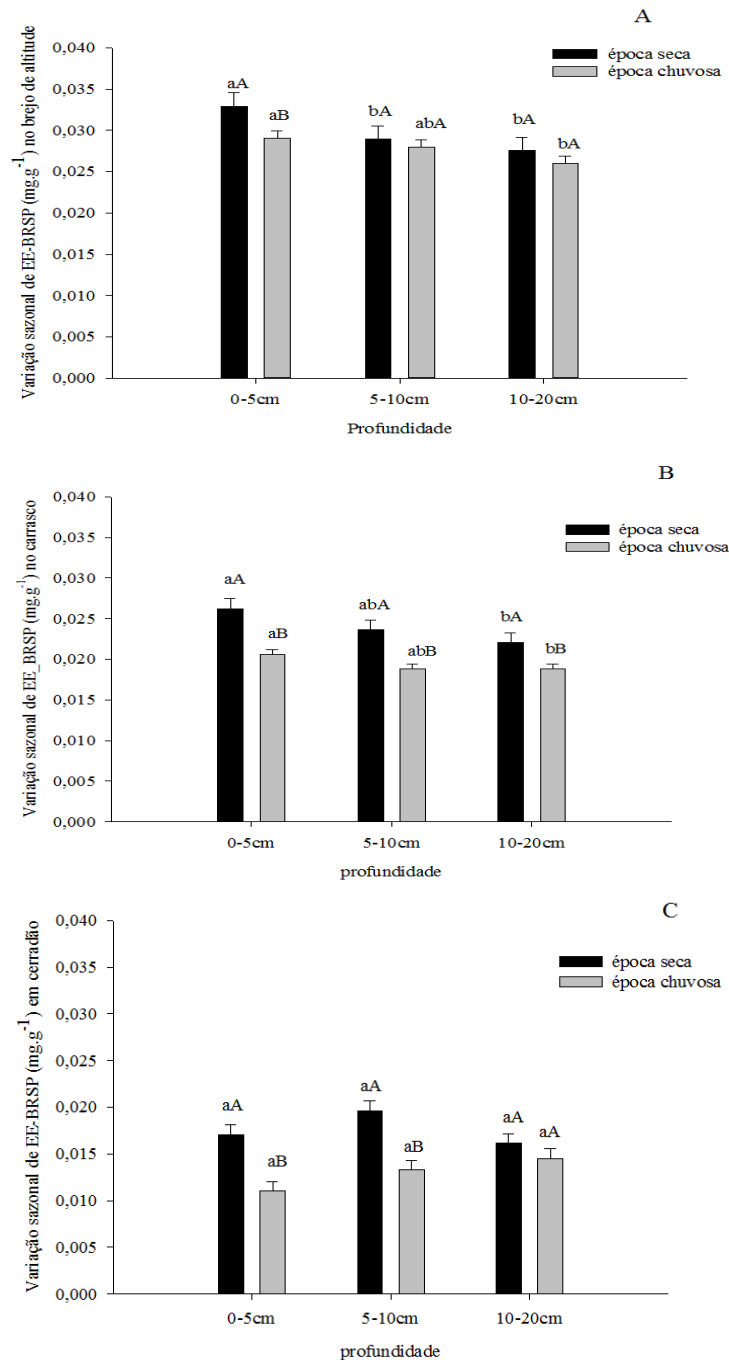
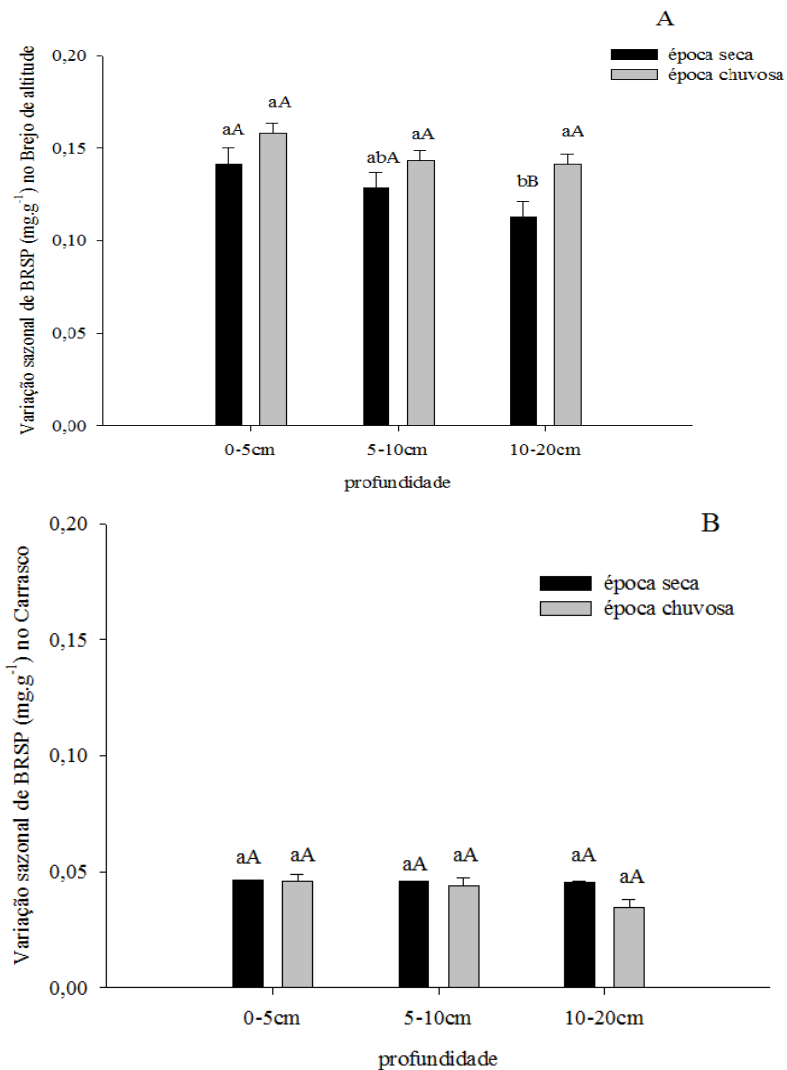


Figura 09 - Teores de proteína reativa ao Bradford do solo (mg g⁻¹), fração facilmente extraível (EE-BRSP) em diferentes profundidades (0,00-0,05, 0,05-0,10 e 0,10-0,20m) em (A)- brejo de altitude (BA), (B) - carrasco (CA) e (C) - cerradão (CE) na Chapada do Araripe durante estação seca (dez/2011) e chuvosa (maio/2012).

Letras minúsculas comparam as diferentes profundidades para mesma fitofisionomia. Letras maiúsculas comparam mesma fitofisionomia entre estações. Teste t-Bonferroni à 5% de probabilidade.

De forma geral, no ambiente de brejo de altitude (BA) foram quantificados os maiores teores de EE-BRSP seguido pelas áreas CA e CE em ambas as estações estudadas. Em BA e CA foi observada redução nos teores de EE-BRSP em profundidade tanto em época seca quanto chuvosa. Em CE, não foram observadas diferenças estatísticas significativas nos teores de EE-BRSP em profundidade.

Em relação aos teores de BRSP, apenas BA na profundidade 0,10-0,20 m apresentou diferenças significativas entre as épocas estudadas, sendo a época chuvosa com maior teor dessa fração. Enquanto CA e CE mantiveram teores bem próximos entre as estações e sem diferenças estatísticas significativas em profundidade (Figura 10). O ambiente com maior quantidade da fração BRSP foi BA seguido de CA e CE. Durante a época seca houve redução na quantidade dessa fração proteica em profundidade em BA.



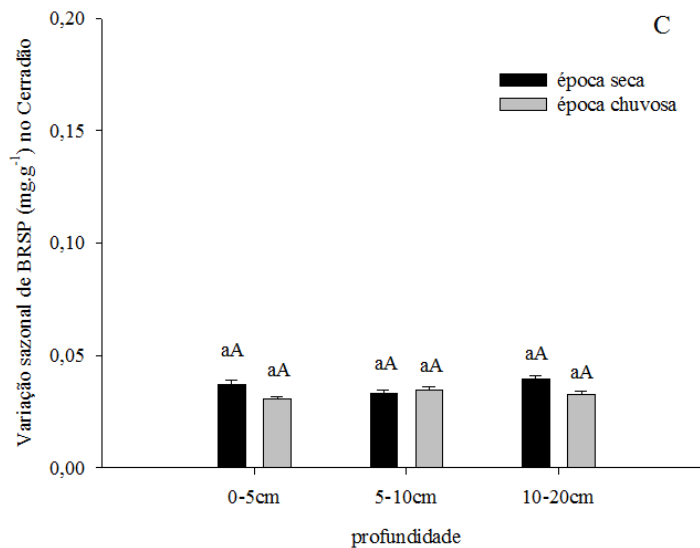


Figura 10 - Teores de proteína reativa ao Bradford do solo (mg.g^{-1}), fração total (BRPS) em diferentes profundidades (0,00-0,05, 0,05-0,10 e 0,10-0,20m) em (A) - brejo de altitude (BA), (B) - carrasco (CA) e (C) - cerradão (CE) na Chapada do Araripe durante estação seca (dez/2011) e chuvosa (maio/2012).

Letras minúsculas comparam as diferentes profundidades para mesma fitofisionomia. Letras maiúsculas comparam mesma fitofisionomia entre estações. Teste Kruskal-Wallis à 5% de probabilidade.

O real papel das frações de glomalina (EE-BRSP e BRSP) ainda não foi elucidado. A primeira fração pode estar relacionada com a atividade dos FMA e, através de sua acumulação, garante a reserva da segunda fração (Koide & Peoples, 20013). Considera-se, de forma geral, notória a contribuição da glomalina para o estoque de carbono nos solos, sendo importante inclusive para o sequestro de carbono (Driver et al., 2005). Estima-se que a glomalina contribui com 37% e 4% de C e N, respectivamente em solos tropicais, representando 3% e 5% da reserva desses elementos nos solos (Lovelock et al., 2004).

Poucos relatos são encontrados na literatura a respeito dos padrões da glomalina de acordo com a sazonalidade. ERMIRAN et al. (2012), estudaram as variações dos teores de proteína no Nordeste da Espanha durante um ano e observaram padrão similar ao verificado nas área de estudo na Chapada do Araripe. Houve um aumento nos teores de EE-BRSP no verão (seco) e redução na estação chuvosa. Esses resultados demonstram padrão sazonal da fração protéica, podendo ser uma resposta dos fungos a situações de estresse. Durante períodos de estresse as hifas dos fungos micorrízicos são estimuladas a buscar nutrientes e água para manter o simbiote até que as condições ambientais se tornem favoráveis. Além disso, é possível que essas frações proteicas, sejam produzidas para aumentar a proteção de hifas frente a processos de dessecação (Barto et al., 2010; Peng et al., 2013).

A fração BRSP apresentou teores semelhantes nas duas épocas avaliadas, sugerindo que ela não seja influenciada pela sazonalidade. Estes resultados corroboram os observados por ERMIRAN et al. (2012).

Foram realizados testes de correlação entre as variáveis estudadas. Durante a época chuvosa (tabela 07) todas as correlações foram positivas e estatisticamente significativas, sendo os maiores valores observados para EE-BRSP x BRSP ($r = 0,87$), EE-BRSP x COT ($r = 0,79$), EE-BRSP x COP ($r = 0,81$), EE-BRSP x DMG ($r = 0,72$), BRSP x COT ($r = 0,70$), BRSP x COP ($r = 0,88$) e COT x COP ($r = 0,78$).

Tabela 07 - Matriz de correlação entre as variáveis analisadas em distintas fisionomias vegetais na chapada do Araripe durante a época chuvosa.

Variáveis ^a	EE-BRSP	BRPS	COT	COP	DMP	DMG
EE-BRSP	1	0,87**	0,79**	0,81**	0,67**	0,72**
BRPS	-	1	0,70**	0,88**	0,60**	0,61**
COT	-	-	1	0,78**	0,62**	0,67**
COP	-	-	-	1	0,57**	0,62**
DMP	-	-	-	-	1	0,93**
DMG	-	-	-	-	-	1

^aVariáveis analisadas: EE-BRSP = glomalina facilmente extraível; BRPS = glomalina total; COT = carbono orgânico total; COP = carbono orgânico particulado; DMP = diâmetro médio ponderado; DMG = diâmetro médio geométrico. **Significativo ao nível de 1% de probabilidade segundo teste F.*

As maiores correlações na época chuvosa são observadas entre EE-BRSP x DMP ($r = 0,60$), EE-BRSP x DMG ($r = 0,71$), BRSP x COP ($r = 0,69$) e BRSP x DMG ($r = 0,62$) (Tabela 08). Durante a época chuvosa é verificado uma redução dos valores de correlação entre as variáveis estimadas quando comparada com a época seca, contudo ainda é possível sugerir que as frações de glomalina produzidas pelos FMA nas áreas de estudo sejam as maiores responsáveis pela agregação.

Tabela 08 - Matriz de correlação entre as variáveis analisadas em distintas fisionomias vegetais na chapada do Araripe durante a época seca.

Variáveis ^a	EE-BRSP	BRPS	COT	COP	DMP	DMG
EE-BRSP	1	0,59**	0,57**	0,50**	0,60**	0,71**
BRPS	-	1	0,34**	0,69**	0,28*	0,62**
COT	-	-	1	0,18 ^{ns}	0,38**	0,42**
COP	-	-	-	1	0,05 ^{ns}	0,41**
DMP	-	-	-	-	1	0,83**
DMG	-	-	-	-	-	1

^aVariáveis analisadas: EE-BRSP = glomalina facilmente extraível; BRPS = glomalina total; COT = carbono orgânico total; COP = carbono orgânico particulado; DMP = diâmetro médio ponderado; DMG = diâmetro médio geométrico. **Significativo ao nível de 1% de probabilidade segundo teste F.* Significativo ao nível de 5% de probabilidade segundo teste F.* NS – não significativo.

Analisando as variáveis estudadas, independente de estação do ano, foi possível verificar correlação positiva e estatisticamente significativa a 1% de probabilidade. Entretanto, as correlações mais altas foram para EE-BRSP x COT ($r = 0,66$), EE-BRSP x COP ($r = 0,62$), BRPS x COP ($r = 0,83$) e EE-BRSP x DMG e BRSP x DMG (ambas com $r = 0,64$) (Tabela 9).

Tabela 09 - Matriz de correlação entre as variáveis analisadas em distintas fisionomias vegetais na chapada do Araripe durante os dois períodos de observação.

Variáveis ^a	EE-BRSP	BRPS	COT	COP	DMP	DMG
EE-BRSP	1	0,68**	0,66**	0,62**	0,47**	0,64**
BRPS	-	1	0,33**	0,83**	0,46**	0,64**
COT	-	-	1	0,33**	0,26**	0,40**
COP	-	-	-	1	0,36**	0,51**
DMP	-	-	-	-	1	0,86**
DMG	-	-	-	-	-	1

^aVariáveis analisadas: EE-BRSP = glomalina facilmente extraível; BRPS = glomalina total; COT = carbono orgânico total; COP = carbono orgânico particulado; DMP = diâmetro médio ponderado; DMG = diâmetro médio geométrico. **Significativo ao nível de 1% de probabilidade segundo teste F.

A matéria orgânica do solo (MOS) é um dos principais agentes de agregação em solos tropicais, assim, se espera que as modificações nos índices de agregação estejam relacionadas à variação do conteúdo de MOS no solo (Castro Filho et al., 1998). Diversos trabalhos correlacionam de forma positiva os índices de agregação com os teores de carbono (Castro Filho et al., 1998; Wendling et al., 2005; Rozane et al., 2010).

Além dos teores de carbono do solo, a glomalina também é bastante relacionada com índices de agregação. HONTORIA et al. (2009), verificaram correlação positiva e elevada entre agregação do solo e os teores de EE-BRSP ($r = 0,90$) e BRSP ($r = 0,89$) em região de clima semi-árido no centro da Espanha. Este padrão também foi observado por FOKON et al. (2012) na sul de Camarões, onde os autores relataram altos coeficientes de correlação entre a estabilidade dos agregados e glomalina total ($r = 0,80$).

Os coeficientes de correlação foram elevados entre glomalina e agregação do solo encontrados neste estudo, devem estar relacionados com a ação que essa proteína promove no solo, servindo como agente bioquímico cimentante como outras diversas proteínas (Rillig et al., 2005). As altas correlações observadas entre glomalina e carbono demonstram que a proteína produzida pelos FMA contribui, de forma direta, com o reservatório de carbono no solo (Fokon et al., 2012).

Os teores de carbono referente às frações húmicas são apresentados na tabela 10. A fração húmica (C-HU) predominou em detrimentos das demais frações.

Maior quantidade da fração ácido húmico também foram reportadas por ASSIS et al. (2006) e ROSSI et al. (2011). SOUZA & MELLO (2003) afirmam que quanto maior o valor de C-HU no solo maior é a agregação, retenção de cátions e umidade.

A fração ácido húmico (C-FAH) não apresentou diferenças significativas entre a época seca e chuvosa nas três fisionomias estudadas. Entretanto as demais frações (C-FAF e C-HU) apresentaram maiores teores na época seca em comparação com a época chuvosa.

Tabela 10 - Teores de carbono da fração ácido húmico (C-FAH), carbono da fração ácido fúlvico (C-FAF) e carbono da fração humina (C-HU) em brejo de altitude (BA), carrasco (CA) e cerradão (CE) na Chapada do Araripe durante época seca (dezembro/2011) e época chuvosa (maio/2012).

Fisionomias	Profundidade (m)					
	Época seca			Época chuvosa		
	0,0-0,05	0,05-0,10	0,10-0,20	0,0-0,05	0,05-0,10	0,10-0,20
C-FAH (g.kg⁻¹)						
BA	3,52 bA	3,60 aA	4,10 aA	3,57 aA	4,14 aA	3,75 aA
CA	4,19 aA	3,35 aA	2,44 bA	2,80 bB	3,62 bA	3,36 aA
CE	2,41 cA	2,21 bA	2,55 bA	2,89 bA	2,55 cA	3,56 aA
C-FAF (g.kg⁻¹)						
BA	5,23 aA	5,48 aA	6,00 aA	3,03 aB	4,14 aB	3,76 aB
CA	5,61 aA	4,70 bA	5,75 abA	2,80 aB	3,62 bB	3,36 bB
CE	5,11 bA	4,21 cA	4,68 bA	2,91 aB	2,55 cB	3,56 abB
C-HU (g.kg⁻¹)						
BA	14,83 bA	15,54 aA	19,30 aA	10,40 aB	10,28 aB	10,04 aB
CA	15,96 aA	13,32 bA	9,50 cA	8,18 bB	8,59 bB	8,45 bB
CE	14,96 bA	12,83 bA	15,26 bA	8,15 bB	8,10 bB	8,39 bB

Letras minúsculas diferem entre áreas na mesma profundidade. Letras maiúsculas diferem entre estações. Teste t de bonferroni à 5% de probabilidade.

Durante a época seca os teores de C-FAH, na profundidade 0,0-0,05 m foi maior em CA seguida de BA e CE. Nas demais profundidades (0,05-0,10 e 0,10-0,20 m) BA não diferiram estatisticamente de CA, mas foram diferentes de CE. Para época chuvosa BA é o ambiente com maior teor de C-FAH nas profundidades 0,0-0,05 e 0,05-0,10m. Na profundidade 0,10-0,20 m não são observadas diferenças estatísticas significativas entre as três fisionomias.

A fração C-FAF apresenta comportamento semelhante na época seca e chuvosa para a profundidade 0,0-0,05 m onde não são observadas diferenças estatísticas significativas entre as fisionomias e na profundidade 0,05-0,10 m onde BA > CA > CE.

Em relação à fração humina, na época seca na profundidade 0,0-0,05 m CA é a fisionomia com maior teor dessa fração enquanto nas demais profundidades BA apresentou maior quantidade de C-HU. Na época chuvosa, BA possui maiores teores da fração humina nas três profundidades seguido por CA e CE.

As frações C-FAF e C-FAH são menos estáveis e, provavelmente, são polimerizadas e mineralizadas mais rapidamente, daí suas menores taxas nos solos (Fontana et al., 2006). No presente trabalho os teores de C-FAF foi pouco superior ao C-FAH. Trabalhos realizados por ROSSI et al. (2011) e ARAÚJO et al. (2004) corroboraram com os desse estudo.

6. CONCLUSÕES

Os teores de carbono orgânico e glomalina facilmente extraível (EE-BRSP) apresentaram padrão sazonal, sendo seus maiores teores observados na época seca.

BRSP não apresentou variações sazonais significativas sugerindo ser EE-BRSP mais sensível às estações do ano.

As maiores correlações foram observadas entre teores de carbono (COT e COP) e as frações da glomalina (EE-BRSP e BRSP) indicando que a proteína influencia diretamente nas concentrações de carbono no solo da Chapada do Araripe sendo um importante componente de sua agregação.

As frações C-FAF e C-HU apresentaram comportamento sazonal, sendo os maiores teores quantificados no período seco. Além disso, a fração humina é a mais abundante no solo das fisionomias da Chapada do Araripe.

4. CAPÍTULO II

DIVERSIDADE DE FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES NA CHAPADA DO ARARIPE

1. RESUMO

A Caatinga é um bioma de suma importância para o território brasileiro, contudo ainda com grandes lacunas a serem entendidas e conhecidas, principalmente em relação aos estudos com fungos micorrízicos arbusculares (FMA). Apesar do crescente aumento em número de trabalhos nesse bioma, ainda há muitos sítios que necessitam ser explorados, como por exemplo, a Chapada do Araripe. Este capítulo teve como objetivo avaliar a diversidade e a composição da comunidade de FMA em três fisionomias vegetais na Floresta Nacional do Araripe (CE). Durante o período de 2011 a 2013 foram realizadas coletas sazonais no início e fim de época seca (set/dez 2011 e ago/dez 2012) e de época chuvosa (fev/maio 2012 e fev/abril 2013). Três fitofisionomias foram escolhidas para o estudo: brejo de altitude (BA), carrasco (CA) e cerradão (CE). Em cada área foram coletadas 14 amostras compostas de solo na profundidade 0-20 cm, e realizada a extração, montagem de lâminas e identificação morfológica dos glomerosporos. Os índices de Jackknife (Jackknife 1) e diversidade de Shannon, Pielou e Simpson foram estimados. O número de espécies de FMA foi superior no brejo de altitude (58), seguido do carrasco (54) e cerradão (41). Os gêneros *Glomus* e *Acaulospora* são os mais representativos na Chapada do Araripe, com 18 espécies cada. Apenas 23 espécies foram ocorreram nas três áreas de estudo e 43 táxons em apenas uma das fisionomias. A diversidade total da Chapada do Araripe foi considerada alta, com 87 espécies identificadas, quase a totalidade de espécies já reportadas para o Bioma Caatinga. A composição da comunidade de FMA varia de acordo com a fitofisionomia estudada, sendo a maior riqueza de espécies registrada no brejo de altitude.

Palavras-chave: Micorrizas; Ecologia; *Glomeromycota*.

2. ABSTRACT

Caatinga is a very important biome of Brazil, nevertheless there are gaps to be understood and known, especially related to arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) studies. Despite the continuous increase in number of jobs in this biome, there are still many sites that need to be explored, for example, the Araripe plateau. This chapter aimed to evaluate the diversity and the composition of the AMF community in the Araripe National Forest – Ceará state. During the period of 2011-2013 were carried out seasonally soil samples at the beginning and end of the dry season (Sept / Dec 2011 and Aug / Dec 2012) and rainy season (Feb / May 2012 and Feb / Apr 2013). Three vegetation types were chosen for the study: 'brejo de altitude' (BA) , 'carrasco' (CA) and 'cerradão' (CE) . In each area were collected 14 composite samples of soil, 0-20 cm depth for glomerospores extraction, preparing of slides and morphological identification. The ecological indexes of Jackknife (Jackknife 1) and Shannon and Simpson were estimated. The number of AMF species was higher in 'brejo de altitude' (58), followed by the 'carrasco' (54) and 'cerradão' (41). *Glomus* and *Acaulospora* are the most representative genus in the Araripe plateau, with 18 species each. Only 23 species were present on the three areas of study and 43 taxa were presented in only one of the areas. The total diversity of Araripe plateau was considered high with 87 species identified, almost all the species already reported for the Caatinga biome. The composition of the AMF community varies according to vegetation type studied, with the highest species richness recorded in the 'brejo de altitude'.

Key-words: Mycorrhizas; Ecology; *Glomeromycota*.

3. INTRODUÇÃO

Exclusivamente brasileiro e ocupando área correspondente a cerca de 11% do país e 70% da região Nordeste (MMA, 2002), a Caatinga ainda é um bioma com carência de informações principalmente por crenças injustificadas de ser pobre e homogênea (Giulietti et al., 2003). Inserida em uma região semi-árida (Moura & Ramos, 2004) com temperaturas elevadas durante o ano inteiro, déficit hídrico e distribuição de chuvas irregular, a Caatinga é um conjunto de cerca de 12 tipologias vegetacionais. Mesmo em processo de degradação, apresenta elevado número de espécies e remanescentes vegetacionais bem preservados (Giulietti et al., 2003).

O bioma possui muitas áreas consideradas *hotspots* pela diversidade biológica, sendo comprovadamente rico em espécies animais e vegetais, muitas das quais endêmicas (Leal et al., 2003). Mesmo com sua extensão de aproximadamente 800.000 km² do território brasileiro, a Caatinga é proporcionalmente a região natural menos estudada e protegida no Brasil, com menos de 2% do território definido como unidades de conservação (Tabarelli et al., 2000).

Predominante em regiões com baixa altitude no Nordeste do Brasil, os tipos vegetacionais da Caatinga também podem ser encontrados em Chapadas e Serras (Prado, 2003). Dentre as várias chapadas localizadas em áreas de Caatinga, destaca-se a Chapada do Araripe, que ocupa os Estados do Ceará, Paraíba e Pernambuco, abrangendo formações vegetacionais diversas entre elas o brejo de altitude, cerradão e carrasco (Sampaio, 2010). A Floresta Nacional do Araripe (FLONA-Araripe), localizada na chapada homônima é uma das unidades de conservação federal (UCF) e ocupa, aproximadamente, 38.000 hectares.

A combinação de seu clima, tipos de solo e vegetações adaptados às condições semi-áridas, associada à falta de informações tornam a FLONA-Araripe um importante sítio de estudo para acesso da diversidade e compreensão das relações ecológicas, em especial com microrganismos do solo.

Fungos micorrízicos arbusculares (FMA) e bactérias fixadoras de nitrogênio são uns dos grupos de microrganismos que afetam diretamente a comunidade de plantas. Por realizarem uma associação (micorriza) íntima com as raízes da maioria das famílias vegetais conhecidas, os FMA são considerados peça chave na nutrição das plantas afetando a saúde e a capacidade de competir nos ecossistemas. Influenciam a ciclagem de nutrientes, estrutura do solo e, particularmente, permitem a sustentabilidade dos ecossistemas baseados em solo de baixa fertilidade, tais como solos de Caatinga ou da agricultura de baixo uso de insumos (de Souza et al., 2010). O benefício ofertado pelos FMA ao hospedeiro se dá, de forma direta, através do aumento em sua nutrição mineral e, de forma indireta, pela promoção de maior tolerância às bióticas ou abióticas condições (Córdoba et al., 2002).

Inseridos no filo Glomeromycota, sua identificação se baseia, principalmente, em características morfológicas dos glomerosporos assexuais (Goto & Maia, 2006) e atualmente possuem cerca de 270 espécies conhecidas (www.mycobank.com). Os FMA são bastante utilizados como indicadores de qualidade do solo devido a alteração de sua comunidade de acordo com o uso do solo e tempo de recuperação. Usualmente são utilizados como indicadores de qualidade do solo por mudarem a estrutura de sua comunidade devido alterações ambientais tais como fertilidade do solo, mudanças no manejo, etc (Schloter et al., 2003; Pereira et al., 2014).

Trabalhos de levantamento da diversidade de FMA na Caatinga e Brasil têm demonstrado aumento do número de espécies registradas para o país e um número

significativo de espécies no bioma citado (Goto et al. 2010). Em um dos primeiros levantamentos para a Caatinga, MAIA et al. (2006) citam a ocorrência de 52 espécies. STÜRMER & SIQUEIRA (2008) compilaram as espécies de FMA com ocorrência no Brasil, mencionando a ocorrência de 99 espécies sendo algumas mencionadas para a Caatinga. GOTO et al. (2010) relatam a ocorrência de 79 espécies de FMA nesse bioma.

Alguns trabalhos realizados em pontos isolados de Caatinga têm reportado um aumento considerável no número de espécies novas de FMA nesse bioma (Goto et al. 2009; 2010; 2011). LIRA et al., 2014 em levantamento de FMA na Chapada do Araripe registraram a ocorrência de 56 espécies distribuídas em 15 gêneros, sendo 8 novas ocorrência para a região semi-árida.

Como esse bioma é bastante heterogêneo (elevada diversidade vegetal, de solos e variações climáticas) e a distribuição das espécies de FMA tem sido relacionada com as alterações ambientais, é provável que o número de espécies de fungos micorrízicos arbusculares em Caatinga seja bastante superior ao estimado.

Partindo-se da hipótese de que a diversidade de FMA na Chapada do Araripe é elevada e que existem diferenças entre os diferentes tipos de vegetação, o objetivo desse capítulo foi avaliar a diversidade da comunidade de FMA em três fisionomias vegetais na Floresta Nacional do Araripe (CE).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Áreas de Estudo

O estudo foi conduzido na Floresta Nacional do Araripe (FLONA – Araripe), sul do Estado do Ceará. Sua localização e características são descritas no capítulo 1.

4.2 Amostragem e processamento das amostras

Três áreas foram selecionadas (Floresta Subperenifólia Tropical Plúvio-Nebular – Brejo de Altitude; Floresta Subcaducifólia Tropical Xeromorfa – Cerradão; e Carrasco) (Figura 11).



Figura 11 – Fitofisionomias estudadas na Floresta Nacional do Araripe: Brejo de altitude (a), Carrasco (b) e Cerradão (c).

Após escolhidas as áreas, demarcou-se duas sub-áreas em cada fitofisionomia de 50 x 20 m. Em cada subárea foram coletadas 7 amostras compostas (3 amostras simples) na profundidade 0-20 cm, totalizando 14 amostras compostas por fisionomia vegetal. Durante o período de 2011 a 2013 foram realizadas oito (8) coletas de solo.

Parte das amostras de solo coletada foi usada para determinação de fertilidade do solo segundo EMBRAPA (1997) (Tabela 11) e outra para estudos da comunidade de FMA. Glomerosporos foram extraídos de 50 g de solo, de acordo com metodologia de peneiramento úmido (Gedermann & Nicolson, 1963) e centrifugação com sacarose (Jenkins, 1964). Estes foram separados por cor e tamanho e montados em lâminas com resina PVLG e PVLG + Melzer para identificação, realizada com auxílio de bibliografia específica (Schenck & Pérez, 1990), publicações com descrições de novas espécies e consulta ao banco de dados da International Culture Collection of Arbuscular Mycorrhizal Fungi – INVAM (<http://invam.caf.wvu.edu>) e do Department of Plant Pathology, University of Agriculture in Szczecin, Poland (<http://www.agro.ar.szczecin.pl/~jblaszkowski/>).

Tabela 11 - Caracterização química de solos em área de Caatinga sob diferentes coberturas vegetais: Brejo de Altitude (BA), Carrasco (CA) e Cerradão (CE), no nordeste do Brasil.

Características químicas do solo	BA	CA	CE
pH (H ₂ O)	4,44*	4,35	4,35
P (mg.dm ⁻³)	4,72	4,06	3,95
N (g.kg ⁻¹)	2,27	1,45	1,51
K (cmol _c .dm ⁻³)	8,56	7,21	5,97
Na (cmol _c .dm ⁻³)	7,36	3,31	2,73
Al (cmol _c .dm ⁻³)	2,22	1,18	1,46
Ca (cmol _c .dm ⁻³)	0,15	0,24	0,19
Mg (cmol _c .dm ⁻³)	0,45	0,65	0,49
H+Al (cmol _c .dm ⁻³)	14,91	8,14	9,08
SB	16,52	11,41	9,38
CTC	31,43	19,55	18,46

*média de 112 repetições

4.3 Análises de diversidade de FMA

A comunidade de fungos micorrízicos arbusculares teve sua estrutura analisada por índices que mensuram riqueza de espécies e diversidade. A frequência de ocorrência (**FO**) das espécies foi calculada pela equação: $F_i = J_i/k$, onde F_i = frequência de ocorrência da espécie **i**, J_i = número de amostras onde a espécie **i** ocorreu e k = número total de amostras. As espécies foram classificadas de acordo com a frequência de ocorrência pela classificação proposta por ZHANG et al. (2004) em dominantes ($FO > 0,50$), muito comum ($0,50 < FO < 0,31$), comum ($0,30 < FO < 0,10$) e rara ($FO < 0,10$). As espécies também foram classificadas de acordo com o índice de frequência em generalistas (ocorrência em todas as três áreas), intermediárias (presentes em duas áreas) e exclusivas (presentes em apenas uma área) (Stürmer & Siqueira, 2011).

A riqueza de espécies foi determinada pelo número total de espécies identificadas em cada área e o número estimado de espécies foi calculado utilizando-se o índice de Jackknife de primeira ordem (Jackknife 1). Para definir a similaridade entre as comunidades de FMA foi utilizado o Índice de Sørensen (Brower & Zar, 1984). As análises de agrupamento e a curva de acumulação de espécies foram realizadas com auxílio do programa Primer 6.0 (Clarke & Gorley, 2006).

O número de glomerosporos (média de 112 repetições por ambiente) foi submetido à testes de homogeneidade e, por não serem dados normais, foram transformados usando $\log x+1$ e submetido ao teste de Tukey à 1% de probabilidade.

O índice de diversidade de Shannon (H') foi calculado de acordo com a equação: $H' = -\sum p_i \cdot \ln p_i$, em que p_i é o número de glomerosporos de cada espécie em 50 g de solo/número total de glomerosporos de todas as espécies. A equitabilidade de Pielou foi obtida pela equação $J' = H'/\text{Log}(S)$ em que H' é o valor obtido pelo índice de Shannon e **S** é o número total de espécies.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante o período amostral foram identificados 87 táxons pertencendo a 21 gêneros e 12 famílias de Glomeromycota (Acaulosporaceae, Ambisporaceae, Dentiscutataceae, Diversisporaceae, Entrophosporaceae, Gigasporaceae, Glomeraceae, Intraornatosporaceae, Pacisporaceae, Paraglomeraceae, Racocetraceae e Scutellosporaceae). Os gêneros mais representativos foram *Acaulospora* e *Glomus*, ambos com 18 espécies cada. Também foram registrados a ocorrência de sete (7) espécies de *Scutellospora*, seis (6) de *Gigaspora* e *Racocetra*, *Fuscutata* (5), *Dentiscutata* e *Rhizoglosum* (4), *Ambispora* e *Cetraspora* com três (3) espécies cada, *Funneliformis* e *Septoglosum* (2), *Claroideoglosum*, *Corymbiglosum*, *Entrophospora*, *Intraornatospora*, *Kuklospora*, *Orbispora*, *Pacispora*, *Paraglosum* e *Simiglosum*, todos com apenas uma espécie (Tabela 12).

Do total de táxons com ocorrência na Chapada do Araripe, foram identificados 78,16% em nível de espécie e apenas 21,84% em nível de gênero. As espécies com formação de glomerosporos tipo gigasporóide (*Gigaspora*, *Fuscutata*, *Racocetra*, *Cetraspora*, *Dentiscutata*, *Scutellospora*, *Orbispora* e *Intraornatospora*) estiveram em maior número, representando 37,93% do total de espécies identificadas (33). Espécies com glomerosporo tipo glomóide corresponderam a 36,78% (32) do total seguidas por 19 espécies (21,83%) com glomerosporos tipo acaulosporóide e 3,46% de espécies (3) com glomerosporos tipo ambisporóides.

Tabela 12 - Espécies de FMA registradas na Chapada do Araripe em Brejo de Altitude ((BA), Carrasco (CA) e Cerradão (CE).

Espécies de FMA	Frequência de Ocorrência		
	BA	CA	CE
Acaulosporaceae			
<i>Acaulospora cavernata</i> Blaszkowski	-	R	-
<i>A. colossica</i> P.A. Schultz, Bever & J.B. Morton	R	-	-
<i>A. delicata</i> C. Walker, C.M. Pfeiff. & Bloss	R	R	R
<i>A. dilatata</i> J.B. Morton	R	-	-
<i>A. excavata</i> Ingleby & C. Walker	R	-	-
<i>A. foveata</i> Trappe & Janos	MC	R	-
<i>A. herrerae</i> Furrázola, B.T. Goto, G.A. Silva, Sieverd. & Oehl	R	R	R
<i>A. lacunosa</i> J.B. Morton	R	R	R
<i>A. mellea</i> Spain & Schenck	MC	C	C
<i>A. morrowiae</i> Spain & Schenck	C	R	C
<i>A. rehmii</i> Sieverd. & S. Toro	R	R	-
<i>A. rugosa</i> J.B. Morton	-	R	-
<i>A. scrobiculata</i> Trappe	R	R	R
<i>A. spinosa</i> C. Walker & Trappe	R	C	-
<i>A. tuberculata</i> Janos & Trappe	R	C	-
<i>Acaulospora</i> sp.1 Trappe & Geder.	R	-	-
<i>Acaulospora</i> sp.2 Trappe & Geder.	R	-	-
<i>Acaulospora</i> sp.3 Trappe & Geder.	-	-	R
<i>Kuklospora colombiana</i> Oehl & Sieverd.	R	-	-
Ambisporaceae			
<i>Ambispora appendicula</i> (Spain, Sieverd. & N.C. Schenck) C. Walker	-	-	R
<i>Am. leptoticha</i> (N.C. Schenck & G.S. Sm.) C. Walker, Vestberg &	-	R	-

Schuessler			
<i>Am. reticulata</i> Oehl & Sieverd	-	-	R
Dentiscutataceae			
<i>Dentiscutata cerradensis</i> (Spain e J. Miranda) Sieverd., F.A. Souza e Oehl	R	C	C
<i>De. colliculosa</i> B.T. Goto & Oehl	-	R	-
<i>De. scutata</i> (C. Walker e Dieder.) Sieverd., F.A. Souza e Oehl	C	MC	C
<i>Dentiscutata</i> sp. Sieverd., F.A. Souza e Oehl	R	-	C
<i>Fuscutata aurea</i> B.T. Goto, G.A. Silva, Oehl	R	-	-
<i>Fu. heterogama</i> (T.H. Nicolson & Gerd.) Sieverd., F.A. Souza & Oehl	R	-	R
<i>Fu. savannicola</i> (R.A. Herrera e Ferrer) Oehl, F.A. Souza e Sieverd.	R	C	R
<i>Fu. rubra</i> (Stürmer & J.B. Morton) Oehl, F.A. Souza & Sieverd.	-	R	-
<i>Fuscutata</i> sp. Sieverd., F.A. Souza e Oehl	R	-	-
Diversisporaceae			
<i>Corymbiglomus tortuosm</i> (N.C. Schenck & G.S. Sm.) Błaszcz. & Chwat	R	R	-
Entrophoraceae			
<i>Entrophospora infrequens</i> (I.R. Hall) R.N. Ames & R.W. Schneid.	-	R	-
<i>Claroideoglomus etunicatum</i> (W.N. Becker & Gerd.) C. Walker & Schuessler	C	R	C
Gigasporaceae			
<i>Gigaspora albida</i> N.C. Schenck & G.S. Sm.	R	R	C
<i>Gi. decipiens</i> I.R. Hall & L.K. Abbott	C	C	C
<i>Gi. gigantea</i> (T.H. Nicolson & Gerd.) Gerd. & Trappe	R	R	R
<i>Gi. margarita</i> W.N. Becker & I.R. Hall	C	C	R
<i>Gi. ramiphorospora</i> Spain, Sieverd. & N.C. Schenck	R	-	-
<i>Gigaspora</i> sp. Geder. & Trappe	-	R	C
Glomeraceae			
<i>Funneliformis geosporum</i> (T.H. Nicolson & Gerd.) C. Walker & Schuessler	MC	C	R
<i>Fu. halonatum</i> (S.L. Rose e Trappe) C. Walker & Schuessler	-	R	R
<i>G. brohultii</i> R.A. Herrera, Ferrer & Sieverd.	R	-	R
<i>G. coremioides</i> D. Redecker & J.B. Morton	R	R	-
<i>G. glomerulatum</i> Sieverd.	R	R	R
<i>G. heterosporum</i> G.S. Sm. & N.C. Schenck	R	-	R
<i>G. macrocarpum</i> Gerd. & Trappe	D	C	R
<i>G. microcarpum</i> Tul. & C. Tul.	R	-	-
<i>G. nanolumem</i> Koske & Gemma	-	R	-
<i>G. sinuosum</i> R.T. Almeida & N.C. Schenck	R	-	-
<i>G. trufemii</i> B.T. Goto, G.A. Silva, Oehl	MC	C	MC
<i>Glomus</i> sp.1 Tul. & C. Tul.	C	C	C
<i>Glomus</i> sp.2 Tul. & C. Tul.	R	R	R
<i>Glomus</i> sp.3 Tul. & C. Tul.	R	-	-
<i>Glomus</i> sp.4 Tul. & C. Tul.	R	-	R
<i>Glomus</i> sp.5 Tul. & C. Tul.	R	-	-
<i>Glomus</i> sp.6 Tul. & C. Tul.	R	R	-
<i>Glomus</i> sp.7 Tul. & C. Tul.	R	R	-
<i>Glomus</i> sp.8 Tul. & C. Tul.	-	R	-
<i>Glomus</i> sp.9 Tul. & C. Tul.	-	R	-
<i>Septoglomus constrictum</i> (Trappe) Sieverd., G. A. Silva & Oehl	-	-	R

<i>Se. furcartum</i> Błaszcz., Chwat & Kovács, Ryszka	R	-	-
<i>Simiglomus</i> sp. G.A. Silva, Oehl & Sieverd.	-	-	R
<i>Rhizoglomus aggregatum</i> (N.C. Schenck & G.S. Sm.) Sieverd., G.A. Silva & Oehl	R	-	-
<i>R. clarum</i> (T.H. Nicolson & N.C. Schenck) Sieverd., G.A. Silva & Oehl	R	-	R
<i>R. intraradices</i> (N.C. Schenck & G.S. Sm.) Sieverd., G.A. Silva & Oehl	R	-	-
<i>R. microaggregatum</i> (Koske, Gemma & P.D. Olexia) Sieverd., G.A. Silva & Oehl	R	-	-
Intraornatosporaceae			
<i>Intraornatospora intraornata</i> (B.T. Goto & Oehl) B.T. Goto, Oehl & G.A. Silva	-	-	R
Racocetraceae			
<i>Cetraspora gilmorei</i> (Trappe & Geder.) Oehl, F.A. Souza & Sieverd.	R	R	R
<i>Ce. pellucida</i> (T.H. Nicolson & N. C. Schenck) Oehl, F.A. Souza & Sieverd.	R	R	-
<i>Ce. spinosissima</i> (C. Walker & Cuenca) Oehl, F.A. Souza & Sieverd.	-	-	R
<i>Racocetra castanea</i> (C. Walker) Oehl, F.A. Souza & Sieverd.	-	R	-
<i>Ra. fulgida</i> (Koske & C. Walker) Oehl, F.A. Souza & Sieverd.	-	R	-
<i>Ra. gregaria</i> (N.C. Schenck & T.H. Nicolson) Oehl, F.A. Souza & Sieverd.	-	R	-
<i>Ra. persica</i> (Koske & C. Walker) Oehl, F.A. Souza & Sieverd.	-	R	R
<i>Ra. verrucosa</i> (Koske & C. Walker) Oehl, F.A. Souza & Sieverd.	R	R	R
<i>Racocetra</i> sp. Oehl, F.A. Souza & Sieverd.	-	R	-
Scutellosporaceae			
<i>Orbispora pernambucana</i> Oehl, G. A. Silva & D. K. Silva	R	R	R
<i>Scutellospora aurigloba</i> (I.R. Hall) C. Walker & F.E. Sanders	R	R	R
<i>S. calospora</i> (T.H. Nicolson & Gerd.) C. Walker & F.E. Sanders	-	C	-
<i>Scutellospora</i> sp.1 C. Walker & F.E. Sanders	-	R	-
<i>Scutellospora</i> sp.2 C. Walker & F.E. Sanders	-	R	-
<i>Scutellospora</i> sp.3 C. Walker & F.E. Sanders	-	R	R
<i>Scutellospora</i> sp.4 C. Walker & F.E. Sanders	R	-	-
<i>Scutellospora</i> sp.5 C. Walker & F.E. Sanders	-	R	-
Pacisporaceae			
<i>Pacispora robiginia</i> Oehl & Sieverd.	-	-	R
Paraglomeraceae			
<i>Paraglomus occultum</i> (C. Walker) J.B. Morton & D. Redecker	R	-	-
Riqueza de espécies (S)	58	54	41

D= dominante; MC = muito comum; C = comum e R = raro.

Os gêneros *Glomus* e *Acaulospora* foram os predominantes nas três fitofisionomias estudadas (Figura 12).

Espécies das famílias Acaulosporaceae e Glomeraceae são comumente reportadas no bioma Caatinga (Maia et al., 2010) e além disso, são o gêneros com maior número de organismos identificados dentro do filo Glomeromycota (Silva et al., 2014). O gênero *Glomus* predomina nos ecossistemas do Brasil (Stürmer & Siqueira, 2008) com exceção das dunas marítimas, as quais predominam espécies com glomerosporos gigasporóides (Stürmer & Siqueira, 2008; Silva et al., 2012; Stürmer et al., 2013; Silva et al., 2014).

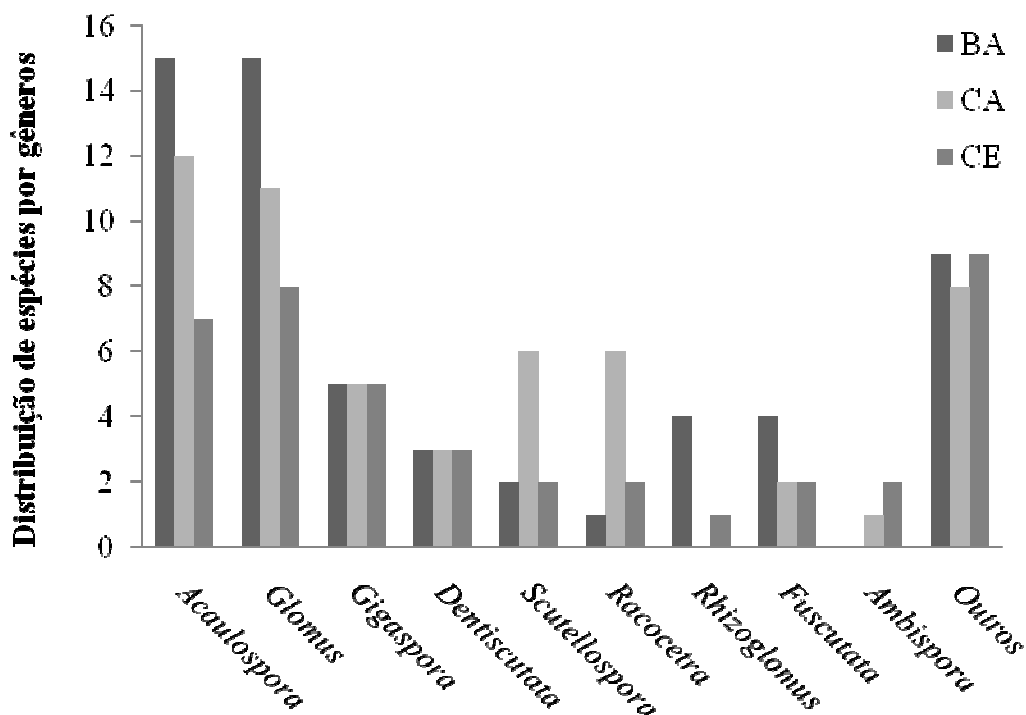


Figura 12 – Abundância de gêneros de FMA distribuídos por fitofisionomia. BA – Brejo de altitude, CA- Carrasco e CE – Cerradão.

Analisando as espécies de ocorrência na Chapada do Araripe e se descartando espécies de FMA com formação de glomerosporos tanto acaulosporóide quanto glomóide, foi possível observar que a relação de espécies gigasporóides e glomóides é praticamente a mesma (33 gigasporóides contra 32 glomóides). Contudo, analisando as fitofisionomias de forma separada, verifica-se que no brejo de altitude as espécies glomóides (24) são as predominantes enquanto no carrasco (20) e cerradão (18) são espécies com glomerosporos gigasporóides.

Comumente utilizam-se fatores edáficos para justificar a presença ou ausência de determinados táxons de FMA em ecossistemas. Fatores ambientais como: características físicas e químicas do solo, características morfofisiológicas das plantas, compatibilidade entre o hospedeiro e a espécie de FMA, dispersão dos fungos, entre outros, são responsáveis pela dominância de gêneros de FMA em alguns ambientes (Zangaro & Moreira, 2010). Um dos principais componentes do solo usado para esse tipo de correlação é o pH. De acordo com MAIA & TRUFEM (1990) e SILVA et al. (2007), o gênero *Acaulospora* toleraria maiores variações de pH. A ocorrência desse gênero se daria em maior quantidade em solos com pH ácido (Stürmer, 1999; Souza et al., 2003). Tanto o gênero *Glomus* quanto *Acaulospora* são reconhecidos por serem dominantes em regiões semi-áridas (Tao & Zhiwei, 2005; Gai et al., 2006; Li et al., 2007) e em áreas de Caatinga (Sousa e al., 2014) cujo pH é ácido.

O Brejo de Altitude (BA) foi o ambiente com maior número de espécies identificadas (58). Carrasco e Cerradão apresentaram, respectivamente, 54 e 41 espécies. Em BA as espécies mais comuns (MC) foram *Acaulospora foveata*, *Ac. mellea*, *Funneliformis geosporum* e *Glomus trufemii*. *A. morrowiae*, *De. scutata*, *Cl. etunicatum*, *Gi. decipiens*, *Gi. margarita* e *Glomus* sp.1 apresentaram frequência de ocorrência comum (C). Em CA apenas *Dentiscutata scutata* foi classificada como MC e em CE apenas *G. trufemii* foi classificada como espécie MC. Tanto em BA quanto CE ocorre uma espécie dominante: *Gl. macrocarpum*

e *Gi. albida*, respectivamente. São 11 as espécies com frequência de ocorrência comum em CA e dez (10) em CE (Tabela 02).

Avaliando uma área de Caatinga com diferentes graus de sucessão vegetal, SOUSA et al (2014) verificaram que em áreas onde a sucessão estava mais avançada, a riqueza dos FMA era maior, indicando uma provável relação positiva entre o estabelecimento da vegetação com a comunidade de fungos. O brejo de altitude é o ambiente que apresenta características similares a uma floresta: sua vegetação é mais densa, a radiação solar é difusa devido à cobertura vegetal, as folhas que caem formam uma proteção ao solo aumentando os teores de matéria orgânica e criando um microclima para a comunidade de organismos do solo. Por essas características, acredita-se que o brejo seja o ambiente mais estável dentre os avaliados nesse estudo e, provavelmente, este fato reflita na maior riqueza dos fungos micorrízicos.

Metades das espécies (43) foram consideradas especialistas, com ocorrência em apenas uma fitofisionomia. 21 (24,13%) foram classificadas intermediárias e 23 (26,43%) estavam presentes nas três áreas estudadas, sendo consideradas espécies generalistas (Tabela 02).

Espécies com ocorrência na Chapada do Araripe, tais como: *Ac. morrowiae*, *Cl. etunicatum*, *Fu. heterogama* e *Gi. decipens* têm sido registradas para a região Nordeste do país (Silva et al., 2014) e outras são consideradas novos registros para a região semi-árida, entre essas espécies estão: *A. colossica*, *A. herrerae*, *A. rugosa*, *C. spinosissima*, *Fu. aurea*, *Fu. rubra*, *Fu savannicola* e *Racocetra persica* (Lira et al., 2014). Contudo o trabalho atual registra a primeira ocorrência de *Ambispora reticulata* e *Pacispora robiginia* em ambiente semi-árido.

Trabalhos de levantamento da diversidade de FMA na Caatinga têm demonstrado que esse bioma apresenta um número significativo de espécies (Goto et al. 2010). Em levantamento de espécies de FMA para o Brasil realizado por STÜRMER & SIQUEIRA (2008), são citadas 99 espécies de ocorrência no país e apenas 30 delas são mencionadas para a Caatinga. Maia et al. (2006) cita 52 espécies presentes na Caatinga e Goto et al. (2010), em *checklist* para o bioma, relatam a ocorrência de 79 espécies de FMA. Em levantamento mais recente para a Caatinga, BERBARA et al (2013) apresentaram 90 espécies de ocorrência no bioma. Sendo assim, cerca de 80% de todas as espécies de fungos micorrízicos arbusculares com registro no Brasil tem ocorrência na Caatinga. Para área de Caatinga inserida no Estado do Ceará apenas um estudo foi realizado na reserva Serra das Almas, levantando 32 espécies de FMA (Pagano et al, 2013). Para a Chapada do Araripe, estudo preliminar de LIRA et al. (2014) registra 56 espécies de FMA. Com o presente estudo o número de espécies de organismos do filo Glomeromycota sobe para 87 correspondendo à quase totalidade de espécies registradas para o bioma e 69,6% das espécies de ocorrência no Nordeste (125) (Silva et al., 2014).

Alguns trabalhos realizados em pontos isolados de Caatinga têm reportado um aumento considerável no número de espécies novas de FMA nesse bioma (Goto et al. 2009; 2010; 2011). A tendência é que, com o aumento dos estudos nesse bioma e do esforço amostral, com cultivos armadilha e estudos de raízes, o número de espécies registradas tanto para a Chapada do Araripe quanto para a Caatinga aumentem, podendo assim refletir a real diversidade desse bioma tão especial.

Baseado no índice de riqueza de jackknife primeira ordem (jackknife 1), o número estimado de espécies foi de 73 para a área de brejo de altitude (BA), 67 para CA e 50 espécies para CE (Figura 13).

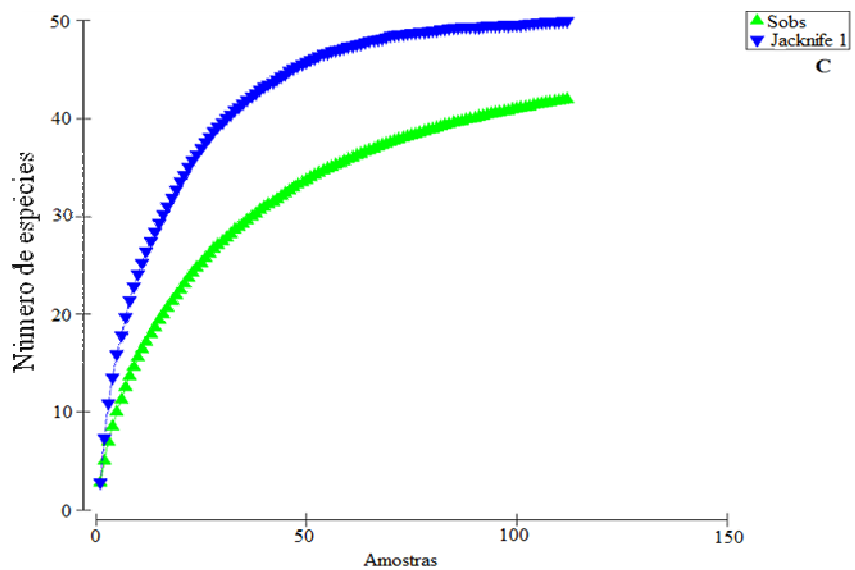
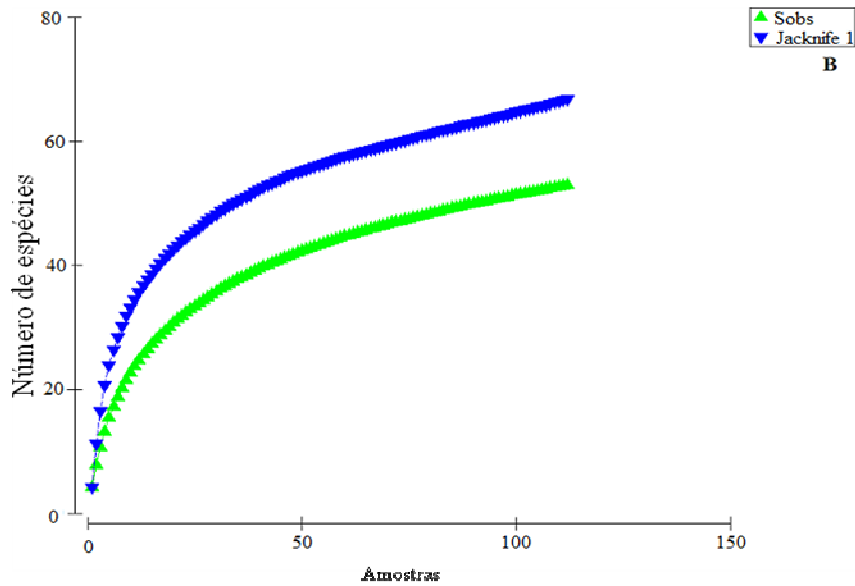
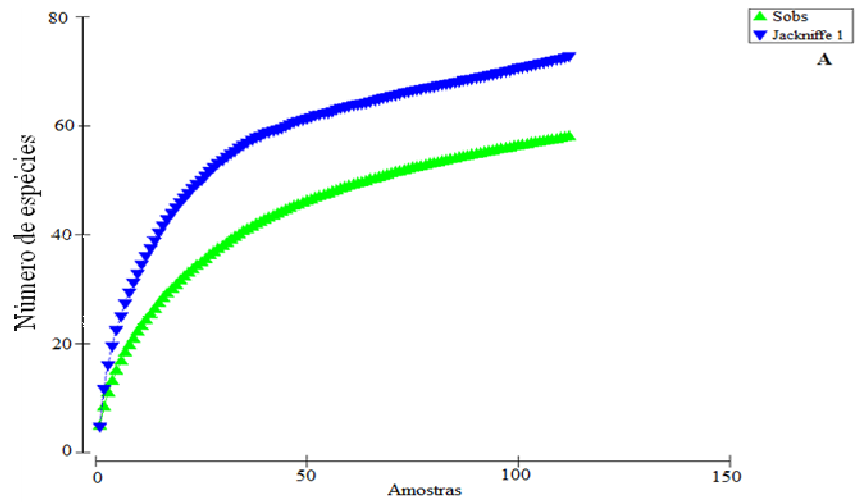


Figura 13 – Curva de acumulação de espécies (Sobs) e estimativa de riqueza pelo índice Jackknife primeira ordem (Jackknife 1) nas áreas de brejo de altitude (A), carrasco (B) e cerradão (C) na Chapada do Araripe, Ceará.

O esforço amostral conseguiu acessar cerca de 80% das espécies estimadas pelo índice Jacknife 1, levando à conclusão de outras coletas devam ser realizadas para a estimativa completa da riqueza de FMA na Chapada do Araripe. O cerradão foi o ambiente com riqueza (41) mais próxima ao número de espécies estimado pelo índice de Jacknife 1 (50).

O uso da curva de acumulação de espécies comparada com estimadores de riqueza para determinar o número esperado de espécies nos estudos de diversidade e riqueza de FMA ainda é pouco empregado (Whitcomb & Stutz, 2007; Stürmer & Siqueira, 2011; Pereira et al., 2014), mas capaz de auxiliar em tomadas de decisões quanto a maior esforço amostral em determinadas áreas de estudo.

As comunidades de FMA em BA e CA apresentaram similaridade de 60%, enquanto CE possui 58,6% de similaridade com as áreas de brejo e carrasco (Figura 14).

Mesmo com a elevada similaridade entre as comunidades de FMA nas fisionomias estudadas, a composição de suas comunidades varia, com predomínio de determinados gêneros. Em BA *Glomus* (23) é o gênero dominante, seguido gêneros com glomerosporos gigasporóides (18) e *Acaulospora* (15). No carrasco 25 gêneros apresentaram formação gigasporóide e em CE, onde também predominam gêneros gigasporóides, apenas sete (7) espécies do gênero *Acaulospora* são encontradas.

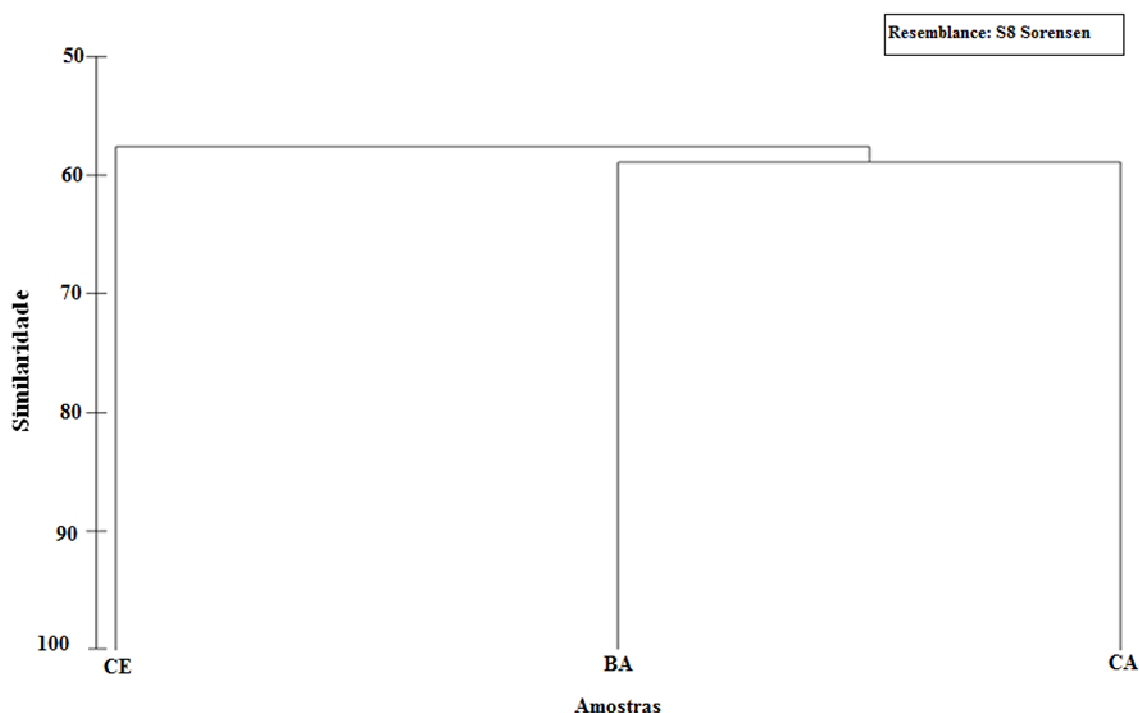


Figura 14 - Similaridade de espécies de FMA (baseada no índice de Sørensen) entre as áreas estudadas (brejo de altitude – BA, carrasco – CA e cerradão – CE), na Chapada do Araripe, Ceará.

Provavelmente em CE e CA, pela dominância de espécies gigasporóides, com a produção de glomerosporos grandes e maior produção de micélio no solo (Hart & Reader, 2002), haja maior importância funcional e ecológica dessas espécies. Além da ação mecânica das hifas dos FMA, há também a produção de uma glicoproteína denominada glomalina a qual é importante no processo de agregação do solo e no incremento de carbono no solo (Driver et al., 2005; Peng et al., 2013). Um solo bem estruturado e com disponibilidade de carbono é essencial para que os microrganismos e os vegetais desempenhem suas funções.

Em relação à densidade de glomerosporos BA apresentou maior quantidade desses propágulos seguida por CA e CE (Tabela 13). Os maiores índices de diversidade e equitabilidade foram observados em CA, seguidos de BA e CE. O ambiente com maior valor de índice de dominância foi CE e o menor CA (Tabela 13).

Tabela 13 - Número de glomerosporos (50 g de solo) e índices de diversidade e dominância da comunidade de FMA em ambientes de Brejo de altitude (BA), Carrasco (CA) e Cerradão (CE) na Chapada do Araripe – CE.

Fitofisionimias	BA	CA	CE
Densidade de glomerosporos (50 g)	72 a*	26 b	12 c
Índice de Shannon (H')	1,112	1,360	0,886
Equitabilidade de Pielou (J')	0,631	0,785	0,549

*Médias (112 amostras) seguidas da mesma letra não apresentaram diferenças estatísticas significativas pelo teste de Tukey ($p > 0,01$).

O número de glomerosporos produzido está relacionado, principalmente, à estratégia de vida dos FMA. Espécies com estratégia tipo *r* produzem muitos glomerosporos e de tamanho menor quando comparados às espécies tipo *k* estrategistas (Moreira & Siqueira, 2002). Analisando a diversidade reportada para as áreas estudadas na Chapada do Araripe, verifica-se no brejo de altitude maior número de espécies com glomerosporos, caracteristicamente estrategistas tipo *r*, assim como maior densidade de glomerosporos.

CA foi o ambiente com maiores índices de Shannon (H'), seguido de BA e CE. Os índices de diversidade são bons parâmetros para se comparar ambientes. Em estudos de FMA o uso de índices de Shannon e Pielou é comum (Pereira et al., 2014, Silva et al., 2014). O índice de Shannon é um dos mais utilizados, pois dá alto peso a espécies raras, sendo ideal para medir perturbações ambientais (Caproni et al, 2003). O índice de Pielou indica o grau de distribuição de indivíduos em seu habitat. Valores acima de 0,5 indicam que as espécies estão distribuídas uniformemente (Ludwig & Reynolds, 1988) e quanto mais próximas a um (1), mais uniforme é o ambiente. Para o presente estudo CA foi considerado mais uniforme seguido por BA e CE.

6. CONCLUSÕES

A Chapada do Araripe apresentou elevada diversidade de FMA, com o registro de 87 espécies.

Foi registrada a primeira ocorrência das espécies *Ambispora reticulata* e *Pacispora robiginia* em ambiente semi-árido.

Os gêneros *Glomus* e *Acaulospora* são os mais representativos na Chapada do Araripe, com 18 espécies cada.

A composição da comunidade de FMA varia de acordo com a fitofisionomia estudada, sendo a maior riqueza de espécies registrada no brejo de altitude.

Espécies com glomerosporos tipo gigasporóides predominam nas áreas de carrasco e cerradão enquanto na área de brejo de altitude as espécies dominantes são as que possuem glomerosporos tipo glomóide.

A Caatinga é um bioma rico em diversidade de FMA e o aumento de esforço amostral, assim como o incremento em locais de pesquisa podem ser determinantes para o acesso completo da diversidade do filo *Glomeromycota*.

5. CAPÍTULO III

SAZONALIDADE DE FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES EM ÁREAS DE CAATINGA NA CHAPADA DO ARARIPE - CEARÁ

1. RESUMO

Estudos de sazonalidade são de extrema importância para a caracterização de comunidades. Apesar de se assumir que as comunidades de FMA podem influenciar o estabelecimento de plantas, afetando a composição da comunidade vegetal, pouco ainda é conhecido sobre a ecologia de populações das espécies desses fungos e a composição de suas comunidades. Considerando a hipótese de que a ocorrência, frequência, abundância e atividade das espécies são alteradas em decorrência das variações temporais ao longo do ano, o presente capítulo teve o objetivo de verificar a dinâmica sazonal de comunidades de FMA em áreas de Caatinga na Chapada do Araripe, durante dois anos. Durante início e fim de duas estações secas (set/dez 2011 e ago/dez 2012) e duas estações chuvosas (fev/maio 2012 e fev/abr 2013) foram realizadas coletas de solo na área inserida na Floresta Nacional do Araripe. Quatorze amostras compostas de solo foram tomadas nas três vegetações em estudo (brejo de altitude, carrasco e cerradão), na profundidade 0-20 cm. Análises de fertilidade, determinação de carbono orgânico total, fracionamento químico da matéria orgânica, densidade de glomerosporos e determinação dos teores de glomalina foram avaliados quanto a variação sazonal, assim como as espécies de ocorrência nas áreas de coleta através de ferramentas de análise multivariada. Maior riqueza de FMA foi estimada durante a época seca, possivelmente devido à maior esporulação nessa época. As comunidades de FMA são características de cada fitofisionomia estudada e são alteradas com as variações sazonais. Treze espécies ocorreram de forma generalizada em todas as fitofisionomias estudadas. A sazonalidade é um dos principais fatores que afetam a comunidade de FMA em área de Caatinga na Chapada do Araripe, influenciando tanto a esporulação quanto a atividade (produção de glomalina).

Palavras chave: comunidade; BRSP; glomerosporos; riqueza de espécies; MANOVA.

2. ABSTRACT

Seasonal studies are extremely important for the characterization of communities. Although we assume that AMF communities can influence the establishment of plants, affecting the composition of the plant community, little is known about the ecology of populations of species of these fungi and the composition of their communities. Considering the hypothesis that the occurrence, frequency, abundance and activity of the species are changed as a result of temporal variations throughout the year, this chapter aimed to verify the seasonal dynamics of AMF communities in areas of Caatinga in the Araripe plateau for two years. During the beginning and end of two dry seasons (Sept / Dec 2011 and Aug / Dec 2012) and two rainy seasons (Feb / May 2012 and Feb / Apr 2013) samplings were conducted in the area included in the National Forest Araripe. Fourteen composite soil samples were taken in the three vegetations in the study ('brejo de altitude', 'carrasco' and 'cerradão'), at 0-20 cm depth. Fertility analysis, determination of total soil organic carbon, chemical fractionation of organic matter, spore density and the levels of glomalin were evaluated for seasonal variation, as well as the occurrence of species in the collection area by multivariate analysis tools. Higher species richness of AMF was found in dry season, probably due to the higher sporulation in this season. The AMF communities are specific of the fisionomies studied and they change with seasonally. Thirteen species were generalist for all three areas studied. Seasonality is one of the most important factors that affect the AMF community in Caatinga area in the Araripe plateau, and it influences the sporulation and activity of AMF (glomalin production).

Key-words: community; BRSP; spores; species richness; MANOVA.

3. INTRODUÇÃO

A Caatinga está localizada, principalmente, na região Nordeste do Brasil e é um bioma peculiar, adaptado às condições de déficit hídrico e rico em diversidade. Com a estação seca suas folhas caem deixando os troncos de árvores e arbustos à mostra, daí o nome Caatinga ('mata branca' ou 'floresta branca' em tupi-guarani) (Albuquerque & Bandeira, 1995). Como toda floresta seca, a Caatinga apresenta longos períodos de estiagem e com isso modificações nas relações ecológicas entre os vegetais e a microbiota do solo.

Acredita-se que, na maioria dos casos, a capacidade de sobrevivência de espécies vegetais em áreas de floresta seca durante os períodos de estresse hídrico seja devido a sua associação com os fungos micorrízicos arbusculares (FMA) (Violi et al. 2008; Uiboppu et al. 2009). Amplamente distribuída no planeta (Brundrett, 2009; Öpik et al., 2013) e sendo uma das associações entre fungos e vegetais mais antigas que se tem registros (Das & Varma, 2009), a simbiose micorrízica é formada por indivíduos do filo *Glomeromycota* (Schußler et al., 2001). Sua principal contribuição se dá no âmbito nutricional dos simbioss vegetais (Smith & Smith, 2102), porém também há efeitos na resistência a estresses ambientais (Yano-Melo et al., 2003) e contra ação de patógenos (Sikes et al., 2009).

GUADARRAMA et al., 2014 sugerem que os FMA desempenhem papel crucial no suporte de serviços ecológicos mantendo a estabilidade do ambiente terrestre. As comunidades de FMA podem influenciar o estabelecimento de plantas, afetando a composição da comunidade vegetal (Kiers et al., 2000). Ambientes com solos de baixa fertilidade natural, tais como a Caatinga, mantém a sustentabilidade de seus ecossistemas graças à presença dos fungos micorrízicos (de Souza et al., 2010). Apesar da importância ambiental desses organismos ainda há um conhecimento limitado sobre a ecologia de populações dos FMA e a composição de suas comunidades (Bever et al., 2001).

A ocorrência dos FMA é influenciada por diversos fatores, como por exemplo, o simbionte vegetal, fatores edáficos e sazonalidade (Ji et al, 2012). Estes fatores, em sua maioria, estão associados, dificultando ainda mais a compreensão da ecologia deste grupo de fungos.

Existem diversos estudos em vários ambientes demonstrando a influência da sazonalidade sobre as comunidades dos FMA (Guadarrama et al., 2014; Silva et al., 2014; Souza et al., 2014; Pagano et al., 2013; Silva et al., 2012; Dumbrell et al., 2011; Nobre et al., 2010; Caproni et al., 2003; Stürmer & Bellei, 1994). A compreensão de como as condições hídricas da Caatinga influencia a alteração na comunidade dos FMA e como a relação simbionte vegetal/fungo ocorre na região semi-árida do Brasil pode auxiliar na tomada de decisão para preservação do bioma.

Com a hipótese de que a comunidade de fungos micorrízicos arbusculares na Chapada do Araripe tem sua dinâmica alterada pela sazonalidade, o presente capítulo teve como objetivo analisar as alterações na produção de glomalina, a esporulação, frequência e ocorrência das espécies de FMA causadas pela sazonalidade, em três fisionomias vegetais na Floresta Nacional do Araripe (CE).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Áreas de Estudo

O estudo foi conduzido na Floresta Nacional do Araripe (FLONA – Araripe), sul do Estado do Ceará. Sua localização e características são descritas no capítulo 1.

4.2 Amostragem e processamento das amostras

As áreas do estudo estão descritas no capítulo 2. Três áreas foram subdivididas em duas subáreas (50 m x 20 m cada). Foram coletadas 14 amostras compostas de solo rizosférico, abaixo da copa das árvores, em cada fitofisionomia estudada (sete em cada subárea). Cada amostra composta era formada por três amostras simples de solo na profundidade 0-20 cm. Foram realizadas quatro coletas durante a época seca (set/dez 2011 e ago/dez 2012) e quatro coletas em época chuvosa (fev/maio 2012 e fev/abr 2013), correspondendo a início/fim das duas estações. A precipitação registrada na FLONA-Araripe e os períodos de coleta são apresentados na figura 15.

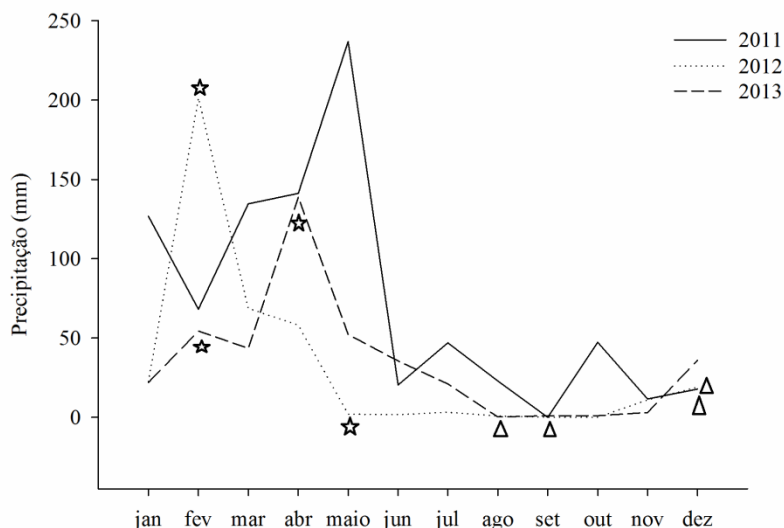


Figura 15 - Precipitação durante os anos de 2011, 2012 e 2013 na área de coleta, na Chapada do Araripe – CE. Fonte: FUNCEME. Onde: △ época seca, ☆ época chuvosa. Fonte: FUNCEME

Parte dessas amostras foi utilizada para análise de fertilidade de rotina (EMBRAPA, 1997) e determinação dos teores de carbono total – COT (Yeomans & Bremner, 1988) (tabela 14). Também foi realizado o fracionamento químico da matéria orgânica segundo metodologia adaptada de BENITES et al. (2003). A determinação quantitativa de carbono nos extratos das frações ácidos fúlvicos, ácidos húmicos e humina foram feitas segundo método de YOEMANS & BREMNER (1988).

Tabela 14 - Caracterização química de solos em área de Caatinga sob diferentes coberturas vegetais (Brejo de Altitude, Carrasco e Cerradão, durante estação seca e chuvosa, no nordeste do Brasil.

Propriedades do solo*	Brejo de Altitude		Carrasco		Cerradão	
	Seca	Chuva	Seca	Chuva	Seca	Chuva
pH (H ₂ O)	4,32	4,63	4,43	4,28	4,45	4,27
C (g.kg ⁻¹)	26,15	28,89	21,41	25,36	21,58	23,20
N (g.kg ⁻¹)	2,24	2,30	1,47	1,23	1,67	1,24
P (mg.dm ⁻³)	4,98	4,43	5,64	4,63	4,97	3,01
Ca (cmol _c .dm ⁻³)	0,14	0,18	0,25	0,26	0,19	0,19
Mg (cmol _c .dm ⁻³)	0,50	0,40	0,70	0,66	0,59	0,44
Al (cmol _c .dm ⁻³)	2,37	2,05	1,14	1,02	1,55	1,25
K (cmol _c .dm ⁻³)	8,83	8,30	7,40	7,00	6,75	4,99
Na (cmol _c .dm ⁻³)	6,19	8,53	2,80	3,03	3,05	1,64
H+Al (cmol _c .dm ⁻³)	17,16	12,61	7,73	6,42	9,39	6,90
SB	15,66	17,40	11,14	10,95	10,58	7,25
CTC	32,83	30,01	18,87	17,37	19,98	14,15

*média de 56 amostras

Parte das amostras foi usada para determinação dos teores de glomalina (Wright & Upadhyaya, 1998) conforme metodologia descrita no capítulo 1. Outra parte do solo foi utilizada para estudo da comunidade de FMA.

Glomerosporos foram extraídos de 50 g de solo, de acordo com metodologia de peneiramento úmido (Gedermann & Nicolson, 1963) e centrifugação com sacarose (Jenkins, 1964). Os glomerosporos foram separados por cor e tamanho. As lâminas foram montadas com resina PVLG e PVLG + Melzer para identificação e contagem dos glomerosporos. A classificação adotada neste trabalho foi a proposta por OEHL et al. (2011a) com inclusões de publicações mais recentes.

4.3 Análises estatísticas ANOVA e MANOVA

Os teores de EE-BRSP, BRSP e densidade de glomerosporos foram submetidos a testes de homogeneidade e normalidade. Os dados de EE-BRSP foram transformados em log x+1 e submetidos ao teste de média de Tukey (p< 0,05) e os resultados de BRSP e número de glomerosporos tiveram distribuição não normal, sendo submetidos ao teste não paramétrico de Kruskal-Wallis (p< 0,05).

Com objetivo de quantificar a dissimilaridade e reconhecer o padrão de similaridade entre os ambientes e as épocas estudadas utilizaram-se técnicas multivariadas. Os dados foram organizados de acordo com a tabela 13, totalizando 24 tratamentos. As análises de regressão, análises de variância multivariada (MANOVA), a distância de mahalanobis, a construção dos dendrogramas, obtenção do coeficiente de correlação cofenético e teste de mantel foram feitos através do Programa R, versão 1.7.1 (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2011), utilizando-se os pacotes *cluster* (Maechler et al., 2011), *vegan* (Oksanen et al., 2011), *ade4* (Dray & Dufour, 2007) e *permute* (Simpson, 2011).

Na tabela 15 é apresentado o resultado de consistência dos agrupamentos testados a partir das combinações entre as diferentes matrizes de distância de mahalanobis e técnicas de agrupamento. Portanto, a técnica UPGMA, apresentou maior consistência quando comparada

à metodologia do Vizinho mais próximo (*Single linkage clustering*), Vizinho mais distante (*Complete linkage clustering*) e *Ward clustering*.

Tabela 15 - Análise de Variância Multivariada (MANOVA) das propriedades químicas e biológicas do solo entre sazonalidade e fitofisionomias na Chapada do Araripe - Ce. Consistência do padrão de agrupamento em relação à distância de Mahalanobis (D2), para variáveis quantitativas, em função do coeficiente de correlação cofenética e consistência via Mantel.

	Df	Wilks	approx F	numDf	denDf	Pr(>F)
<i>Accession</i>	1	0.27583	46.237	18	317	2,2E-2,2E-16 ***
<i>Residuals</i>	334					

Coeficiente de Correlação COFENÉTICO (CCC)				
	<i>Single linkage Clustering</i>	<i>Complete linkage Clustering</i>	<i>Average Clustering</i>	<i>Ward clustering</i>
D2	0,600	0,720	0,740	0,691

Consistência via Mantel (Mantel statistic r:)				
	<i>Single linkage Clustering</i>	<i>Complete linkage Clustering</i>	<i>Average Clustering</i>	<i>Ward clustering</i>
D2	0,600	0,721	0,740	0,691
Signif	0,001	0,001	0,001	0,001

4.4 Análises de diversidade de FMA

A comunidade de fungos micorrízicos arbusculares foi avaliada quantitativa e qualitativamente (ocorrência e frequência de distribuição), tendo sua estrutura analisada por índices que mensuram riqueza de espécies e diversidade. A frequência de ocorrência (**FO**) das espécies foi calculada pela equação: $F_i = J_i/k$, onde F_i = frequência de ocorrência da espécie **i**, J_i = número de amostras onde a espécie **i** ocorreu e k = número total de amostras. A abundância relativa (**AR**) também foi determinada. O índice de diversidade de Shannon (H') foi calculado de acordo com a equação: $H' = \sum p_i \cdot \ln p_i$, em que p_i é o número de glomerosporos de cada espécie em 50 mL de solo/número total de glomerosporos de todas as espécies. A equitabilidade de Pielou foi obtida pela equação $J' = H'/\text{Log}(S)$ em que H' é o valor obtido pelo índice de Shannon e S é o número total de espécies. O índice de dominância de Simpson (λ) foi calculado pela equação $C = \sum (p_i)^2$.

Para definir a similaridade entre as comunidades de FMA foi utilizado o Índice de Sørensen (Brower e Zar, 1984). As análises de agrupamento foram realizadas com auxílio do programa Primer 6.0 (Clarke e Gorley, 2006).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os teores de glomalina (EE-BRSP e BRSP) apresentaram variações entre as fitofisionomias e entre as épocas de coleta. A variação de EE-BRSP é apresentada na figura 16. Em BA o maior teor de EE-BRSP foi quantificado no início do período seco (0,034 mg.g⁻¹). Essa fração protéica teve redução em seus teores nas três coletas seguintes (fim da época seca, início e fim da época chuvosa). Na época seca seguinte, os teores de EE-BRSP aumentaram em relação ao da coleta anterior, atingindo valores próximos a 0,033 mg.g⁻¹ e, mais uma vez, voltaram a decrescer na época chuvosa.

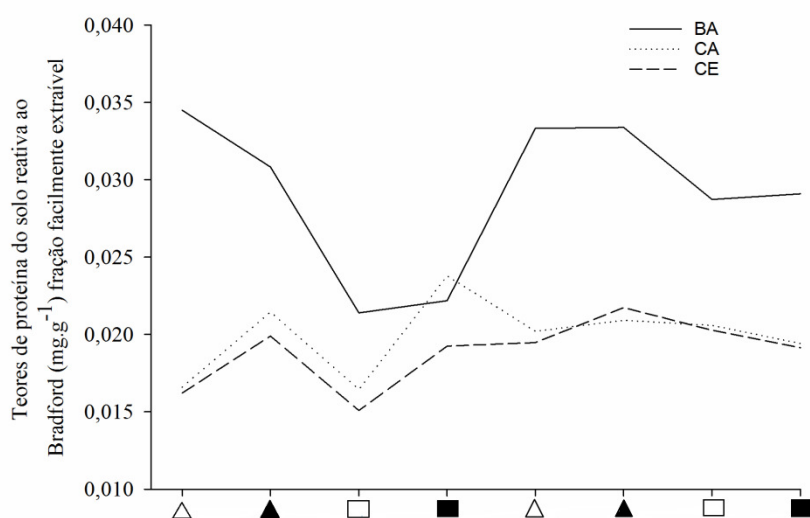


Figura 16 – Variação sazonal dos teores de proteína do solo reativa ao Bradford (mg.g⁻¹) fração facilmente extraível. BA – brejo de altitude, CA- carrasco e CE – cerradão. Onde: \triangle início período seco, \blacktriangle fim período seco, \square início período chuvoso, \blacksquare fim período chuvoso.

Em CA, o maior teor de EE-BRSP foi quantificado no fim do primeiro período chuvoso, atingindo valores próximos a 0,025 mg.g⁻¹. O segundo maior valor dessa fração foi quantificada no fim da primeira época seca. CE apresentou os menores teores de EE-BRSP dentre as três fitofisionomias estudadas e os maiores teores da fração protéica foram quantificados sempre ao fim das épocas seca.

Para a fração glomalina total (BRSP) comportamento similar ao de EE-BRSP é observado com redução nos teores da proteína em época chuvosa para todos os ambientes (Figura 17).

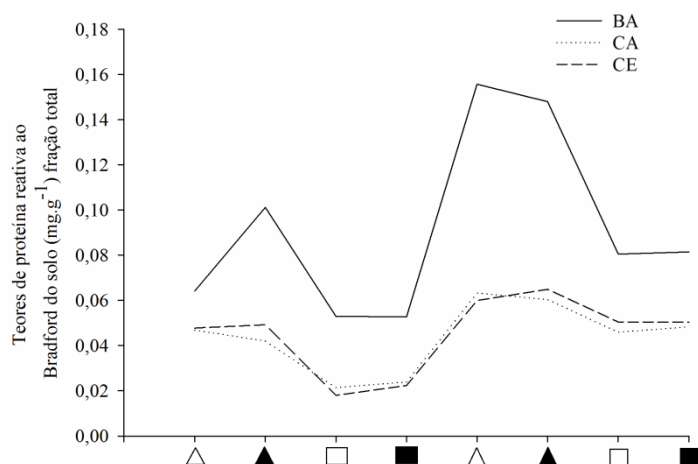


Figura 17 – Variação sazonal dos teores de proteína do solo reativa ao Bradford ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$) fração total em BA – brejo de altitude, CA- carrasco e CE – cerradão. Onde: \triangle início período seco, \blacktriangle fim período seco, \square início período chuvoso, \blacksquare fim período chuvoso.

Quando se analisam as frações protéicas entre época seca e chuvosa, observam-se as variações entre ambientes e sazonais. Para mesma estação os teores de EE-BRSP são maiores em BA. CA e CE não apresentaram diferenças estatísticas entre si. Entre as estações apenas em BA a redução nos teores de EE-BRSP é significativa estatisticamente. Os teores de BRSP na época seca são superiores quando comparados aos valores dessa fração na época chuvosa. Durante a seca BA apresenta maiores teores da proteína, seguido por CE e CA. Durante a época chuvosa CA e CE não apresentaram diferenças estatísticas entre si (Figura 18).

Os teores de EE-BRSP variaram de $0,033$ a $0,019 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ de solo no período seco e $0,018$ a $0,025 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ de solo na época chuvosa. A fração glomalina total teve teores variando de $0,055$ a $0,0117 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ de solo na seca e $0,035$ a $0,067 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ de solo no período chuvoso.

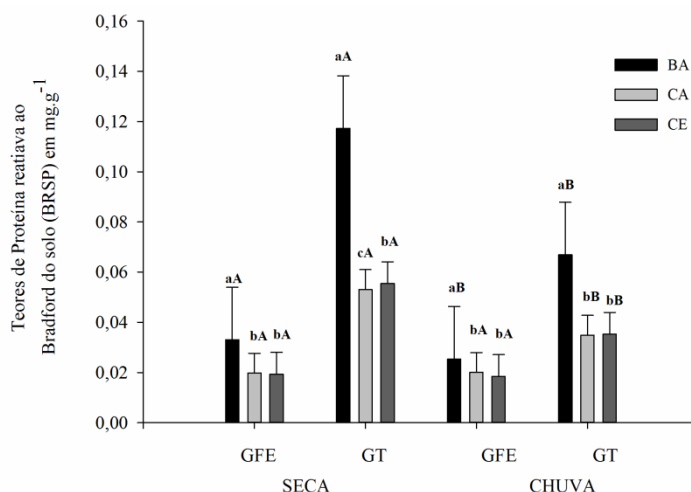


Figura 18 – Teores de proteína reativa ao Bradford do solo (BRSP), frações facilmente extraível (EE-BRSP) e total (BRSP) em brejo de altitude – BA, carrasco – CA e cerradão – CE, na Chapada do Araripe durante época seca e chuvosa.

Barras encimadas com letras minúsculas comparam entre ambientes na mesma estação e letras maiúsculas comparam mesmo ambiente entre estações. EE-BRSP teste de Tukey ($p < 0,05$) e BRSP teste de Kruskal-Wallis ($p < 0,05$).

A quantificação dos teores de glomalina já foi realizada em solos de vários ambientes. Em solos de clima temperado sua concentração varia de 2 a 15 mg.g⁻¹ de solo (Wright & Upadhyaya, 1998; Wright et al., 1999). FOKON et al.,(2012) quantificaram teores variando de 15,67 a 8,45 mg.g⁻¹ de glomalina total em solos de uma floresta úmida no sul Camarões, enquanto em área contaminada com metais pesados na Itália, BEDINI et al. (2010) obteve teores entre 2,3 e 1,6 mg.g⁻¹ de glomalina. BIRD et al. (2002) afirma que em regiões semi-áridas da América os teores de EE-BRSP não ultrapassam 0,6 mg.g⁻¹ de solo. Sendo assim, para a Chapada do Araripe consideramos dentro do esperado para áreas semi-áridas.

SOUSA et al. (2014) estudando Caatinga com diferentes graus de sucessão vegetal na Paraíba, verificaram que em estágio inicial e tardio os teores de EE-BRSP possuem um discreto incremento na época seca (1,49 e 1,25 mg.g⁻¹, respectivamente) quando comparado com a época chuvosa (1,35 e 1,17 mg.g⁻¹, respectivamente).

Em estudo da variação dos teores de glomalina no Nordeste da Espanha durante um ano, observou-se padrão similar ao verificado nas áreas de estudo na Chapada do Araripe. Houve um aumento nos teores de EE-BRSP no verão (seco) e redução na estação chuvosa (Ermran et al., 2012). Esses resultados demonstram padrão sazonal da fração protéica, podendo ser uma resposta dos fungos a situações de estresse. Durante períodos de estresse as hifas dos fungos micorrízicos seriam estimuladas a buscar nutrientes e água para manter o simbiote até que as condições ambientais se tornem favoráveis.

A densidade de glomerosporos decresce entre o período seco e chuvoso. O brejo de altitude é a fisionomia vegetal com maior densidade de glomerosporos (média de 73 e 71 glomerosporos. 50g⁻¹ de solo, respectivamente em época seca e chuvosa), seguido pelo carrasco (média de 25 e 26 glomerosporos. 50g⁻¹ de solo durante seca e chuva, respectivamente) e cerradão com a menor densidade encontrada (16 e 7 glomerosporos, respectivamente na seca e chuva) (Figura 19). Entre as estações, apenas são observadas diferenças estatísticas significativas para o cerradão.

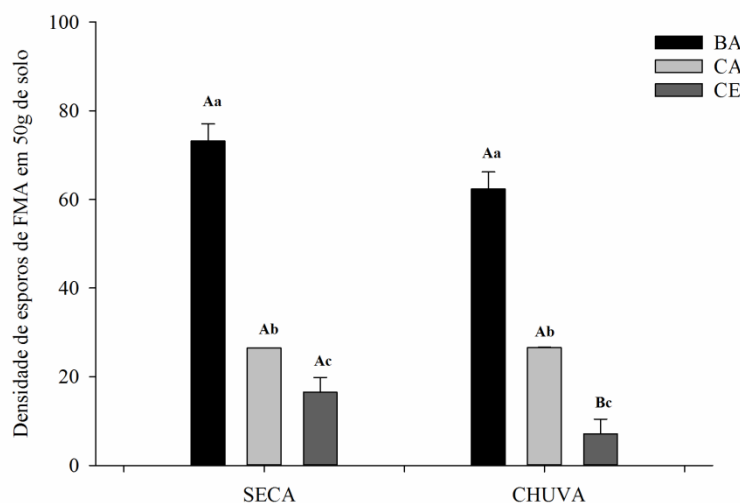


Figura 19 – Densidade de glomerosporos em 50g de solo em brejo de altitude – BA, carrasco – CA e cerradão – CE, durante época seca e chuvosa. Média de 56 amostras. Letras minúsculas comparam entre ambientes na mesma estação e letras maiúsculas comparam mesmo ambiente entre estações. Teste de Kruskal-Wallis ($p < 0,05$).

Alguns trabalhos realizados na Caatinga e em regiões semi-áridas do globo relatam baixa densidade de glomerosporos nessas regiões (Souza et al., 2003; Mohammad et al., 2003; Mergulhão et al., 2007; Shi et al., 2007; Mello et al., 2012; Sousa et al., 2014), corroborando com resultados os obtidos na Chapada do Araripe. A produção de

glomerosporos é característica de cada espécie de FMA e pode ser afetada por fatores relacionados às características de solo, vegetação ou o somatório desses fatores. A baixa esporulação em áreas de Caatinga pode estar associada com espécies de fungos que não estejam esporulando por se encontrarem em fase de associação com vegetais (Stürmer & Siqueira, 2011) ou que apresentam esporulação bi-anual (Bever et al, 2001).

Levantamentos de número de glomerosporos na Caatinga indicam aumento do número desses propágulos na época seca (Mergulhão et al., 2010; Pagano et al., 2013; Souza et al., 2014). Segundo CAPRONI et al., (2003), o número de glomerosporos tende a diminuir com as chuvas, já que estes são estruturas de resistência e outras estruturas tais como as hifas estão mais abundantes. O fator umidade do solo, provavelmente, é um determinante para a esporulação dos FMA na Caatinga. PAGANO et al., (2013) verificaram correlação negativa entre umidade do solo e densidade de glomerosporos em área de Caatinga no Estado do Ceará.

Na tabela 16 é apresentada a dinâmica sazonal das espécies de FMA das áreas de brejo de altitude, carrasco e cerradão da Chapada do Araripe. Algumas espécies têm ocorrência registrada em apenas um período (seco ou chuvoso). Em BA são 25 espécies específicas de uma estação, CA tem 20 e CE 22 espécies com esse padrão de ocorrência. Outras espécies ocorrem em nas duas estações, independente do início ou fim de estação. O carrasco é o ambiente que apresenta maior número de espécies generalistas com 16 táxons, seguido por BA (12) e CE (8). O número total de espécies por período de coleta varia com as estações. De forma geral, o início da seca (IS) apresenta o maior número de espécies em cada um dos ambientes e há redução na riqueza até o fim da época chuvosa (FC). A redução de riqueza mais acentuada é observada em CE com, aproximadamente, 50% a menos de espécies quando no período seco.

Tabela 16 – Ocorrência de espécies de FMA em brejo de altitude, carrasco e cerradão em início de seca (IS), fim de seca (FS), início de chuva (IC) e fim de chuva (FC).

Espécies FMA	Brejo de Altitude				Carrasco				Cerradão			
	IS	FS	IC	FC	IS	FS	IC	FC	IS	FS	IC	FC
<i>Acaulospora cavernata</i>					X							
<i>A. colossica</i>	X											
<i>A. delicata</i>	X	X			X	X	X	X	X		X	
<i>A. dilatata</i>	X		X									
<i>A. excavata</i>			X									
<i>A. foveata</i>	X	X	X	X		X	X	X				
<i>A. herrerae</i>		X	X		X		X		X			
<i>A. lacunosa</i>	X		X	X	X	X		X	X			
<i>A. mellea</i>	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	
<i>A. morrowiae</i>	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X
<i>A. rehmi</i>		X	X	X		X						
<i>A. rugosa</i>					X							
<i>A. scrobiculata</i>	X		X	X	X	X			X			
<i>A. spinosa</i>		X		X	X	X	X	X				
<i>A. tuberculata</i>		X	X		X	X	X	X				
<i>Acaulospora</i> sp.1	X											
<i>Acaulospora</i> sp.2	X	X										
<i>Acaulospora</i> sp.3										X		X
<i>Kuklospora colombiana</i>	X											
<i>Ambispora appendicula</i>									X			
<i>Am. leptoticha</i>						X						

<i>Am. reticulata</i>									X		X	
<i>Dentiscutata cerradensis</i>			X	X	X	X	X	X	X	X		
<i>De. colliculosa</i>							X					
<i>De. scutata</i>	X		X	X	X	X	X	X	X		X	
<i>Dentiscutata sp.</i>		X							X	X		X
<i>Fuscutata aurea</i>	X											
<i>Fu. heterogama</i>	X								X	X	X	X
<i>Fu. savannicola</i>	X		X	X	X	X	X			X	X	
<i>Fu. rubra</i>							X					
<i>Fuscutata sp.</i>			X									
<i>Entrophospora infrequens</i>						X						
<i>Claroideoglomerus etunicatum</i>	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Corymbiglomerus tortuosum</i>	X											
<i>Gigaspora albida</i>	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Gi. decipiens</i>	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
<i>Gi. gigantea</i>	X	X	X		X		X	X	X			
<i>Gi. margarita</i>	X	X	X	X	X	X	X	X				X
<i>Gi. ramiphorospora</i>	X											
<i>Gigaspora sp.</i>					X				X	X	X	X
<i>Funneliformis geosporum</i>	X	X	X	X	X	X	X	X		X		
<i>Fu. halonatum</i>						X	X		X	X		X
<i>G. brohultii</i>			X	X					X	X		
<i>G. coremioides</i>	X	X				X						
<i>G. glomerulatum</i>		X	X	X	X	X		X	X	X	X	X
<i>G. heterosporum</i>			X						X			
<i>G. macrocarpum</i>	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	
<i>G. microcarpum</i>	X	X	X									
<i>G. nanolumem</i>					X	X						
<i>G. sinuosum</i>				X								
<i>G. trufemii</i>	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Glomus sp.1</i>	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
<i>Glomus sp.2</i>	X	X	X	X	X	X			X			
<i>Glomus sp.3</i>	X											
<i>Glomus sp.4</i>	X										X	
<i>Glomus sp.5</i>				X								
<i>Glomus sp.6</i>		X	X	X			X	X				
<i>Glomus sp.7</i>			X	X		X	X					
<i>Glomus sp.8</i>							X					
<i>Glomus sp.9</i>						X	X					
<i>Septoglomerus constrictum</i>									X			
<i>Se. furcartum</i>	X	X										
<i>Simigliomus sp.</i>										X	X	X
<i>Rhizoglomerus aggregatum</i>		X	X	X								
<i>R. clarum</i>	X	X	X	X							X	
<i>R. intraradices</i>	X											
<i>R. microaggregatum</i>	X											
<i>Intraornatospora intraornata</i>									X	X	X	
<i>Cetraspora gilmorei</i>	X	X	X		X	X	X	X		X		
<i>Ce. pellucida</i>			X	X			X					
<i>Ce. spinosissima</i>									X			

<i>Racocetra castanea</i>					X							
<i>Ra. fulgida</i>									X			
<i>Ra. gregaria</i>					X				X			
<i>Ra. persica</i>							X		X			
<i>Ra. verrucosa</i>						X			X		X	
<i>Racocetra</i> sp.												
<i>Orbispora pernambucana</i>	X		X	X	X	X			X	X	X	X
<i>Scutellospora aurigloba</i>		X	X	X					X	X		
<i>S. calospora</i>				X	X	X	X					
<i>Scutellospora</i> sp.1				X								
<i>Scutellospora</i> sp.2					X							
<i>Scutellospora</i> sp.3									X			
<i>Scutellospora</i> sp.4												
<i>Scutellospora</i> sp.5												
<i>Pacispora robiginia</i>									X	X		X
<i>Paraglomus occultum</i>		X	X	X								
Riqueza	36	30	34	32	33	34	29	27	32	23	18	14

O período seco apresentou maior riqueza com 75 táxons no total e o período chuvoso tem riqueza de 64 espécies de FMA. Durante a época seca, sete espécies ocorreram nas três fisionomias, foram elas: *Acaulospora delicata*, *Ac. herrerae*, *Ac. lacunosa*, *Ac. scrobiculata*, *Glomus* sp1, *Glomus* sp2 e *Orbispora pernambucana* (Tabela 17). Treze espécies ocorreram de forma generalizada nos três ambientes durante as duas estações, foram elas: *Ac. mellea*, *Ac. morrowiae*, *Dentiscuta scutata*, *Fuscutata savannicola*, *Claroideoglomus etunicatum*, *Gigaspora albida*, *Gi. decipiens*, *Gi. margarita*, *Funneliformis geosporum*, *Glomus glomerulatum*, *Gl. macrocarpum*, *Gl. truffemii* e *Cetraspora gilmorei*. Destas, quase metade corresponde a espécies da ordem Gigasporales, indicando que estes táxons são mais adaptados às condições de Caatinga.

O registro dessas espécies, independente de ambiente e estação, indica seu caráter generalista. Além disso, pode indicar a adaptação às características semi-áridas e características do solo. Espécies com glomerosporos glomóides são conhecidas por serem dominantes em regiões áridas e semi-áridas (Tao & Zhiwei, 2005; Dandan & Zhiwei, 2007). Nos trabalhos mais recentes realizados no Nordeste do Brasil, têm-se verificado um aumento no número de espécies da ordem Gigasporales, sugerindo que esses táxons tenham boa adaptação a essa região (Silva et al., 2014), principalmente aos solos com alta acidez.

Algumas espécies como *Gigaspora gigantea* tem estudos de dinâmica sazonal quanto a sua esporulação. PRINGLE & BEVER (2002) estudando campos agrícolas, afirmam que essa espécie possui maior esporulação durante a época chuvosa. Outros registros indicam que a maior taxa de esporulação dessa espécie se dá no outono, dormência no inverno e germinação no verão (Gemma e Koske, 1988; Bever et al., 2001). Contudo, os registros dessa espécie para a Chapada do Araripe ocorreram, preferencialmente, no período seco. Comportamento inverso foi observado para *Acaulospora colossica*, que esporula abundantemente no início do verão, apresenta dormência durante essa estação, sendo fisiologicamente ativa no inverno (Bever et al., 2001). A espécie *Ac. colossica* ocorreu apenas no início da estação seca no ambiente de brejo de altitude.

Acaulospora scrobiculata tem sua ocorrência em todos os ambientes, preferencialmente, em época seca. Seu registro em estação chuvosa se dá apenas no brejo de altitude. Segundo de SOUZA et al., (2010), essa espécie tem ampla distribuição geográfica e, aparentemente, não é afetada por ecossistemas ou fatores geográficos. Contudo no presente

estudo, apresenta preferência por condições secas e sua ocorrência em ambiente de brejo em época chuvosa pode estar condicionada a alguma condição desse ambiente.

O gênero *Acaulospora* apresentou frequência e abundância similar entre período seco e chuvoso. CAPRONI et al. (2003) e AIDAR et al. (2004) estudando dunas revegetadas e Mata Atlântica, respectivamente, indicam aumento na frequência e esporulação desse gênero em época chuvosa. São necessários mais estudos sazonais para a compreensão da dinâmica das espécies de FMA tanto na Caatinga quanto em outros biomas.

Em relação aos índices de diversidade os maiores valores são observados em BA. As três fisionomias possuem maior índice de Shannon (H') no período seco. A equitabilidade (J') em BA e CA são mais elevadas na seca, contudo em CE esse índice tem seu maior valor em época chuvosa. O índice de dominância (λ) apresenta comportamento inverso ao da equitabilidade (BA e CA é maior em época chuva e em CE é mais alto na seca) (Tabela 18).

Assim como a densidade de glomerosporos, a riqueza de espécies foi maior em época seca quando comparada à época chuvosa. O mesmo acréscimo na riqueza durante o período seco foi observado por CAPRONI et al (2003), SOUZA et al (2003), TCHABI et al., (2008) e PAGANO et al. (2013).

Tabela 17 – Abundância relativa (AR) e frequência de ocorrência (FO) em Brejo de altitude (BA), Carrasco (CA) e Cerradão (CE) durante estações seca e chuvosa na Chapada do Araripe – CE.

Espécies de FMA	SECA						CHUVA					
	BA		CA		CE		BA		CA		CE	
	AR	FO	AR	FO	AR	FO	AR	FO	AR	FO	AR	FO
			(%)						(%)			
<i>Ambispora appendicula</i>					0,10	1,79						
<i>Ambispora leptoticha</i>			0,18	3,57								
<i>Ambispora reticulata</i>					0,10	1,79					0,24	1,79
<i>Acaulospora cavernata</i>			0,36	1,79								
<i>Acaulospora colossica</i>	0,06	1,79										
<i>Acaulospora delicata</i>	1,53	10,71	0,54	8,93	0,31	3,57			0,34	7,14	0,47	1,79
<i>Acaulospora dilatata</i>	0,37	1,79					0,23	1,79				
<i>Acaulospora excavata</i>							0,12	1,79				
<i>Acaulospora foveata</i>	2,20	28,57	0,09	1,79			5,75	46,43	1,52	7,14		
<i>Acaulospora herrerae</i>	0,61	3,57	0,27	1,79	0,21	3,57	0,12	1,79	0,51	3,57		
<i>Acaulospora lacunosa</i>	0,06	1,79	1,72	16,07	0,41	5,36	0,69	10,71	0,68	3,57		
<i>Acaulospora mellea</i>	6,74	57,14	2,99	16,07	0,62	3,57	4,60	37,50	2,88	3,57	1,18	3,57
<i>Acaulospora morrowiae</i>	7,04	25,00	0,82	10,71	6,63	28,57	0,69	7,14	0,68	3,57	10,35	23,21
<i>Acaulospora rehmi</i>	0,12	1,79	0,91	7,14			0,46	3,57				
<i>Acaulospora rugosa</i>			0,09	1,79								
<i>Acaulospora scrobiculata</i>	0,55	3,57	0,45	3,57	0,41	1,79	0,92	8,93				
<i>Acaulospora spinosa</i>	0,12	1,79	3,90	16,07			0,35	3,57	9,14	37,50		
<i>Acaulospora tuberculata</i>	0,06	1,79	1,18	14,29					3,21	12,50		
<i>Acaulospora sp1</i>	2,57	10,71										
<i>Acaulospora sp2</i>	0,06	1,79										
<i>Acaulospora sp3</i>					0,83	5,36					1,65	3,57
<i>Kuklospora colombiana</i>	0,12	1,79										
<i>Dentiscutata cerradensis</i>			3,54	3,57	3,83	30,36	0,58	5,36	2,03	7,14		

<i>Dentiscutata colliculosa</i>									0,17	1,79		
<i>Dentiscutata scutata</i>	0,92	17,86	5,98	33,93	1,24	5,36	1,96	21,43	6,09	35,71	0,47	3,57
<i>Dentiscutata sp</i>	0,67	10,71			0,62	8,93					4,00	14,29
<i>Fuscutata aurea</i>	0,06	1,79										
<i>Fuscutata heterogama</i>	0,06	1,79			3,62	1,79					0,94	3,57
<i>Fuscutata rubra</i>									0,17	3,57		
<i>Fuscutata savannicola</i>	0,37	7,14	2,09	14,29	0,10	1,79	0,12	1,79	4,74	21,43	0,71	3,57
<i>Fuscutata sp</i>							0,12	1,79				
<i>Claroideoglopus etunicatum</i>	0,98	14,29	1,00	8,93	1,86	10,71	0,81	8,93	1,02	7,14	4,24	21,43
<i>Gigaspora albida</i>	0,55	7,14	4,90	17,86	29,50	33,93	1,73	7,14	1,18	5,36	25,18	25,00
<i>Gigaspora decipiens</i>	0,67	8,93	8,34	25,00	1,55	12,50	2,19	12,50	11,17	32,14	4,24	8,93
<i>Gigaspora gigantea</i>	0,73	12,50	2,45	12,50	1,86	7,14			0,34	3,57	2,37	3,57
<i>Gigaspora margarita</i>	1,47	23,21	9,97	2,43	12,53	14,29	2,88	19,64	11,00	30,36	8,00	14,29
<i>Gigaspora ramiphorospora</i>	0,06	1,79										
<i>Gigaspora sp</i>			0,45	1,55	1,55	30,36					10,59	17,86
<i>Funneliformis geosporum</i>	9,55	25,00	7,98	30,36	0,10	1,79	14,50	46,43	6,60	23,21	0,24	1,79
<i>Funneliformis halonatum</i>			0,82	5,36	0,21	3,57			0,17	1,79		
<i>Glomus brohultii</i>					0,83	3,57	1,04	5,36				
<i>Glomus coremioides</i>	0,18	3,57	0,09	1,79								
<i>Glomus glomerulatum</i>	1,22	8,93	3,45	3,57	0,83	8,93	1,04	1,79	2,03	1,79	1,18	3,57
<i>Glomus heterosporum</i>					0,10	1,79	0,12	1,79				
<i>Glomus macrocarpum</i>	17,64	48,21	8,79	26,79	7,62	6,00	5,36	75,00	14,04	30,36	5,88	8,93
<i>Glomus microcarpum</i>	0,24	5,36					0,81	1,79				
<i>Glomus sp (nanolumem)</i>			1,45	3,57								
<i>Glomu sinuosum</i>							0,12	1,79				
<i>Glomus trufemii</i>	31,05	58,93	13,33	33,93	17,49	48,21	15,88	42,86	6,77	16,07	14,59	17,86
<i>Glomus sp1</i>	1,84	28,57	1,63	19,64	1,45	8,93	2,76	25,00	3,05	21,43		
<i>Glomus sp2</i>	0,49	10,71	1,36	5,36	0,41	3,57	0,23	1,79				
<i>Glomus sp3</i>	1,41	8,93										

<i>Glomus sp4</i>	0,12	1,79										0,24	1,79
<i>Glomus sp5</i>							1,29	1,79					
<i>Glomus sp6</i>	1,65	10,71					0,21	3,57	1,52	7,14			
<i>Glomus sp7</i>			0,54	1,79			0,21	3,57	0,85	3,57			
<i>Glomus sp8</i>									1,18	3,57			
<i>Glomus sp9</i>			0,63	5,36			0,46	3,57					
<i>Septoglomus constrictum</i>					0,10	1,79							
<i>Septoglomus fucartum</i>	1,71	5,36							0,68	3,57			
<i>Septoglomus tortuosum</i>	0,06	1,79			8,28	3,57			0,17	1,79			
<i>Simiglomus sp</i>					0,10	1,79						0,47	3,57
<i>Rhizoglomus aggregatum</i>	1,23	8,93											
<i>Rhizoglomus clarum</i>	0,55	5,36										0,24	1,79
<i>Rhizoglomus intraradices</i>	1,78	3,57											
<i>Rhizoglomus microaggregatum</i>	0,06	1,79											
<i>Intraornatospora intraornata</i>					0,21	3,57						0,24	1,79
<i>Cetraspora gilmorei</i>	0,31	8,93	1,54	17,86	0,10	1,79	0,12	1,79	0,51	5,36	0,24	1,79	
<i>Cetraspora pellucida</i>							0,58	5,36	1,18	5,36			
<i>Cetraspora spinosissima</i>					0,21	1,79							
<i>Racocetra castanea</i>			0,09	1,79									
<i>Racocetra fulgida</i>									1,02	1,79			
<i>Racocetra gregaria</i>			0,09	1,79					0,17	1,79			
<i>Racocetra persica</i>					0,31	3,57			0,17	1,79			
<i>Racocetra verrucosa</i>			0,18	3,57	0,31	1,79	0,23	1,79	0,52	3,57			
<i>Racocetra sp</i>									0,17	1,79			
<i>Scutellospora aurigloba</i>					0,41	3,57	0,58	7,14	0,85	7,14			
<i>Scutellospora calospora</i>			2,99	19,64					1,02	8,93			
<i>Scutellospora sp1</i>			0,36	1,79					0,17	1,79			
<i>Scutellospora sp2</i>			0,09	1,79									
<i>Scutellospora sp3</i>			0,18	3,57	0,72	5,36							

<i>Scutellospora sp4</i>							0,12	1,79				
<i>Scutellospora sp5</i>									0,51	5,36		
<i>Orbispora pernambucana</i>	0,06	1,79	1,09	10,71	1,86	10,71	0,23	3,57			2,82	7,14
<i>Entrophospora infrequens</i>			1,18	1,79								
<i>Paraglomus occultum</i>	0,06	1,79										
<i>Pacispora robiginia</i>					0,31	3,57					0,71	3,57
Riqueza por período				75							64	
Riqueza total							87					

Tabela 18 – Índice de diversidade de Shannon (H'), equitabilidade de Pielou (J') e dominância de Simpson (λ) em coletas realizadas em estações seca e chuvosa, em Brejo de altitude (BA), Carrasco (CA) e Cerradão (CE) na Chapada do Araripe – Ceará

	SECA			CHUVA		
	BA	CA	CE	BA	CA	CE
H'	2,119	1,295	1,070	1,008	1,193	1,067
J'	1,282	0,793	0,668	0,629	0,744	0,754
λ	0,150	0,064	0,146	0,180	0,073	0,123

A similaridade entre as áreas é modificada com a sazonalidade. Durante o período seco CA e CE apresentaram 62,6% de similaridade entre suas comunidades de FMA, enquanto BA possui 56% de similaridade com os outros ambientes (Figura 20 A). No período chuvoso, BA e CA são os ambientes com maior similaridade entre suas comunidades de FMA (61,5%) e CE apresenta apenas 45,3% de similaridade com as comunidades de fungos micorrízicos de BA e CA (Figura 20 B).

Apesar da similaridade entre o período seco e chuvoso, observa-se a mudança na composição da comunidade dos FMA. Durante a seca são registradas 14 espécies do gênero *Acaulospora* e apenas 10 em BA na época chuvosa. Em CE o número de espécies com glomerosporos glomóides cai de 13 na época seca para 8 na estação chuvosa.

Com a intenção de melhor compreender as variações das propriedades químicas e biológicas do solo e a alteração destes entre ambientes e épocas, procederam-se análises multivariadas. A distância de Mahalanobis é apresentada na figura 16. Dois grandes grupos foram separados no dendograma – primeiro e segundo ano de coletas. O segundo ano de coletas foi considerado atípico devido à escassez de chuvas Provavelmente a seca intensa tenha sido o principal fator de separação entre os ambientes em dois grupos.

Verifica-se que CA e CE apresentaram alta similaridade entre seus parâmetros químicos e biológicos de solo. Durante mesma coleta, os ambientes de carrasco e cerradão se agruparam, demonstrando similaridade entre esses ambientes. Na época chuvosa do segundo ano de coletas esse comportamento foi modificado, com maior similaridade entre o começo e final das chuvas em CE (Figura 21).

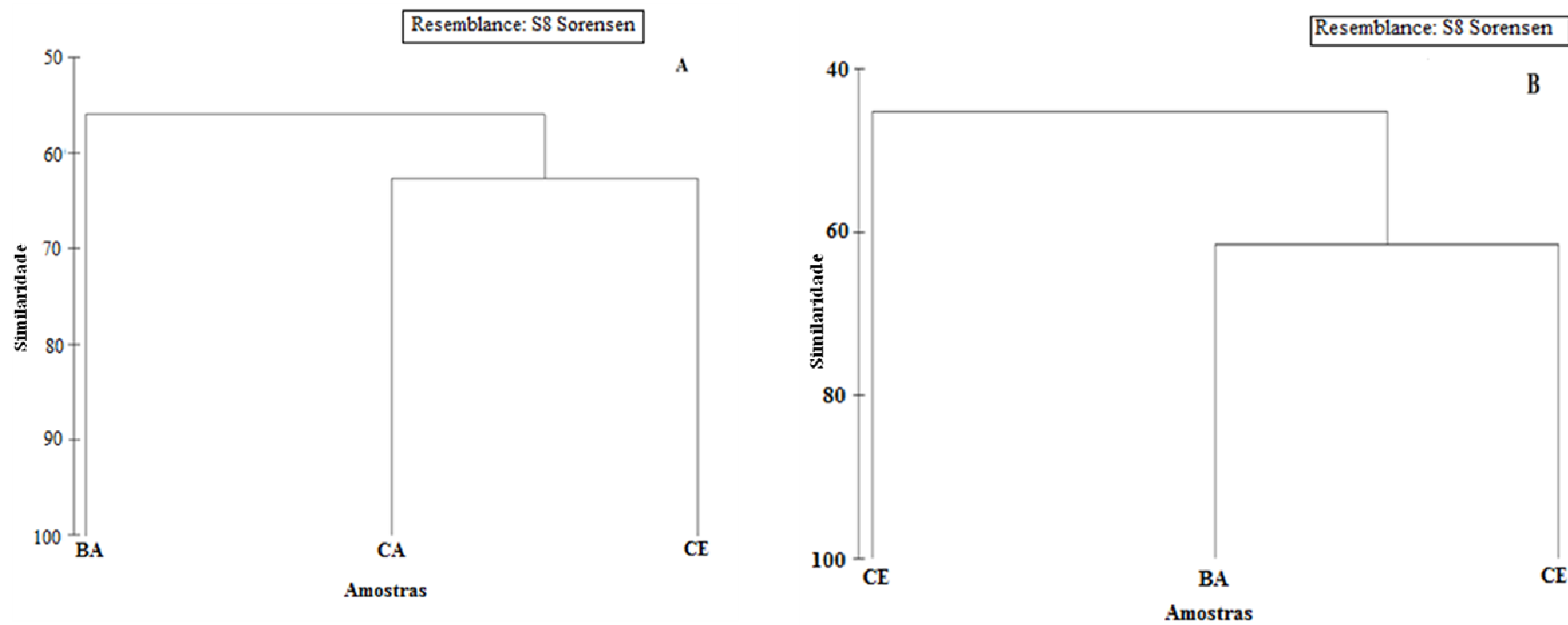


Figura 20 – Similaridade entre os ambientes estudados na Chapada do Araripe (BA- brejo de altitude, CA – carrasco e CE - cerradão, durante a época seca (A) e chuvosa (B).

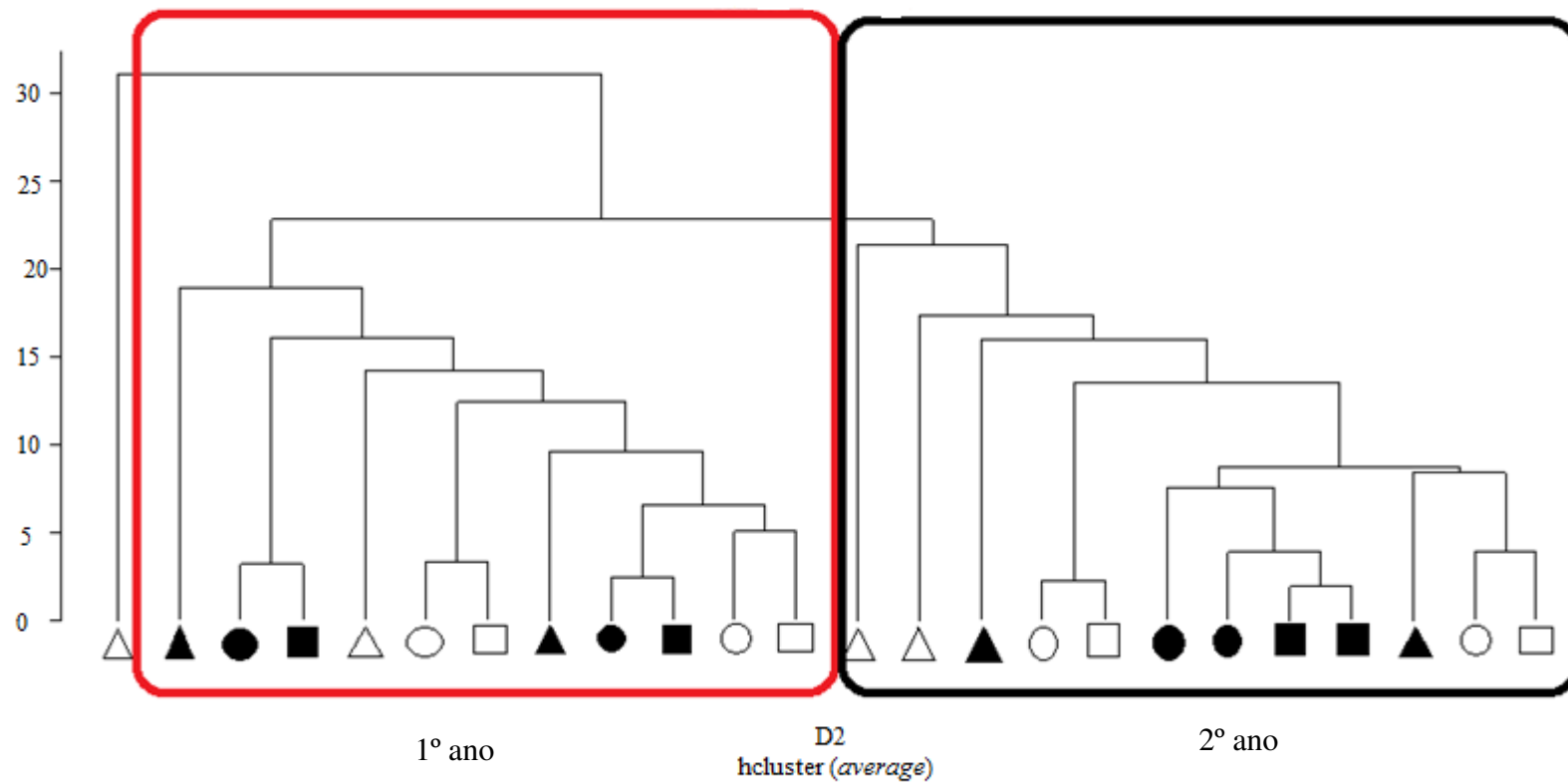


Figura 21 – Análise de cluster mostrando a relação entre os parâmetros químicos e biológicos, sazonalidade e as fitofisionomias da Chapada do Araripe-Ce. Foi utilizada a distância de mahalanobis com distribuição tipo UPGMA. Onde: \triangle Brejo de altitude (BA) época seca, \blacktriangle brejo de altitude (BA) época chuvosa, \circ carrasco (CA) época seca, \bullet carrasco (CA) época chuvosa, \square cerradão (CE) época seca e \blacksquare cerradão época chuvosa.

O diagrama de ordenação explicou 65,72% do total da variância (eixo 1 – 40,92% e eixo 2 - 24,8%) (Figura 22). Houve separação entre os ambientes (um grupo com BA e outro grupo com CA e CE), assim como os anos de coletas.

Os parâmetros de fertilidade do solo, com exceção do pH e Mg estavam mais associados à BA, assim como teores de carbono, frações húmicas (humina, ácidos fúlvicos e húmicos), glomalina e glomerosporos. Também foi possível observar a separação entre os anos de coleta. Durante o primeiro ano, as variáveis que mais se relacionaram com esse período foram Al, EE-BRSP, número de glomerosporos, COT, AH, AF, humina e pH. Os cátions do solo (Ca, Mg, K), SB e CTC apresentaram maior relação com o segundo ano de coletas.

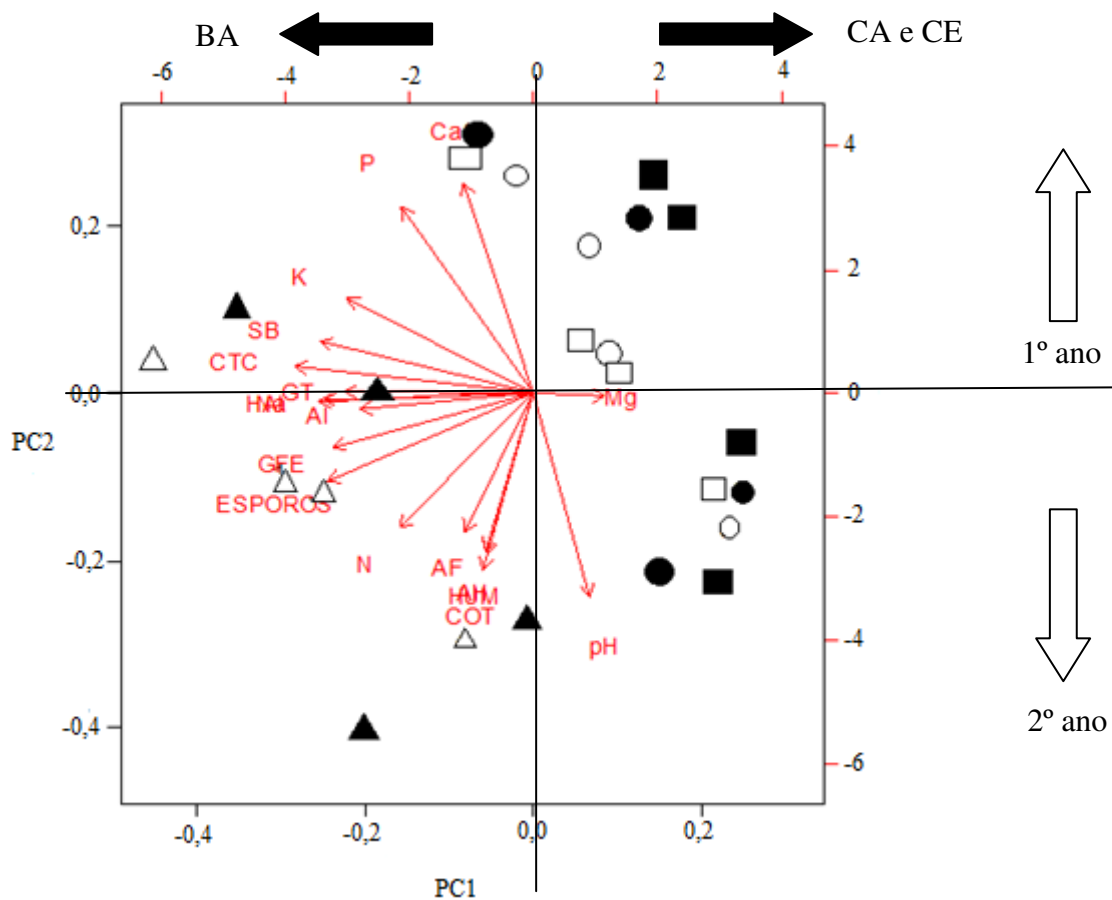


Figura 22 – Diagrama de ordenação (PCA) das propriedades químicas e biológicas de três fisionomias vegetais com influência sazonal na Chapada do Araripe, CE. Onde: \triangle Brejo de altitude (BA) época seca, \blacktriangle brejo de altitude (BA) época chuvosa, \circ carrasco (CA) época seca, \bullet carrasco (CA) época chuvosa, \square cerradão (CE) época seca e \blacksquare cerradão época chuvosa.

Existem diversos estudos em vários ambientes demonstrando a influência da sazonalidade sobre as comunidades dos FMA (Stürmer & Bellei, 1994; Caproni et al., 2003; Nobre et al., 2010; Silva et al., 2012; Pagano et al., 2013; Guadarrama et al., 2014; Silva et al., 2014; Souza et al., 2014).

O efeito da sazonalidade apresenta grande interferência na comunidade de FMA (Lugo et al., 2005). Especialmente em área de Caatinga, a influência das variações sazonais são bastante acentuadas (Silva et al., 2014) e assumem papel importante na seleção das espécies de fungos micorrízicos e na relação FMA-simbionte vegetal. O regime hídrico é capaz de

alterar as propriedades químicas do solo o que também auxiliam na modificação das relações entre os microrganismos (Melz & Tiago, 2009)

A composição da comunidade de fungos micorrízicos em um ecossistema representa um importante indicador de alterações ambientais e sazonais, gerando resposta na comunidade vegetal (Hart e Reader, 2004; van der Heijden et al., 1998). A relação funcional entre fungos micorrízicos e plantas é sensível a mudanças nas condições ambientais, evidenciando a importância da mudança da estrutura da rede micorrízica em áreas em recuperação (Kardol & Wardle, 2010).

A compreensão das alterações na comunidade de FMA pode auxiliar no entendimento da ecologia da Caatinga, principalmente em sua adaptação ao clima semi-árido e à rápida resposta da vegetação às poucas chuvas registradas na região.

6. CONCLUSÕES

Os teores de glomalina (EE-BRSP e BRSP) e o número de glomerosporos apresentaram variações sazonais, sendo os maiores teores da proteína e a maior densidade de glomerosporos quantificadas na época seca.

Maior riqueza de FMA foi estimada durante a época seca, possivelmente devido à maior esporulação nessa época.

As comunidades de FMA são características de cada fitofisionomia estudada e são alteradas com as variações sazonais.

Treze espécies ocorreram de forma generalizada em todas as fitofisionomias estudadas.

A sazonalidade é um dos principais fatores que afetam a comunidade de FMA em área de Caatinga na Chapada do Araripe, influenciando tanto a esporulação quanto a atividade (produção de glomalina).

6. CONCLUSÕES GERAIS

A sazonalidade é um fator importante para a dinâmica populacional dos fungos micorrízicos arbusculares. O regime hídrico afeta tanto a biologia como a produção de glomerosporos e glomalin e a composição das comunidades de FMA.

Cada fitofisionomia estudada apresenta peculiaridades quanto às suas propriedades químicas do solo quanto à composição da comunidade de FMA

A diversidade de fungos micorrízicos arbusculares na Chapada do Araripe é elevada, apresentando 87 espécies.

No brejo de altitude os gêneros *Glomus* e *Acaulospora* foram os predominantes enquanto no carrasco e cerradão as espécies com glomerosporos tipo gigasporóides foram dominantes.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Mesmo com o avanço dos estudos sobre fungos micorrízicos arbusculares (FMA), a descoberta de novas espécies e o aumento da lista de táxons levantados em área de Caatinga ainda há muito a ser feito. Políticas de preservação da Caatinga e criação de mais unidades de conservação devem ser prioritárias.

A manutenção das espécies em bancos de germoplasma (culturas armadilhas/culturas puras) e em lâminas permanentes auxiliará no registro das espécies e em estudos sobre a biologia dos FMA (esporulação, produção de glomalina, colonização micorrízica etc). Além do conhecimento dos FMA, torna-se necessário obter informações sobre os tipos de solos e suas propriedades físicas e químicas e os diversos tipos vegetacionais da Caatinga e, suas relações com os organismos do filo *Glomeromycota*.

Entender quais fatores ambientais influencia na ocorrência dos FMA na Caatinga também é de suma importância e para isso deve haver ações para instalação de estações meteorológicas em pontos estratégicos do bioma a fim de obter dados de precipitação, umidade relativa do ar, temperatura, umidade do solo etc. Todos esses parâmetros quando cruzados podem ajudar a responder nossos questionamentos sobre os fatores que influenciam a presença ou ausência de determinada espécie de fungo micorrízico.

O uso de ferramentas moleculares pode auxiliar na distinção de espécies de FMA morfológicamente semelhantes a outras e na identificação de espécies que não estejam presentes colonizando um simbionte vegetal e sem glomerosporos no momento da coleta. Aplicação de conhecimentos de química para caracterizar a molécula de glomalina e proposta de nova metodologia (fácil, rápida, barata e sem influência de outras proteínas do solo) para quantificação da glomalina.

Ainda se faz importante, conforme sugerido por Stürmer & Siqueira (2008), estudos comparativos entre as populações de espécies de FMA nos diversos habitats entre ecossistemas e no mesmo ecossistema, com a finalidade de compreender como os processos locais e regionais influenciam na distribuição e atividade dos fungos micorrízicos.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AIDAR, M.P.M.; CARRENHO, R.; JOLY, C.A. Aspects of arbuscular mycorrhizal fungi in an Atlantic Forest chronosequence in Parque Estadual Turístico do Alto Ribeira (PETAR), SP. **Biota Neotropica**, 4: 1-15. 2004.
- ALBUQUERQUE, S. G. & G. L. R. BANDEIRA. Effect of thinning and slashing on forage phytomass from a caatinga of Petrolina, Pernambuco, Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** 30: 885-891, 1995.
- ALLEN, E.B.; RINCON, E.; ALLEN, M.F.; JIMENEZ, A.P.; HUANTE, P. Disturbance and seasonal dynamics of mycorrhizae in a tropical deciduous forest in México. **Biotropica**, 30: 261-274, 1998.
- ALMEIDA, R.T.; SCHENCK, N.C. A revision of the genus *Sclerocystis* (Glomaceae, Glomales). **Mycologia** 82 (6): 703-714, 1990.
- AMES, R.N.; SCHNEIDER, R.W. *Entrophospora*, a new genus in the Endogonaceae. **Mycotaxon** 8(2): 347-352, 1979.
- ANDRADE-LIMA, D. Estudos fitogeográficos de Pernambuco. **Arquivo do Instituto de Pesquisas Agronômicas de Pernambuco** 5: 305-341, 1960.
- ANDRADE-LIMA, D. Present day forest refuges in Northeastern Brazil. in: PRANCE, G.T. (ed.). **Biological Diversification in the Tropics**. Columbia University Press, New York. 1982. Pp. 245-254
- ANDRADE-LIMA, D. The Caatingas dominium. **Revista Brasileira de Botânica**, 4: 149-163, 1981.
- ANDRADE-LIMA, D. Tipos de floresta de Pernambuco. **Anais da Associação dos Geógrafos Brasileiros** 2: 69-85, 1961.
- ANDRADE-LIMA, D. Vegetação. **Atlas Nacional do Brasil**. Vol. II: 11. IBGE. Conselho Nacional de Geografia, Rio de Janeiro. 1966.
- ANDRADE-LIMA, D.; **As formações vegetais da bacia do Parnaíba, in Bacia do Parnaíba: Aspectos Fisiográficos**. Lins, R.C.; Ed.; Instituto de Pesquisas Sociais, Recife, 1978.
- ARAI, M. Chapadas : Relicto f Mid-Cretaceous Interior seas in Brazil(1). **Revista Brasileira de Geociências**. 30(3): 436-438, 2000.
- ARAÚJO, A.E.; LANI, J.L.; AMARAL, E.A.; GUERRA, A. Uso da terra e propriedades físicas e químicas de Argissolo Amarelo Distrófico na Amazônia ocidental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 28: 307-315 2004.
- ARAÚJO, F. S.; SAMPAIO, E.V.S.B.; FIGUEIREDO, M.A.; RODAL, M.J.N.; FERNANDES, A.G. Composição florística da vegetação de carrasco, Novo Oriente, CE, **Revista Brasileira de Botânica**, 21: 105-110, 1998.
- ARAÚJO, F.D. de; MARTINS, F.R. & SHEPHERD, G.J. Variações Estruturais e Florísticas do Carrasco no Planalto da Ibiapaba, Estado do Ceará. **Revista Brasileira de Biologia** 59 (4): 663-678, 1999.

- ASSINE, M. L. Análise estratigráfica da Bacia do Araripe, Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Geociências**, 22(3): 289-300, 1992.
- ASSINE, M.L. Paleocorrentes e Paleogeografia na Bacia do Araripe, Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Geociências**. 24(4):223-232. 1994.
- ASSIS, C.P.; JUCKSCH, I.; SÁ MENDONÇA, E.; NEVES, J.C.L. Carbono e nitrogênio em agregados de Latossolo submetido a diferentes sistemas de uso e manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 41: 1541-1550. 2006.
- AUGÉ R.M. Arbuscular mycorrhizae and soil/plant water relations. **Canadian Journal of Soil Science**, 84: 373–381. 2004.
- BARTO, E. K.; ALT, F.; OELMANN, Y.; WILCKE, W.; RILLIG, M.C. Contributions of biotic and abiotic factors to soil aggregation across a land use gradient. **Soil Biology and Biochemistry**, 42: 2316-2324, 2010.
- BASHAN, Y.; DAVIS, E.A.; CARILLO-GARCIA, A.; LINDERMAN, R.G. Assessment of mycorrhizal inoculum potencial in relation to the establishment of cactus seedlings under mesquite nurse-trees in the Sonoran Desert. **Applied Soil Ecology**, 14: 165-175, 2000.
- BASTOS, R.S.; MENDONÇA, E.S.; ALVAREZ, V.H.; CORRÊA, M.M.; COSTA, L.M. Formação e estabilização de agregados do solo influenciados por ciclos de umedecimento e secagem após adição de compostos orgânicos com diferentes características hidrofóbicas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 29(1): 21-31, 2005.
- BEDINI, S.; TURRINI, A.; RIGO, C.; ARGESE, E.; GIOVANNETTI, M. Molecular characterization and glomalin production of arbuscular mycorrhizal fungi colonizing a heavy metal polluted ash disposal island, downtown Venice. **Soil Biology Biochemistry**, 42: 758-765. 2010.
- BENITES, V.M.; MADARI, B.; MACHADO, P.L.O.A. Extração e fracionamento
- BERBARA, RICARDO L.L. ; GOTO, BRUNO T. ; NOBRE, CAMILA P. ; COVACEVICH, FERNANDA ; FONSECA, H. M. A. C. . Arbuscular mycorrhizal fungi: essential belowground organisms in tropical dry environments.. In: SANCHEZ-AZOFEIFA, A.; POWERS, J. S.; FERNANDES, G.W.; QUESADA, M.. (Org.). **Tropical Dry Forests in the Americas: Ecology, Conservation, and Management**. 1ed. Florida: CRC Press, 2013, v. 1, p. 237-248.
- BERKELEY, M.J.; BROOME, C.E. Enumeration of the Fungi of Ceylon. **Journal Linnaean Society** 14: 137, 1973.
- BETHLENFALVAY, G. J.; LINDERMAN, R.G. **Mycorrhizal in sustainable agriculture**. American Society of Agronomy, Madison - USA, 1992. p. 25.
- BEVER, J.D.; SCHULTZ, P.A.; PRINGLE, A.; MORTON, J.B. Arbuscular mycorrhizal fungi: more diverse than meets the eye, and the ecological tale of why. **Bioscience** 51(11): 923-931, 2001.
- BIRD, S. B.; HERRICK, J.E.; WANDER, M.M.; WRIGHT, S.F. Spatial heterogeneity of aggregate stability and soil carbon in semi-arid rangeland. **Environmental Pollution**, 116: 445–455, 2002.
- BLASKOWSKI, J.; CHWAT, G.; GÓRALSKA, A.; RYSZKA, P.; KOVÁCS, G.M. Two new genera *Dominikia* and *Kamienskia*, and *D. disticha* sp. nov. in *Glomeromycota*. *Nova Hedwigia*, DOI: 10.1127/nova_hedwigia/2014/0216, 2014.

- BLAZKOWSKI, J.; CHWAT, G. *Septoglomus deserticola* emended and new combinations in the emended definition of the family *Diversisporaceae*. **Acta Mycologia**, 48(1): 89-103. 2013.
- BORGES, W.L. Diversidade de Fungos Micorrízicos Arbusculares e de Bactérias Fixadoras de Nitrogênio Simbióticas em Áreas de Mineração de Bauxita com Diferentes Idades de Revegetação. Tese (Doutorado), Seropédica: Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro – UFRRJ. 2010. p. 118.
- BRADFORD, M. M. Rapid and sensitive method for quantification of microgram quantities of protein utilizing principle of protein-dye binding. **Analytical Biochemistry**, 72 (1- 2): 248–254, 1976.
- BROWER, J.E.; ZAR, J.H. Community similarity. In: BROWER, J.E.; ZAR, J.H. (eds) **Field and laboratory methods for general ecology**, 3rd edition. Dubuque, W.C. Brown Publishers. 1984.
- BRUNDRETT, M.C. Mycorrhizal associations and other means of nutrition of vascular plants: understanding the global diversity of host plants by resolving conflicting information and developing reliable means of diagnosis. **Plant Soil** 320:37–77. 2009.
- BRUNDRETT, M. Mycorrhizas in natural ecosystems. In: Begon, M.F.; Macfadyen, A. (eds.) **Advances in ecological research**. London, Academic Press, pp. 171-313, 1991.
- CAMBARDELLA, C. A.; ELLIOTT, E. T. Particulate soil organic-matter changes across a grassland cultivation sequence. **Soil Science Society American Journal**, 56: 777–783, 1992.
- CANELLAS, L.P.; VELLOSO, A.C.X.; RUMJANEK, V.M.; GURIDI, F.; OLIVARES, F.L.; SANTOS, G.A.; BRAZ-FILHO, R. Distribution of the humified fractions and characteristics of the humic acids of an ultisol under cultivation of Eucalyptus and sugar cane. **Terra**, 20(4): 371-381, 2002.
- CAPRONI, A. L.; FRANCO, A. A.; BERBARA, R. L. L. Capacidade infectiva de fungos micorrízicos arbusculares em áreas reflorestadas após mineração de bauxita no Pará. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. 38(8): 937-945, 2003.
- CARNEIRO, R.F.V.; CARDOZO JÚNIOR, F.M.; PEREIRA, L.F.; ARAÚJO, A.S.F.; SILVA, G.A. Fungos micorrízicos arbusculares como indicadores da recuperação de áreas degradadas no Nordeste do Brasil. **Revista Ciencia Agrônômica**, 43: 648–657. 2012.
- CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O.; PODANOSCHI, A.L. Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num Latossolo roxo distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 22 (3): 527-538, 1998.
- CAVALCANTI, A. C. & LOPES, O. F. Condições edafo-climáticas da chapada do Araripe e viabilidade de produção sustentável de culturas. **Brasília: EMBRAPA-SPI**, 1994. p.42
- CAVALIER-SMITH, T. A revised six-kingdom system of life. **Biological Reviews** 73: 203-266, 1998.
- CLARKE, K.R.; GORLEY, R.N. **PRIMER v6: User Manual/Tutorial**. PRIMER-E, Plymouth. 2006.

- CORDEIRO, F. C.; PEREIRA, M.G.; ANJOS, L.H.C.; ZONTA, E.; LOSS, A.; STAFFANTO, J.B. Atributos edáficos em pastagens da região noroeste do estado do Rio de Janeiro. **Comunicata Scientiae**, 1(2): 106-113, 2010.
- CÓRDOBA, A.S.; MENDONÇA, M.M.; ARAÚJO, E.F. Avaliação da diversidade genética de fungos micorrízicos arbusculares em três estádios de estabilização de dunas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 26: 931-937. 2002.
- CROLL, D.; SANDERS, I.R. Recombination in *Glomus intraradices*, a supposed ancient asexual arbuscular mycorrhizal fungus. **BMC Evolutionary Biology** 9: 13, 2009.
- DANDAN, Z.; ZHIWEI, Z. Biodiversity of arbuscular mycorrhizal fungi in the hot-dry valley of the Jinsha river, southwest China. **Applied Soil Ecology**, 37: 118–128. 2007.
- DAS, A.; VARMA, A. Symbiosis: the art of living. In: VARMA, A.; KHARKWAL, A.C. (Eds.), **Symbiotic Fungi – Principles and Practice**. Amity Institute of Microbial Technology, India, 2009, pp. 1–28.
- DAY, P. R. Particle fractionation and particle-size analysis. In: BLACK, C. A. (Ed.). **Methods of soil analysis**. Madison: American Society of Agronomy, 1965, v. 1, p. 545-556.
- DE SOUZA, F.A.; DECLERCK, S.; SMIT, E. & KOWALCHUK, G.A. Morphological, ontogenetic and molecular characterization of *Scutellospora reticulata* (Glomeromycota). **Mycol. Res.**; 109: 697-706, 2005.
- DE SOUZA, F.A.; STÜRMER, S.L.; CARRENHO, R.; TRUFEM, S.F.B. Classificação e taxonomia de fungos micorrízicos arbusculares e sua diversidade e ocorrência no Brasil. In: SIQUEIRA, J.O.; DE SOUZA, F.A.; CARDOSO, E.J.B.N.; TSAI, S.M. (eds.) **Micorrizas: 30 anos de pesquisas no Brasil**. Lavras, UFLA, pp. 15-73. 2010.
- DÉBAUD, J. C.; MARMEISSE, R. & GAY, F. Intraspecific genetic variation in ectomycorrhizal fungi. In: Varma, A. & Hock, B. (eds.). **Mycorrhiza: Structure, Function, Molecular Biology and Biotechnology**. Springer Verlag, Berlin, Germany. pp:79-113. 1999.
- DOTZLER, N.; KRINGS, M.; TAYLOR, T.N.; AGERER, R. Germination shields in *Scutellospora* (Glomeromycota: Diversisporales, Gigasporaceae) from the 400 million-year-old Rhynie chert. **Mycological Progress**, 5: 178-184. 2006.
- DRAY, S.; DUFOUR, A.B. The ade4 package: implementing the duality diagram for ecologists. **Journal of Statistical Software**. 22(4): 1-20, 2007.
- DRIVER, J.D.; HOLBEN, W. E.; RILLIG, M.C. Characterization of glomalin as a hyphal wall component of arbuscular mycorrhizal fungi. **Soil Biology and Biochemistry**, 37: 101-106, 2005.
- DURINGAN, G.; MELO, A.C.G.; MAX, J.C.M.; BOAS, O.V.; CONTIERI, W.A.; RAMOS, V.S. **Manual para recuperação da vegetação de cerrado**. ed. 3, 2011. p. 19.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. ,Rio de Janeiro - RJ , (EMBRAPA-CNPS. Documentos, 1). 1997. 212 p.
- EMRAN, M.; GISPERT, M. ; PARDINI, G. Patterns of soil organic carbon, glomalina and structural stability in abandoned Mediterranean terraced lands. **European Journal of Soil Science**, 63: 637 – 649, 2012.
- FERNANDES, A. **Temas fitogeográficos**. Stylos Comunicações, Fortaleza. 1990. p. 116.

FERNANDES, A.G.; BEZZERA, P. **Estudo Fitogeográfico do Brasil**. Stylus Comunicações. Fortaleza. 1990. p. 205.

FOKOM, R.; ADAMOU, S.; TEUGWA, M.C.; NANA, W.L.; NGONKEU, M.E.L.; TCHAMENI, N.S.; NWAGA, D.; NDZOMO, G.T.; ZOLLO, P.H.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 Tillage Research**, 120: 69-75, 2012.

FONTANA, A. BRITO, R. J.; PEREIRA, M. G.; LOSS, A. Índices de agregação e a relação com as substâncias húmicas em Latossolos e Argissolos de tabuleiros costeiros, Campos dos Goytacazes, RJ. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**. 5(3): 291-297, 2010.

FONTANA, A.; PEREIRA, M.G.; LOSS, A.; CUNHA, T.J.F.; SALTON, J.C. Atributos de fertilidade e frações húmicas de um Latossolo Vermelho no Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 41: 847-853. 2006.

GAI, J. P.; FENG, G.; CAI, X.B.; CHRISTIE, P.; LI, X.L. A preliminary survey of the arbuscular mycorrhizal status of grassland plants in southern Tibet. **Mycorrhiza**, 16:191-196, 2006.

GARDES, M.; BRUNS, T.D. Community structure of ectomycorrhizal fungi in a *Pinus muricata* forest: Above-and below-grounds views. **Canadian Journal of Botany**, 74: 1572-1583, 1996.

GASPAROTTO, F.A.; NAVARRETE, A.A.; DE SOUZA, F.A. & TSAI, S.M. Técnicas moleculares aplicadas ao estudo de micorrizas. In: SIQUEIRA, J.O.; DE SOUZA, F.A.; CARDOSO, E.J.B.N. & TSAI, S.M. (Ed). **Micorrizas: 30 anos de pesquisas no Brasil**. Lavras, MG: Editora UFLA, pp. 551-582. 2010.

GEMMA, J.N.; KOSKE, R.E. Seasonal variation in spore abundance and dormancy of *Gigaspora gigantea* and in mycorrhizal inoculum potential of a dune soil. **Mycologia**, 80 (2): 211-216. 1988.

GERDEMANN, J.W.; NICOLSON, T.H. Spores of mycorrhizal Endogone species extracted from soil by wet sieving and decanting. **Transactions of the British Mycological Society**, 46: 235-244. 1963.

GERDEMANN, J.W.; TRAPPE, J.M. The Endogonaceae in the Pacific Northwest. **Mycologia Memoir** 5: 1-76. 1974.

GIULIETTI, A.M.; BOCAGE NETA, A.L.; CASTRO, A.A.J.F.; GAMRRA-ROJAS, C.F.L.; SAMPAIO, E.V.S.B.; VIRGÍNIO, J.F.; QUEIROZ, L.P.; FIGUEIREDO, M.A.; RODAL, M.J.N.; BARBOSA, M.R.V; HARLEY, R.M. Diagnóstico da vegetação nativa do bioma Caatinga. In: SILVA, J.M.C.; TABARELLI, M.; FONSECA, M.T.; LINS, L.V. (orgs.) **Biodiversidade da Caatinga: áreas e ações prioritárias para a conservação**. pp. 48-90. Ministério do Meio Ambiente, Brasília. 2004.

GOLLOTTE, A.; VAN TUINEN, D. & ATKINSON, D. Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi colonising roots of the grass species *Agrostis capillaris* and *Lolium perenne* in a field experiment. **Mycorrhiza**, 14: 111-117. 2004.

GOTO, B. T.; SILVA, G. A.; YANO-MELO, A. M.; MAIA, L. C. Checklist of the arbuscular mycorrhizal fungi (Glomeromycota) in the Brazilian semiarid. **Mycotaxon** 113: 251-254. 2010.

- GOTO, B.T.; MAIA, L.C. Glomerospores: a new denomination for the spores of Glomeromycota, a group molecularly distinct from the Zygomycota. **Mycotaxon**, v. 96, 129-132. 2006.
- GOTO, B.T.; MAIA, L.C.; SILVA, G.A.; OEHL, F. *Racocetra intraornata*, a new species in the Glomeromycetes with a unique spore wall structure. **Mycotaxon**. 109, p.483 – 491. 2009.
- GOTO, B.T.; SILVA, G.A.; ASSIS, D.M.A.; SILVA, D.K.A.; SOUZA, R.G.; FERREIRA, A.C.A.; JOBIM, K.; MELLO, C.M.A.; VIEIRA, H.E.E.; MAIA, L.C.; OEHL, F. Intraornatosporaceae (Gigasporales), a new family with two new genera and two new species. **Mycotaxon** 119: 117-132. 2012.
- GOTO, B.T.; SILVA, G.A.; MAIA, L.C.; SOUZA, R.G.; COYNE, D.; TCHABI, A.; LAWOUIN, L.; HOUNTONDI, F. & OEHL, F. *Racocetra tropicana*, a new species in the *Glomeromycetes* from tropical areas. **Nova Hedwigia** 92: 69–82. 2011.
- GUADARRAMA, P.; ÁLVAREZ-SÁNCHEZ, F.J. Abundance of arbuscular mycorrhizal fungi spores in different environments in a tropical rain for Veracruz, Mexico. **Mycorrhiza** 8: 267- 270. 1999.
- GUADARRAMA, P.; XASTILLO,S.; RAMOS-ZAPATA, J.A.; HERNÁNDEZ-CUEVAS, L.V.; CAMARGO-RICALDE, S.L. Arbuscular mycorrhizal fungal communities changing environments: The effects of seasonality and anthropogenic disturbance in a seasonal dry forest. **Pedobiologia**, 57:87-95. 2014.
- HART, M.M.; READER, R.J. Do arbuscular mycorrhizal fungi recover from soil disturbance differently? **Tropical Ecology**, 45(1): 97-111. 2004.
- HELGASON, T.; FITTER, A. The ecology and evolution of the arbuscular mycorrhizal fungi. **Mycologist**, 19: 96-101. 2005.
- HELGASON, T.; FITTER, A.H. & YOUNG, J.P.W. Molecular diversity of arbuscular mycorrhizal fungi colonising *Hyacinthoides nonscripta* (bluebell) in a seminatural woodland. **Molecular Ecology**, 8: 659–666.1999.
- HONTORIA, C.; VELÁSQUEZ, R.; ALMOROX, J.; MOLINER,A. Bradford reactive soil proteins and aggregate stability under abandoned versus tilled olive groves in a semi-arid calcisol. **Soil Biology Biochemistry** 41: 1583–1585, 2009.
- HUSBAND R.; HERRE E.A.; YOUNG J.P.W. Temporal variation in the arbuscular mycorrhizal communities colonising seedlings in a tropical forest. **FEMS Microbiology Ecology**. 42: 131-136. 2002b.
- HUSBAND, R.; HERRE, E.A.; TURNER, S.L.; GALLERY, R. & YOUNG, J.P.W. Molecular diversity of arbuscular mycorrhizal fungi and patterns of host association over time and space in a tropical forest. **Molecular Ecology**, 11: 2669-2678. 2002a.
- IBAMA. Floresta nacional do araripe. **Folheto educativo**. Fortaleza: GEREX IBAMA-CE; Crato: FLONA-ARARIPE, 2003. pp.2 [21,5 x 34 cm].
- IBGE. **Atlas nacional do Brasil: região Nordeste**. IBGE, Rio de Janeiro. 1985.
- IBGE. **Manual Técnico da Vegetação Brasileira**. Rio de Janeiro, Fundação Instituto brasileiro de geografia e estatística: 94p. 1992.

- JACOMINE, P. T. K.; ALMEIDA, J. C. ; MEDEIROS, L. A. R. **Levantamento exploratório – reconhecimento de solos do estado do Ceará**. Vol. II. Recife: MA/DNPEA-SUDENE/DRN, 1973. p. 502.
- JENKINS, W.R. A rapid centrifugal-flotation technique for separating nematodes from soil. **Plant Disease Report**, 48: 692. 1964.
- Jl, B.; BENTIVENGA, S.P.; CASPER, B.B. Comparisons of AM fungal spore communities with the same hosts but different soil chemistries over local and geographic scales. **Oecologia**, 168:187–197. 2012.
- JOHNSEN, K.; JACOBSEN, C.S.; TORSVIK, V.; SORENSEN, J. Pesticide effects on bacterial diversity in agricultural soils—a review. **Biology Fertility Soils**, 33: 443–453. 2001.
- KAONONGBUA, W.; MORTON, J.B.; BEVER, J.D. Taxonomic revision transferring species in *Kuklospora* to *Acaulospora* (Glomeromycota) and a description of *Acaulospora colliculosa* sp. nov. from field collected spores. **Mycologia** 102: 1497-1509. 2010.
- KARDOL, P.; WARDLE, D.A. How understanding aboveground-belowground linkages can assist restoration ecology. **Trends in Ecology and Evolution**, 25(11): 670-679. 2010.
- KEMPER, W.D.; CHEPIL, W. S. Size distribution of aggregates. In: BLACK, C.A.; ed. **Methods of soil analysis**. Madison, American Society of Agronomy, 1965, p. 499-510.
- KIERS, E.T.; LOVELOCK, C.E.; KRUEGER, E.L.; HERRE, E.A. Differential effects of tropical arbuscular mycorrhizal fungal inocula on root colonization and tree seedling growth: implications for tropical forest diversity. **Ecology Letters**, 3: 106-113. 2000.
- KJØLLER, R.; ROSENDAHL, S. Detection of arbuscular mycorrhizal fungi (Glomales) in roots by nested PCR and SSCP (single stranded conformation polymorphism). **Plant Soil**, 226: 189–196.2000.
- KOIDE, R. T.; PEOPLES, M. S. Behaviour of Bradford-reactive substances is consistent with predictions for glomalin. *Applied Soil Ecology*, 63: 8-14, 2013.
- KOSKE, R.E.; GEMMA, J.N.; CORKIDI, L.; SIGÜENZA, C.; RINCÓN, E. Arbuscular mycorrhizal in coastal dunes. In: Martínez, M.L.; Psuty, N.P. (eds.) **Coastal Dunes, Ecology and Conservation**. Ecological studies 171, Springer-Verlag, Heidelberg, pp. 173-187. 2008.
- KOWALCHUK, G.A.; DE SOUZA, F.A.; VAN VEEN, J.A. Community analysis of arbuscular mycorrhizal fungi associated with *Ammophila arenaria* in Dutch coastal sand dunes. **Molecular Ecology**, 11:571-581, 2002.
- LARGMAN, E. **Jan e nassau: trajetória de um índio cariri na corte holandesa**. Rio de Janeiro: Imago, 1996. p. 264.
- LEAL, I.R.; TABARELLI, M. & SILVA, J.M.C. **Ecologia e Conservação da Caatinga**. Recife, Editora Universitária, 2003. 815p.
- LEKBERG, Y.; KOIDE, R.T.; ROHR, J.R.; ALDRICHWOLFE, L.; MORTON, J.B. Role of niche restrictions and dispersal in the composition of arbuscular mycorrhizal fungal communities. **Journal of Ecology**, 95: 95–105. 2007.
- LEPSCH, I. F. **Formação e Conservação dos Solos**. São Paulo: Oficina de textos, 2002. p. 178.

- 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**, 17: 655–665, 2007.
- LIMA, M.F.; LIMA, F.A.M.; TEIXEIRA, M.M.S. Mapeamento e demarcação definitiva da floresta nacional Araripe - Ceará, Brasil. **Ciência e Agronomia** 15: 59-69. 1983.
- LINS, C.E.L.; CAVALCANTE, U.M.T.; SAMPAIO, E.V.S.B.; MESSIAS, A.S.; MAIA, L.C. Growth of mycorrhized seedlings of *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit. in a copper contaminated soil. **Applied Soil Ecology**, 31(3): 181-185, 2006.
- LINS, R.C. **As áreas de exceção do agreste de Pernambuco**. SUDENE, Recife. 1989.402p
- LIRA, C. R. S.; ALVES, M. H.; BASEIA, I. G.; BERBARA, R. L. L.; GOTO, B. T.; GUSMÃO, L. F. P.; DE LIMA, R. A. A.; MARQUES, M. F. O.; DO NASCIMENTO, C. C.; NOBRE, C. P.; DA SILVA, B. D. B. & GIBERTONI, T. B. Fungos na Chapada do Araripe. In: MEIADO, M. V. **Diversidade na Chapada do Araripe, Ceará (In press)** 2014.
- LOSS, A.; PEREIRA, M.G.; GIÁCOMO, S.G.; PERIN, A.; ANOJOS, L.H.C. Agregação, carbono e nitrogênio em agregados do solo sob plantio direto com integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, vol. 46, n. 10, p. 1269-1276, out. 2011.
- LOSS, A.; PEREIRA, M.G.; SCHULTZ, N.; ANHOS, L.H.C.; SILVA, E.M.R. Atributos químicos e físicos de um Argissolo Vermelho-Amarelo em sistema integrado de produção agroecológica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 44 (1): 68-75, 2009.
- 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**, 92: 278–287, 2004.
- LUGO, M.A.; ANTON, A.M.; CABELLO, M.N. Arbuscular mycorrhizas in the *Larrea divaricata* scrubland of the arid Chaco, Central Argentina. **Journal of Agriculture and Technology**, 1:163–178. 2005.
- LÜTZOW, M; KÖGEL-KNABNER, I.; EKSCHMITT, K.; MATZNER, E.; GUGGENBERGER, G.; MARSCHNER, B.; FLESSA, H. Stabilization of organic matter in temperate soils: mechanisms and their relevance under different soil conditions. **European Journal of Soil Science**, 57: 426 – 445, 2006.
- MA, W.K.; SICILIANOM S.D. & GERMIDA, J.J. A PCR-DGGE method for detecting arbuscular mycorrhizal fungi in cultivated soils. **Soil Biology Biochemistry**, 37: 1589-1597, 2005.
- MAECHLER M, ROUSSEUW P; STRUYF,A; HUBERT, M; HORNIK, K. **Cluster: Cluster analysis basics and extensions**. R package version 1.14.1. 2011
- MAFRA, A.L.; GUEDES, S.F.F.; FILHO, O.K.; SANTOS, J.C.P.; ALMEIDA, J.A.; ROSA, J.D. Carbono orgânico e atributos químicos do solo em áreas florestas. **Revista Árvore**, 32: 217-224. 2008.
- MAIA, L.C. & YANO-MELO, A.M. Role of arbuscular mycorrhizal fungi in saline soils. In **Mycorrhizas: role and applications** (V.S. Mehrotra, ed.). Allied Publishers, New Dehli, p.282-302. 2005.
- MAIA, L.C.; SILVA, G.A.; YANO-MELO, A.M.; GOTO, B.T. Fungos Micorrízicos Arbusculares no Bioma Caatinga. In: SIQUEIRA, J.O.; DE SOUZA, F.A.; CARDOSO,

E.J.B.N.; TSAI, S.M. (eds.) **Micorrizas: 30 anos de pesquisas no Brasil**, UFLA, Lavras. 2010.p. 716.

MAIA, L.C.; YANO-MELO, A.M. & GOTO, B.T. Filo Glomeromycota. In: GUSMÃO, L.F.P.; MAIA, L.C. eds. **Diversidade e caracterização dos fungos do semi-árido Brasileiro**. Recife, Associação Plantas do Nordeste - APNE, v.2, 2006. p.109-126.

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

MARINHA, F.; SILVA, G.A.; FERREIRA, A.C.A.; VERAS, J.S.N.; SOUSA, N.M. F.; GOTO, B.T.; MAIA, L.C.; OEHL, F. *Bulbospora minima*, a new genus and a new specie in the Glomeromycetes from semi-arid Northeast of Brazil. **Sydowia**, 66 (2): 313-323. 2014.

MARTILL, D.M. The Santana Formation. In: DEREK E.G. BRIGGS, PETER R. Crowther (ed) **Palaeobiology II**. Blackwell Publishing.; pp. 351-356. 2001

MEGURO, M.; PIRANI, J.R.; GIULIETTI, A.M. & MELLO-SILVA, R. Phytophysognomy and compositon of the vegetation of Serra do Ambrósio, Minas Gerais, Brazil. **Revista Brasileira de Botanica** 17:149-166. 1994.

MELLO, C. M. A.; SILVA, G. A.; VIEIRA, H. E. E.; SILVA, I. R.; MAIA, L. C. & OEHL, F. *Fuscutata aurea*, a new species in the Glomeromycetes from cassava and maize fields in the Atlantic rainforest zone of Northeastern Brazil. **Nova Hedwigia**, 95: 267-275. 2012.

MELLO, C. M. A.; SILVA, I. R.; PONTES, J. S.; GOTO, B. T.; SILVA, G. A. & MAIA, L. C. Diversidade de fungos micorrízicos arbusculares em área de Caatinga, PE, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, 26: 938-943. 2012.

MELZ, E.M; TIAGO, P.V. Propriedades físico-químicas e microbiológicas do solo de um Parque em Tangará da Serra, MT, uma área de transição entre Amazônia e Cerrado. **Acta Amazonica**. 39(4): 829-832. 2009

MENDONÇA, L.A.R.; FRISCHKORN, H.; SANTIAGO, M.F; CAMARGO, P.B. de; LIMA, J.O.G. de; MENDES FILHO, J. Identificação de mudanças florestais por 13C e 15N dos solos da Chapada do Araripe/Ceará. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 14: 314-319. 2010.

MERGULHÃO, A. C. E. S.; BURITY, H. A.; GOTO, B. T. & MAIA, L.C. Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in a gypsum mining impacted semiarid area. **Acta Botanica Brasilica**, 24: 1052-1061. 2010.

MERGULHÃO,A.C.D.S.; DA SILVA,M.V.; FIGUEIREDO, M.D.B.; BURITY,H.A.; MAIA, L.C. Characterisation and identification of arbuscular mycorrhizal fungi species by PCR/RFLP analysis of the rDNA internal transcribed spacer (ITS). **Annals of Microbiology**, 58(2): 341-344, 2008.

MMA – Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal. **Avaliação e ações prioritárias para a conservação da biodiversidade da Caatinga**. Universidade Federal de Pernambuco, Conservation International do Brasil e Fundação Biodiversitas. Brasília, 2002. 36p.

MODESTO, M. L. de S. Aspectos ecológicos e socioeconômicos de *Himatantus articulata* (Vahl) Woodson, “janaguba” Apocynaceae. Crato, **Monografia** (Especialização em Botânica) - Universidade Regional do Cariri. 49p. 1997.

- MOHAMMAD, M. J.; HAMAD, S. R.; MALKAWI, H. I. Population of arbuscular mycorrhizal fungi in semi-arid environment of Jordan as influenced by biotic and abiotic factors. **Journal of Arid Environments**, 53:409-417, 2003.
- MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. 2ª edição. Lavras, Editora UFLA. 2006. 626p.
- MORTON, J. B. Taxonomy of VA mycorrhizal fungi: Classification, nomenclature, and identification. **Mycotaxon**, v. 32: 267-324. 1988.
- MORTON, J.B.; BENNY, G.L. Revised classification of arbuscular mycorrhizal fungi (Zygomycetes): a new order, Glomales, two new suborders, Glominae and Gigasporinae, and two new families, Acaulosporaceae and Gigasporaceae, with an emendation of Glomaceae. **Mycotaxon** (37): 471-491. 1990.
- MORTON, J.B.; KOSKE, R.E.; STÜRMER, S.L.; BENTIVENGA, S.P. Mutualistic Arbuscular Endomycorrhizal Fungi. In: Mueller, G.M.; Bills, G.F.; Foster, M.S. (orgs.). **Biodiversity of Fungi - Inventory and Monitoring Methods**. Oxford, UK: Elsevier Academic Press, pp. 317-336. 2004.
- MORTON, J.B.; MSISKA, Z. Phylogenies from genetic and morphological characters do not support a revision of Gigasporaceae (Glomeromycota) into four families and five genera. **Mycorrhiza** 20: 483-496. 2010.
- MORTON, J.B.; REDECKER, D. Two new families of Glomales, Archaeosporaceae and Paraglomaceae, with two new genera *Archaeospora* and *Paraglomus*, based on concordant molecular and morphological characters. **Mycologia** 93(1): 181-195. 2001.
- MOURA, A.S. & RAMOS, G.C.C. **Cenário para o Bioma Caatinga**. Recife, Conselho Nacional da Reserva da Biosfera da Caatinga / Secretaria de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente de Pernambuco, 2004.
- MYERS, N. The biodiversity challenge: expanded hotspots analysis. **Environmentalist**, 10: 243–256. 1990.
- MYERS, N. Threatened biotas: 'hotspots' in tropical forests. **Environmentalist**, 8: 187–208. 1988.
- NEBEL, M.; KREIER, H.P.; PREUSSING, M.; WEISS, M.; KOTTKE, I. Symbiotic fungal associations of liverworts are the possible ancestors of mycorrhizae. In: AGERER, R.; PIEPENBRING, M.; BLANZ, P. (eds). **Frontiers in Basidiomycote Mycology**. IHW-Verlag, Munchen, Germany, pp. 339–360. 2004.
- NOBRE, C.P. FERRAZ JÚNIOR, A.S.L.; GOTO, B.T.; BERBARA, R.L.L. & NOGUEIRA, M.D.C. Fungos micorrízicos arbusculares em sistema de aléias no Estado do Maranhão, Brasil. **Acta Amazonica** 40(4): 641-646. 2010.
- OEHL, F.; SÁNCHEZ-CASTRO, I.; PALENZUELA, J.; SILVA, G.A. *Paleospora spanii*, a new arbuscular mycorrhizal fungus from Swiss agriculture soils. **Nova Hedwigia**, 100: 101-114. 2014.
- OEHL, F.; SIEVERDING, E.; PALENZUELA, J.; INEICHEN, K.; SILVA, G.A. Advances in Glomeromycota taxonomy and classification. **IMA Fungus** 2(2): 191-199. 2011a.
- OEHL, F.; SILVA, D.K.A.; MAIA, L.C.; SOUSA, N.M.F.; VIEIRA, H.E.E.; SILVA, G.A. *Orbispora* gen. nov.; ancestral in the Scutellosporaceae (Glomeromycetes). **Mycotaxon** 116: 161-169. 2011b.

- OEHL, F.; SILVA, G.A.; GOTO, B.T.; MAIA, L.C.; SIEVERDING, E. Glomeromycota: two new classes and a new order. **Mycotaxon** 116: 365-379. 2011c.
- OEHL, F.; SILVA, G.A.; GOTO, B.T.; SIEVERDING, E. *Glomeromycota*: three new genera and glomoid species reorganized. **Mycotaxon** 116: 75-120. 2011d.
- OEHL, F.; SILVA, G.A.; SÁNCHEZ-CASTRO, I.; GOTO, B.T.; MAIA, L.C.; VIEIRA, H.E.E.; BAREA, J.M.; SIEVERDING, E.; PALENZUELA, J. Revision of Glomeromycetes with entrophosporoid and glomoid spore formation with three new genera. **Mycotaxon** 117: 297-316. 2011e.
- OEHL, F.; 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** 106: 311-360. 2008.
- OKSANEN, J. Multivariate analysis of ecological communities in R: vegan tutorial. 2011. Disponível em: <http://vegan.r-forge.r-project.org/> (acesso em 19/10/2014).
- OLIVEIRA-FILHO, A.T.; RATTER, J.A. Vegetation physiognomies and woody flora of the Cerrado biome. In: Oliveira, P.S.; Marquis (Ed.) **The cerrados of Brazil: ecology and natural history of a neotropical savanna**. New York: Columbia University, p.91-120. 2002.
- ONGUENE, N.A.; KUYPER, T.W. Mycorrhizal associations in the rain forest of South Cameroon. **Forest Ecology and Management**, 140: 277-287. 2001.
- ÖPIK, M.; ZOBEL, M.; CANTERO, J.J.; DAVISON, J.; FACELLI, J.M.; HIIESALU, I.; JAIRUS, T.; KALWIJ, J.M.; KOOREM, K.; LEAL, M.E.; LIIRA, J.; METSIS, M.; NESHATAEVA, V.; PAAL, J.; PHOSRI, C.; PÕLME, S.; REIER, Ü.; SAKS, Ü.; SCHIMANN, H.; THIÉRY, O.; VASAR, M.; MOORA, M. Global sampling of plant roots expands the described molecular diversity of arbuscular mycorrhizal fungi. **Mycorrhiza**, 23: 411–430. 2013.
- PAGANO, M. C.; ZANDAVALLI, R. B. & ARAÚJO, F. S. Biodiversity of arbuscular mycorrhizas in three vegetational types from the semiarid of Ceará State, Brazil. **Applied Soil Ecology**, 67: 37-46. 2013.
- PAWLOWSKA, T.E.; TAYLOR, J.W. Organization of genetic variation in individuals of arbuscular mycorrhizal fungi. **Nature**, 427: 733–737. 2004.
- PENG, S.; GUO, T.; LIU, G. The effects of arbuscular mycorrhizal hyphal networks on soil aggregations of purple soil in southwest China. **Soil Biology Biochemistry**, 57: 411 – 417, 2013.
- PEREIRA, C. M. R.; SILVA, D. K. A.; FERREIRA, A. C. A.; GOTO, B. T. & MAIA, L. C. Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in Atlantic forest areas under different land uses. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, 185: 245-252. 2014.
- PIRANI, J.R.; GIULIETTI, A.M.; MELLO-SILVA, R. & MEGURO, M. Checklist and patterns of geographic distribution of the vegetation of Serra do Ambrósio, Minas Gerais, Brazil. **Revista brasileira de botânica**. 17:133-147. 1994.
- PIROZYNSKI, K.A.; DALPÉ, Y. Geological history of the Glomaceae, with particular reference to mycorrhizal symbiosis. **Symbiosis** 7: 1–36. 1989.
- PONTES, J. S.; SÁNCHEZ-CASTRO, I.; PALENZUELA, J.; MAIA, L. C.; SILVA, G. A.; OEHL, F. *Scutellospora alterata*, a new gigasporalean species from the semi-arid Caatinga biome in Northeastern Brazil. **Mycotaxon**, 125: 169-181. 2013.

PRADO, D.E. As Caatingas da América do Sul. In: LEAL, I.R.; TABARELLI, M.; SILVA, J.M.C. eds. **Ecologia e Conservação da Caatinga**. Recife, Ed. Universitária UFPE, 2003. p.3-73.

PREGER, A. C. ; RILLIG, M.C.; JOHNS, A.R.; PREEZ, C.C.D.; LOBE, I.; AMELUNG, W. Losses of glomalin-related soil protein under prolonged arable cropping: a chronosequence study in sandy soils of the South African Highveld. **Soil Biology and Biochemistry**, 39: 445–453, 2007.

PRINGLE, A.; BEVER, J.D. Divergent phenologies may facilitate the coexistence of arbuscular mycorrhizal fungi in a North Carolina grassland. **American Journal of Botany**, 89(9): 1439–1446. 2002.

PURIN, S. Fungos micorrízicos arbusculares: atividade, diversidade e aspectos funcionais em sistemas de produção de maçã. **Dissertação de Mestrado**. Lages, UDESC, 2005. 147p.

PURIN, S.; RILLIG, M.C. The arbuscular mycorrhizal fungal protein glomalin: Limitations, progress and a new hypothesis for its function. **Pedobiologia** 51: 123-130. 2007.

quantitativo de substâncias húmicas do solo: um procedimento simplificado de baixo custo. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2003. 7p. (Embrapa Solos. **Comunicado Técnico**, 16).

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R: A Language and Environment for Statistical Computing**. Vienna, Austria : the R Foundation for Statistical Computing. ISBN: 3-900051-07-0. 2011. Disponível em: <http://www.R-project.org/>.

READ, D. J.; DUCKETT , J. G.; FRANCIS, R.; L IGRONE,R.&RUSSELL,A. Symbiotic fungal associations in lower land plants. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London**, 355:815–831. 2000.

READ, D.J. The mycorrhizal mycelium. In: ALLEN, M.F. (ed). **Mycorrhizal functioning: An integrative plant-fungal process**. Chapman and Hall, New York. pp 102-133, 1992.

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** doi:10.1007/s00572-013-0486-y. 2013.

REDECKER, D.; KODNER, R.; GRAHAM, L.E. Glomalean Fungi from the Ordovician. **Science** 289: 1920-1921. 2000.

RENKER, C.; BLANKE, V.; BUSCOT, F. Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in grassland spontaneously developed on area polluted by a fertilizer plant. **Environmental Pollution**.135: 255-266. 2005.

RIBEIRO, J.F.; WALTER, B.M.T. Fitofisionomias do bioma Cerrado: os biomas do Brasil. In: **Cerrado: ambiente e flora**. EMBRAPA, Planaltina, DF, 1998. pp.89-116.

RILLIG, M. C.; LUTGEN, E.R.; RAMSEY, P.W.; KLIRONOMOS, J.N.; GANNON, J.E. Microbiota accompanying different arbuscular mycorrhizal fungal isolates influence soil aggregation. **Pedobiologia**, 49: 251-259, 2005.

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

RILLIG, M.C.; WRIGHT,S.F.; NICHOLS, W.F.; SCHMIDT, W.S. TORN, M.S. Large contribution of Arbuscular mycorrhizal fungi to soil carbon pools in tropical forest soils. **Plant and Soil**, 233: 167–177. 2001.

- RODRIGUES, P.C.G.; CHAGAS, M.G.S.; SILVA, F.B.R.; PIMENTEL, R.M.M. Ecologia dos brejos de altitude do agreste pernambucano. **Revista de Geografia**, 25(3): 20-34. 2008.
- ROSENDAHL, S.; STUKENBROCK, E.H. Community structure of arbuscular mycorrhizal fungi in undisturbed vegetation revealed by analyses of LSU rDNA sequences. **Molecular Ecology**, 13: 3179–3186. 2004.
- ROSSI, C.Q.; PEREIRA, M.G.; GIACOMO, S.G.; BETTA, M.; POLIDORO, J.C. Frações húmicas da matéria orgânica do solo cultivado com soja sobre palhada de braquiária e sorgo. **Bragantia**, Campinas, 70 (3): 622-630. 2011.
- ROZANE, D. E.; EMTURION, J.F.; ROMUALDO, L.M.; TANIGUCHI, C.A.K.; TRABUCO, M.; ALVES, A.U. Estoque de Carbono e estabilidade de Agregados de um Latossolo Vermelho Distrófico, sob Diferentes Manejos. **Bioscience Journal**, 26(1): 24-32, 2010.
- SÁ, I. B.; RICHE, G. R.; FOTIUS, G. A. Fatores abióticos: áreas e ações prioritárias para conservação da caatinga. In: SILVA, J. M. C.; TABARELLI, M.; FONSECA, M.T.; LINS, L.V. (Org.). **Biodiversidade da caatinga: e ações prioritárias para conservação**. Brasília: MMA, 2003. p. 37-44.
- SAMPAIO, E.V. de S.B. Características e Potencialidades. In: GARIGLIO, M.A.; SAMPAIO, E.V. de S.B.; CESTARO, L.A. & KAGEYAMA, P.Y. **Uso Sustentável e Conservação dos Recursos Florestais da Caatinga**. 369 p. Ministério do Meio Ambiente, 2010.
- SAMPAIO, E.V.S.B. Overview of the Brazilian Caatinga. In: BULLOCK, S.H.; HAROLD, A.M.; MEDINA, E. eds. **Seasonal dry tropical forests**. Cambridge, University Press, 1995. p.35-63.
- SANDERS, I.R.; CLAPP, J.P.; WIEMKEN, A. The genetic diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in natural ecosystems – a key to understand the ecology and functioning of the mycorrhizal symbiosis. **New Phytologist** 133: 123-134. 1996.
- SANDERS, I.R.; FITTER, A.H. The ecology and functioning of vesicular-arbuscular mycorrhizas in co-existing grassland species I. seasonal patterns of mycorrhizal occurrence and morphology. **New Phytologist** 120: 517-524. 1992.
- SANTOS, C. A.; FLORENZANO, T. G.; NORA, E. L. D. Estudo geológico-geomorfológico da sub-bacia leste do Araripe com aplicação de variáveis morfométricas derivadas a partir de dados SRTM. **Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE,: 3355-3362. 2009
- SCHENCK, N.C.; PÉREZ, Y. **Manual for the identification of VA mycorrhizal fungi**. 3rd edition. Gainesville, Florida, Synergistic Publ. 1990.
- SCHLOTTER, M.; DILLY, O.; MUNCH, J.C. Indicators for evaluating soil quality. **Agriculture, Ecosystems and Environment** 98: 255-262. 2003.
- SCHÜBLER, A.; SCHWARZOTT, D.; WALKER, C. A new fungal phylum, the *Glomeromycota*: phylogeny and evolution. **Mycological Research** 105(12): 1413-1421. 2001.
- SCHÜBLER, A.; WALKER, C. The Glomeromycota: A species list with new families and new genera. 2010. Disponível em: <<http://www.amf-phylogeny.com>>. Acesso em: janeiro/2013.

- SHI, Z. Y.; ZHANG, L.Y.; LI, X.L.; FENG, G.; TIAN, C.Y.; CHRISTIE, P. Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi associated with desert ephemerals in plant communities of Junggar Basin, northwest China. **Applied Soil Ecology**, 35:10–20, 2007.
- SIEVERDING, E.; OEHL, F. Revision of *Entrophospora* and description of *Kuklospora* and *Intraspora*, two new genera in the arbuscular mycorrhizal Glomeromycetes. **Journal of Applied Botany and Food Quality**, 80: 69 – 81. 2006.
- SIEVERDING, E.; SILVA, G.A.; BERNDT, R.; OEHL, F. *Rhizoglosum*, a new genus of the *Glomeraceae*. **Mycotaxon**, 129 (2): 373-386. 2014.
- SIKES, B.A.; COTTENIE, K.; KLIRONOMOS, J.N. Plant and fungal identity determines pathogen protection of plant roots by arbuscular mycorrhizas. **Journal of Ecology**, 97: 1274–1280. 2009.
- SILVA, C.F.; PEREIRA, M.G.; SILVA, E.M.R.; CORREIA, M.E.F.; SAGGIN-JÚNIOR, O.J. Mycorrhizal fungi in surrounding areas of Parque Estadual da Serra do Mar in Ubatuba (SP). **Revista Caatinga** (Mossoró, Brasil), 19 (1): 01-10. 2006.
- SILVA, D. K. A. ; FREITAS, N. O. ; CUENCA, G. ; MAIA, L. C. ; OEHL, F. . *Scutellospora pernambucana*, a new fungal species in the Glomeromycetes with a diagnostic germination orb. **Mycotaxon**, v. 106, p. 361-370, 2008.
- SILVA, D. K. A. ; GOTO, B. T. ; OEHL, F. ; SILVA, G. A. ; NOBRE, C. P. ; PEREIRA, C. M. R. ; MELLO, C. M. A. ; ASSIS, D. M. A. ; MARINHO, F. ; SILVA, I. R. ; PONTES, J. S. ; JOBIM, K. ; VIEIRA, L. C. ; SOUZA, N. M. F. ; LIMA, R. A. A. ; MAIA, L. C. . Arbuscular mycorrhizal fungi: new species and records in Northeast of Brazil. **Boletim do Museu de Biologia Mello Leitão**, v. 36, p. 35-50, 2014.
- SILVA, D.K.A.; PEREIRA, C.M.R.; SOUZA, R.G.; SILVA, G.A.; OEHL, F.; MAIA, L.C. Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in restinga and dunes areas in Brazilian Northeast. **Biodiversity and Conservation** 21: 2361-2373. 2012.
- SILVA, L.X.; FIGUEIREDO, M.V.B.; SILVA,G.A.; GOTO, B.T.; OLIVEIRA, J.P.; BURITY,H.A. Fungos micorrízicos arbusculares em áreas de planto de Leucena e Sabiá no estado de Pernambuco. **Revista Árvore**, 31 (3): 427-435, 2007.
- SILVA,I.R.; MELLO, C.M.A.; FERREIRA NETO, R.A.; SILVA, D.K.A.; MELO, A.L.; OEHL, F.; MAIA, L.C. Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi along na environmental gradient in the Brazilian semiarid. **Applied Soil Ecology**, 84:166-175. 2014.
- SIMON, L.; BOUSQUET, J.; LEVESQUE, R.C.; LALONDE, M. Origin and Diversification of Endomycorrhizal Fungi and Coincidence with Vascular Land Plants. **Nature**. 363: 67-69. 1993b
- SIMON,L; LÉVESQUE, R.C. & LALONDE, M. Identification of endomycorrhizal fungi colonizing roots by fluorescent single-strand conformation polymorphism-polymerase chain reaction. **Applied and Environmental Microbiology**, 59 (12):4211-4215. 1993a.
- SIMPSON, S. L.; HAYASAKA, S.; LAURIENTI, P. J. Exponential random graph modeling for complex brain networks. **PLoS ONE** 6:e20039 10.1371/journal.pone.0020039. 2011.
- SIQUEIRA, J.O. Micorrizas arbusculares. In: ARAUJO, R.S.; HUNGRIA, M. (ed.). **Microorganismos de importância agrícola**. Brasília: EMBRAPA-SPI, p. 151-194. 1994.

- SIQUEIRA, J.O.; COLOZZI-FILHO, A.; OLIVEIRA, E. Ocorrência de micorrizas vesicular-arbusculares em agro e ecossistemas do Estado de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, 24:1499-1506. 1989.
- SMITH, S.E.; SMITH, F.A., Fresh perspectives on the roles of arbuscular mycorrhizal fungi in plant nutrition and growth. **Mycologia**, 104: 1-13. 2012.
- SMITH, S.E.; READ, D.J. **Mycorrhizal Symbiosis**. Academic Press, San Diego. 302p 1997.
- SOKAL, R.R.; ROHLF, F.J. The comparison of dendrograms by objective methods. **Taxon**, Berlin, 11(1):30-40, 1962.
- SOUSA, C.S.; MENEZES, R.S.C.; SAMPAIO, E.V.S.B.; LIMA, F.S; MAIA, L.C. OEHL, F. Arbuscular mycorrhizal fungi in successional stages of Caatinga in the semi-arid region of Brazil. **Ciência Florestal**, 24 (1): 137-148. 2014.
- SOUZA, R. G.; MAIA, L.C.; SALES, M.F.; TRUFEM, S.F.B. Diversidade e potencial e infectividade de fungos micorrízicos arbusculares em áreas de caatinga, na Região de Xingó, Estado de Alagoas, Brasil. **Revista Brasileira de Botânica**, 26(1): 49-60, 2003.
- SOUZA, W.J.O.; MELO W.J. Matéria orgânica de um Latossolo submetido a diferentes sistemas de produção de milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 27: 1113-1122. 2003.
- SPAIN, J. L.; SIEVERDING, E.; OEHL, F. *Appendicispora*: a new genus in the arbuscular mycorrhiza-forming Glomeromycetes, with a discussion of the genus *Archaeospora*. **Mycotaxon** 97: 163-182. 2006.
- STÜRMER, S.L. & SIQUEIRA, J.O. Diversidade de Fungos Micorrízicos Arbusculares em Ecossistemas Brasileiros. In: MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O.; BRUSSAARD, L. eds. **Biodiversidade do Solo em Ecossistemas Brasileiros**. Lavras, Editora UFLA, 2008. p.537-583.
- STÜRMER, S.L. A history of the taxonomy and systematic of arbuscular mycorrhizal fungi belonging to the phylum Glomeromycota. **Mycorrhiza** 22:247-258. 2012.
- STÜRMER, S.L. Evolução, Classificação e Filogenia dos Fungos Micorrízicos Arbusculares. In: Siqueira, J.O., Moreira, F.M.S., Lopes, A.S., Guilherme, L.R.G., Faquin, V., Furtini Neto, A.E. and Carvalho, J.G. (eds) **Inter-relação Fertilidade, Biologia do Solo e Nutrição de Plantas**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo and Universidade Federal de Lavras, Viçosa and Lavras, Brazil, pp. 797–818. 1999.
- STÜRMER, S.L.; BELLEI, M.M. Composition and seasonal variation of spore populations of arbuscular mycorrhizal fungi in dune soils on the island of Santa Catarina, Brazil. **Canadian Journal of Botany**, 72: 359-363. 1994.
- STÜRMER, S.L.; SIQUEIRA, J.O. Species richness and spore abundance of arbuscular mycorrhizal fungi across distinct land uses in Western Brazilian Amazon. **Mycorrhiza** 21: 255-267. 2011.
- STÜRMER, S.L.; STÜRMER, R.; PASQUALINI, D. Taxonomic diversity and community structure of arbuscular mycorrhizal fungi (Phylum Glomeromycota) in three maritime sand dunes in Santa Catarina state, south Brazil. **Fungal Ecology**, 6 (1): 27-36. 2013.
- SUDEC. (Ed.). **Atlas do Ceará**. Fortaleza: 1986. 257p.

SWIFT, R.S. Organic matter characterization. In: SPARKS, D. L.; PAGE, A. L.; HELMKE, P. A.; LOEPPERT, R. H.; SOLTANPOUR, P. N.; TABATABAI, M. A.; JOHNSTON, C. T.; SUMNER, M. E. (Eds.) **Methods of soil analysis: chemical methods**. Vol. 3. Soil Science Society of America; American Society of Agronomy, Madison. (SSSA. Book Series, 5). p. 1011-1020. 1996.

TABARELLI, M. & SANTOS, A.M.M. Uma breve descrição sobre a história natural dos Brejos Nordestinos, p. 17-24. In: K.C. Porto; J.J.P. Cabral; M. Tabarelli (eds.) **Brejos de Altitude em Pernambuco e Paraíba**. Brasília, Ministério do Meio Ambiente, 324 p. 2004.

TABARELLI, M.; SILVA, J.M.C.; SANTOS, A.M.M. & VICENTE, A. Análise de representatividade das unidades de conservação de uso direto e indireto na caatinga: análise preliminar. Pp. 13. In: SILVA, J.C.M.; TABARELLI, M. coord. **Workshop Avaliação e identificação de ações prioritárias para a conservação, utilização sustentável e repartição de benefícios da biodiversidade do bioma caatinga**. Anais. Petrolina, 2000.

TAO, L.; ZHIWEI, Z. Arbuscular mycorrhizas in hot and arid ecosystem in southwest China. **Applied Soil Ecology**, 29: 135-141, 2005.

TAWARAYA, K.; TAKAYA, Y.; TURJAMAN, M.; TUAH S.J.; LIMIN, S.H.; TAMAI, Y.; CHA, J.Y.; WAGATSUMA, T.; OSAKI, M. Arbuscular mycorrhizal colonization of tree species grown in peat swamp forests of Central Kalimantan, Indonesia. **Forest Ecology and Management** 182: 381-386. 2003.

TCHABI, A.; COYNE, D.; HOUNTONDI, F.; LAWOUIN, L.; WIEMKEN, A.; OEHL, F. Arbuscular mycorrhizal fungal communities in sub-Saharan Savannas of Benin, West Africa, as affected by agricultural land use intensity and ecological zone. **Mycorrhiza**, 18, 181-195. 2008.

THAXTER, R. A revision of the Endogoneae. **Proceedings of the American Academy of Arts and Sciences** 57(12): 291-351. 1922.

TROVÃO, D. M. B. M.; FERNANDES P. D.; ANDRADE LEONALDO A. & DANTAS NETO, J. Variações sazonais de aspectos fisiológicos de espécies da Caatinga. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.11, n.3, p.307-311. 2007.

TURRINI, A.; SBRANA, C.; STRANI, P.; PEZZAROSSA, B.; RISALITI, R.; GIOVANNETTI, M. Arbuscular mycorrhizal fungi of a Mediterranean island (Pianosa), within a UNESCO Biosphere Reserve. **Biology and Fertility of Soils** 46: 511-520. 2010.

VAN DER HEIJDEN, M.G.A.; HORTON, T.R. Socialism in soil? The importance of mycorrhizal fungal networks for facilitation in natural ecosystems. **Journal of Ecology** 97: 1139-1150. 2009.

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

VAN TUINEN, D.; JACQUOT, E.; ZHAO, B.; GOLLOTE, A.; GININAZZI-PEARSON, V. Characterization of root colonization profiles by a microscop community of arbuscular mycorrhizal fungi using 25 rDNA-targeted nest PCR. **Molecular Ecology**, 7: 879-887, 1998a.

VAN TUINEN, D.; ZHAO, B. & GININAZZI-PEARSON, V. PCR in studies of arbuscular mycorrhizal fungi: from primers to application. In: Varma, A. (ed). **Mycorrhiza Manual**. Berlin, Springer-Verlag, 1998b. p. 387-399.

- VANDENKOORNHUYSE, P.; HUSBAND, R.; DANIELL, T. J.; WATSON, I. J.; DUCK, J. M.; FITTER, A. H. & YOUNG, J. P. W. Arbuscular mycorrhizal community composition associated with two plant species in a grassland ecosystem. **Molecular Ecology** 11, 1555-1564. 2002.
- VASCONCELOS SOBRINHO, J. **As regiões naturais do Nordeste, o meio e a civilização**. Conselho de Desenvolvimento de Pernambuco, Recife. 1971.
- VELOSO, H. P.; RANGEL FILHO, A. L. R. R.; LIMA, J. C. A. **Classificação da vegetação brasileira, adaptada a um sistema universal**. IBGE, Rio de Janeiro. 1991. p.112.
- VIANA, M.S.; NEUMANN, V.H.L. Membro Crato da Formação Santana, Chapada do Araripe, CE - Riquíssimo registro de fauna e flora do Cretáceo. *In*: SCHOBENHAUS, C.; CAMPOS, D.A.; QUEIROZ, E.T.; WINGE, M.; BERBERT-BORN, M.L.C. (Edits.) **Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil**. 1. ed. Brasília: DNPM/CPRM - Comissão Brasileira de Sítios Geológicos e Paleobiológicos (SIGEP), 2002. v. 01: 113-120.
- VIOLI, H.A.; BARRIENTOS-PRIEGO, A.F.; WRIGHT, S.F.; ESCAMILLA-PRADO, E.; MORTON, J.B.; MENGE, J.A.; LOVATT, C.J. Disturbance changes arbuscular mycorrhizal fungal phenology and soil glomalin concentrations but not fungal spore composition in montane rainforests in Veracruz and Chiapas, Mexico. **Forestry Ecology Management**, 254: 276–290. 2008.
- WALKER, C. *Ambispora* and Ambisporaceae resurrected. **Mycological Research**, 112: 297-298. 2008.
- WALKER, C.; BŁASZKOWSKI, J.; SCHWARZOTT, D.; SCHÜBLER, A. *Gerdemannia* gen. nov.; a genus separated from *Glomus*, and Gerdemanniaceae fam. nov.; a new family in the Glomeromycota. **Mycological Research**, 108(6): 707-718. 2004.
- WALKER, C.; SANDERS, F.E. Taxonomic concept in the Endogonaceae: III. The separation of *Scutellospora* gen. nov. from *Gigaspora* Gerd. e Trappe. **Mycotaxon**, 27: 169-182. 1986.
- WENDLING, B.; JUCKSH, I.; MENDONÇA, E.S.; NEVES, J.C.L. Carbono orgânico e estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho sob diferentes manejos. **Pesquisa agropecuária brasileira**, 40(5): 487- 494, 2005.
- WHITCOMB, S.; STUTZ, J.C. Assessing diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in a local community: role of sampling effort and spatial heterogeneity. **Mycorrhiza**, 17: 429-437. 2007.
- WILSON, G. W. T.; RICE, C.W.; RILLIG, M.C.; SPRINGER, A.; HARTNETT, D.C. Soil aggregation and carbon sequestration are tightly correlated with the abundance of arbuscular mycorrhizal fungi: results from long-term field experiments. **Ecology Letters**, 12: 452 – 461, 2009.
- WRIGHT, S. F.; J. B. MORTON, AND J. E. SWOROBUK. Identification of a vesicular-arbuscular mycorrhizal fungus by using monoclonal antibodies in an enzyme-linked immunosorbent assay. **Applied and Environmental Microbiology**, 53:2 222-2225. 1987.
- WRIGHT, S. F.; UPADHYAYA, A. Extraction of an abundant and unusual protein from soil and comparison with hyphal protein of arbuscular mycorrhizal fungi. **Soil Science**. 161(8): 575–586, 1996.

- WRIGHT, S.F.; A. UPADHYAYA. A survey of soils for aggregate stability and glomalin, a glycoprotein produced by hyphae of arbuscular mycorrhizal fungi. **Plant Soil**, 198:97–107. 1998.
- WRIGHT, S.F.; ANDERSON, R.L. Aggregate stability and glomalin in alternative crop rotations for the central Great Plains. **Biology and Fertility of Soils**, 31 (3-4): 249-253. 2000.
- WRIGHT, S.F.; FRANKE-SNYDER, M.; MORTON, J.B.; UPADHYAYA, A. Timecourse study and partial characterization of a protein on hyphae of arbuscular mycorrhizal fungi during active colonization of roots. **Plant and Soil**, 181: 193-203. 1996.
- WRIGHT, S.F.; STARR, J.L.; PALTINEANU, I.C.; Changes in aggregate stability and concentration of glomalin during tillage management transition. **Soil Science Society American Journal**, 63, 1825–1829. 1999.
- WRIGHT, S.F.; UPADHYAYA, A. Extraction of an arbuscular and unusual protein from soil and comparison on hyphal protein of arbuscular mycorrhizal fungi. **Soil Science**, 161: 575-586. 1996.
- WU, Q. S.; CAO, M.Q.; ZOU, Y-N.; HE, X. Direct and indirect effects of glomalin, mycorrhizal hyphae, and roots on aggregate stability in rhizosphere of trifoliolate orange. **Scientific reports**, 4(5823), DOI:10.1038/srep05823, 2014.
- YANO-MELO, A.M.; SAGGIN JÚNIOR, O.J.; MAIA, L.C. Tolerance of mycorrhized banana (*Musa* sp. cv. Pacovan) plantlets to saline stress. **Agriculture Ecosystem Environment**, 95: 343–348. 2003.
- YEOMANS, J. C.; BREMNER, J.M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, vol. 19 (13):1467-1476, 1988.
- ZANGARO, W.; MOREIRA, M. Micorrizas arbusculares nos biomas Floresta Atlântica e Floresta de Araucária. In: Siqueira, J.O.; de Souza, F.A.; Cardoso, E.J.B.N.; Tsai, S.M. (eds.) **Micorrizas: 30 anos de pesquisas no Brasil**, Lavras: UFLA. 2010. p.716.
- ZHANG, Y.; GUI, L.D.; LIU, R.J. Survey of arbuscular mycorrhizal fungi in deforested and natural forest land in the subtropical region of Dujiangyan, southwest China. **Plant and Soil**, 261: 257-263. 2004.

9. ANEXOS

ANEXO A – Fotos de espécies de FMA presentes na chapada do Araripe

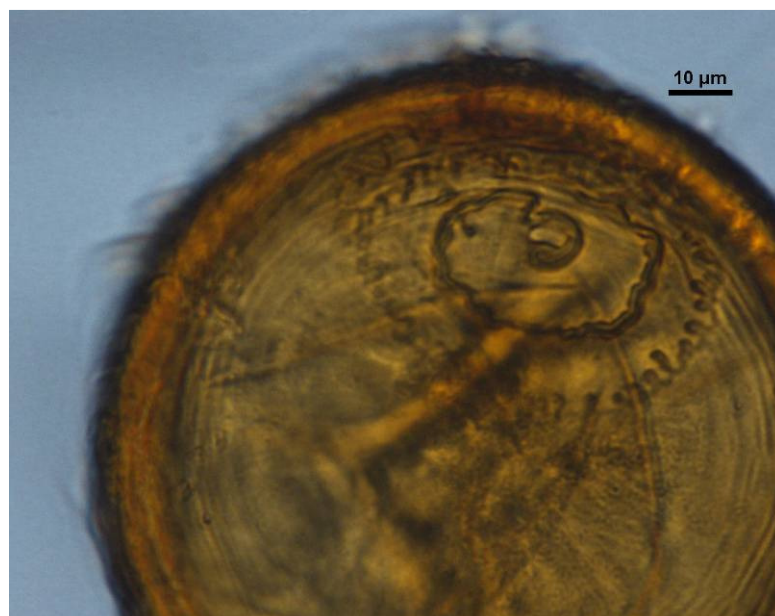


Foto 1 – Glomerosporo de *Orbispora pernambucana* com detalhe para placa em orbital

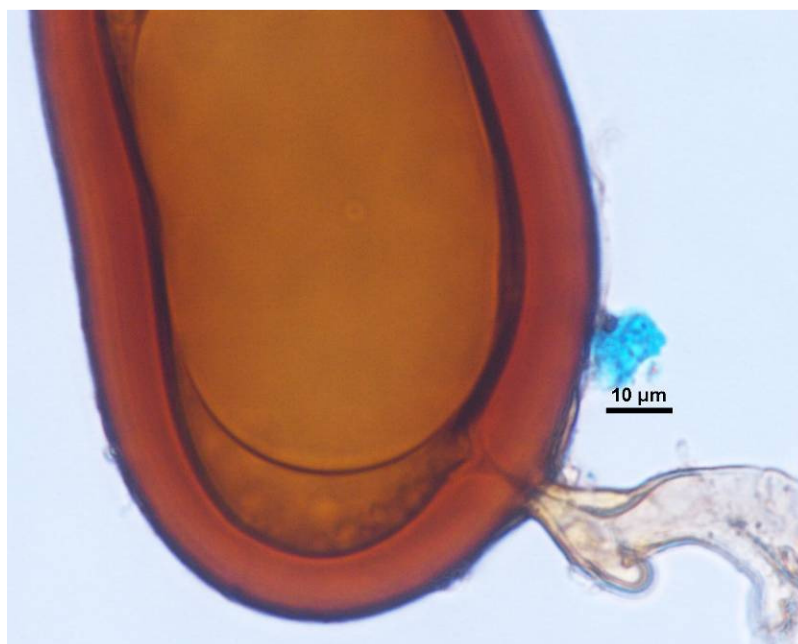


Foto 2 – Glomerosporo de *Glomus trufemii* com detalhe para hifa de sustentação



Foto 3 – Glomerosporos de *Pacispora boliviana*



Foto 4 – Glomerosporo de *Dentiscutata* sp.



Foto 5 – Glomerosporo de *Gigaspora* sp.

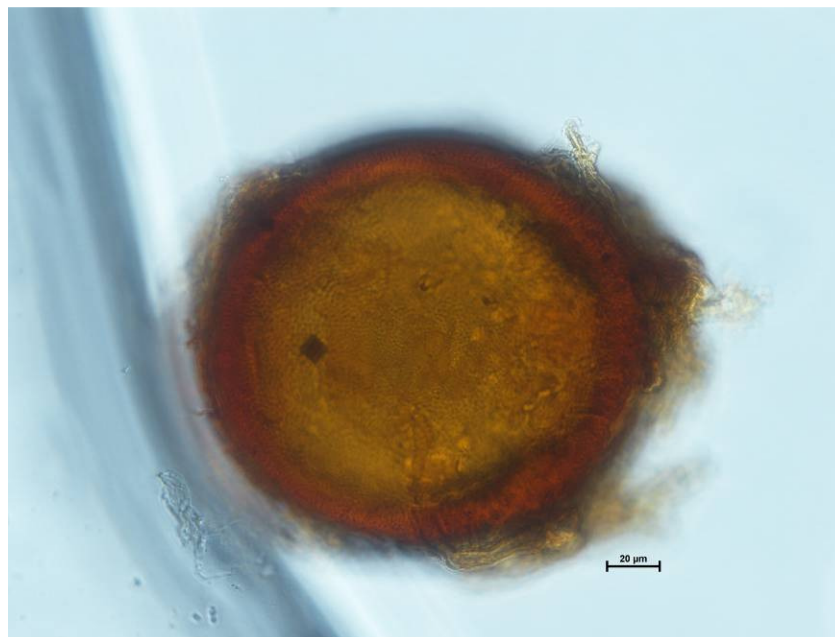


Foto 6 – Glomerosporo de *Glomus* sp2. Espécie ornamentada com espinhos e com várias hifas de sustentação.