

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO – UEMA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS – CCA
CURSO DE ENGENHARIA AGRONÔMICA

LUANA CORRÊA SILVA

**FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES EM AMBIENTES DUNARES DA ILHA
DE UPAON AÇU: DIVERSIDADE E ATIVIDADE**

SÃO LUÍS
2019

LUANA CORRÊA SILVA

**FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES EM AMBIENTES DUNARES DA ILHA
DE UPAON AÇU: DIVERSIDADE E ATIVIDADE**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Agrônômica do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Estadual do Maranhão, como requisito para obtenção do título de Engenheiro Agrônomo.

Orientadora: Dra. Camila Pinheiro Nobre

SÃO LUÍS
2019

LUANA CORRÊA SILVA

**FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES EM AMBIENTES DUNARES DA ILHA
DE UPAON AÇU: DIVERSIDADE E ATIVIDADE.**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Agrônômica do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Estadual do Maranhão, como requisito para obtenção do título de Engenheiro Agrônomo.

Data da defesa:06/12/2019

BANCA EXAMINADORA



Dr.^a Camila Pinheiro Nobre. **Orientadora**
Bolsista de Fixação de doutor no Programa de Pós-Graduação em
Agroecologia/CCA/UEMA



Prof. Me. Eduardo Mendonça Pinheiro
Faculdade Pitágoras



Prof. Dr.^a Ana Maria Silva de Araújo
UEMA

Silva, Luana Corrêa.

Fungos micorrízicos arbusculares em ambientes dunares da ilha de Upaon Açú: diversidade e atividade / Luana Corrêa Silva. – São Luís, 2019.

59 f

Monografia (Graduação) – Curso de Agronomia, Universidade Estadual do Maranhão, 2019.

Orientador: Profa. Ma. Camila Pinheiro Nobre.

1.Glomeromycota. 2.Simbiose. 3.*Micorriza*. I.Título.

CDU: 581.557

Dedico este trabalho a todos que fizeram parte desta etapa da minha vida. Em especial a minha mãe e irmãos pela compreensão e apoio.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter me dado uma mãe maravilhosa, coragem e força que me ajudaram a seguir em frente.

A minha incrível mãe, Diana do Socorro Serrão Corrêa, por ter conseguido me dar essa oportunidade de fazer uma faculdade, pelos cuidados, apoio, segurança e incentivo.

Aos meus irmãos, Ayla Corrêa Silva e Marlon Corrêa Silva, pelo carinho.

A minha orientadora, Camila Pinheiro Nobre, por me proporcionar uma ótima experiência com a pesquisa, pela confiança, incentivo e compreensão.

Aos meus amigos, Jonas Alves Mesquita, Phelipe Silva de Araújo, Francisco de Assis dos Santos Diniz, Paula Fernanda Alves Ferreira, Marcus Vinicius e Gustavo da Costa Freire.

A FAPEMA pelo apoio financeiro da pesquisa.

Aos professores da instituição UEMA, que me deram uma boa bagagem de conhecimentos.

E aos demais que contribuíram indiretamente nessa etapa da minha vida.

Meus sinceros agradecimentos!

“Por vezes sentimos que aquilo que fazemos
não é senão uma gota de água no mar. Mas o
mar seria menor se lhe faltasse uma gota”.
(Madre Teresa de Calcuta)

RESUMO

As dunas são um ecossistema bastante peculiar com inúmeras funções ambientais, entretanto, a ação antrópica tem causado muita degradação e levando à perda da diversidade biológica e afetando por sua vez a atividade microbiana, o que reduz os efeitos benéficos que estes organismos podem oferecer, como os fungos micorrízicos arbusculares (FMA) que atuam na nutrição vegetal, mas também são reconhecidos por auxiliar no estabelecimento da comunidade vegetal em ambientes degradados e em processo inicial de colonização. Vários estudos indicam a ocorrência e diversidade de FMA em dunas no mundo e no Brasil, porém, as dunas do estado do Maranhão ainda não possuem relatos de estudos com este grupo de fungos. Neste contexto este trabalho teve como objetivo estimar a diversidade de fungos micorrízicos arbusculares e caracterizar sua comunidade em dunas das praias de São Marcos e Carimã-MA. Logo foram selecionadas aleatoriamente quatro dunas da praia de São Marcos(PDM) e Praia de Carimã(PC). As coletas foram realizadas durante o período seco (Nov/2017) e o período chuvoso (Maio/2018), foram coletadas cinco amostras compostas de solo (três amostras simples), na profundidade 0-20 cm, em cada praia, totalizando 40 amostras por época. Essas amostras foram separadas e encaminhadas para posteriores análises. O delineamento experimental foi caracterizado como inteiramente casualizado, com arranjo fatorial 2x2 e 20 repetições. Todas as variáveis foram submetidas ao teste de Tukey ($p < 0,05$). A densidade de glomerosporos variou de 0,04 a 4,76 glomerosporos por g de solo no período seco, e de 91 a 11,54 glomerosporos por g de solo no período seco. Foram identificadas 45 espécies de FMA distribuídas em sete famílias e 12 gêneros. A maior riqueza de espécies foi observada no período chuvoso quando comparado ao período seco. A área com maior diversidade de FMA durante a época chuvosa foi a PSM, com 27 espécies identificadas, já durante a época seca a maior diversidade foi observada na área PC, com 22 espécies. Das espécies identificadas apenas quatro(*Racocetra gregaria*, *Cetraspora gilmorei*, *Funneliformis halonatum* e *Acaulospora scrobiculata*) ocorreram nas duas área e épocas do ano estudados. O maior índice de Shannon(H') foi detectado em PSM na época chuvosa e PCM em ambas as épocas, enquanto os maiores valores do índice de Pielou (J') foram observados em PCM em ambas as épocas e PSM somente na época chuvosa. Ambas as áreas apresentaram maior taxa de colonização micorrizica durante a época seca, enquanto que na época chuvosa a tendência de acréscimo do potencial de infecção micorrízica (PIM) foi maior na área PSM. Os teores de BRSP, EE- BRSP e COT apresentaram sensibilidade à variação sazonal, com incremento na época chuvosa. As maiores correlações foram observadas para (EE-BRSP x BRSP, EE-BRSP x COT e BRSP x COT) indicando que essas frações proteicas influenciam na elevação da concentração de carbono no solo em dunas.

Palavra-Chave: Glomeromycota. Simbiose. Micorriza.

ABSTRACT

The dunes are a very peculiar ecosystem with numerous environmental functions, however, anthropogenic action has caused a lot of degradation and leading to loss of biological diversity and in turn affecting microbial activity, which reduces the beneficial effects these organisms can offer such as Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) that act in plant nutrition, but are also recognized to assist in establishing the plant community in degraded environments and in the initial process of colonization. Several studies indicate the occurrence and diversity of AMF in dunes worldwide and in Brazil, however, the dunes of Maranhão state do not have reports of studies with this group of fungi. In this context this work aimed to estimate the diversity of arbuscular mycorrhizal fungi and characterize their community in dunes of the beaches of São Marcos and Carimã-MA. Soon, four dunes of São Marcos beach (PDM) and Carimã beach (PC) were randomly selected. The samples were collected during the dry season (Nov / 2017) and during the rainy season (May / 2018). Five composite soil samples were collected (three single samples), at depth 0-20 cm, in each beach, totaling 40 samples. by season. These samples were separated and sent for further analysis. The experimental design was characterized as completely randomized, with 2x2 factorial arrangement and 20 replications. All variables were submitted to Tukey's test ($p < 0.05$). Glomerospore density ranged from 0.04 to 4.76 glomerospores per g of soil in the dry period, and from 91 to 11.54 glomerospores per g of soil in the dry period. We identified 45 AMF species distributed in seven families and 12 genera. The highest species richness was observed in the rainy season when compared to the dry period. The area with the highest AMF diversity during the rainy season was the PSM, with 28 species identified, while during the dry season the highest diversity was observed in the PC area, with 22 species. Of the identified species only four (*Racocetra gregaria*, *Cetraspora gilmorei*, *Funneliformis halonatum* and *Acaulospora scrobiculata*) occurred in both areas and times of the year. The highest Shannon index (H') was detected in PSM in the rainy season and PCM in both seasons, while the highest Pielou index (J') was observed in PCM in both the rainy season. Both areas presented a higher rate of mycorrhizal colonization during the dry season, while in the rainy season the tendency of increased mycorrhizal infection potential (MIP) was higher in the PSM area. The contents of BRSP, EE-BRSP and COT presented sensitivity to seasonal variation, with increase in the rainy season. The highest correlations were observed for (EE-BRSP x BRSP, EE-BRSP x COT and BRSP x COT) indicating that these protein fractions influence the increase of soil carbon concentration in dunes.

Keyword: Glomeromycota. Symbiosis. Mycorrhiza.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1**-Mapa com a localização dos municípios da Raposa e São Luís.....22
- Figura 2** - Visão geral das áreas de coleta na Praia de Carimã - Raposa. A) e B) Visão geral das dunas amostradas; C) Coleta do solo com vegetação no topo das dunas. - São Luís. Nas figuras D) e E) Visão geral das dunas amostradas e F) Coleta do solo com vegetação no topo das dunas na Praia de São Marcos.....23
- Figura 3** - Precipitação (mm) registrada durante o período de abril/2017 a junho/2018. Setas indicam os períodos de coleta (nov/17 – fim da época seca e maio/18 – fim da época chuvosa)..24
- Figura 4** - Teores de proteína relacionada ao Bradford do solo (BRSP) fração facilmente extraível (mg.g^{-1} de solo) durante época seca (nov/2017) e chuvosa (maio/2018) na praia de Carimã(CA) e na praia de São Marcos (SM) no Maranhão.....29
- Figura 5** - Teores de proteína relacionada ao Bradford do solo (BRSP) fração total (mg.g^{-1} de solo) durante época seca (nov/2017) e chuvosa (maio/2018) na praia de Carimã(CA) e na praia de São Marcos (SM) no Maranhão.....31
- Figura 6** - Teores de Carbono Orgânico Total (COT) (g.kg^{-1} de solo) durante época seca (nov/2017) e chuvosa (maio/2018) na praia de Carimã (CA) e na praia de São Marcos (SM) no Maranhão.....33
- Figura 7.** Escala multidimensional não-métrica (NMDS) ordenação de fatores do solo e composição das espécies nas praias de Carimã e São Marcos durante o período seco (nov/16) e chuvoso (maio/2017).....35
- Figura 8-** Número de glomerosporos de FMA (50g de solo) em dunas da praia de São Marcos - São Luís e da praia de Carimã - Raposa no Maranhão, durante a época seca (Nov/2017) e a época chuvosa (Maio/2018).....37
- Figura 9** - Distribuição de espécies de fungos micorrízicos arbusculares por gênero durante época seca (nov/2017) e chuvosa (mai/2018) nas dunas da Praia de Carimã, Raposa-seca e praia de São Marcos – MA.....39
- Figura 10-** Taxa de colonização (%) de *Brachiaria decumbens* em solo de dunas da praia de São Marcos-São Luís e da praia de Carimã-Raposa no Maranhão durante a época seca (nov/2017) e a época chuvosa (maio/2018).....44

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1** - Análise química das amostras de solo de dunas nas praias de Carimã e Raposa durante a época seca (nov/2016) e chuvosa (maio/2017), na profundidades 0-20 cm.....25
- Tabela 2.** Teores de glomalina da fração facilmente extraível (EE-BRSP) em função das áreas (Praia de Carimã-CA e Praia de São Marcos-SM), Durante as épocas seca (nov/2017) e chuvosa(maio/2018).....28
- Tabela 3.** Teores de glomalina da fração total (BRSP) em função das áreas (Praia de Carimã-CA e Praia de São Marcos - SM), Durante as épocas seca (nov/2017) e chuvosa (maio/2018).....30
- Tabela 4** – Correlação de Pearson entre os teores de glomalina facilmente extraível (EE-BRSP), glomalina total (BRSP) e carbono orgânico total (COT) para as praias de Carimã e São Marcos durante o período seco (nov/16) e chuvoso (maio/2017).....34
- Tabela 5** – Diversidade de fungos micorrízicos arbusculares em dunas da praia de São Marcos - São Luís e da praia de Carimã-Raposa no Maranhão, durante a época seca (nov/2017) e a época chuvosa (maio/2018). Fi = frequência de ocorrência; IAF = índice de abundância e frequência.....41

LISTA DE SIGLAS

FMA - Fungos Micorrízicos Arbusculares

MAs- Micorrizas arbusculares

BRSP - Proteína do solo reativa ao Bradford fração total

EE-BRSP - Proteína do solo reativa ao Bradford fração facilmente extraível

GRSP- Glomalin Related Soil-Protein ou Proteína do Solo Relacionada a Glomalina

COT- Carbono Orgânico Total do solo

PIM - Potencial de infecção micorrízica

Al- Alumínio

Ca - Cálcio

EMBRAPA- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

H+Al - Acidez potencial

IBGE- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

K- Potássio

Mg- Magnésio

N- Nitrogênio

Na- Sódio

P- Fósforo

pH- Potencial hidrogeniônico

PSM- Praia de São marcos

PC- Praia de Carimã

NMDS- Escala Multidimensional Não-Métrica

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	14
2. OBJETIVO.....	15
3. REFERENCIAL TEÓRICO.....	15
3.1 Dunas.....	15
3.2 Indicadores de Qualidade do Solo.....	17
3.3 Fungos Micorrízicos Arbusculares: Abrangência e função no ecossistema.....	18
3.4 Fungos Micorrízicos Arbusculares em Dunas.....	19
3.5 Glomalina.....	20
4. METODOLOGIA.....	21
4.1 Área de estudo e amostragem.....	21
4.2 Amostragem de solo.....	23
4.3 Análises físicas e químicas do solo.....	24
4.4 Extração e quantificação de glomalina.....	25
4.5 Potencial de Micorrização – PIM.....	25
4.6 Extração de esporos e análises morfológicas.....	26
4.7 Diversidade de FMA.....	26
4.8 Estatística.....	27
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	27
5.1 Glomalina.....	28
5.2.1 Glomalina Facilmente Extraível (EE-BRSP/GFE).....	28
5.4.2 Glomalina Total (BRSP/GT).....	30
5.4.3 Carbono Orgânico Total (COT).....	32
5.4.4 Correlação: Carbono Orgânico Total e Glomalina Total.....	33
5.5 Análise multivariada: Correlação atributos químicos e biológicos.....	35
5.1 Densidade de glomerosporos de FMA.....	36
5.2 Diversidade de Espécies de Fungos Micorrízicos Arbusculares (FMA).....	38
5.3 Potencial de Infecção Micorrízica – PIM.....	44
6. CONCLUSÃO.....	45
7. REFERÊNCIAS.....	46
ANEXO A.....	59

1. INTRODUÇÃO

Consideradas zonas de riqueza edáfica (CARAVACA et al., 2005), as dunas são classificadas como áreas de preservação permanente (APP) pela legislação ambiental (PINHEIRO; FÉ; FREITAS, 2014). Estes ecossistemas possuem características marcantes, como a ação das águas marinhas e dos ventos, característica específica do solo, como alta salinidade, topografia do terreno e o tipo e densidade da vegetação, o que o torna um ambiente bastante peculiar (CLARK, 1989; ROMARIZ, 1996; CARAVACA et al., 2005;).

O papel ecológico que os ambientes dunares assumem é de suma importância, principalmente pela variedade de serviços ecossistêmicos que realizam, dentre eles estão a proteção e estabilização costeira, proteção do lençol freático, formação de barreira natural contra a intensa atividade marítima, controle de erosão, captação e purificação de água, sequestro de carbono, além de serem habitats para uma fauna e flora diversificada, além de serem utilizados para turismo, recreação e pesquisa (MOURA, 2009; BARBIER et al., 2011).

No entanto com o crescente interesse por paraísos costeiros, que muitas das vezes são impulsionados pela especulação imobiliária e o turismo desordenado, ambos desprovidos de aparato educacional e fiscalização eficiente por parte dos órgãos competentes, tem apresentado uma ameaça para a conservação do ecossistema. Que ao longo da história, têm sofrido com a ocupação e apropriação indevida, a consequência desta pressão reflete-se no desmatamento da vegetação (NICOLODI; PETERMANN, 2010).

Com a remoção dessa vegetação culmina na reativação de processos de migração da duna, visto que sua vegetação colonizadora exerce papel fundamental na sua fixação e manutenção (LEITE; ANDRADE, 2004; ALMEIDA; SUGUIO, 2012). Além da cobertura vegetal influenciar inclusive na comunidade de microrganismos benéficos do solo, abundância e riqueza, em especial os fungos micorrízicos arbusculares (MORADI et al., 2017).

Diversos trabalhos relatam a participação dos fungos micorrízicos arbusculares na recomposição da vegetação (TRUFEM, 1994; DE OLIVEIRA, 2009) e sua riqueza (JOBIM; GOTO, 2016) nas diferentes zonas costeiras do Norte ao Nordeste do Brasil (ASSIS et. al, 2016).

Os fungos micorrízicos arbusculares (FMA), filo Glomeromycota, são os mais importantes associados ao sistema radicular. Esses fungos são definidos pela presença de arbúsculos, estruturas fúngicas intracelulares que permitem a troca de nutrientes do fungo para a planta e o recebimento de fotoassimilados que auxiliam na manutenção e desenvolvimento de novas estruturas morfológicas fúngicas (SILVA, 2013).

O principal papel dos FMA está atrelado à nutrição e disponibilidade de água para a planta (SOUSA, 2015). Em ecossistemas como dunas, auxiliam de certo modo na fixação e estabilidade das dunas por meio da colonização de plantas que funcionam como barreira contra a dispersão da areia (KOSKE; POLSON, 1984). Como também podem atuar de forma indireta, otimizando a tolerância das plantas a estresses bióticos e abióticos, como a salinidade (MILLER; JASTROW, 1992; AUGÉ 2001; MAIA et al. 2006;)

Apesar de sua importância ecológica para a comunidade vegetal, a diversidade de fungos micorrízicos arbusculares a nível global ainda é considerada baixa. O Maranhão apesar de estar entre os dez maiores estados do Brasil e ser o segundo maior território da região Nordeste (IBGE, 2014) apresenta uma grande deficiência nos estudos sobre fungos micorrízicos, principalmente em áreas de dunas. Com tudo faz-se necessário estudos da estimativa de diversidade de FMA, para maior compreensão da dinâmica da comunidade desses microorganismos sob efeito de estresse antropogênico.

2. OBJETIVO

Geral:

- Avaliar a diversidade de fungos micorrízicos arbusculares em dunas das praias de São Marcos e Carimã - MA.

Objetivos Específicos:

- Estimar a densidade de glomerosporos de fungos micorrízicos arbusculares (FMA) em dunas das praias de São Marcos e Carimã-MA;
- Identificar a diversidade de espécies de FMA em amostras de campo
- Comparar variações sazonais na densidade e diversidade de FMA;
- Extrair e quantificar as duas frações da glomalina - total e facilmente extraível;
- Estimar o potencial de micorrização (PIM) dos FMA nativos em cultura armadilha;

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Dunas

As dunas de areia são ecossistemas tênues reconhecidos por seu baixo teor de água e nutrientes no solo, areia movediça e condições ambientais adversas condições (ELHADI; MUBARAK; REZIG, 2016; ZHIMIN; WENZHI, 2001). Consideradas como áreas de preservação permanente (APP) pela legislação ambiental (PINHEIRO; FÉ; FREITAS, 2014). Estes ecossistemas possuem características marcantes, como a ação das águas marinhas e dos ventos,

características específicas do solo, como alta salinidade, topografia do terreno e o tipo e densidade da vegetação, o que o torna um ambiente bastante peculiar (CARAVACA et al., 2005; ROMARIZ, 1996;).

O papel ecológico que os ambientes dunares assumem é de suma importância, principalmente pela variedade de serviços ecossistêmicos que realizam, dentre eles estão a proteção e estabilização costeira, proteção do lençol freático, formação de barreira natural contra a intensa atividade marítima, controle de erosão, captação e purificação de água, sequestro de carbono, além de serem habitats para uma fauna e flora diversificada, além de serem utilizados para turismo, recreação e pesquisa (BARBIER et al., 2011; MOURA, 2009).

Apesar de sua imensurável importância, esses ambientes estão sujeitos a mudanças antropogênicas com a ocupação e a apropriação indevida, resultando no desmatamento da vegetação destes locais (mineração, tráfego de pedestres, urbanização, portos e atividades turísticas, desflorestamento), que comprometem a ecologia local e afetam várias comunidades acima e abaixo do solo (EMERY; RUDGERS, 2010; NICOLODI; PETERMANN, 2010).

Deste modo, as dunas estão sujeitas a inúmeros impactos, dentre eles, a remoção da cobertura vegetal natural, o que culmina na reativação de processos de migração da duna, visto que sua vegetação colonizadora exerce papel fundamental na sua fixação e manutenção (ALMEIDA; SUGUIO, 2012; LEITE; ANDRADE, 2004).

A vegetação mais próxima à praia é formada por espécies herbáceas ou arbustivas, que toleram maiores temperaturas e luminosidade. Além disto, são resistentes à excessiva salinidade do solo e brisas, e por este motivo torna-se, um importante componente na estabilização das dunas (ARAÚJO; SILVA; ALMEIDA, 2016). As dunas podem ser vegetadas ou não e como principais exemplos de vegetação têm-se as espécies *Blutaporo portucaloides*, *Ipomoea imperati*, *Ipomoea pes-caprae*, pinheirinho de praia (*Polygala cyparissias*), gramíneas (*Spartina* spp.), açariçoba (*Hydrocotyle* sp.) e cactáceas (*Cereus peruvianus*, *Opuntia monoacantha*), entre outras (SANTOS et al. 2015; SILVA; REIS; MEHLIG, 2018). A vegetação das dunas é essencial para a estabilidade e manutenção das mesmas.

No estado do Maranhão, encontra-se o segundo maior litoral do país, com 640 km de extensão, onde há uma diversidade de paisagens que variam de planaltos, tabuleiros, planícies, planície de maré areno-lamosa, planície flúviomarinha, cordões arenosos, falésias, florestas, capoeira, campos, vegetação de dunas ou restingas, mangues, apicuns, dentre outras (NOVAES et al., 2007).

No município de São Luís, capital do estado do Maranhão, o litoral estende-se por mais de 32 Km com diversas praias, entre elas, a Praia Ponta D'areia, Praia de São Marcos, Praia do Calhau, Praia do Meio e a Praia do Olho d'Água. A Praia de São Marcos, também conhecida como Marcela, fica localizada a sete quilômetros do centro de São Luís e é constituída por diversas dunas nas quais são pouco estudadas (ARAÚJO; SILVA; ALMEIDA, 2016).

A cerca de 28 Km de São Luís encontra-se o município da Raposa (MENEGHETTI; KUX, 2014), composto por extensas baixadas litorâneas com formações manguezais e uma extensa rede de canais, normalmente preenchidos pela preama, dunas móveis, paleodunas e praias arenosas, como a de Carimã (RANGEL, 2003). A praia de Carimã está localizada na Ilha de Curupu, e possui uma extensão aproximada de 12 km, onde é possível observar manguezais, praia, dunas e lagoas interdunares (PIORSKI et al. 2009).

3.2 Indicadores de Qualidade do Solo

A qualidade do solo integra propriedades químicas, físicas e biológicas do solo, necessárias para seu funcionamento pleno. A mensuração da qualidade do solo é feita através do uso de indicadores que são atributos químicos, físicos ou biológicos que refletem ou medem o status do ambiente (ARAÚJO; MONTEIRO, 2007). Segundo Doran e Zeiss (2000), um bom indicador deve ser sensível às variações de manejo e clima, ter fácil mensuração, ser econômico e útil para explicar os processos dos ecossistemas. Muitas pesquisas mostraram que as propriedades biológicas e bioquímicas do solo, como a respiração basal, a atividade enzimática, o nitrogênio da biomassa microbiana, o carbono da biomassa microbiana, diversidade microbiana, carbono orgânico do solo e glomalinas são sensíveis as alterações no meio e conseqüentemente funcionam como perfeitos indicadores, que podem ser usados no monitoramento do ambiente (CATES et al., 2016; FRANZLUEBBERS, 2016; VASCONCELLOS et al., 2016; ZANINETTI; MOREIRA; MORAES, 2016; PAREDES JUNIOR; PORTILHO; MERCANTE, 2015; RILLIG et al., 2015; BALOTA et al., 2014; SIX; PAUSTIAN, 2014).

Os indicadores microbiológicos permitem a obtenção de respostas rápidas às mudanças na qualidade do solo. Deste modo qualquer interferência no ambiente poderá acarretar em mudanças na população e atividade microbiana que podem resultar em alterações nos atributos químicos e físicos, e conseqüentemente refletir um resultado de melhoria ou degradação do solo (ARAÚJO; MONTEIRO, 2007).

3.3 Fungos Micorrízicos Arbusculares: Abrangência e função no ecossistema

Os fungos micorrízicos arbusculares (FMA), presente nos mais diversos ecossistemas, têm a capacidade de formar associação com as raízes de mais de 80% das espécies de plantas terrestre (SAHA et al., 2014; ZOU; WU, 2011) . Esses fungos são definidos pela presença de arbúsculos, estruturas fúngicas intracelulares que permitem a troca de nutrientes do fungo para a planta e o recebimento de fotoassimilados que auxiliam na manutenção e desenvolvimento de novas estruturas morfológicas fúngicas (SILVA, 2013).

O principal papel dos FMA está relacionado à nutrição e disponibilidade de água para a planta (SOUZA, 2015). As associações entre fungos micorrízicos e vegetação é imprescindível para a sobrevivência e sustentação da demanda fisiológica das plantas. Inúmeros trabalhos relatam tal importância na absorção de nutrientes e aquisição de íons de baixa mobilidade como fósforo (P), zinco (Zn) e cobre (Cu) (SMITH; READ, 2008), tolerância a estresses ambientais (abióticos e bióticos) (OYEWOLE et al. 2017; CHEN et al. al. 2015), resistência à seca (AUGÉ, 2001) e a salinidade (MAIA; YANO-MELO, 2005).

Entretanto, a função dos FMA não se resume somente à nutrição vegetal, também é bastante ligada à diversidade de espécies vegetais (YAO; ZHU, 2010), ao equilíbrio dos ecossistemas, drenagem de carbono e agregação (BERBARA; SOUZA; FONSECA, 2006) e estruturação do solo (OYEWOLE et al., 2017; CHEN et al., 2015; RILLIG, 2004). Atuam ainda sobre o ciclo do carbono e estabilidade de agregados do solo, pela produção de glomalinas (ZHU; MILLER, 2003).

A comunidade dos fungos micorrízicos arbusculares é presente na maioria dos ambientes terrestres naturais como dunas, savanas, florestas tropicais, pastagens, assim como também estão em ecossistemas agrícolas e em áreas degradadas (READ et al., 2000; NEBEL et al., 2004). Os FMA predominam nos solos ricos em matéria orgânica, com pH moderadamente ácido, em florestas, agroecossistemas (SOUZA et al., 2006), e regiões semi-áridas em menor densidade quando comparado a outras regiões (SOUSA et al., 2014).

Diversos trabalhos relatam a participação dos fungos micorrízicos arbusculares na recomposição da vegetação (TRUFEM, 1994; OLIVEIRA, 2009) e sua riqueza (JOBIM; GOTO, 2016) nas diferentes zonas costeiras do Norte ao Nordeste do Brasil (ASSIS, 2016). A presença de micorrizas no campo é importante para o estabelecimento, desenvolvimento e sobrevivência das espécies de plantas que colonizam dunas (KOSKE; POLSON, 1984), onde há ocorrência de muitas espécies de plantas em dunas remetida à associação com os FMA (GEMMA; KOSKE,

1997). Embora os FMA sejam encontrados em quase todos os ecossistemas (HARLEY; SMITH, 1983), estudos mostram baixa frequência em dunas (SYLVIA; WILL, 1988) ou até mesmo pontos estéreis (KOSKE; GEMMA, 1997). Segundo Moradi et al. (2017), a cobertura vegetal influencia a riqueza e abundância de FMA, sendo importante a necessidade de espécies vegetais recobrando as dunas afim de garantir a manutenção das comunidades dos organismos do filo Glomeromycota.

Os FMA em ecossistemas como dunas possuem importante papel de facilitar a chegada dos nutrientes e água até a planta e, auxiliar na fixação e estabilidade das dunas por meio da colonização de plantas que funcionam como barreira contra a dispersão da areia (KOSKE; POLSON, 1984).

3.4 Fungos Micorrízicos Arbusculares em Dunas

Os FMA são importantes indicadores de qualidade do solo e a caracterização de suas comunidades em ecossistemas de dunas vem sendo extensamente estudado em vários países do mundo (STÜRMER et al., 2010), assim como no Brasil (STÜRMER; BELLEI, 1994). No Irã, Morada et al. (2017) ao estudar reflorestamento em dunas obteve ocorrência de quatro famílias, seis gêneros e 16 espécies de FMA nesses locais. Em estudo realizado na Índia, o gênero *Glomus* obteve destaque em dunas costeiras moderadas a severamente degradadas (BEENA et al., 2000).

No Brasil, alguns estudos indicam o predomínio da família Gigasporaceae em áreas de dunas (CORDAZZO; STÜRMER, 2007; STÜRMER; SIQUEIRA, 2006). Entretanto, Jobim e Goto (2016), em dunas de areia marítima no Nordeste brasileiro, destacaram a família Glomeraceae com maior número de espécies identificadas (12). Estudo realizado por Cordoba et al. (2002), em três estádios de estabilização da dunas, indicaram a presença de representantes de todas as famílias de FMA, com destaque para as famílias Glomaceae, Gigasporaceae e Acaulosporaceae. Souza et al. (2011) ao estudar os fungos micorrízicos em dunas na Paraíba, relataram a ocorrência de oito famílias (*Glomeraceae*, *Acaulosporaceae*, *Racocetraceae*, *Dentiscutataceae*, *Scutellosporaceae*, *Gigasporaceae*, *Ambisporaceae* e *Paraglomeraceae*). Além desses registros de ocorrência, novas espécies de FMA vêm sendo encontradas em ambientes dunares no mundo e no Brasil (GOTO et al., 2011).

Além de serem importantes indicadores de qualidade do solo, a caracterização de suas comunidades em ecossistemas de dunas tem sido extensamente estudado em vários países do mundo (STÜRMER et al., 2010), assim como no Brasil (STÜRMER; BELLEI, 1994). Até o

momento foram registradas 46 espécies de FMA em dunas da região nordeste (JOBIM; GOTO, 2016).

Apesar do Brasil possuir diversos estudos tendo como foco os fungos micorrízicos arbusculares em dunas, o Maranhão não apresenta registro de estudos nas áreas de dunas tendo como objeto de estudo os FMA.

3.5 Glomalina

A glomalina é uma proteína constituída de uma sequência de aminoácidos homóloga à proteína de choque térmico 60 (*Hsp60*), esta que é produzida em circunstâncias de estresse ambiental (CHEN et al. 2015), logo os fungos micorrízicos arbusculares sob condições estresse secretam uma determinada quantidade de glomalina para proteger as plantas hospedeiras (CHI et al., 2018; DRIVER et al., 2005)

A glomalina é uma glicoproteína produzida apenas pelos organismos do filo Glomeromycota. Possui elevada resistência às variações de temperaturas, tem natureza recalcitrante e caráter hidrofóbico (LOVELOCK et al., 2004). Esta proteína foi descoberta por Wright e Upadhyaya (1996) e tem em sua composição entre 28% e 45% de carbono (C), entre 0,9 a 7,3% de nitrogênio (N), o que pode representar de 4 a 5% do C e N totais do solo (LOVELOCK et al., 2004). A maior quantidade de glomalina é encontrada nas hifas que colonizam o solo, mas também pode ser encontrada nos glomerosporos (DRIVER; HOLBEN; RILLIG, 2005).

A glomalina tem o papel de auxiliar na agregação do solo, estudos mostram alta correlação observada entre teores de glomalina e estabilidade de agregados em água (FOLLI-PEREIRA et al., 2012). Essa proteína também é frequentemente relacionada à estrutura do solo, composição da matéria orgânica no solo, estoque de carbono, a bioquímica do solo e a qualidade fisiológica do fungo (ZOU et al., 2016), como a redução da palatabilidade das hifas (BERBARA; SOUZA; FONSECA, 2006) que é uma fonte de energia para a microbiota edáfica (HARNER et al., 2005). Dessa forma, a produção de glomalina melhora de forma indireta a qualidade edáfica através dos benefícios causados ao meio (CARAVACA et al., 2005).

A relevância da glomalina em solos se dá, principalmente, por sua associação ao carbono, a qual contribui para o aumento de seu reservatório no solo, estrutura do solo, composição da matéria orgânica do solo, bem como melhoria na fisiologia fúngica e bioquímica do solo (ZOU et al. 2016; DRIVER; HOLBEN; RILLIG, 2005). De acordo com Truber (2013), a

glomalina associa-se com partículas de argila e aumenta a estabilidade de microagregados do solo, contribuindo, assim, para a sua recuperação física.

Usualmente essa proteína é separada em duas frações, fração 1 ou facilmente extraível e fração 2 ou total (extraída com dificuldade). A primeira fração está relacionada com a glomalina recém-produzida pelos fungos micorrízicos muito ligada a atividade desses, enquanto a fração total seria o acúmulo da fração facilmente extraível ao longo do tempo, com característica recalcitrante e influenciada por ações do intemperismo (WU et al., 2014; KOIDE; PEOPLES, 2013; WRIGHT; UPADHYAYA, 1996).

Muito ainda se discute sobre o processo de extração e quantificação da glomalina nos solos. Alguns autores indicam que durante a extração desta proteína, ácidos húmicos, outras proteínas do solo e polifenóis sejam extraídos e quantificados, que acaba por superestimar os teores da glomalina nos solos (HONTORIA et al., 2009; PREGER et al., 2007). Entretanto, em pesquisa realizada por Koide e Peoples (2013), a determinação dos teores de glomalina através do método colorimétrico de Bradford foi eficiente, com pouca diferença entre o método de ELISA.

A forma de quantificação da glomalina também influencia na terminologia utilizada. Rillig (2004) introduziu nova nomenclatura para identificar a glomalina do solo, identificando como GRSP (glomalin related soil-protein - proteína do solo relacionada com a glomalina) quando a proteína é quantificada via método de ELISA e caso 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. As frações facilmente extraíveis (*easily extractable*) seriam denominadas EE-GRSP e EE-BRSP, respectivamente para cada um dos métodos de quantificação.

Os estudos dos teores de glomalina em ambientes naturais e agrícolas são pouco expressivos em escala mundial e o entendimento da função desta proteína ainda é insatisfatório. Estes são os principais motivos do reduzido literaturas sobre o assunto. Em ambientes de dunas, nossa trabalho é o pioneiro na quantificação dos teores desta proteína e sua relação com a sazonalidade.

4. METODOLOGIA

4.1 Área de estudo e amostragem

As áreas amostrais estão localizadas no estado do Maranhão, onde foram selecionadas a Praia de Carimã no município da Raposa (02° 24' 34.6" – 02° 24' 37.2" S, 44° 05' 33.4" – 44° 05' 42.9" W) e a Praia de São Marcos no município de São Luís (02° 29' 19.7 – 02° 29' 24.0" S, 44° 16' 31.5" – 44° 17' 23.2" W) (Figura 1).

Figura 1. Mapa com a localização dos municípios da Raposa e São Luís



Fonte: Google Earth, 2019

A praia de Carimã, localizada na porção norte-nordeste do município de Raposa, possui aproximadamente 12 km de extensão, onde se observam manguezais, praia, dunas e lagoas interdunares formadas apenas no período chuvoso (PIORSKI et al. 2009). A praia de São Marcos localizada no município de São Luís, com 4 km de extensão (ARAUJO et al., 2016), caracteriza-se por dunas primárias, próximas à faixa de praia, sob a interferência da avenida de acesso principal e por extensas áreas de dunas secundárias, com relevo íngreme e alturas elevadas (CABRAL-FREIRE; MONTEIRO, 1994; SILVA, 2012).

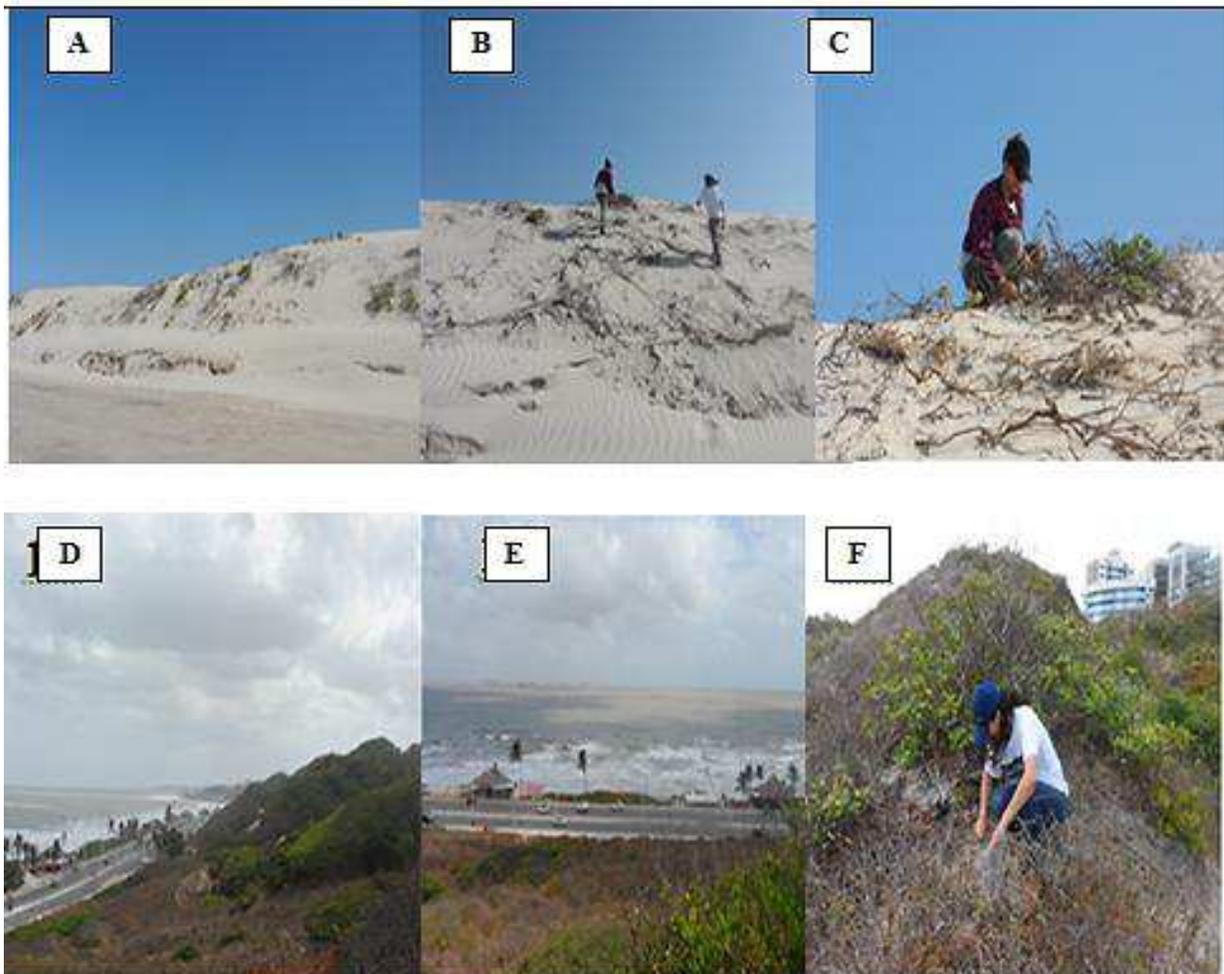
A vegetação da praia de São Marcos apresenta uma grande diversidade de espécies e diferentes gradiente de vegetação na área, em sua maioria, é composta por ervas e subarbustos e apresentam longas faixas de gramínea nas dunas primárias. Foram encontradas 35 espécies, distribuídas em 28 gêneros pertencentes a 16 famílias. As famílias que apresentaram maior número de espécies foram Fabaceae com 10 espécies, seguida por Asteraceae, Poaceae e Rubiaceae, com três espécies cada e Cyperaceae, Malvaceae e Turneraceae, com duas espécies cada (ARAÚJO; SILVA; ALMEIDA, 2016). Na praia de Carimã a vegetação presente é dominada por espécies rasteiras e herbáceas (PIORSKI et al., 2009).

Foram selecionadas duas áreas de dunas (Praia de São Marcos e Praia de Carimã) com for interferência antropogênica. As coletas foram realizadas na época chuvosa (nov/2017) e na época seca (maio/2018). Em cada área foram coletadas, de forma aleatória, vinte (20) amostras de

solo compostas (0-20 cm), totalizando 40 amostras totais do experimento por época do ano (Figura 2).

Das amostras de solo retiradas foram realizadas as seguintes análises: extração, contagem e identificação de esporos de FMA de campo, extração de glomalina, instalação de culturas armadilhas para multiplicação de espécies de FMA que não apresentavam esporos durante a época de coleta, instalação do experimento de potencial de micorrização e análises químicas do solo.

Figura 2. Visão geral das áreas de coleta na Praia de Carimã - Raposa. A) e B) Visão geral das dunas amostradas; C) Coleta do solo com vegetação no topo das dunas. - São Luís. Nas figuras D) e E) Visão geral das dunas amostradas e F) Coleta do solo com vegetação no topo das dunas na Praia de São Marcos



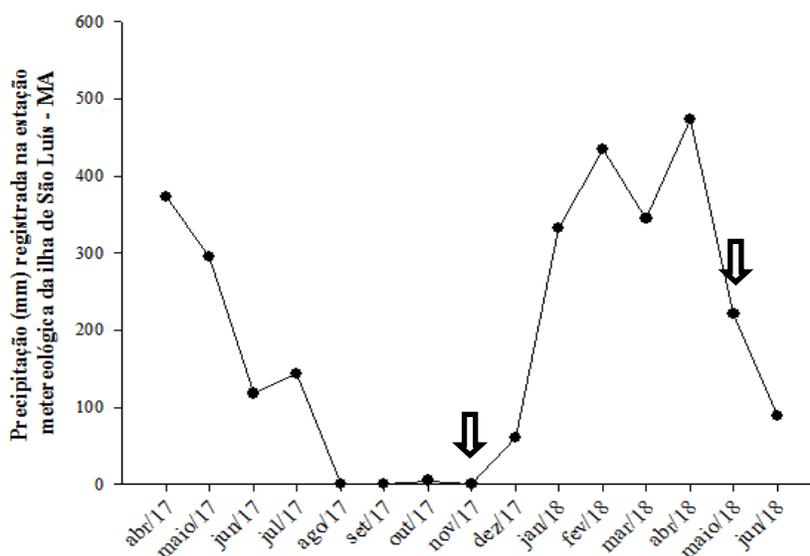
4.2 Amostragem de solo

As coletas foram realizadas na época chuvosa (novembro/2017) e na época seca (maio/2018) (figura 3), onde em cada uma das duas áreas, foram escolhidas quatro dunas com

vegetação de forma aleatória, e coletaram-se cinco amostras compostas de solo em cada duna, na profundidade 0-20 cm, totalizando 40 amostras por época do ano.

As amostras de solo foram separadas e enviadas para análises de fertilidade do solo, extração e contagem de glomerosporos, montagem de lâminas e identificação de espécies de FMA, instalação do potencial de infecção micorrízica (PIM) e identificação de teores de glomalina no solo.

Figura 3. Precipitação (mm) registrada durante o período de abril/2017 a junho/2018. Setas indicam os períodos de coleta (nov/17 – fim da época seca e maio/18 – fim da época chuvosa).



Fonte: LabMet, NUGEO – UEMA

4.3 Análises físicas e químicas do solo

As amostras de campo foram submetidas a análises químicas via análises de rotina no laboratório de solos do Programa de Pós-Graduação em Agroecologia. O pH foi quantificado em água destilada, o fósforo disponível foi extraído utilizando-se resina de troca aniônica Amberlite IRA-400, o potássio, cálcio, sódio, alumínio e magnésio foram quantificados segundo metodologia proposta pela Embrapa (1997). O teor de carbono orgânico foi estimado via digestão com dicromato (YEOMANS; BREMNER, 1988). As características químicas das dunas estudadas são apresentadas na tabela 1.

Tabela 1 – Análise química das amostras de solo de dunas nas praias de Carimã e Raposa durante a época seca (novembro/2016) e chuvosa (maio/2017), na profundidades 0-20 cm.

Praias	Épocas	pH	P	K	Ca	Mg	H+Al	Na	Al	H
		CaCl ₂	mg/dm ³	mmol _c /dm ³						
Carimã	Seca	6,58	9,10	1,11	3,90	3,95	5,75	3,73	0,00	5,75
	Chuva	5,17	3,30	1,00	1,60	4,60	7,80	2,86	0,80	7,05
São Marcos	Seca	7,82	16,60	1,31	2,35	5,35	4,35	2,12	0,00	4,35
	Chuva	6,03	4,75	1,29	3,00	4,35	6,55	2,39	0,35	6,25

4.4 Extração e quantificação de glomalina

A determinação dos teores de proteína do solo reativa ao Bradford (BRSP) em suas duas frações (facilmente extraível e total) foi realizada de acordo com metodologia proposta por Wright; Upadhyaya (1996).

Para a fração facilmente extraível foi pesado um grama (1g) de solo de cada amostra, adicionados 8 ml de citrato de sódio (20 µM a pH 7,0) e submetidas à autoclave por 30 minutos. O extrato proveniente da autoclave foi centrifugado por 15 minutos a 5000 RPM e armazenado em geladeira até sua quantificação.

Para a fração total foi pesado um grama (1g) de solo de cada amostra, adicionados 8 ml de citrato de sódio (50 µM a pH 8,0) e submetidas à autoclave por 60 minutos. O extrato proveniente da autoclave foi centrifugado por 10 minutos a 5000 RPM. Foram realizados quantos ciclos de extração necessários até que o extrato adquira coloração amarelo claro. Após o fim da extração, o extrato foi armazenado em geladeira até sua quantificação, não ultrapassando 15 dias na geladeira.

Os teores de proteína foram determinados a partir do método de determinação de proteínas de Bradford (BRADFORD, 1976) com uso de espectrofotômetro.

4.5 Potencial de Micorrização – PIM

Um bioensaio com plantio de *Brachiaria decumbens* em solo nativo foi instalado e conduzido durante 40 dias para determinação do potencial de micorrização dos glomerosporos nativos do solo das áreas de estudo. Transcorrido o período de 40 dias, as raízes foram coletadas e armazenadas em álcool 50% para posterior etapas de coloração com azul de trypan (0,05%) conforme metodologia de Phillips e Hayman (1970). A porcentagem de colonização micorrízica foi estimada em placa de Petri pelo método da interseção de quadrantes em microscópio estereoscópio (GIOVANNETTI; MOSSE, 1980).

4.6 Extração de esporos e análises morfológicas

Os esporos de FMA oriundos de amostras de solo e das culturas armadilha foram extraídos do solo segundo metodologia de peneiramento úmido (GEDERMANN; NICOLSON, 1963) e centrifugação com sacarose (JENKINS, 1964). Posteriormente a essa etapa, os esporos foram contados em placa canaleta com auxílio de lupa estereomicroscópio.

Os esporos extraídos e contados foram montados em lâminas sob resina polivinil álcool glicerol (PVLG) e PVLG+Reagente de Melzer (1:1) e tiveram suas características morfológicas avaliadas. Foi observado verificada a forma, tipo e número de paredes, presença ou ausência de cicatrizes e hifas de sustentação, presença e forma do bulbo suspensor, número de hifas no glomerosporo, estruturas de germinação (placas germinativas e orbs) e reação ao Melzer.

4.7 Diversidade de FMA

As comunidades de FMA foram avaliadas em termos quantitativos e qualitativos a partir de dados populacionais (abundância e frequência de ocorrência).

O número de glomerosporos (NE) foi estimado em 50g de solo seco/amostra. O número relativo de esporos (NR) foi calculado de acordo com a equação: $NR_i = n_i / \sum n$ onde, NR_i = número relativo de esporos da espécie i , n_i = número total de esporos da espécie i , em 50 g de solo, $\sum n$ = soma do número dos esporos de todas as espécies em 50 g de solo (BROWER; ZAR, 1984). A frequência de ocorrência (F_i) das espécies foi estimada segundo a equação: $F_i = J_i / k$ onde, F_i = frequência de ocorrência da espécie i , J_i = número de amostras nas quais a espécie i ocorreu, k = número total de amostras de solo (BROWER; ZAR, 1984).

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 ($FO < 0,10$). Para determinar a frequência relativa de ocorrência (FR_i) das espécies de FMA foi aplicada a equação: $FR_i = f_i / \sum f$ onde, FR_i = frequência de ocorrência relativa da espécie i , f_i = frequência de ocorrência da espécie i , $\sum f$ = soma das frequências de todas as espécies. O índice de abundância e frequência (IAF) foi calculado como a soma da frequência relativa e do número relativo de esporos das espécies de FMA, segundo a equação: $IAF = FR_i + NR$. Com base na sua contribuição, para a população total de esporos, as espécies de FMA foram ordenadas em quatro categorias (KOSKE et al., 1997): Nenhuma importância: $IAF = 0$; Pouca importância: $0 < IAF \leq 10$; Moderada importância: $10 < IAF \leq 30$;

Grande importância: IAF < 30. A riqueza de espécies de FMA foi avaliada como uma relação entre o número de espécies observadas e o tamanho da amostra (50 g de solo).

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 $J' = H'/\ln(S)$ em que H' é o valor obtido pelo índice de Shannon e S é o número total de espécies. Para definir a similaridade entre as comunidades de FMA foi utilizado o Índice de Sørensen (BROWER; ZAR, 1984).

O cálculo do esforço amostral foi estimado pelo índice de Jackknife de primeira ordem. As análises de agrupamento foram realizadas com auxílio do programa Primer 6.0 (CLARKE; GORLEY, 2006).

4.8 Estatística

Os resultados das análises químicas do solo foram comparados utilizando estatística univariada (ANOVA, teste de Tukey). Técnicas multivariadas (Componentes principais, GLM) foram utilizadas para relacionar os dados de diversidade de espécies com parâmetros químicos e físicos do solo. Foi utilizado o software STATISTICA 8.0.

Os dados de glomalina foram submetidos a análises de normalidade de distribuição de erros (Lilliefors) e homogeneidade da variância (Cochran e Bartlett). Os dados normais foram submetidos à análise de variância e o teste de Tukey ao nível de 5% de significância e os não normais submetidos ao teste de Kruskal-Wallis a 5% de significância. Além disso, foi estimada a correlação de Pearson para os teores de glomalina e carbono do solo.

Para verificar a influência dos fatores ambientais sob a comunidade de FMA foi realizado escalonamento multidimensional não-métrico (NMDS) para encontrar diferenças entre a comunidade e fatores ambientais, a ordenação foi realizada utilizando o índice de dissimilaridade de Bray-Curtis com índice de significância de 0,05. Para esta análise foram utilizados os pacotes Vegan (OKSANEN, J. et al., 2015) e GGplot2 do software (RWICKHAM, H., 2009).

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Glomalina

5.2.1 Glomalina Facilmente Extraível (EE-BRSP/GFE)

Os teores de proteína do solo reativa ao Bradford do solo na fração facilmente extraível (EE-BRSP) não apresentaram interações significativas entre as áreas e épocas do ano avaliadas. Entretanto, foi possível verificar os efeitos das áreas e épocas de forma isolada (Tabela 2).

Tabela 2. Teores de glomalina da fração facilmente extraível (EE-BRSP) em função das áreas (Praia de Carimã-CA e Praia de São Marcos-SM), Durante as épocas seca(nov/2017) e chuvosa(maio/2018).

ÁREA		ÉPOCA	
Praia de Carimã (CA)	0,202 b	Seca	0,214 b
Praia de São Marcos (SM)	0,265 a	Chuvosa	0,252 a

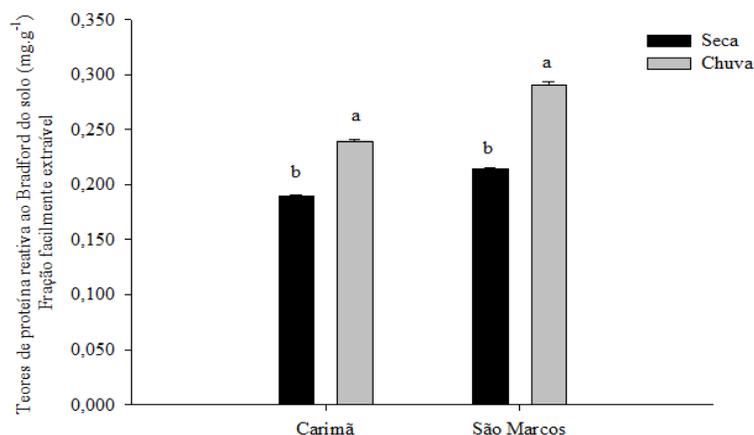
*Letras distintas indicam diferenças estatísticas significativas, na coluna, pelo teste de Tukey à 1% de probabilidade.

Em relação às áreas, os maiores teores de EE-BRSP foram encontrados na praia de São Marcos, com 23% a mais desta fração protéica depositada no solo. Para as épocas avaliadas, o período chuvoso contribuiu para a maior produção de glomalina facilmente extraível.

Avaliando de forma isolada as dunas das praias estudadas, verificamos a variação nos teores de EE-BRSP de 0,189 a 0,240 mg.g⁻¹ na praia de Carimã e de 0,214 mg.g⁻¹ a 0,291 mg.g⁻¹ nas dunas da praia de São Marcos. Com ambas as áreas apresentando maior deposição desta fração protéica no período chuvoso (Figura 4).

A quantidade de EE-BRSP nas áreas em ambas as épocas estudadas foi considerada elevada quando comparada ao observado por Carneiro et al. (2016) em áreas degradadas, revegetadas e de mata nativa no estado do Piauí, onde os teores de EE-BRSP variaram entre 0 a 0,030 mg.g⁻¹ no período seco e entre 0,023 a 0,025 mg.g⁻¹ no período chuvoso nas áreas estudadas no Piauí. No entanto, os resultados alcançados neste trabalho foram inferiores quando comparados com os vistos por Oliveira et al. (2009) em área de dunas de restinga revegetadas no litoral do estado da Paraíba, 1,20 ± 0,04 mg EE-BRSP g⁻¹ solo, esse elevado teor de EE-BRSP pode estar relacionado aos teores de matéria orgânica da área, que podem superestimar os valores de proteínas do solo relacionados à glomalina (ROSIER; HOYE; RILLIG, 2006).

Figura 4. Teores de proteína relacionada ao Bradford do solo (BRSP) fração facilmente extraível (mg.g^{-1} de solo) durante época seca (Nov/2017) e chuvosa (Maio/2018) na praia de Carimã(CA) e na praia de São Marcos (SM) no Maranhão.



*Letras distintas indicam diferenças estatísticas significativas pelo teste de Tukey à 5% de probabilidade em uma mesma área

A glomalina facilmente extraível é frequentemente relacionada com atividade do fungo no solo ou com sua intensa decomposição de hifas e esporos, onde esses dois últimos também são muito importantes na contribuição de EE-BRSP no solo (LUTGEN et al.,2003). Os maiores teores de EE-BRSP foram registrados na área da praia de São Marcos durante o período chuvoso ($0,252 \text{ mg.g}^{-1}$ solo), indicando a maior atividade durante a época chuvosa em ambiente dunares. Estudo realizado por Nobre et al. (2015) ao estudar a agregação, glomalina e carbono orgânico na chapada do Araripe- Ceará, observaram maiores valores dessa fração durante a época seca.

Os menores valores observados na praia de Carimã podem ser atribuídos ao fato da área estar sobre maiores estresses, pois a mesma se encontra descoberta consequentemente o solo é mais exposto ao sol, perca de água e alta salinidade. Segundo Gadkar e Rilling (2006), ao isolar e identificar o gene (*GiHsp60*), responsável pela síntese de glomalina no próprio fungo, observaram que existia uma sequência de aminoácidos ligados à proteínas do estresse, ou seja, essas proteínas são ativadas em circunstâncias de estresse ambiental e isso resulta em uma maior produção de BRSP mesmo quando o crescimento do micélio do fungo diminui. Desse modo, é possível compreender porque do alto teor de BRSP na época chuvosa, mesmo após passar pela época seca de maior estresse.

Outro ponto a ser considerado é a densidade e diversidade de hospedeiros vegetais. No presente estudo observou-se que a área SM apresentava maior cobertura e riqueza vegetal, fato que pode ter possibilitado o aporte de matéria orgânica e nutriente em relação à praia de Carimã (CA). Segundo Lovelock et al. (2004), com a maior frequência e abundância da vegetação e a

fertilidade do solo, pois ambos os atributos facilitam o desenvolvimento dos FMA que produziram mais hifas e aumentaram os teores glomalina facilmente extraível no solo.

Segundo Rillig et al. (2003), os teores de glomalina são considerados como indicadores potenciais de alterações causadas pelo manejo do solo. Com a atual pesquisa foi possível observar a importância da glomalina facilmente extraível como indicador de impacto em áreas de dunas, pois os menores teores de EE-BRSP foram observados na praia de Carimã, com dunas baixas e pouca vegetação.

A real função das frações de glomalina (EE-BRSP e BRSP) ainda não foi elucidada, no entanto, geralmente, é perceptível a contribuição da glomalina para o estoque de carbono nos solos, e inclusive para o sequestro de carbono (DRIVER; HOLBEN; RILLIG, 2005). De acordo com Souza et al. (2013), a proteína do solo relacionada a glomalina é relativamente estável no solo com pouca mudança sazonal, fato verificado em áreas de dunas mineradas e revegetadas. Entretanto, o presente estudo mostrou sensível variação sazonal, com maiores teores durante o período de chuvas e, como essa fração é frequentemente relacionada à atividade dos fungos micorrizicos (WU et al., 2014; KOIDE; PEOPLES, 2013; WRIGHT; UPADHYAYA, 1996), houve tendência de maior atividade do fungo durante o período chuvoso nas áreas de dunas avaliadas. Comportamento semelhante foi observado por Allen et al. (1998), ao estudarem a dinâmica sazonal de FMA em uma área de floresta tropical decídua, observaram que o maior desenvolvimento das estruturas do fungo ocorreu durante a época chuvosa.

5.4.2 Glomalina Total (BRSP/GT)

Os teores de glomalina total apresentaram diferença estatística ao nível de 1% de significância pelo teste de Tukey para os fatores área e sazonalidade estudados isoladamente (Tabela 3).

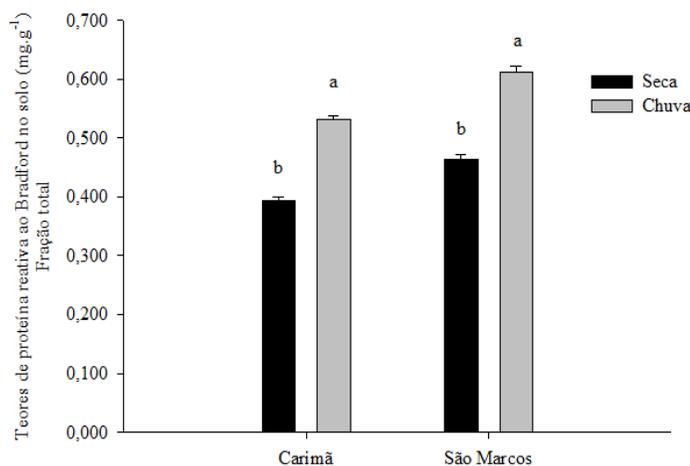
Tabela 3. Teores de glomalina da fração total (BRSP) em função das áreas (Praia de Carimã-CA e Praia de São Marcos-SM), Durante as épocas seca (nov/2017) e chuvosa (maio/2018).

ÁREA		ÉPOCA	
Praia de Carimã (CA)	0,428b	Seca	0,463 b
Praia de São Marcos (SM)	0,571a	Chuvosa	0,537 a

*Letras distintas indicam diferenças estatísticas significativas, na coluna, pelo teste de Tukey à 1% de probabilidade.

Os valores da fração glomalina total (BRSP) para o fator área ficaram em torno de 0,428 mg.g⁻¹ para a praia de Carimã e 0,571 mg.g⁻¹ para a Praia de São Marcos. No caso do fator sazonalidade os maiores teores dessa fração de glomalina foram vistos durante a época chuvosa com 0,537 mg.g⁻¹ e a menor quantidade desta fração na época seca 0,463 mg.g⁻¹ (figura 5).

Figura 5. Teores de proteína relacionada ao Bradford do solo (BRSP) fração total (mg.g⁻¹ de solo) durante época seca (Nov/2017) e chuvosa (Maio/2018) na praia de Carimã(CA) e na praia de São Marcos (SM) no Maranhão.



*Letras distintas indicam diferenças estatísticas significativas pelo teste de Tukey à 1% de probabilidade em uma mesma área

Os teores de BRSP obtidos na presente pesquisas foram baixos quando comparado aos resultados observados por Sousa et al. (2014), ao estudar fungos micorrízicos arbusculares em estádios sucessionais de caatinga na região semi-árida do Brasil, onde obtiveram 2,18 a 2,91 mg.g⁻¹ no período chuvoso e 2,07 a 2,97 mg.g⁻¹ no período seco dentre as áreas que estudou. Foi observado incremento nos teores de BRSP na área SM quando comparado à área CA, isso pode ser atribuído a maior diversidade e densidade da vegetação que recobrem as dunas da praia de São Marcos.

A fração BRSP apresentou-se sensível à variação sazonal, com incremento durante a época chuvosa. Os resultados do presente trabalho foram de contraponto com outros estudo como é o caso da pesquisa realizada por Nobre et al. (2015) onde os teores de BRSP não sofreram variação sazonal em áreas de Caatinga no Ceará. Mesmo comportamento foi observado por Sousa et al (2014) em áreas de Caatinga na Paraíba com diferentes estágios sucessionais. Silva et al (2016) verificaram que em florestas secundárias com diferentes estágios sucessionais, não ocorrem variações dos teores de BRSP nas estações do ano.

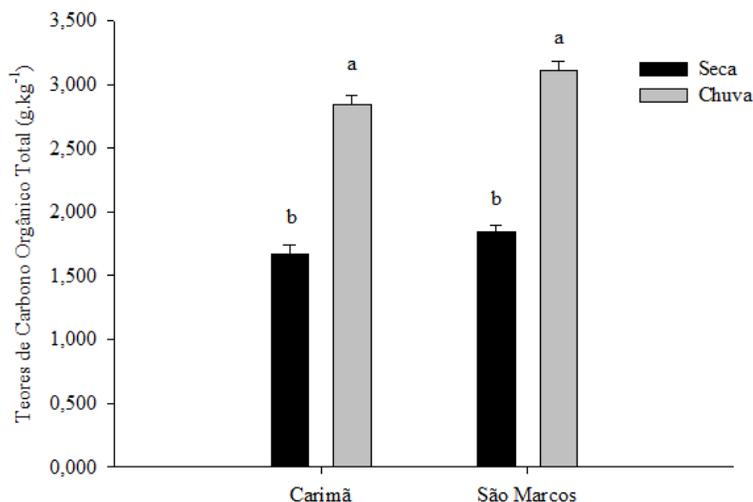
5.4.3 Carbono Orgânico Total (COT)

Os teores de carbono orgânico do solo apresentaram diferença estatística ao nível de 1% de significância pelo teste de Tukey para os fatores área e sazonalidade estudados isoladamente. Os valores obtidos de carbono orgânico determinados variaram entre 1,754 g.kg⁻¹ a 2,976 g.kg⁻¹ para as áreas estudadas. A praia de São Marcos apresentou os maiores teores de carbono orgânico total (COT) quando comparado com a praia de Carimã. A variação sazonal também foi observada, com os teores de COT mais elevados na época chuvosa em ambas as praias (figura 6).

A quantidade de COT nas áreas em ambas as épocas estudadas foi considerada baixa quando comparada ao observado por Brito et al. (2018) que ao estudar estoque de carbono no solo sob diferentes condições de cerrado, obteve 3,87 g.kg⁻¹ em área de pastagem degradadas. Esse baixo teor de carbono no solo estão associadas ao uso do solo, que pode ocasionar tanto aumento como decréscimos desse elemento. Pesquisas atuais mostram o quanto o uso ou mau manejo do solo são capazes de interferir nos atributos químicos do solo e os estoques de carbono orgânico total (ROSSET; SCHIAVO; ATANÁZIO, 2014).

O carbono orgânico do solo está relacionado à quantidade de matéria orgânica que auxilia na qualidade física, química e biológica do solo (LAL, 2004). Os maiores teores de carbono orgânico total foram presentes na praia de São Marcos, onde a área apresentava uma camada de serapilheira depositada por uma diversificada vegetação. Existe a possibilidade desta cobertura morta estar diretamente relacionado com os maiores teores de COT quantificados nessa área. A cobertura vegetal influencia os teores de COT do solo e isto está atrelado diretamente à sua relação C/N e a maior ou menor taxa de decomposição da matéria orgânica (GETAHUN; MUNKHOLM; SCHJØNNING, 2016; CAMPOS et al., 1999).

Figura 6. Teores de Carbono Orgânico Total (COT) (g.kg^{-1} de solo) durante época seca (Nov/2017) e chuvosa (Maio/2018) na praia de Carimã (CA) e na praia de São Marcos (SM) no Maranhão.



*Letras distintas indicam diferenças estatísticas significativas pelo teste de Tukey à 5% de probabilidade em uma mesma área

Na praia de Carimã apresentou os menores teores de COT no solo, isso pode ser explicado pela pouca vegetação que recobriam as dunas e o turismo. O decréscimo do seu estoque no solo pode ser atribuído ao uso e manejo do solo (FAN et al., 2016; BOND-LAMBERTY; THOMSON, 2010). Outros atributos também podem influenciar a redução de carbono orgânico do solo, como o alto escoamento superficial da água que é correlacionado à topografia (CORADO NETO et al., 2015). Esse impacto varia de acordo com o tipo de solo, clima e ação antrópica (ASSEFA et al., 2017).

A quantidade COT do solo apresentou variação à sazonalidade, onde foi determinado elevada concentração de carbono durante a época chuvosa. Segundo a literatura a época do ano influencia na taxa de mineralização da matéria orgânica do solo, ocorrendo de forma mais lenta durante o período chuvoso, o que favorece o acúmulo de COT no solo, pois a ocorrência de chuvas influenciam negativamente a atividade microbológica do solo, reduzindo a taxa de decomposição do material vegetal (NOGUEIRA et al., 2016; GRUGIKI et al., 2017). Os resultados da presente pesquisa corroboram com Campos et al. (2013) que durante a época chuvosa, os teores de carbono no solo são propensos a aumentar, em decorrência da atividade microbiana e da rápida decomposição dos tecidos vegetais.

5.4.4 Correlação: Carbono Orgânico Total e Glomalina Total

Os coeficientes de correlação de Pearson (r) são apresentados na tabela 5. Todas as correlações foram positivas na praia de Carimã, porém apenas a correlação entre as frações de

glomalina para o período chuvoso foi significativa ($r = 0,6253$) no período chuvoso. Na praia de São Marcos, apenas as correlações na época chuvosa foram significativas.

Tabela 4 – Correlação de Pearson entre os teores de glomalina facilmente extraível (EE-BRSP), glomalina total (BRSP) e carbono orgânico total (COT) para as praias de Carimã e São Marcos durante o período seco (novembro/16) e chuvoso (maio/2017).

	ÁREA	Praia de Carimã		Praia de São Marcos	
	ÉPOCA	Seca	Chuva	Seca	Chuva
EE-BRSP x BRSP		0528 ^{ns}	0,6253**	0,0592 ^{ns}	0,7739**
EE-BRSP x COT		0488 ^{ns}	0,2473 ^{ns}	-0,1997 ^{ns}	0,7672**
BRSP x COT		3572 ^{ns}	0,2725 ^{ns}	-0,1290 ^{ns}	0,8420**

** correlação significativa ao nível de 1% de probabilidade pelo teste de Pearson. ^{NS} – não significativo.

A glomalina é considerada estável e bem abundante no solo (RILLIG et al., 2003), onde encontra-se frequentemente correlacionada com a estabilidade de agregados e com o carbono orgânico e o nitrogênio do solo (VILELA et al., 2014). Muitos são os fatores que interferem nessa produção de BRSP e correlação com o COT, como os fatores do solo que influenciam os fungos micorrízicos arbusculares e que também influenciam na produção de glomalina (SILVA et al., 2012). Outro fator que mais afeta a comunidade fungos micorrízicos arbusculares é a sazonalidade, e conseqüentemente interferem na produção de glomalina e nas concentrações de carbono no solo (NOBRE et al., 2015).

As correlações mostraram-se sensíveis a variação sazonal principalmente durante o período chuvoso. Desta forma é indicado que, durante essa época, na Praia de São Marcos à medida que o teor de COT aumentam os teores de BRSP e EE- BRSP e, na praia de Carimã, à medida que aumenta a atividade dos FMA (teores de EE-BRSP), há incremento da fração BRSP e todos os benefícios oriundos da agregação das partículas do solo são observados. Este comportamento é similar a alguns estudos disponíveis (HALVORSON; NICHOLS ; CRISAFULLI, 2018; ZHANG et al, 2017).

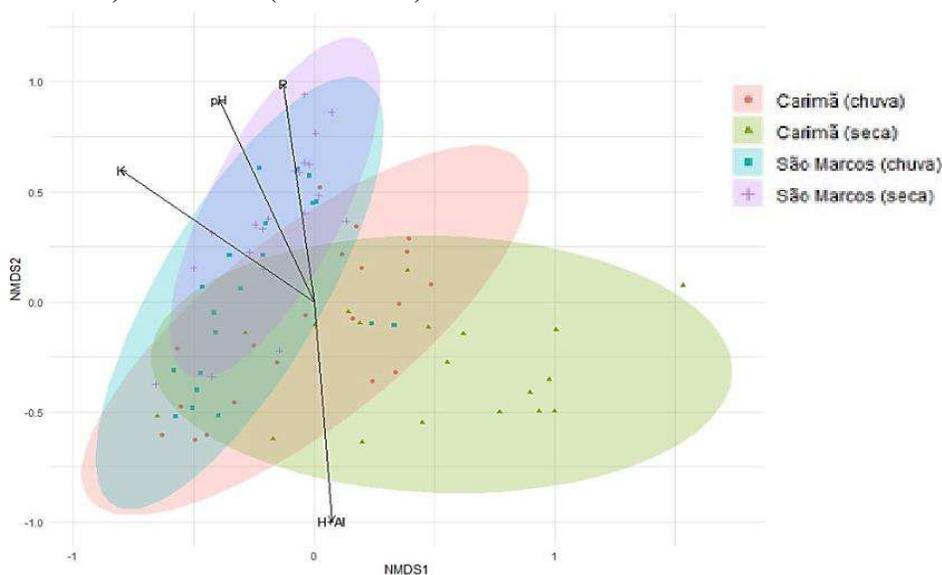
Na praia de São Marcos, durante a época chuvosa, todos os fatores possuíam alta correlação e significativas ao nível de 1% de probabilidade. Todos os teores de glomalina facilmente extraível e glomalina total apresentaram alta correlação com o carbono orgânico total o que corrobora com os dados obtidos de vários autores (WU et al., 2016; ZHANG et al., 2012). Desse modo, é possível afirmar que a glomalina é uma fonte e reserva de carbono para o solo. A elevada correlação entre BRSP e COT demonstra que a proteína produzida pelos FMA contribui, de forma direta, com o poolcarbono no solo (FOKON et al., 2012).

5.5 Análise multivariada: Correlação atributos químicos e biológicos

Na presente pesquisa por meio do escalonamento multidimensional não-métrico (NMDS) é possível verificar a influência dos fatores ambientais sobre a distribuição da comunidade de fungos micorrízicos arbusculares na praia de Carimã que foi influenciada pela acidez potencial (H+Al) enquanto os FMA da praia de São Marcos se relacionam com o fósforo (P), pH e potássio (K) (Figura 7). Resultados similares foram obtidos por Reyes et al. (2019), onde a composição das espécies de FMA estava fortemente relacionada ao pH do solo, Al e Ca em todas as áreas e épocas estudadas, sendo forte indicativo da formação de nichos como via de adaptações das espécies de FMA a tais fatores de estresse ambientais nos solos degradados.

O pH atua como um fator que molda a comunidade de fungos micorrízicos arbusculares alterando o número de propágulos, glomerosporos e o predomínio de gêneros. E os teores de potássio (K) e fósforo (P) foram relacionados a posição dos indivíduos dentro da comunidade de FMA (SILVA et al., 2015).

Figura 7. Escala multidimensional não-métrica (NMDS) ordenação de Glomerospore composição das espécies nas estações nas as praias de Carimã e São Marcos durante o período seco (novembro/16) e chuvoso (maio/2017).



As duas praias, em ambas as épocas compartilham espécies de FMA, mas a comunidade de FMA da praia de São Marcos apresenta maior similaridade entre si quando comparada com a comunidade de FMA da praia de Carimã. Isso pode estar relacionado a vegetação que é bem distinta entre as praias estudadas, visto que na praia de São Marcos havia uma maior diversidade da vegetação com presença de espécies arbustivas e arbóreas que segundo Silva et al. (2015) ao

estudar a comunidade de FMA com diferentes gradiente de vegetação em dunas, observou uma diminuição da diversidade de FMA e uniformidade nas dunas arbóreas.

Outro fator importante nessa uniformidade pode estar atrelado à o número de esporos glomóides, com ênfase na família Glomeraceae, a qual obteve um maior número de indivíduos por espécie recuperados na praia de São Marcos, pois forma-se a partir de grandes aglomerados de glomerosporos quando comparado as demais formações acaulosporóides e gigaporóides que são originadas isoladamente (BŁASZKOWSKI et al., 2015).

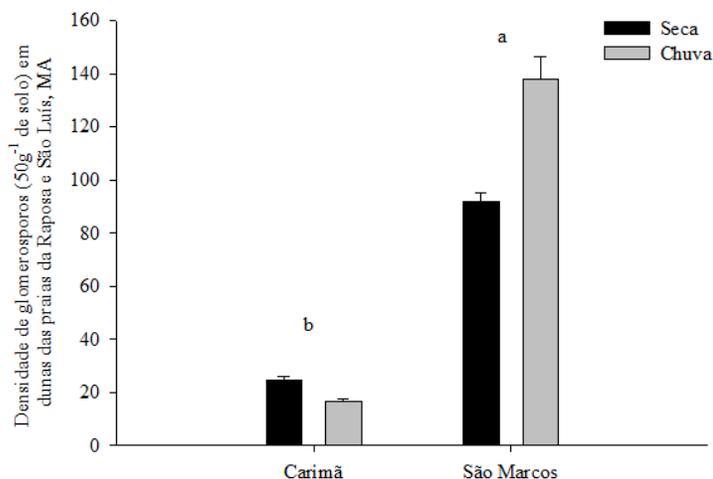
A intensidade da interferência antropogênica sofrida em cada praia possivelmente modificou a uniformidade da comunidade de fungos micorrízicos arbusculares, principalmente na praia de Carimã onde ocorre um maior transito turístico do que a praia de São Marcos que o avanço imobiliário já se estabilizou. Outros estudos relacionados ao uso do solo notaram que a intensidade e tipo de sistema interferiram a comunidade principalmente em agroecossistemas com maior uso solo (PEREIRA et al., 2014) e a composição das espécies de FMA esta relacionada diretamente com o nível de interferência ao meio.

Os fungos ao terem maior estabilidade e menor competição por nichos ocorre o predomínio de espécies com baixa esporulação que são as não pioneiros, ou espécies estrategistas k, e a maior densidade de glomerosporos e riqueza de espécies em áreas de monocultura e intenso uso do solo seleciona fungos de rápido crescimento e esporos com alta adaptabilidade, ou espécies estrategistas r, e isso acontece para sobrevivência do fungo e não para auxiliar a vegetação hospedeira da área (MOREIRA; SIQUEIRA, 2002; ABBOTT, L.K., GAZEY, C.1994).

5. 1 Densidade de glomerosporos de FMA

O número de glomerosporos em 50 gramas de solo variou entre 24 a 92 na época seca e de 16 a 138 no período chuvoso. A maior densidade de esporos de FMA foi encontrada na praia de São Marcos (média de 115 esporos.50g⁻¹ de solo), com destaque para a época chuvosa. Esta praia apresentou as dunas mais altas e com maior riqueza e densidade vegetal. A praia de Carimã apresentou média de 20 glomerosporos em 50 gramas de solo, com maior número destes propágulos no período seco. Nela as dunas eram mais baixas, solo mais arenoso e pouca vegetação. O número de propágulos de fungos micorrízicos arbusculares apresentou diferença estatística entre as praias (Figura 8).

Figura 8 - Número de glomerosporos de FMA (50g de solo) em dunas da praia de São Marcos - São Luís e da praia de Carimã - Raposa no Maranhão, durante a época seca (nov/2017) e a época chuvosa (maio/2018).



* Indica diferenças estatísticas entre as praias em uma mesma época. Letras distintas indicam diferenças estatísticas entre as áreas, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O número de glomerosporos obtidos nesse trabalho foi similar ao encontrado por Moradi et al. (2017) que ao estudar dunas no Irã obtiveram variação de 1,04 a 0,74 esporos.g⁻¹ de solo. Já em dunas de Yucatan no México estudou-se diferentes estágios das dunas no período seco, as dunas fixas apresentaram 126 glomerosporos por grama de solo (RAMOS-ZAPATA et al., 2011) que se mostrou bastante elevado quando comparado à presente pesquisa.

O reduzido número de glomerosporos na praia de Carimã quando comparado a praia de São Marcos, pode ser atribuído a pouca vegetação encontrada no local de coleta e, que consequentemente teve baixo aporte de matéria orgânica, essa que é de fundamental importância para manutenção da nutrição da biota do solo. Além disso, a reduzida vegetação era predominantemente composta por espécies herbáceas, o que corrobora com Silva et al. (2015) que ao estudarem dunas com vegetação herbácea no nordeste brasileiro, observaram baixo número de glomerosporos. Outra possível explicação ao baixo número de propágulos pode ser dada a visível sensibilidade desta praia quanto a ação física e antrópica no meio, demonstrada por Piorski et al. (2009) pela notória expansão dunar entre os anos de 1988 a 2004.

O baixo número glomerosporos pode também estar relacionado aos mecanismos de sobrevivência dos FMA, que mesmo em condições ambientais semelhantes o comportamento pode variar (MCGEE, 1989). Bashan et al. 2000, relatam que comumente a baixa densidade em regiões áridas é devido a presença de espécies de FMA que não esporulam muito.

Na praia de São Marcos a densidade de glomerosporos do período seco é considerada elevada quando comparada ao observado por Oliveira et al. (2009), que registraram média de 1 glomerosporo por grama de solo no período chuvoso em área de dunas de restinga revegetadas no litoral do estado da Paraíba. Enquanto que Trufem (1995) ao estudar FMA em ecossistema de restinga na Ilha do Cardoso-SP recuperou 1,93 glomerosporos por grama de solo. Souza (2008) ao estudar Fungos micorrízicos arbusculares em áreas de dunas mineradas no litoral da Paraíba, obteve uma densidade de glomerosporos variando de 0,05 a 3 por grama de solo no período seco e de 0,09 a 1,26 por grama de solo no período chuvoso, sendo esses resultados similares aos encontrados neste estudo, uma vez que também não houve diferenças estatísticas significativas entre as épocas do ano.

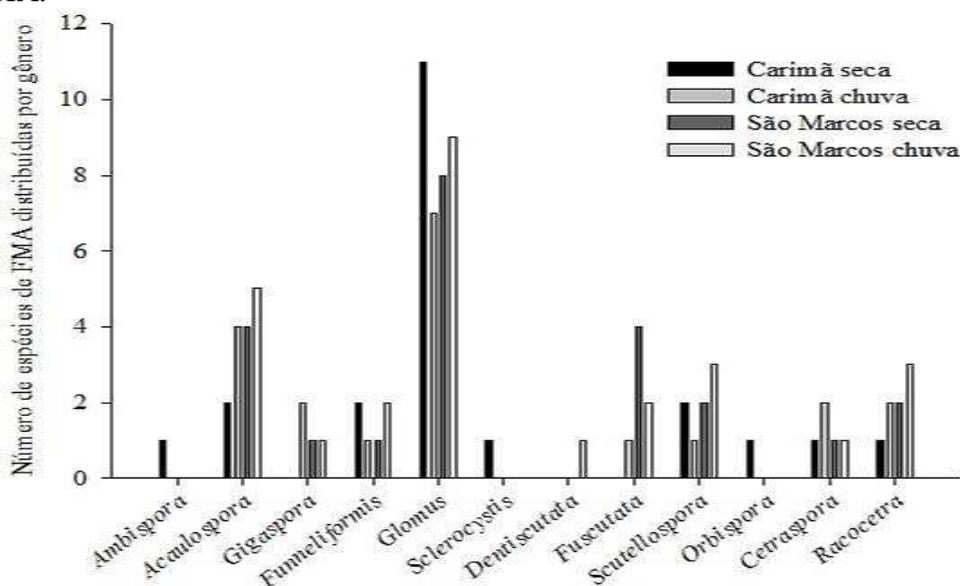
Na praia de São Marcos apresentou menor número de glomerosporos durante a época seca. Em contra partida observou-se uma sutil redução destas estruturas na época chuvosa na praia de Carimã, onde esse comportamento foi similar ao visto por Caproni et al. (2005), onde o número de glomerosporos tende a diminuir com as chuvas, já que esses esporos são estruturas de resistência e outras estruturas tais como as hifas seriam mais abundantes. Além disso, a umidade dos solos favorece a germinação dos glomerosporos, resultando em alta colonização e baixa produção de glomerosporos (GUADARRAMA et al., 1999). O fator umidade do solo, provavelmente, é um determinante para a esporulação dos FMA.

Embora seja difícil selecionar quais os fatores bióticos e abióticos mais importantes na forma de agrupamento da comunidade de FMA no solo, é necessário considerar a cobertura vegetal, condições do solo (SIEVERDING, 1991) e umidade. Segundo Maia e Trufem (1990), vários fatores podem influenciar a esporulação de FMA, como a pluviosidade, temperatura, salinidade do solo, período de insolação e, sobretudo o hospedeiro, interferem na variação da densidade de glomerosporos.

5.2 Diversidade de Espécies de Fungos Micorrízicos Arbusculares (FMA)

No presente trabalho foram registradas no total de 45 espécies, distribuídas em 12 gêneros (*Ambispora*, *Acaulospora*, *Glomus*, *Funneliformis*, *Scutellospora*, *Orbispora*, *Gigaspora*, *Fuscutata*, *Sclerocystis*, *Racocetra*, *Dentiscutata* e *Cetraspora*) e sete famílias (Ambisporaceae, Acaulosporaceae, Glomeraceae, Scutellosporaceae, Gigasporaceae, Dentiscutataceae e Racocetraceae (Figura 9). Apenas quatro espécies (*Acaulospora scrobiculata*, *Glomus sp1*, *Racocetra gregaria* e *Cetraspora gilmorei*) possuem ocorrência em ambas as áreas e épocas coletadas.

Figura 9- Distribuição de espécies de fungos micorrízicos arbusculares por gênero durante época seca (nov/2017) e chuvosa (maio/2018) nas dunas da Praia de Carimã, Raposa e praia de São Marcos – MA.



Na praia de São Marcos foram identificadas 36 espécies de FMA distribuídas em seis famílias (Acaulosporaceae, Gigasporaceae, Glomeraceae, Dentiscutataceae, Scutellosporaceae e Racocetraceae) e nove gêneros (*Acaulospora*, *Dentiscutata*, *Gigaspora*, *Glomus*, *Funneliformis*, *Fuscitata*, *Scutellospora*, *Racocetra* e *Cetraspora*). Dos gêneros registrados, oito ocorrem na época seca (exceto *Dentiscutata scutata*), enquanto todos os nove gêneros ocorrem na época chuvosa. A elevada diversidade de FMA nas áreas pode ser explicada pela grande diversidade de hospedeiros presentes nas dunas no momento da coleta.

Uma grande riqueza de táxons também foi recuperada na praia de Carimã que obteve 31 espécies distribuídas em dez gêneros (*Ambispora*, *Acaulospora*, *Glomus*, *Funneliformis*, *Scutellospora*, *Orbispora*, *Gigaspora*, *Fuscitata*, *Racocetra* e *Cetraspora*) e sete famílias (Ambisporaceae, Acaulosporaceae, Glomeraceae, Scutellosporaceae, Gigasporaceae, Dentiscutataceae e Racocetraceae) durante a época seca e chuvosa (Tabela 5).

Os resultados obtidos na pesquisa foram similares aos obtidos nas dunas de Santa Catarina, onde foram encontrados 25 espécies de FMA (STÜRMEER et al., 2013), demonstrando elevada riqueza de táxons de FMA. Os resultados corroboram com Jobim e Goto (2016), que ao estudarem a ocorrência de FMA em Dunas de Natal (RN), obtiveram destaque para a família Glomeraceae com 12 espécies identificadas. Entretanto em trabalho realizado por Cordazzo e Stürmer (2007) em dunas costeiras do extremo sul do Brasil, foi verificado maior frequência de

ocorrência de espécies da família Gigasporaceae, enquanto que esporos da família Glomeraceae só ocorreram em dunas estabilizadas.

Segundo Carrenho (1998), os gêneros *Acaulospora* e *Glomus* apresentam maior capacidade de adaptação, demonstrando conter resistentes espécies a perturbações ambientais. Além disso, o gênero *Glomus* apresenta maior capacidade de adaptação, demonstrando resistência a perturbações ambientais (CARRENHO, 1998).

A temperatura nos ambientes de dunas pode ser outro fator de estresse importante para a maior ou menor representatividade de um gênero na área amostral, em estudos em floresta tropical decídua, no México, e em plantações de *Terminalia* spp. em uma floresta tropical, na Costa do Marfim. Foram registrados maior ocorrência de espécies de *Glomus* e *Acaulospora*, respectivamente, nessas áreas as temperaturas médias anuais variam de 26 à 27 °C (ALLEN et al.1998; WILSON et al. 1992).

Durante a época chuvosa *Racocetra fulgida* foi dominante na praia de Carimã e isso pode ser dado à interação com fatores abióticos e bióticos, como as condições edafoclimáticas do ambiente, características físicas e químicas do solo, morfologia e fisiologia da vegetação hospedeira (SILVA et al.,2008; ZANGARO; MOREIRA,2010).

Os gêneros *Gigaspora* e *Scutelospora*, com três e quatro espécies, respectivamente, identificadas nas áreas, são conhecidos por dominar a comunidade de FMA em ambientes que estão submetidos a estresses naturais e que sofrem grandes impactos (CORREIA, 2014). A dominância de um ou mais gêneros de FMA pode ser atribuída à características físicas e químicas do solo, morfológicas e fisiológicas das plantas, compatibilidade genética das espécies de fungos e plantas que ocorrem no local, dispersão dos fungos e extinção de algumas espécies de plantas do local (SILVA et al, 2008; ZANGARO; MOREIRA, 2010).

A frequência de ocorrência fornece alguns indícios de quão adaptada uma espécie às condições adversas de ambiente e solo (STÜRMER; SIQUEIRA, 2008). Além da função de determinação do quanto uma espécie é distribuída em uma área amostral, por meio da classificação em rara, comum, muito comum e dominante dentro de um ecossistema (SAGGIN JÚNIOR; SIQUEIRA, 1996).

Tabela 5. Diversidade de fungos micorrízicos arbusculares em dunas da praia de São Marcos, São Luís – MA e Carimã, Raposa – MA durante a época seca (nov/2017) e chuvosa (maio/2018). NR = número relativo de esporos; Fi = frequência de ocorrência; IAF = índice de abundância e frequência.

Famílias / Espécies de FMA	São Marcos						Carimã					
	Seca			Chuva			Seca			Chuva		
	NR	Fi	IAF	NR	Fi	IAF	NR	Fi	IAF	NR	Fi	IAF
Ambisporaceae												
<i>Ambispora appendicula</i>	-	-	-	-	-	-	2	R	P	-	-	-
Acaulosporaceae												
<i>Acaulospora cavernata</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	R	P
<i>A. foveata</i>	-	-	-	7	C	P	-	-	-	-	-	-
<i>A. herrerae</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	R	P
<i>A. lacunosa</i>	-	-	-	1	R	P	-	-	-	-	-	-
<i>A. morrowiae</i>	11	C	P	7	C	P	-	-	-	-	-	-
<i>A. rehmi</i>	1	R	P	-	-	-	1	R	P	2	R	P
<i>A. scrobiculata</i>	53	D	M	19	D	M	18	C	M	15	C	M
<i>A. spinosa</i>	4	C	P	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Acaulospora sp.</i>	-	-	-	2	R	P	-	-	-	1	R	P
Gigasporaceae												
<i>Gigaspora margarita</i>	-	-	-	22	C	P				12	C	M
<i>G. rosea</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	R	P
<i>Gigaspora sp1</i>	119	C	G	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Glomeraceae												
<i>Funneliformis geosporum</i>	-	-	-	9	C	P	5	C	M	-	-	-
<i>F. halonatum</i>	19	C	P	9	R	P	1	R	P	3	R	P
<i>Glomus glomerulatum</i>	118	D	G	226	D	G	15	C	M	12	C	M
<i>G. macrocarpum</i>	39	C	M	52	MC	M	6	C	P	7	R	P
<i>G. trufemii</i>	75	MC	M	70	MC	M	-	-	-	-	-	-
<i>Glomus sp1</i>	2	R	P	6	R	P	21	MC	G	4	R	P
<i>Glomus sp2</i>	6	C	P	1	R	P	1	R	P	-	-	-
<i>Glomus sp3</i>	2	R	P	1	R	P	1	R	P	-	-	-
<i>Glomus sp4</i>	-	-	-	3	R	P	2	R	P	-	-	-
<i>Glomus sp5</i>	-	-	-	4	R	P	14	C	M	4	R	P
<i>Glomus sp6</i>	-	-	-	2	R	P	4	R	P	-	-	-
<i>Glomus sp7</i>	-	-	-	-	-	-	1	R	P	10	C	P
<i>Glomus sp8</i>	-	-	-	-	-	-	1	R	P	-	-	-
<i>Glomus sp9</i>	-	-	-	-	-	-	5	C	M	1	R	P
<i>Glomus sp10</i>	4	R	P	-	-	-	-	-	-	2	C	P

<i>Glomus</i> sp11	1	R	P	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Sclerocystis sinuosa</i>	-	-	-	-	-	-	4	C	P	-	-	-
Dentiscutataceae												
<i>Dentiscutata scutata</i>	-	-	-	7	C	P	-	-	-	-	-	-
<i>Fuscutata heterogama</i>	80	C	M	12	C	P	-	-	-	5	C	P
<i>F. savannicola</i>	6	C	P	25	C	P	-	-	-	-	-	-
<i>Fuscutata</i> sp1	5	C	P	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Fuscutata</i> sp2	5	C	P	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Scutellosporaceae												
<i>Scutellospora</i> sp1	-	-	-	1	R	P	7	C	M	11	C	M
<i>Scutellospora</i> sp2	-	-	-	6	R	P	2	R	P	-	-	-
<i>Scutellospora</i> sp3	6	C	P	6	R	P	-	-	-	-	-	-
<i>Scutellospora</i> sp4	2	R	P	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Orbispora pernambucana</i>	-	-	-	-	-	-	1	R	P	-	-	-
Racocetraceae												
<i>Cetraspora gilmorei</i>	52	MC	M	16	C	P	1	R	P	10	MC	M
<i>C. pellucida</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	14	C	M
<i>Racocetra fulgida</i>	-	-	-	5	R	P	-	-	-	42	D	G
<i>R. gregaria</i>	2	R	P	6	C	P	2	R	P	10	C	P
<i>Racocetra</i> sp1	6	R	P	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Racocetra</i> sp2	-	-	-	8	R	P	-	-	-	-	-	-
Riqueza época	23			27			22			21		
Riqueza área	36						31					
Riqueza total	45											
Shannon	0,537 b			1,152 a			0,948			1,101		
Pielou	0,344 b			0,783 a			0,771			0,816		

* FI (D = dominante; MC = muito comum; C = comum e R = raro.);

*IAF (P = pouca; M = moderada e G = grande).

Durante a época seca na praia de Carimã a espécie *Glomus* sp1 mostrou-se muito comum na área, enquanto as espécies *Acaulospora scrobiculata*, *Glomus* sp6, *Glomus sinuosum*, *Glomus* sp11, *Glomus sinuosum*, *Funneliformis geosporum* e *Scutellospora* sp1 apresentaram-se como comum. As demais espécies tiveram frequência de ocorrência classificada como rara. Na época chuvosa a espécie *Racocetra fulgida* foi dominante, *Cetraspora gilmorei* mostrou-se muito comum, enquanto as espécies *Acaulospora scrobiculata*, *Glomus* sp7, *Glomus* sp8, *Glomus* sp12, *Glomus glomerulatum*, *Scutellospora* sp1, *Gigaspora margarita*, *Fuscutata heterogama*, *Racocetra gregaria* e *Cetraspora pellucida* foram comuns.

Na praia de São Marcos as espécies *Acaulospora rehmi*, *Acaulospora spinosa*, *Gigaspora* sp1, *Glomus* sp2, *Glomus* sp10, *Glomus* sp12, *Glomus* sp13, *Fuscutata* sp1, *Fuscutata* sp2, *Scutellospora* sp4 e *Racocetra* sp tiveram ocorrência apenas no período seco, enquanto as espécies *Acaulospora foveata*, *Acaulospora lacunosa*, *Acaulospora* sp, *Gigaspora margarita*, *Glomus glomerulatum*, *Glomus macrocarpum*, *Glomus* sp5, *Glomus* sp6, *Glomus* sp7, *Funneliformis geosporum*, *Dentiscutata scutata*, *Scutellospora* sp1, *Scutellospora* sp2, *Racocetra* sp2, *Racocetra* sp3 e *Cetraspora* sp apenas no período chuvoso. As demais espécies foram verificadas em ambos os períodos.

Em relação riqueza de espécies, 22 e 21 espécies foram identificadas no período seco e chuvoso na praia de Carimã e 23 e 27 espécies no período seco e chuvoso na praia de São Marcos, respectivamente, apresentaram baixo índice de abundância e frequência, o que indica pouca adaptação dessas espécies às áreas de dunas devido aos fatores limitantes desses locais e o estresse provocado pela sazonalidade ao longo do ano.

Apenas três espécies apresentaram frequência de ocorrência comum nas dunas em ambas às áreas somente no período chuvoso (*Gigaspora margarita*, *Fuscutata heterogama* e *Racocetra gregaria*), enquanto que a *Acaulospora scrobiculata* foi a única dominante em ambos os períodos na praia de São Marcos, e na praia de Carimã essa espécie apresentou uma frequência comum nos períodos estudados. Em trabalho realizado por Sturmer e Bellei (1994), essa mesma espécie se destacou como predominante em dunas embrionárias.

Em ambas as épocas do ano, a maioria das espécies do gênero *Glomus* apresentou-se como raras e comuns. No entanto, em regiões semi-áridas e em áreas de Caatinga, esse gênero é reconhecido por ser dominante (GAI et al., 2006; SOUSA et al., 2014). Segundo Focchi et al. (2004), dependendo do grau de perturbação, determinadas espécies podem ficar durante muito tempo sem esporular ou até mesmo desaparecer do local.

Os índices ecológicos de diversidade entre as épocas estudadas são apresentados na tabela 3. O índice de diversidade de Shannon é considerado ideal quando o objetivo é estudar os efeitos das perturbações sofridas pelos ecossistemas, pois atribui maior peso às espécies não dominantes, consideradas espécies raras, que são as primeiras a sentir os efeitos dos impactos ambientais (ODUM, 1988). O maior índice de diversidade de Shannon (H') foi observado durante a época chuvosa, onde somente na praia de São Marcos observou-se diferença estatística entre as épocas estudadas.

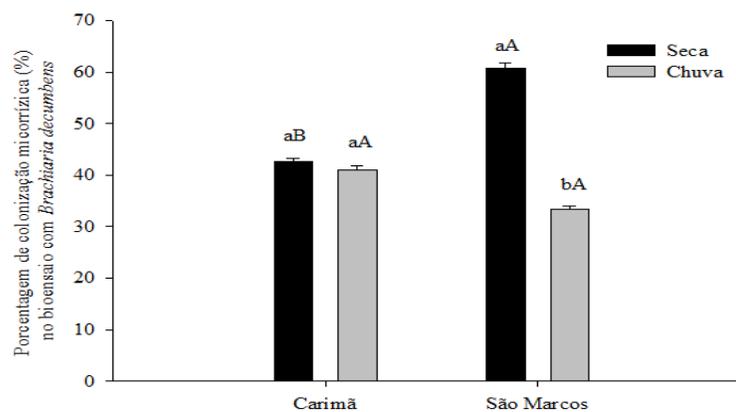
O mesmo comportamento foi observado no índice de equitabilidade de Pielou, já que este é derivado do índice de diversidade de Shannon. O índice de Pielou (J') permite representar a uniformidade da distribuição dos indivíduos entre as espécies existentes. Quanto mais próximo à um(1), maior será a uniformidade de distribuição dos indivíduos (GOMIDE, et al., 2006). Neste contexto, o período mais uniforme foi o chuvoso em ambas as áreas, isso implica na possível afirmativa que a comunidade de FMA apresenta menor adaptação a época seca.

5.3 Potencial de Infecção Micorrízica – PIM

Durante as épocas estudadas a média geral de colonização no bioensaio foi de aproximadamente 52% e 42% nas praias de São Marcos e Carimã, respectivamente (Figura 10). Os valores do MIP obtidos no presente estudo foram similares aos observados por Nobre et al, (2010) trabalhando em sistema de aléias no Maranhão, com taxa de colonização de variando entre 50,8% e 55,2%.

Em relação à sazonalidade, o período seco apresentou maior taxa de colonização pelos FMA, no entanto apenas no período chuvoso apresentou diferença estatística entre as áreas, com incremento na taxa de colonização na praia de Carimã. Esse comportamento assemelha-se com o obtido por Souza (2008), que ao estudar Fungos micorrízicos arbusculares em áreas de dunas mineradas no litoral da Paraíba, obteve maior taxa de colonização no período seco, com significativo decréscimo no período chuvoso.

Figura 10 – Porcentagem de colonização micorrízica em raízes de *Brachiaria decumbens* após 30 dias de bioensaio em solo coletado nas praias de Carimã – Raposa e São Marcos – São Luís durante o período seco (nov/17) e chuvoso (mai/18).



*Letras minúsculas comparam mesma área em relação às épocas estudadas enquanto letras maiúsculas comparam as duas áreas durante mesma estação do ano, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A colonização micorrízica é uma característica que pode ser afetada por inúmeros fatores como a espécie vegetal, a idade da planta, a densidade de raízes, dos propágulos de FMA

no solo, a eficiência de colonização de FMA e o manejo do solo (AFEK et al., 1990). A ocorrência de colonização micorrízica em condições de campo é regulada em função dos benefícios que proporcionam as plantas (FITTER; MERRYWEATHER, 1992).

As dunas mesmo com todas as conturbações do ambiente, os resultados de densidade de glomerosporos e taxa de colonização nas dunas de Carimã indicam que seu potencial de micorrização de FMA é alto semelhante aos sistemas de aléias.

De modo geral, a época seca obteve maiores taxas de colonização, o que indica que neste período o solo das dunas estudadas apresentam propágulos de FMA mais ativos, possuindo maior chance de iniciar a colonização micorrízica em um prazo relativamente curto, gerando benefícios no crescimento e na absorção de nutrientes. Segundo Heijden e Vosatka (1999), a infectividade de propágulos dos FMA pode diminuir com uma elevada precipitação.

A colonização micorrízica é uma característica que pode ser afetada por inúmeros fatores como a espécie vegetal, a idade da planta, a densidade de raízes, dos propágulos de FMA no solo, a eficiência de colonização de FMA e o manejo do solo (AFEK et al., 1990).

6. CONCLUSÃO

A forma de intervenção antropica interferiu na comunidade de fungos micorrízicos de cada praia de maneira diferente, reduzindo a produção de glomerosporos, riqueza de espécies e produção de glomalinas (EE-BRSP e BRSP) de acordo com o grau de degradação da vegetação das dunas estudadas.

A sazonalidade afetou a riqueza de espécies de FMA na praia de São Marcos, como também a densidade dos glomerosporos, e o potencial infectivo dos fungos micorrízicos arbusculares e na praia de Carimã somente a riqueza de espécies sofreu essa interferência, com 31 espécies identificadas, mas somente 11 com ocorrência em ambas as épocas do ano.

A atividade dos fungos micorrízicos arbusculares, mensurada através dos teores de glomalina (BRSP e EE-BRSP) está diretamente relacionada com a densidade e diversidade de hospedeiros vegetais assim como com a disponibilidade de água no solo.

Os dados de diversidade de FMA gerados no presente estudo ampliam a lista de espécies de fungos micorrízicos arbusculares para o Maranhão, e isso possibilita a seleção de espécies mais adaptadas a altos estresses e com a possível proposta futura da criação do banco de inoculantes, com espécies nativas do Maranhão, para testes de eficiência micorrízica com benefícios para os agricultores com a redução de custos com adubos químicos.

7. REFERÊNCIAS

- ABBOTT, L.K., GAZEY, C. An ecological view of the formation of VA mycorrhizas.
- AFEK, U.; RINALDELLI, E.; MENGE, J. A.; JOHNSON, E. L. V.; POND, E. Mycorrhizal inoculum influence colonization of cotton, onion and pepper seedlings. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 115, n. 6, p. 938- 942, 1990.
- ALLEN, E.B., RINCÓN, E., ALLEN, M.F., PÉREZ-JIMENEZ, A. & HUANTE, P. Disturbance and seasonal dynamics of mycorrhizae in a tropical deciduous forest in Mexico. **Biotropica**, v.30, n.2, p. 261-274, 1998.
- ALMEIDA, J. R.; SUGUIO, K. Potencialidade geoturística das dunas eólicas da Ilha Comprida- Estado de São Paulo. **Geociências**, v. 31, p. 473-484, 2012.
- ARAÚJO, A. C. M.; SILVA, A. N. F.; ALMEIDA, E. B. Caracterização estrutural e status de conservação do estrato herbáceo de dunas da Praia de São Marcos, Maranhão, Brasil. **Acta Amazonica**, v. 3, n. 46, p. 247-258, 2016.
- ARAÚJO, A. S. F.; MONTEIRO, R. T. R. INDICADORES BIOLÓGICOS DE QUALIDADE DO SOLO. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 23, n. 3, p. 66-75, 2007.
- ASSEFA, D.; REWALD, B.; SANDÉN, H.; ROSINGER, C.; ABIYU, A.; YITAFERU, B.; GODBOLD, D. L. Deforestation and land use strongly effect soil organic carbon and nitrogen stock in Northwest Ethiopia. **Catena**, v.153, p.89–99, 2017
- ASSIS, D. M. A.; OEHL, F.; GONÇALVES, C. M.; DA SILVA, D. K. A.; SILVA, G. A. Community structure of arbuscular mycorrhizal fungi in fluvial and maritime dunes of Brazilian Northeast. **Applied Soil Ecology**, v. 108, p. 136-146, 2016.
- ASYSTAT SOFTWARE INC.-SSI. Sigmaplot for Windows, version 10. 2006. Disponível em:<<https://systatsoftware.com/products/sigmaplot/>> Acessado em: 02 de abril de 2019.
- AUGÉ, R. M. Water relations, drought and vesicular arbuscular mycorrhizal symbiosis. **Mycorrhiza**, v.11, p. 3-24, 2001.
- AUGÉ, R. M.; STODOLA, A. J. W.; TIMS, J. E.; SAXTON, A. M. Moisture retention properties of a mycorrhizal soil. **Plant and Soil**, v. 230, n. 1, p. 87-97, 2001.
- BALOTA, E. L.; MACHINESKI, O.; HAMID, K. I.; YADA, I. F.; BARBOSA, G. M.; NAKATANI, A. S.; COYNE, M. S. Soil microbial properties after long-term swine slurry application to conventional and no-tillage systems in Brazil. **Science of the Total Environment, Barcelona**. v. 490, p. 397-404, aug. 2014.
- BARBIER, E.B., HACKER, S.D., KENNEDY, C., KOCH, E.W., STIER, A.C., SILLIMAN, B.R.,. The value of estuarine and coastal ecosystem services. *Ecological Monographs*. v.81 n.2, p.169–193, 2011.
- BASHAN, Y., DAVIS, E.A., CARRILLO-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**. v.14, p. 165-175. 2000.
- BEENA, K. R.; RAVIRAJI, N. S.; ARUN, A. B.; SRIDHAR, K. R. Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi on the coastal sand dunes of west coast of India. **Current Science**, v, 79, p. 1459–1466, 2000.

- BERBARA, R. L. L.; SOUZA, F. A.; FONSECA, H. M. A. C. Fungos micorrízicos arbusculares: Muito além da nutrição. In: FERNANDES, M. S. (Ed.). **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 53-88, 2006.
- BERCH, S. M.; TRAPPE, J. M. A new species of Endogonaceae, *Glomushoi*. **Mycologia** v. 77, p. 654–657, 1985.
- 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**, v. 51, p. 923-931, 2001.
- BLASZKOWSKI, J. The occurrence of arbuscular fungi and mycorrhizae (Glomales) in plant communities of maritime dunes and shores of Poland. **Acta Societatis Botanicorum poloniae**, v. 41, p. 377–392, 1993.
- BLASZKOWSKI, J. Arbuscular fungi and mycorrhizae (Glomales) of The Hell Peninsula. **Mycorrhiza**, v. 5, p. 71–88, 1994.
- BLASZKOWSKI, J., CHWAT, G., GÓRALSKA, A., RYSKA, P., KOVÁCS, G.M., Two new genera *Dominikia* and *Kamienska*, and *D. disticha* sp. nov. in Glomeromycota. **Nova Hedwig**. v. 100, n.1-2, p. 225–238, 2015.
- BLASZKOWSKI, J.; CZERNIAWSKA, B. *Glomus irregulare*, a new arbuscular mycorrhizal fungus in the Glomeromycota. **Mycotaxon**, v.106, p. 247–267, 2008.
- BOND-LAMBERTY, B.; THOMSON, A. Temperature-associated increases in the global soil respiration record. **Nature**, v.464, n.7288, p.579–582, 2010.
- BRADFORD, M. M. Rapid and sensitive method for quantification of microgram quantities of protein utilizing principle of protein-dye binding. **Analytical Biochemistry**, v.72, n.1- 2, p. 248–254, 1976.
- BRITO, M. R.; SIQUEIRA, F. L. T.; SOUSA, I. J. A.; SOUSA, R. N. Estoque de carbono no solo sob diferentes condições de Cerrado. **Revista Desafios**. v. 5, n.especial, p.114-124, 2018.
- BRITTO, I. C., NOBLICK, L. R. A importância de preservar as dunas de Abaeté e Itapoã. In: LACERDA L. D. de, ARAÚJO, D. S. D., CERQUEIRA, R., TURCQ. B. (Orgs.), **Restingas: Origem, Estruturas, Processos**. Niterói: Universidade Federal Fluminense, p. 269-273, 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 and Soil**. v. 320, p. 37–77. 2009.
- BRUNDRETT, M. Mycorrhizas in natural ecosystems. **Advances in Ecological Research**. v. 21, p. 171–313, 1991.
- CABRAL-FREIRE, M.C.C.; MONTEIRO, R. Praias e dunas da Ilha de São Luís, estado do Maranhão (Brasil). **Florística e topografia**. v.37, p. 865-876, 1994.
- CAMPOS, B.C.; REINERT, D.J.; NICOLODI, R.; CASSOL, L.C. Dinâmica da agregação induzida pelo uso de plantas de inverno para cobertura do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, n.2, p.383-391, 1999.
- CAMPOS, L. P., LEITE, L. F. C., MACIEL, G. A., BRASIL, E. L., FREITAS I. B. Estoques e frações de carbono orgânico em Latossolo Amarelo submetido a diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.48, n.3, p.304-312, 2013.

- CAPRONI, A. L. CAPRONI, A. L.; FRANCO, A. A.; BERBARA, R. L. L.; GRANHA, J. R. D. de O.; MARINHO, N. FMAs em estéril revegetado com *Acacia mangium*, após mineração de bauxita. **Revista Árvore**, v. 29, n.3, p. 373-381, 2005.
- CARAVACA, F., ALGUACIL, M.M., BAREA, J.M., ROLDÁN, A. Survival of inocula and native AM fungi species associated with shrubs in a degraded Mediterranean ecosystem. **Soil Biology and Biochemistry**. v. 37, n.2, p. 227-233, 2005.
- CARBONI, M.; CARRANZA, M. L.; ACOSTA, A. Assessing conservation status on coastal dunes: A multiscale approach. **Landscape and Urban Planning**, v. 91, p. 17-25. 2009.
- CARNEIRO, R. F. V.; CARDOZO-JÚNIOR, F. M.; ARAÚJO, A. S. F.; MATOS-FILHO, C. H. A.; SOUSA, R. F. Atributos dos Fungos Micorrízicos Arbusculares como Indicadores de Áreas Degradadas e em Recuperação. **Revista Brasileira de Agroecologia**. v.1, n.2, P. 61-69, 2016.
- CARRENHO, R. Influência de diferentes espécies de plantas hospedeiras e fatores edáficos no desenvolvimento de fungos micorrízicos arbusculares (FMA) **Tese (Doutorado em Biologia Vegetal)** - Universidade Estadual de São Paulo, Rio Claro, 1998.
- CATES, A. M.; RUARK, M. D.; HEDTCKE, J. L.; POSNER, J. L. Long-term tillage, rotation and perennialization effects on particulate and aggregate soil organic matter. **Soil and Tillage Research**. v.155, p.371-380, 2016.
- CLARK, J. Coastal ecosystems: ecological considerations for management of the coastal zone. **The Conservation Foundation**, p. 178, 1989.
- CORADO NETO, F. da C.; SAMPAIO, F. de M. T.; VELOSO, M. E. da C.; MATIAS, S. S. R.; ANDRADE, F. R.; LOBATO, M. G. R. Variabilidade espacial dos agregados e carbono orgânico total em Neossolo Litólico Eutrófico no município de Gilbués, PI. **Revista de Ciências Agrárias**. v. 8, n. 1, p. 75-83, 2015.
- CORDAZZO, V. V.; STURMER, S. L. Ocorrência de fungos micorrízicos arbusculares em *Panicum racemosum* (P. beauv.) spreng (Poaceae) em dunas costeiras do extremo sul do Brasil. **Atlântica**, n. 1, v. 29, p. 65-68, 2007.
- CORDOBA, 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**, n. 26, p. 931-937, 2002.
- CÓRDOBA, A. S.; MENDONÇA, M. M.; STURNERS. L., RYGIIEWICZ, P. T. Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi along a sand dune stabilization gradient: a case study at praia da Joaquina, ilha de Santacatarina, South Brazil. **Mycoscience**, v. 42, p. 379-387, 2001.
- CORREIA, M. E. F.; SCORIZA, R. N.; FERREIRA, C. R.; SILVA, E. M. R. Biodiversidade de fauna e fungos de solo nos fragmentos florestais. In: PRADO, R. B.; FIDALGO, E. C. C.; BONNET, A. **Monitoramento da revegetação do Comperj: etapa inicial**. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 2014.
- DORAN, J. W.; ZEISS, M. R. Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality. **Applied Soil Ecology**, v. 15, p. 3-11, 2000.
- 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**, v. 37, p. 101-106, 2005.

- ELHADI, E.A., MUBARAK, A.R., REZIG, F.A.M.,. Effects of organic amendments on sand dune fixation. **International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture**. v. 5, n. 15, p. 1-8, 2016.
- FAN, S.; GUAN, F.; XU, X.; FORRESTER, D. I.; MA, W.; TANG, X. Ecosystem carbon stock loss after land use change in subtropical forests in China. **Forests**. v.7, n.7, 2016.
- FITTER, A. H.; MERRYWEATHER, J. W. Why are some plants more mycorrhizal than oyer? Na ecology enquiry. In: READ, D. J.; LEWIS, D. H.; FITTER, A. H.; ALEXANDER, I. J. (Ed.). **Mycorrhizas in ecosystems**. Wallingford: CAB International, p. 26-36, 1992.
- FOCCHI, S. S.; SOGLIO, F. K. D.; CARRENHO, R.; SOUZA, P. V. D.; LOVATO, P. E. Fungos micorrízicos arbusculares em cultivos de citros sob manejo convencional e orgânico. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, p. 469-476, 2004.
- FOKON, 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**, v. 120, n.12, p. 69-75, 2012.
- FOLLI-PEREIRA, M.S.; MEIRA-HADDAD, L.S.; BAZZOLLI, D.M.S.; KASUYA, M.C.M. Micorriza arbuscular e a tolerância das plantas ao estresse. **Revista Brasileira Ciência do Solo**. v. 36, p. 1663-1679. 2012.
- FONSECA, H. M. A. C.; BERBARA, R. L. L.; PEREIRA, M. L. Lunularia cruciata a potential in vitro host for Glomus proliferum and G. intraradices. **Mycorrhiza**, v.16, p. 503-508, 2006.
- FONSECA, H. M. A. C.; FERREIRA, J. I. L.; BERBARA, R. L. L.; ZATORRE, N. P. Dominance of paris-type morphology on mycothallus of *Lunularia cruciata* colonized by *Glomus proliferum*. **Brazilian Journal of Microbiology**, v. 40, p. 96-101, 2009.
- FRANZLUEBBERS, A. J. Should soil testing services measure soil biological activity? **Agricultural & Environmental Letters**, Madison, v. 1, n. 1, 2016.
- GADKAR, V.; RILLIG, M. A proteína fúngica micorrizica arbuscular glomalina é um homólogo putativo da proteína de choque térmico 60. **FEMS Microbiol Lett**. v.263, p.93-101, 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**, v. 16, p.191-196, 2006.
- GEMMA, J. N.; KOSKE, R. E. Arbuscular mycorrhizae in sand dune plants of the North Atlantic coast of the U.S.: field and greenhouse inoculation and presence of mycorrhizae in planting stock. **Journal Environmental Management**, v. 50, p. 251-264, 1997.
- 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**, v. 46, p. 235-244, 1963.
- GERDEMANN, J. W.; TRAPPE, J. M. The Endogonaceae of the Pacific Northwest. **Mycologia Memoir**, v. 5, p. 1-76, 1974.
- GETAHUN, G. T.; MUNKHOLM, L. J.; SCHJØNNING P. The influence of clay-to-carbon ratio on soil physical properties in a humid sandy loam soil with contrasting tillage and residue management. **Geoderma**. v.264, n. 2,p.94-102, 2016.
- GIOVANETTI, M.; MOSSE, B. An evaluation of techniques for measuring vesicular arbuscular mycorrhizal infection in roots. **New Phytologist**, v. 84, p. 489-500. 1980.

- GOMIDE, L. R.; SCOLFORO, J. R. S.; OLIVEIRA, A. D. Análise da diversidade e similaridade de fragmentos florestais nativos na Bacia do Rio São Francisco em Minas Gerais. **Ciência Florestal**, v. 16, n 2, p. 127-144, 2006.
- GOMIDE, P. H. O.; SANTOS, J. G. D.; SIQUEIRA, J. O.; SOARES, C. R. F. S. Diversidade e função de fungos micorrízicos arbusculares em sucessão de espécies hospedeiras. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, p. 1483-1490, 2009.
- GOTO, B. T.; SILVA, G. A.; MAIA, L. C.; SOUZA, R. G.; COYNE, D.; TCHABI, A.; LAWOUI, F. H.; OEHL, F. *Racocetra tropicana*, a new species in the Glomeromycetes from tropical áreas. **Nova Hedwigia** v. 92, p. 69–82, 2011.
- GRUGIKI, M. A.; ANDRADE, F.V.; PASSOS, R. R.; FERREIRA, A. C. F. Decomposição e Atividade Microbiana da Serapilheira em Coberturas Florestais no Sul do Espírito Santo. **Floresta e Ambiente**. v. 1, n.24, p.1-12 2017.
- GUADARRAMA, P.; ÁLVAREZ-SÁNCHEZ, F.J. Abundance of arbuscular mycorrhizal fungispores in different vironments in a tropical rainfor Veracruz, Mexico. **Mycorrhizan**, v. 8, p. 267- 270, 1999.
- HALVORSON, J. J.; NICHOLS, K. A.; CRISAFULLI, C. M.. Soil Carbon and Nitrogen and Evidence for Formation of Glomalin, a Recalcitrant Pool of Soil Organic Matter, in Developing Mount St. Helens Pyroclastic Substrates. **Ecological Responses at Mount St. Helens: Revisited 35 years after the 1980 Eruption**. Springer. Cap.5, p 97-112, 2018.
- HARLEY, J. L.; SMITH, S. E. Mycorrhizal Symbiosis. London. **Academic Press**, 483p. 1983.
- HEIJDEN, E. W.; VOSATKA, M. Mycorrhizal associations of *Salix repens* L. communities in succession of dune ecosystems. **Canadian Journal of Botany**, v. 77, p. 1833-1841, 1999.
- HONTORIA, C.; VELÁSQUEZ, R.; ALMOROX, J.; MOLINER, A. Bradford reactive soil proteins and aggregate stability nder abandoned versus tilled olive groves in a semi-arid calcisol. **Soil Biology Biochemistry**. v. 41, p.1583–1585, 2009.
- IBGE – **Senso 2014**. Disponível em: www.ibge.gov.br. Acesso em 24 de Janeiro de 2018.
- IMIRANTE, 2004. MP recomenda restrição a duas e outras áreas das praias de São Marcos e Calhau. Disponível em: <http://imirante.com/sao-luis/noticias/2004/12/29/mp-recomenda-restricao-a-dunas-e-outras-areas-das-prais-de-sao-marcos-e-calhau.shtml>. Acesso em: 25 de Janeiro de 2018.
- JENKINS, W. R. A rapid centrifugal-flotation technique for separating nematodes from soil. **Plant Disease Report**, v. 48, p. 692, 1964.
- JOBIM, K.; GOTO, B. T. Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi (Glomeromycota) in maritime sand dunes of Brazilian northeast. **Studies in Fungi**, v. 1, n. 1, p. 43–55, 2016.
- KOIDE, R. T.; PEOPLES, M. S. Behaviour of Bradford-reactive substances is consistent with predictions for glomalin. **Applied Soil Ecology**, v.63, p. 8-14, 2013.
- KOSKE, R. E. Endogone spores in Australian sand dunes. **Canadian J. Botanica**, n. 7, v. 53, p. 668-672, 1975
- KOSKE, R. E.; GEMMA, J. N. Mycorrhizae and succession in plantings of beachgrass in sand dunes. **American Journal of Botany**, v. 84, p. 118-130, 1997.

- KOSKE, R. E.; GEMMA, J. N.; JACKSON, N. Mycorrhizal fungi associated with three species of turfgrass. **Canadian Journal of Botany**, v. 75, p. 320-332, 1997.
- KOSKE, R. E.; POLSON, W. R. Are VA mycorrhizae required for sand dune stabilization? **Bio Science**, v. 34, p. 420-424, 1984.
- KOSKE, R. E.; POLSON, W. R.: Are VA mycorrhizae required for sand dune stabilization. **BioScience**. v. 34, p. 420-424, 1984.
- LAL, R. Soil Carbon Sequestration Impacts on Global Climate Change and Food Security. **American Association for the Advancement of Science**. v.304, n.5677, p.1623–7, 2004.
- LEITE, A. V. L.; ANDRADE, L. H. C. Riqueza de espécies e composição florística em um ambiente de duna após 50 anos de pressão antrópica: um estudo na Praia de Boa Viagem, Recife, PE – Brasil. **Biotemas**. v.1, n. 17, p. 29-46, 2004.
- LIGRONE, R.; CARAFA, A.; LUMINI, E.; BIANCOTTO, V.; BONFANTE, P.; DUCKETT, J. G. Glomeromycotean associations in liverworts: A molecular, cellular, and taxonomic analysis. **American Journal of Botany**, v. 94, p. 1756-1777, 2007.
- LOVELOCK, C. E.; WRIGHT, S. F.; CLARK, D. A.; RUESS, R. W. Soil stocks of glomalin produced by arbuscular mycorrhizal fungi across a tropical rain forest landscape. **Journal of Ecology**, v. 92, n. 2, p. 278-287, 2004.
- LUTGEN, E. R ; CLAIRMONT, D. M.; GRAHAM, J.; RILLIG, M. C. Seasonality of arbuscular mycorrhizal hyphae and glomalin in a western Montana grassland. **Plant and Soil**. v. 257,n.1 p. 71-83, 2003.
- MAIA, L. C., SILVEIRA, N. S. S.; CAVALCANTE, U. M. T. Interaction between arbuscular mycorrhizal fungi and root pathogens. In: **Handbook of microbial biofertilizers** (M.K. Rai, org.). The Haworth Press Inc, New York, p. 325-352, 2006.
- MAIA, L. C., SILVEIRA, N. S. S.; CAVALCANTE, U. M. T. Interaction between arbuscular mycorrhizal fungi and root pathogens. In: **Handbook of microbial biofertilizers** (M.K. Rai, org.). The Haworth Press Inc, New York, p. 325-352, 2006.
- MAIA, L. C.; TRUFEM, S. F. B. Fungos Micorrízicos Vesículo-Arbusculares em solos cultivados no Estado de Pernambuco, Brasil. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 13, p. 89-95, 1990.
- MAIA, L. C.; YANO-MELO, A. M. Role of arbuscular mycorrhizal fungi in saline soil. In: MEHROTRA, V. S. (Ed.). **Mycorrhiza: Role and Applications**. New Delhi, Allied Publishers Pvt, p. 282-302, 2005.
- MANGAN, S. A.; EOM, A.; ADLER, G. H.; YAVITT, J. B.; HERE, E. A. Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi across a fragmented forest in Panama: insular spore communities differ from mainland communities. **Oecologia**, v. 141, p. 687-700, 2004.
- MCGEE, P. A.; TRAPPE J. M. The Australian zygomycetous mycorrhizal fungi. Further Australian sporocarpic *Glomaceae*. **Australian Systematic Botany**, v. 15, p. 115–124, 2002.
- MCGEE, P.A.. Variation in propagule numbers of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi in a semi-arid soil. **Mycological Research**. 92:p. 28-33. 1989.
- MENEGHETTI, G. T.; KUX, H. J. H. Mapeamento da cobertura da terra do município de Raposa (MA) utilizando imagens worldview-ii, o aplicativo interimage e mineração de dados. **Revista Brasileira de Cartografia**. v.2, n. 66, p. 365-377, 2014.

- MILLER, R. M.; JASTROW, J. D. The role of mycorrhizal fungi in soil conservation. In: BETHLENFALVAY, G. J.; LINDERMAN, R. G., eds. **Mycorrhizae in sustainable agriculture**. Madison, American Society of Agronomy, p. 29-44, 1992.
- MILLER, R. M.; LHING, M. The importance of integration and scale in the arbuscular mycorrhizal symbiosis. **Plant and soil**, p. 295- 309, 2000.
- MORADA, M.; NAJI, H. R.; IMANI, F.; BEHBAHANI, S. M.; AHMADI, M. T. Arbuscular mycorrhizal fungi changes by afforestation in sand dunes. Iran, **Journal of Arid Environments**, p. 6, 2017.
- MORADI, M.; NAJI, H. R.; IMANI, F.; BEHBAHANI, S. M.; AHMADI, M. T. Arbuscular mycorrhizal fungi changes by afforestation in sand dunes. Iran, **Journal of Arid Environments**, p. 14-19, 2017.
- MOURA, D. V. **Web artigos**. 2009. A importância das dunas costeiras e o caso das dunas no balneario casino (Rio Grande – RS). Disponível em: <<https://www.webartigos.com/artigos/a-importancia-das-dunas-costeiras-e-o-caso-das-dunas-no-balneario-cassino-rio-grande-rs/20969>>. Acesso em: 27 de Janeiro de 2018.
- 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, p. 339–360, 2004.
- NICOLODI, J. L.; PETERMANN, R. M. Mudanças Climáticas e a Vulnerabilidade da Zona Costeira do Brasil. **Aspectos ambientais, sociais e tecnológicos**, v.10, p. 151-177, 2010.
- NICOLSON, T. H. Mycorrhizae in the Gramineae. Vesicular- arbuscular endophytes with special reference to the external phase. **Transactions of the British Mycological Society** , v. 42, p. 421–438, 1959.
- NOBRE, C. P.; FERRAZ JÚNIOR, A. S. L.; GOTO, BERBARA, B. T.; R. L. L.; NOGUEIRA M. D. C. Fungos micorrízicos arbusculares em sistema de aléias no Estado do Maranhão, Brasil. **Acta Amazonica**. v. 40, n. 4, p. 641-646, 2010.
- NOBRE, C.P.; LÁZARO, M.L.; ESPIRITO, Santo M.M.; PEREIRA, M.G. BERBARA, R.L. Agregação, glomalina e carbono orgânico na chapada do Araripe, Ceará, Brasil. **Revista Caatinga**. v.28, p.138-147. 2015.
- NOGUEIRA, L.R.; SILVA, C.F.; PEREIRA, M.G.; GAIA-GOMES, J.H.;SI SILVA, E.M. Biological Properties and Organic Matter Dynamics of Soil in Pasture and Natural Regeneration Areas in the Atlantic Forest Biome. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.40, n. 1, p.1-13, 2016.
- NOVAES, R. C.; TAROUÇO, J. E. F.; RANGEL, M. E. S.; DIAS, L. J. B. S. Análise da sensibilidade ambiental da parte ocidental da Ilha do Maranhão. In: XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento remoto. **Anais**, Florianópolis – Brasil, p. 4089-4098, 2007.
- ODUM, E. P. **Ecologia**. São Paulo, Guanabara, p. 450, 1988.
- OEHL, F.; LACZKO, E.; BOGENRIEDER, A.; STAHR, K.; BÖSCH, R.; VAN DER HEIJDEN, M.; SIEVERDING, E. Soil type and land use intensity determine the composition of arbuscular mycorrhizal fungal communities. **Soil Biology. Biochemistry**, v. 42, p. 724–738, 2010.

- OEHL, F.; SIEVERDING, E.; INEICHEN, K.; MÄDER, P.; BOLLER, T.; WIEMKEN, A. Impact of land use intensity on the species diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in agroecosystems of Central Europe. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 69, p. 2816–2824, 2003.
- OKSANEN, J., BLANCHET, F.G., KINDT, R., LEGENDRE, P., MINCHIN, P.R., O'HARA, R.B., SIMPSON, G.L., SOLYMOS, P., STEVENS, M.H.H., WAGNER, H., vegan: Community Ecology Package. R Packag. version 2.3-1. <https://doi.org/10.4135/9781412971874.n.145>, 2015.
- OLIVEIRA, J. R. G.; SOUZA, R. G. ; SILVA, F. S. B.; MENDES, A. S. M.; MELO, A. M. Y. Role of autoctone community of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) on the development of native plant species in revegetated restinga dunes from coastal region of Paraíba State. **Revista Brasileira de Botânica**. v.32, n.4, p. 663-670, 2009.
- PAREDES JUNIOR, F. P. P.; PORTILHO, I. I. R.; MERCANTE, F. M. Microbiological attributes of the soil under cultivation of sugarcane with and without burning straw. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 36, n. 1, p. 151-164, 2015.
- PEREIRA, C. M. R.; SILVA, D. K. A.; ALMEIDA, F. A. C.; GOTO, B. T.; MAIA, L. C. Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in Atlantic forest areas under different land uses. **Agriculture, Ecosystems and Environment**. v.185, n.1, p. 245-252, 2014.
- PHILLIPS, J. M.; HAYMAN, D. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular arbuscular fungi for rapid assessment of infection. **Transactions of British Mycological Society**, v. 55, p. 158-161. 1970.
- PINHEIRO, M. V. A.; FÉ, M. M. M.; FREITAS, E. M. N. Os ecossistemas dunares e a legislação ambiental brasileira. **Geo UERJ**, v. 2, n. 24, 2014.
- PIORSKI, G. M. R.; GOMES, L. N.; PINHEIRO-JÚNIOR, J. R.; PIORSKI, N. M. Subsídios para o manejo da visitação na praia de Carimã, Raposa-MA. **Caminhos de Geografia**, v. 10, n. 32, p. 15, 2009.
- 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**, v. 39, p. 445–453, 2007.
- RAMOS-ZAPATA, J. A., ZAPATA-TRUJILLO, R., ORTIZ-DIAZ, J. J., GUADARRAMA, P. Arbuscular mycorrhizas in a tropical coastal dune system in Yucatan, Mexico. **Fungal Ecology**, v. 4, p. 256-261, 2011.
- RANGEL, M. E. S. Contribuição dos dados integrados dos sistemas sensores tm/landsat-5 e ers-1/sar para o estudo de uso e cobertura da terra no nordeste da ilha do Maranhão. **Dissertação**. INPE. p.114, 2003.
- READ, D. J.; DUCKETT, J. G.; FRANCIS, R.; LIGRONE, R.; RUSSELL, A. Symbiotic fungal associations in lower land plants. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London**, v. 355, p. 815–831, 2000.
- REYES, H. A.; FERREIRA, P. F. A.; SILVA, L. C.; COSTA, M. G.; NOBRE, C. P.; GEHRING, C.. Arbuscular mycorrhizal fungi along secondary forest succession at the eastern periphery of Amazonia: Seasonal variability and impacts of soil fertility. **Applied Soil Ecology**. v.136, n.10, p.1-10, 2019.

- RICKARD, C. A.; MCLACHLAN, A.; KERLEY, G. I. H. The effects of vehicular and pedestrian traffic on dune vegetation in South Africa. **Ocean & Coastal Management**, n. 3, v. 23, p. 225-247, 1994.
- RILLIG, M. C. Arbuscular mycorrhizae, glomalin, and soil aggregation. **Canadian Journal of Soil Science**, v. 84, p. 355–363, 2004.
- RILLIG, M. C.; AGUILAR-TRIGUEROS, C. A.; BERGMANN, J.; VERBRUGGEN, E.; VERESOGLOU, S. D.; LEHMANN, A. Plant root and mycorrhizal fungal traits for understanding soil aggregation. *New Phytologist*, v.205, p.1385-1388, 2015.
- RILLIG, M. C.; RAMSEY, P. W.; MORRIS, S.; PAUL, E. A. Glomalin, an arbuscular-mycorrhizal fungal soil protein, responds to land-use change. **Plant and Soil**, v. 253, p.293–299, 2003.
- ROMARIZ, D. A. **Aspectos da vegetação do Brasil**. Edição da Autora, São Paulo, Brasil, 2 ed. p. 60, 1996.
- ROSIER, C.L., HOYE, A.T., RILLIG, M. Glomalin related soil protein: assessment of current detection and quantification tools. **Soil Biology & Biochemistry**. v.38, n.8, p. 2205-2211, 2006.
- ROSSET, J. S.; SCHIAVO, J. A.; ATANÁZIO, R. A. R. Atributos químicos, estoques de carbono orgânico total e das frações humificadas da matéria orgânica do solo em diferentes sistemas de manejo de cana-de-açúcar. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 35, n. 5, p. 2351-2366, 2014.
- SAGGIN-JÚNIOR, O. J.; SIQUEIRA, J.O. **Micorrizas arbusculares em cafeeiro**. In: SIQUEIRA, J.O., ed. Avanços em fundamentos e aplicação de micorrizas. Lavras, Universidade Federal de Lavras, p.203- 254, 1996.
- SANTOS, O. M.; OLIVEIRA, N. C. de; NOVAIS, R. F. de. Observações preliminares sobre fungos micorrízicos vesículo–arbusculares em plantas crescendo em dunas na Bahia. **Revista Ceres**, v. 42, n. 240, p. 191–202, 1995.
- SANTOS, O. M.; OLIVEIRA, N. C.; NOVAIS, R. F. Observações preliminares sobre fungos micorrízicos vesículo-arbusculares em plantas crescendo em dunas na Bahia. **Ceres**. v. 42, n. 240, 2015.
- SCHENCK, N. C.; PÉREZ, Y. **Manual for the identification of VA mycorrhizal fungi**. Gainesville, Synergistic Publications, 1990.
- SIEVERDING, E. Vesicular-arbuscular mycorrhiza management in tropical agrosystems. **Deutsche Gesellschaft Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH**, Eschborn.371 p. 1991.
- SILVA, C. F. Da; PEREIRA, M. G.; DOS SANTOS, V. L.; MIGUEL, D. L.; DA SILVA, E. M. R. Fungos Micorrízicos Arbusculares: composição, comprimento de micélio extrarradicular e glomalina em áreas de mata atlântica, rio de janeiro. **Ciência Florestal**, v.26, n.2, p. 419-433. 2016
- SILVA, C. F.; SIMÕES-ARAÚJO, J. L.; DA SILVA, E. M. R.; PEREIRA, M. G.; FREITAS, M. S. M.; JÚNIOR, O. J. S.; MARTINS, M. A. Fungos micorrízicos arbusculares e proteína do solo relacionada à glomalina em área degradada por extração de argila e revegetada com eucalipto e acácia. **Ciência Florestal**. v. 22, n. 4, p.749-761, 2012.
- SILVA, D. K. A.; COUTINHO, F. P.; ESCOBAR, I. E. C.; DE SOUZA, R. G.; OELH, F.; SILVA, G. A.; CAVALCANTE, U. M. T.; MAIA, L. C. The community of arbuscular

mycorrhizal fungi in natural and revegetated coastal areas (Atlantic Forest) in northeastern Brazil. **Biodiversity and Conservation**, v. 24, p. 2213–2226, 2015.

SILVA, D. K. A.; SOUZA, R.G.; VELEZ, B. A. A.; SILVA, G. A.; OEHL, F.; MAIA, L. C. Communities of arbuscular mycorrhizal fungi on a vegetation gradient in tropical coastal dunes. **Applied Soil Ecology**. v. 96, n.1, p.7-17, 2015.

SILVA, F. A. S. ASSISTAT: Versão 7.7 beta. DEAG-CTRN-UFCG – Atualizado em 04 de outubro de 2015. Disponível em <<http://www.assistat.com/>>. Acessado em: 15 de outubro de 2015.

SILVA, F. A. S. E.; AZEVEDO, C. A. V. The Assistat Software Version 7.7 and its use in the analysis of experimental data. **African Journal of Agriculture Research**, v. 11, n. 39, p. 3733-3740, 2016.

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

SILVA, Q.D. Mapeamento geomorfológico da Ilha do Maranhão. Tese de doutorado, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, São Paulo. **Tese**. 249p., 2012.

SILVA, R. F.; ANTONIOLLI, Z. I.; ANDREAZZA, R.; KAMINSKI, J. Comunidade de fungos micorrízicos arbusculares em solo cultivado com eucalipto, pinus e campo nativo em solo arenoso, São Francisco de Assis, RS. **Ciência Florestal**, v. 18, n. 3, p. 353-361, 2008.

SILVA, R. M.; REIS, A. C. A.; MEHLIG, U. L. F. Diversity and dominance patterns in Amazon coast dune forest island tree communities. **Plant Ecology**. v.219, n.3, p. 343-357, 2018.

SILVA, V. C. Influência de fungos micorrízicos arbusculares no crescimento e produção de óleo essencial em MENTHA X PIPERITA L. VAR. CITRATA (EHRH.) BRIQ. **Dissertação (Mestre em Produção Vegetal)** – Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus, 2013.

SIQUEIRA, J. O. Micorrizas: forma e função. In: REUNÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS. **Anais**, Lavras: FAEPE, p. 5- 32, 1989.

SIQUEIRA, J.O.; PEREIRA, M.A.M.; SIMÃO, J.B.P.; MOREIRA, F.M.S. Efeito da formononetina (7Hidroxi, 4' metoxiIsoflavona) na colonização micorrízica e crescimento do milho em solo contendo excesso de metais pesados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, p. 561-568, 1999.

SIX, J.; PAUSTIAN, K. Aggregate-associated soil organic matter as an ecosystem property and a measurement tool. *Soil Biology and Biochemistry*, v.68, n. p.4-9, 2014.

SMITH, S. E.; READ, D. J. Mycorrhizal symbiosis, 3rd ed. London, UK: **Academic Press**, p. 800, 2008.

SOUSA, C. D. S.; MENEZES, R. S. C.; SAMPAIO, E. V. D. S. B.; LIMA, F. D. S.; MAIA, L. C.; OEHL, F. Fungos micorrízicos arbusculares em estádios sucessionais de caatinga na região semi-árida do Brasil. **Ciência Florestal**, v. 24, n. 1, p. 137-148, 2014.

SOUZA, R. G. Aspectos ecológicos e introdução de mudas micorrizadas para revegetação de áreas de dunas mineradas no litoral da Paraíba. **Tese (Doutorado em Biologia de fungos)** – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2008.

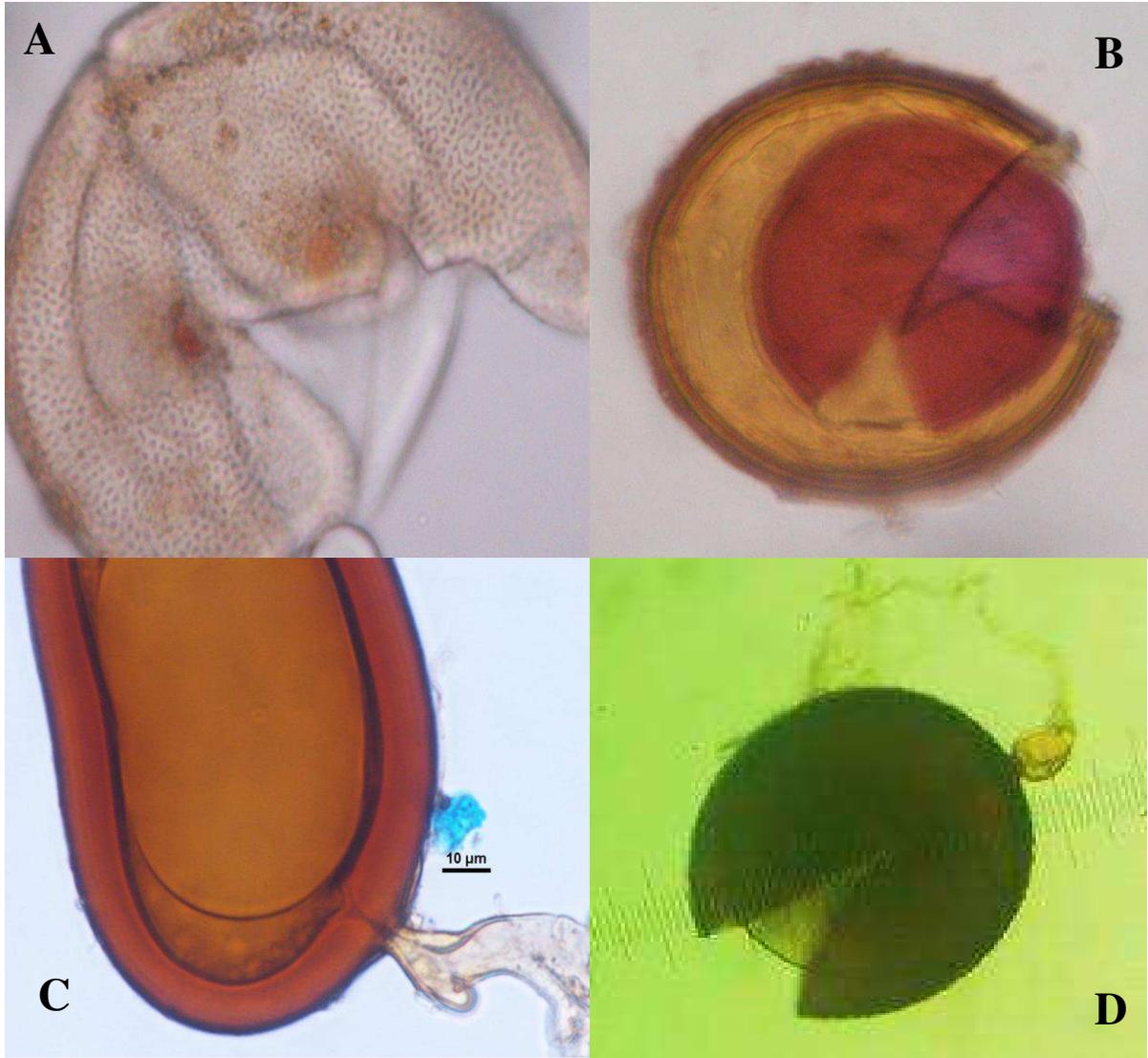
- SOUZA, R. G.; MAIA, L. C.; SALES, M. F.; TRUFEM, S.F.B. Diversidade e potencial de infectividade de fungos micorrízicos arbusculares em área de caatinga, na Região de Xingó, Estado de Alagoas, Brasil. **Brasil. Bot.** V.26, n.1, p.49-60, 2003
- SOUZA, R. S.; SILVA, D. K. A.; MELLO, C. M. A.; GOTO, B. T.; SILVA, F. S. B.; SAMPAIO, E. V. S. B.; MAIA, L. C. Arbuscular mycorrhizal fungi in revegetated mined dunes. **Land Degrad Dev**, v. 24, p. 147–155, 2011.
- SOUZA, T. **Handbook of Arbuscular Mycorrhizal Fungi**, Springer, p. 153, 2015.
- SOUZA, V. C. D.; DA SILVA, R. A.; CARDOSO, G. D.; BARRETO, A. F. Estudos sobre fungos micorrízicos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, v. 10, n. 3, p. 612-618, 2006.
- STÜRMER S. L.; STÜRMER R. P. D.; 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**, v. 6, p. 27–36, 2013.
- 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**, v. 72, n. 3, p. 359-363, 1994.
- STÜRMER, S. L.; MELLONI, R.; CAPRONI, A. L. Micorrizas arbusculares em dunas marítimas e em áreas de mineração. In: SIQUEIRA, J. O.; DE SOUZA, F. A.; CARDOSO, E. J. B. N.; TSAI, S. M. (eds). **Micorrizas: 30 anos de pesquisas no Brasil**. Editora UFLA, Lavras, p. 341-360, 2010.
- STÜRMER, S. L.; SIQUEIRA, J. O. Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in Brazilian Ecosystems. In: MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O.; BRUSSAARD, L. (Eds.) **Soil Biodiversity in Amazonian and Other Brazilian Ecosystems**. CABI Publishing, London, p. 280, 2006.
- STÜRMER, S. L.; SIQUEIRA, J.O. Diversidade de fungos micorrízicos arbusculares em ecossistemas brasileiro. In: MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O.; BRUSSARD, L., eds.. **Biodiversidade do solo em ecossistemas brasileiros**. Lavras, Universidade Federal de Lavras, p.537-584, 2008.
- STÜRMER, S.L.; SIQUEIRA, J.O. Species richness and spore abundance of arbuscular mycorrhizal fungi across distinct land uses in western Brazilian Amazon. **Mycorrhiza**, v. 21, p.255-267, 2011.
- SUTTON, J. C.; SHEPPARD, B. R. Aggregation of sand dune soil by endomycorrhizal fungi. **Canadian Journal of Botany**, v. 54, p. 326-333, 1976.
- SYLVIA, D. M.; WILL, M. E. Establishment of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi and other microorganisms on a beach replenishment site in Florida. **Applied and Environmental Microbiology**. v. 54, p. 348–352, 1988.
- TRUBER, P. V. Agregação do solo e ocorrência de fungos micorrízicos arbusculares em sistemas de rotação de culturas. 2013. 75p. Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2013.
- TRUFEM, S. F. B.; MALATINSZKY, S. M. M.; OTOMO, H. S. Fungos micorrízicos arbusculares em rizosferas de plantas do litoral arenoso do Parque Estadual da Ilha do Cardoso, SP, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 8, n. 2, p. 219-229, 1994.

- TRUFEM, S.F.B. Aspectos ecológicos de fungos micorrízicos arbusculares na rizosfera de plantas de restinga da Ilha do Cardoso, SP, Brasil. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 18, p. 51-60, 1995.
- VASCONCELLOS, R. L. F. et al. Arbuscular mycorrhizal fungi and glomalin-related soil protein potential indicators of soil quality in a recuperation gradient of the Atlantic Forest in Brazil. **Land Degradation & Development**. Chichester, v. 27, n. 2, p. 325-334, 2016.
- VILELA, L.A.F., SAGGIN JÚNIOR, O.J., PAULINO, H.B., SIQUEIRA, J.O., SANTOS, V.L. DA S., CARNEIRO, M.A.C. Arbuscular mycorrhizal fungus in microbial activity and aggregation of a Cerrado Oxisol in crop sequence. **Ciência e Agrotecnologia**. v.38, p. 34-42, 2014.
- WICKHAM, H. ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis , Springer, New York, NY, USA, 2009.
- WILSON, J., INGLEBY, K., MASON, P.A., IBRAHIM, K.; LAWSON, G.J.. Long-term changes in vesicular-arbuscular mycorrhizal spore populations in Terminalia plantations in Côte d'Ivoire. In: **Mycorrhizas in Ecosystems**. READ, D.J; LEWIS, D.H.; FITTER, A.H.; ALEXANDER, I.J. eds. CAB Internacional, Cambridge, p.268-275, 1992.
- WRIGHT, S. F.; UPADHYAYA, A. Extraction of an abundant and unusual protein from soil and comparison with hyphal protein of arbuscular mycorrhizal fungi. **Soil Science**. v. 161, n. 8, p. 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**. v.4 n. 5823, p.1 , 2014.
- WU, Q. S.; WANG, S.; SRIVASTAVA, A. K. Mycorrhizal hyphal disruption induces changes in plant growth, glomalin-related soil protein and soil aggregation of trifoliolate orange in a core system. **Soil and Tillage Research**, v.160, p.82-91, 2016.
- ZANGARO, W.; MOREIRA, M. Micorrizas arbusculares nos biomas Floresta Atlântica e Floresta de Araucária. In: SIQUEIRA, J. O., SOUZA, F. A., CARDOSO, E. J. B. N., TSAI, S. M (Eds.). **Micorrizas: 30 anos de pesquisa no Brasil**. Editora UFPA, Lavras, 2010.
- ZANINETTI, R. A.; MOREIRA, A.; MORAES, L. A. C. Physical, chemical, and biological attributes of a Xanthic Oxisol after forest conversion to rubber tree plantation in the Amazon. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 51, n. 9, p. 1061-1068, 2016.
- ZHANG, S. X.; LI, Q.; ZHANG, X. P.; WEI, K.; CHEN, L. J.; LIANG, W. J. Effects of conservation tillage on soil aggregation and aggregate binding agents in black soil of Northeast China. **Soil and Tillage Research**, v.124, p.196-202, 2012.
- 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**, v. 261, p. 257-263, 2004.
- ZHANG, Y.; HE, X.; ZHAO, L.; ZHANG, J.; XU, W. Dynamics of arbuscular mycorrhizal fungi and glomalin under *Psammochloa villosa* along a typical dune in desert, North China. **Symbiosis**. V. 73, n.3, p.145-153, 2017.
- ZHIMIN, L., WENZHI, Z., . Shifting-sand control in central Tibet. **Am. Journal Human Environment**. v.30, n.6, p.376-380, 2001.

ZHU, Y. G.; MILLER, R. M. Carbon cycling by arbuscular mycorrhizal fungi in soil–plant systems. **Trends Plant Science**. v. 8, p. 407–409, 2003.

ZOU, Y.N., Srivastava, A.K. & Wu, Q.S. Glomalin: A potential soil conditioner for perennial fruits. **International Journal of Agriculture and Biology**. v.18, n., p 293-297, 2016.

ANEXO A- Espécies de Fungos Micorrízicos Arbusculares com ocorrência nas dunas das praias de Carimã e São Marcos, Maranhão. A) *Acaulospora scrobiculata*; B) *Acaulospora morrowiae*; C) *Glomus trufemii*; D) *Racocetra gregaria*.



Fonte: NOBRE, C. P., 2018.