



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE BIOCÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE MICOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOLOGIA DE FUNGOS

LUIZ VICTOR DE ALMEIDA DANTAS

**DIVERSIDADE FUNCIONAL DE FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES EM
SOLO SOB APLICAÇÃO DE PACLOBUTRAZOL**

Recife

2020

LUIZ VICTOR DE ALMEIDA DANTAS

**DIVERSIDADE FUNCIONAL DE FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES EM
SOLO SOB APLICAÇÃO DE PACLOBUTRAZOL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Biologia de Fungos da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Biologia de Fungos.

Área de concentração: Fungos de Interesse Agronômico.

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Adriana Mayumi Yano-Melo

Coorientadora: Prof^ª. Dr^ª. Danielle Karla Alves da Silva

Recife

2020

Catálogo na Fonte:
Bibliotecário Bruno Márcio Gouveia, CRB-4/1788

Dantas, Luiz Victor de Almeida

Diversidade funcional de fungos micorrízicos arbusculares em solo sobre aplicação de Paclobutrazol / Luiz Victor de Almeida Dantas. - 2020.

102 f. : il.

Orientadora: Profa. Dra. Adriana Mayumi Yano-Melo.

Coorientadora: Profa. Dra. Danielle Karla Alves da Silva.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. Centro de Biociências. Programa de Pós-graduação em Biologia de Fungos, Recife, 2020.

Inclui referências.

1. . Fungos. 2. Micorrizas. 3. Plantas da Caatinga. I. Yano-Melo, Adriana Mayumi (orientadora). II. Silva, Danielle Karla Alves da (coorientadora). III. Título.

579.5

CDD (22.ed.)

UFPE/CB-2021-093

LUIZ VICTOR DE ALMEIDA DANTAS

**DIVERSIDADE FUNCIONAL DE FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES EM
SOLO SOB APLICAÇÃO DE PACLOBUTRAZOL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Biologia de Fungos da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Biologia de Fungos.

Aprovado em: 05 /03 / 2020.

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Adriana Mayumi Yano-Melo (Orientadora)
Universidade Federal do Vale do São Francisco

Dra. Daniele Magna Azevedo de Assis (Examinadora Externa)
Universidade Federal de Pernambuco

Dr. Inácio Pascoal do Monte Júnior (Examinador Externo)
Universidade Federal de Pernambuco

Aos que contribuíram direta e indiretamente para a realização deste trabalho

Dedico

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente aos meus pais Gildete e Luiz pelo amor incondicional.

Ao meu companheiro Gilson e nossas filhas pelos momentos de suporte, compreensão e amor.

À Universidade Federal do Vale do São Francisco, pela infraestrutura para a realização dos experimentos no decorrer do mestrado.

Aos colegas do Laboratório de Microbiologia da Universidade Federal do Vale do São Francisco pelos cafés, momentos de alegria, trabalho e companheirismo.

À minha orientadora Adriana Mayumi Yano de Melo e minha coorientadora Danielle Karla Alves da Silva, pela compreensão, paciência, incentivo e colaboração em minha formação acadêmica.

Aos amigos que de certa forma participaram na construção desse trabalho com palavras de força, carinho e afeto.

Ao Programa de Pós-Graduação em Biologia de Fungos (PPGBF/UFPE) pelo aprendizado e oportunidade em realizar o mestrado.

Aos colegas da pós-graduação pelos momentos de alegria e aprendizado durante as disciplinas.

Agradeço à Embrapa Semiárido e à EBRAZ por disponibilizarem os locais para as coletas de solo.

Agradeço ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de estudos.

Aos membros titulares da banca examinadora, Dr. Inácio Pascoal do Monte Júnior e Dra. Daniele Magna Azevedo de Assis, pelas valiosas correções e sugestões.

Meu muito obrigado!

RESUMO

O paclobutrazol (PBZ) é um fitorregulador conhecido por inibir o crescimento vegetal e promover a floração e seu manejo de *Mangifera indica* L. vem sendo amplamente utilizado no Vale do Submédio São Francisco. Pertencente à família dos triazois, grupo reconhecido pela capacidade fungicida, diretamente aplicado no solo pode influenciar diretamente as comunidades microbianas, porém pouco se conhece sobre seus efeitos sobre os fungos micorrízicos arbusculares (FMA). Os objetivos principais desse trabalho foram avaliar o impacto da aplicação, tanto de doses crescentes quanto do histórico de tempo, de PBZ sobre as comunidades de FMA e verificar se o tempo de manejo com PBZ afeta a funcionalidade dessas comunidades na promoção de crescimento do girassol ornamental *Helianthus annuus* L (var. Dobrado Anão *Sungold* Amarelo). As coletas foram realizadas em área com plantio de manga cv. Palmer suplementadas com doses crescentes de PBZ (0; 0,3; 0,4; 0,6; 0,8 e 1,0 g.i.a.m⁻¹ de PBZ via fertirrigação e 1,0 g.i.a.m⁻¹ de PBZ aplicados convencionalmente) em dois ciclos de produção; bem como em áreas com histórico de aplicação de PBZ que variavam de – não aplicado e aplicado em até 15 anos. Foram avaliados no campo abundância de glomerosporos, riqueza, diversidade, dominância e equabilidade dessas comunidades de FMA, já no experimento com girassol além dos parâmetros anteriormente citados foram aferidas as variáveis de crescimento e colonização micorrízica proporcionado pela utilização de solo-inóculo proveniente de áreas com diferentes tempos de aplicação de PBZ. Após dois ciclos de produção de manga constatou-se mudanças na comunidade de FMA, resultando em aumento na abundância, riqueza e diversidade de espécies de FMA, porém as comunidades são similares comparando-se as doses de PBZ, detectando-se certo estímulo na esporulação em baixas doses de PBZ (0,3 e 0,6 g.i.a.m⁻¹). Foram identificados 47 táxons de FMA em áreas com plantio de manga cv. Palmer suplementadas com doses crescentes de PBZ, com favorecimento de espécies do gênero *Glomus* e redução na abundância relativa de espécies de *Acaulospora*. Por outro lado, solos com histórico prolongado de aplicação de PBZ (>nove anos) apresentam comunidades de FMA distinta e com menor abundância de glomerosporos em relação as áreas sem aplicação e com vegetação nativa de Caatinga; aliado a este fato, esta comunidade apresenta maior eficiência em promover o desenvolvimento de girassol e colonização micorrízica, sugerindo maior funcionalidade. Em áreas com histórico de aplicação de PBZ e vegetação nativa de Caatinga adjacente foram encontradas 50 espécies de FMA, com predominância do gênero *Glomus* sugerindo tolerância aos manejos empregados. Conclui-se que o tempo de aplicação e atuação do PBZ no solo influência mais fortemente a composição da comunidade de FMA do que a dosagem de PBZ. Mesmo com redução de riqueza e diversidade de espécies de FMA em

solos com histórico prolongado de aplicação de PBZ, as comunidades de FMA destes solos apresentam resiliência e funcionalidade em promover crescimento de plantas de girassol.

Palavras-chave: FMA. Caatinga. *Mangifera indica*. *Helianthus annuus*. PBZ.

ABSTRACT

Mangifera indica L. managed with paclobutrazol (PBZ), known phyto regulator which inhibits plant growth and promotes flowering, is broadly used in São Francisco River Valley. Belonging to the triazole family which is a group known for its fungicide capacity it is applied directly to soil being able to directly influence the soil microbial communities, but little is known about the effects on arbuscular mycorrhizal fungi (AMF). The main objectives of this work were to evaluate the impact of PBZ application, not only for crescent doses, but also to the time of application, on the AMF communities and verify if the time of PBZ management would affect the functionality of this communities in promoting the ornamental sunflower growth of *Helianthus annuus* L (var. Dwarf Double Sungold). Samples were collected from Palmer mango area managed with crescent doses of PBZ (0, 0.3, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0 g of a.i m⁻¹ by fertigation and 1.0 g of a.i m⁻¹ conventionally applied to soil) in two mango production cycles; also, in areas with history of PBZ application from without PBZ application to 15 years of PBZ application. Abundance of glomerospores, richness, diversity, dominance and equability of the AMF communities was evaluated, moreover, in the experiment using sunflower as host it was evaluated growth parameters, mycorrhizal colonization promoted by the inoculation using soil inocula from areas at different time of PBZ application. After two mango production cycles, changing in the AMF communities was noticed resulting in an increase of abundance, richness and diversity of AMF species; however, AMF communities are similar if comparing among PBZ doses, detecting some stimulation in AMF sporulation in lower PBZ doses (0.3 and 0.6 g of a.i m⁻¹). In total. 47 AMF taxa were identified in areas with Palmer mango tree cultivation using crescent doses of PBZ favoring species of *Glomus* genus and reducing the relative abundance of *Acaulospora* species. On the other hand, soil with extended history of PBZ management (more than 9 years) shows distinct AMF communities with lower abundance of glomerospores in relation to areas without PBZ application and with native Caatinga dry forest; also, that AMF community shows higher efficiency in promoting the sunflower development and mycorrhizal colonization, suggesting higher functionality. In areas with history of PBZ application and an adjacent native Caatinga dry forest it was identified 50 AMF species with *Glomus* genus predominance suggesting tolerance to the applied soil management. It was concluded that time of application and PBZ soil performance influence more strongly the AMF community composition than doses of PBZ initially mentioned. Even with reduction of AMF species richness and diversity in soil with longer history of PBZ application, AMF communities from this soil show resilience and functionality in promoting sunflower growth.

Keywords: AMF. Caatinga. *Mangifera indica*. *Helianthus annuus*. PBZ.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –	Regiões fitoecológicas do Nordeste brasileiro (esquerda) e divisão dos biomas brasileiros, em rosa (Cerrado), amarelo (Caatinga) e verde-claro (Mata Atlântica).....	21
Figura 2 –	Área de coleta das amostras de solo em áreas com vegetação nativa de Caatinga (B), cultivo de mangueira sem aplicação de PBZ (A) e com aplicação de PBZ por três (C), nove (D) e 15 (E) anos em Juazeiro-BA.....	41
Figura 3 –	Variação de temperatura e umidade relativa do ar semanal durante o experimento com <i>H. annuus</i> em casa de vegetação.....	43
Figura 4 –	Esquema da quantificação das estruturas observadas nos campos para análise da colonização micorrízica proposta por McGonigle et al. (1990).....	46
Figura 5 –	Abundância de glomerosporos, independente dos tempos de coletas, em área de cultivo de manga cv. Palmer (<i>Mangifera indica</i> L.).....	49
Figura 6 –	Abundância de glomerosporos em plantio de manga cv. Palmer (<i>Mangifera indica</i> L.) no a) primeiro ciclo e b) segundo ciclo de produção.....	50
Figura 7 –	Curvas de acumulação de espécies em área de cultivo de manga (cv. Palmer) manejada com paclobutrazol.....	51
Figura 8 –	NMDS baseado na composição das espécies de fungos micorrízicos arbusculares em área de manga cv. Palmer no 1º ciclo de produção – Stress (13,9%).....	57
Figura 9 –	NMDS baseado na composição das espécies de fungos micorrízicos arbusculares em área de manga cv. Palmer no 2º ciclo de produção – Stress (12,6%).....	58

Figura 10 – NMDS baseado na composição das espécies de fungos micorrízicos arbusculares nos diferentes ciclos de produção de manga cv. Palmer com aplicações crescentes de paclobutrazol (PBZ) – Stress (16,2%).....	59
Figura 11 – Abundância inicial de glomerosporos em solo-inóculo oriundo de áreas com vegetação nativa da Caatinga (CA), áreas com plantio de mangueira sem aplicação de PBZ (TC), e com aplicação de PBZ por três anos (T3), nove anos (T9) e 15 anos (T15).....	60
Figura 12 – Abundância de glomerosporos após o experimento em microcosmo com <i>H. annuus</i> com solo-inóculo oriundo de áreas com vegetação nativa da Caatinga (CA), áreas com plantio de mangueira sem aplicação de PBZ (TC), e com aplicação de PBZ por três anos (T3), nove anos (T9) e 15 anos (T15).....	61
Figura 13 – Curvas de acumulação de espécies em área de cultivo de manga (cv. Osteen) manejada com paclobutrazol.....	61
Figura 14 – Curvas de acumulação de espécies em rizosfera de <i>H. annuus</i> com solo-inóculo oriundo de área de cultivo de manga (cv. Osteen) manejada com paclobutrazol em diferentes tempos de aplicação.....	62
Figura 15 – Número de propágulos infectivos de FMA no solo-inóculo inicial e ao final do experimento com <i>Helianthus annuus</i> . Solo-inóculo oriundo de áreas com vegetação nativa da Caatinga (CA), áreas com plantio de mangueira sem aplicação de PBZ (TC), e com aplicação de PBZ por três anos (T3), nove anos (T9) e 15 anos (T15).....	64
Figura 16 – NMDS baseado na composição das espécies de fungos micorrízicos arbusculares presentes no solo-inóculo inicial.....	69
Figura 17 – NMDS baseado na composição das espécies de fungos micorrízicos arbusculares presentes no solo oriundo de diferentes fontes de solo-inóculo após 60 dias de cultivo com <i>Helianthus annuus</i>	70

Figura 18 – Diagrama de Venn representando as espécies de FMA no solo-inóculo inicial e após 60 dias de cultivo com girassol (<i>Helianthus annuus</i>) em microcosmo.....	72
Figura 19 – Correlação de Pearson entre as variáveis de crescimento vegetal e os FMA.....	75

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Riqueza de espécies de FMA identificadas em áreas manejadas no Brasil.....	22
Tabela 2 –	Interferência de fatores abióticos na formação e ocorrência de FMA.....	30
Tabela 3 –	Efeitos diretos e indiretos da aplicação do PBZ em diferentes espécies vegetais.....	32
Tabela 4 –	Temperatura, precipitação e umidade relativa do ar nos períodos de coleta das amostras de solo.....	38
Tabela 5 –	Caracterização das áreas de coletas de amostras de solo utilizado como solo-inóculo no experimento com girassol (<i>H. annuus</i>) em casa de vegetação.....	40
Tabela 6 –	Análise química e granulométrica das amostras de solo utilizadas no experimento com girassol (<i>Helianthus annuus</i>) em casa de vegetação.....	42
Tabela 7 –	Índices ecológicos da comunidade de FMA em área de cultivo de manga cv. Palmer com doses crescentes de paclobutrazol, no primeiro (1º) e segundo (2º) ciclo de produção.....	52
Tabela 8 –	Abundância relativa de espécies de FMA em solo cultivado com manga cv. Palmer, sem aplicação de PBZ (inicial) e no primeiro (1º) e segundo (2º) ciclo de produção após aplicação de PBZ.....	53
Tabela 9 –	Índices ecológicos do solo-inóculo inicial no experimento com <i>H. annuus</i> em microcosmo.....	63
Tabela 10 –	Abundância relativa de espécies de FMA do solo-inóculo oriundo de áreas com vegetação nativa da Caatinga (CA), áreas com plantio de mangueira sem aplicação de PBZ (TC), e com aplicação de PBZ por três anos (T3), nove anos (T9) e 15 anos (T15), inicial e após 60 dias de cultivo com <i>H. annuus</i> em microcosmo.....	65

Tabela 11 – Índices ecológicos do solo-inóculo oriundo de área com vegetação nativa da Caatinga (CA), áreas com plantio de mangueira sem aplicação de PBZ (TC), e com aplicação de PBZ por três anos (T3), nove anos (T9) e 15 anos (T15), após 60 dias de cultivo com <i>H. annuus</i> em microcosmo.....	68
Tabela 12 – Relação de espécies indicadoras após o experimento com <i>H. annuus</i>	71
Tabela 13 – Variáveis analisadas após 60 dias de cultivo de <i>H. annuus</i> (var. Dobrado Anão <i>Sungold</i> Amarelo) em solo contendo solo-inóculo de áreas com vegetação nativa da Caatinga (CA), com cultivo de mangueira sem aplicação de PBZ (TC) e com aplicação de PBZ por três (T3), nove (T9) e 15 (T15) anos.....	74

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	16
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	18
2.1	FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES (FMA).....	18
2.1.1	FMA E AS ESPÉCIES VEGETAIS.....	19
2.1.2	DISTRIBUIÇÃO DE FMA EM ÁREAS AGRÍCOLAS.....	20
2.2	DIVERSIDADE FUNCIONAL.....	24
2.2.1	Diversidade funcional em FMA.....	25
2.2.2	FMA e fatores que influenciam sua funcionalidade.....	28
2.3	PACLOBUTRAZOL (PBZ).....	31
2.3.1	Paclobutrazol e a microbiota edáfica.....	35
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	37
3.1	IMPLICAÇÕES DA UTILIZAÇÃO DE DOSES CRESCENTES DE PACLOBUTRAZOL NAS COMUNIDADES DE FMA EM ÁREA DE CULTIVO DE MANGA (PETROLINA – PE)	37
3.2	DIFERENTES TEMPOS DE APLICAÇÃO DE PBZ INFLUENCIAM NA DIVERSIDADE FUNCIONAL DE FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES.....	38
3.2.1	Coleta das amostras de solo.....	38
3.2.2	Caracterização química e granulométrica do solo.....	38
3.2.3	Montagem do experimento.....	39
3.2.4	Delineamento experimental.....	39
3.3	DIFERENTES TEMPOS DE APLICAÇÃO DE PBZ INFLUENCIAM NA DIVERSIDADE FUNCIONAL DE FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES?.....	40
3.3.1	Coleta das amostras de solo	40
3.3.2	Caracterização química e granulométrica do solo.....	41
3.3.3	Montagem do experimento.....	42
3.3.4	Delineamento experimental.....	43
3.3.5	Índices agronômicos.....	44
3.3.6	Número mais provável (NMP) de propágulos infectivos de FMA.....	44
3.3.7	Coloração de raízes e colonização micorrízica.....	45

3.3.8	Análise de dados.....	46
4	RESULTADOS.....	48
4.1	IMPLICAÇÕES DA UTILIZAÇÃO DE DOSES CRESCENTES DE PACLOBUTRAZOL NAS COMUNIDADES DE FMA EM ÁREA DE CULTIVO DE MANGA (PETROLINA-PE).....	48
4.1.1	Abundância de glomerosporos.....	48
4.1.2	Índices ecológicos.....	51
4.2	DIFERENTES TEMPOS DE APLICAÇÃO DE PBZ INFLUENCIAM NA DIVERSIDADE FUNCIONAL DE FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES?.....	60
4.2.1	Experimento com <i>H. annuus</i> em microcosmo utilizando o solo-inóculo.....	73
5	DISCUSSÃO.....	76
5.1	IMPLICAÇÕES DA UTILIZAÇÃO DE DOSES CRESCENTES DE PACLOBUTRAZOL NAS COMUNIDADES DE FMA EM ÁREA DE CULTIVO DE MANGA (PETROLINA-PE).....	76
5.2	DIFERENTES TEMPOS DE APLICAÇÃO DE PBZ INFLUENCIAM NA DIVERSIDADE FUNCIONAL DE FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES?.....	80
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	86
	REFERÊNCIAS.....	87

1 INTRODUÇÃO

O Vale do São Francisco, com destaque para as cidades de Juazeiro – BA e Petrolina – PE, é conhecido pela produção de culturas frutíferas - *e.g.* banana, uva, goiaba, acerola e manga (RAMOS; MELO JÚNIOR, 2019), impulsionado nas décadas anteriores pela introdução de sistemas de irrigação com financiamento público e privado que acarretaram em profundas mudanças econômicas (BUSTAMANTE, 2009). Uma das culturas de grande importância na região é a manga (*Mangifera indica* L.), respondendo por mais de 30 mil hectares de área plantada (ANUÁRIO BRASILEIRO DE HORTI & FRUTI, 2019), alcançando em 2018 aproximadamente 177,3 milhões de dólares em venda, principalmente para o mercado da União Europeia. Tanta produtividade está relacionada diretamente aos fatores abióticos favoráveis (clima e irrigação) e pela utilização de fitoreguladores, a exemplo do paclobutrazol (PBZ) (OLIVEIRA et al., 2015).

O PBZ pertence à família dos triazóis, grupo reconhecido por seu potencial fungicida e antimicrobiano, além de ser incluído no grupo de reguladores de crescimento e pode ser aplicado diretamente na parte aérea (via foliar) e/ou diretamente no solo (NCBI, 2019). A aplicação do PBZ na cultura da manga interfere na via hormonal das giberelinas, ocasionando a redução do crescimento vegetativo, promovendo a floração e incremento na produção (GOLLAGI; JASMITHA; SREEKANTH, 2019). Entretanto, por ser manejado diretamente no solo pode interferir na microbiota edáfica, que também sofre influência antropogênica em áreas agrícolas levando a uma redução da macro e mesofauna edáfica (minhocas, nematóides e protozoários) e potencialmente em funções desempenhadas por esses organismos (TSIAFOULI et al., 2015). Além da fauna edáfica, o PBZ impacta diretamente a estruturação e composição das comunidades bacterianas (KUO et al., 2019), além de fungos e actinomicetos (SUBBAIAH et al., 2018) levando a uma seleção e adaptação de micro-organismos edáficos na presença desse fitoregulador no solo (OLIVEIRA et al., 2017).

Além dos micro-organismos edáficos supracitados, deve-se mencionar importantes simbiontes mutualísticos que se associam a maioria das espécies de plantas, sejam avasculares – briófitas (RIMINGTON et al., 2018), ou a maioria das plantas vasculares - pteridófitas (MANE et al., 2019), gimnospermas (FRANCO et al., 2019) e angiospermas. Dentre os grupos de simbiontes destacam-se os fungos micorrízicos arbusculares (FMA), que se associam com as raízes de plantas na porção cortical formando arbúsculos, colonização intra- e intercelular por meio de suas hifas, além de vesículas ou células auxiliares formadas por algumas espécies de FMA (OEHL et al., 2011). Nessa associação, as plantas fornecem carboidratos e lipídios

(KEYMER et al., 2017; LUGINBUEHL et al., 2017; RICH et al., 2017) e, em troca, os fungos fornecem água e nutrientes minerais (FOSSALUNGA; NOVERO, 2019; WANG et al., 2017).

A relação entre o uso de fitorreguladores diretamente no solo e os FMA ainda não está bem definida. Alguns estudos apontam que não há efeitos inibitórios na presença de PBZ no solo sobre a colonização micorrízica (NAVARRO et al., 2009; WATSON, 2006); entretanto, para outros grupos há efeito negativo, por exemplo, para fungos micorrízicos orquidoides (HOLLICK et al., 2002), actinomicetos (SILVA; VIEIRA; NICOLLELA, 2003) e vários fungos do solo (OLIVEIRA et al., 2017). Ainda há uma lacuna em estudos sobre PBZ e seus efeitos sobre as comunidades de FMA, embora seja conhecido que os FMA são influenciados por diversos fatores, *e.g.* pH, temperatura, teores de argila, areia e silte do solo (ZHANG et al., 2016), fósforo disponível (HUANG et al., 2019), salinidade (GUPTA, BIHARI, SENGUPTA, 2016) e fito-hormônios (LIAO et al., 2018).

Nota-se que os FMA sofrem influências de fatores abióticos, muitas vezes sobrepujado por fatores antrópicos, porém, os estudos acerca da influência do PBZ, amplamente utilizado na rizosfera de manga, são escassos e não abrangem aspectos relacionados a esporulação, colonização e estruturação das comunidades de FMA, principalmente no que tange a riqueza, diversidade e a funcionalidade dessas comunidades. A funcionalidade dos FMA pode ser definida basicamente como diferentes combinações entre a planta e o FMA impactando de forma variável na morfologia da colonização, por exemplo, estrutura do arbúsculo, além do *status* nutricional da planta, eficiência simbiótica e expressão gênica (FEDDERMANN et al., 2010).

Diante do exposto e das lacunas relacionadas aos estudos sobre riqueza e diversidade das comunidades de FMAs, tanto em áreas com suplementação de doses crescentes de PBZ quanto em locais com aplicações sucessivas por longos períodos, pesquisas que visem equacionar os efeitos deste composto no solo são importantes para a sustentabilidade de áreas agrícolas suplementadas com esse fitorregulador e mensurar seus efeitos nos FMA a curto e longo prazo.

Desta forma, o presente trabalho visa determinar se a aplicação de PBZ na rizosfera da manga afeta a diversidade morfológica dos FMA, e se há diferenças nos efeitos em relação as diferentes doses de PBZ e ao tempo de aplicação desse fitorregulador diretamente no solo. A hipótese do nosso trabalho é de que concentrações maiores de PBZ irão afetar negativamente a riqueza e a diversidade de espécies de FMA e ainda, que há seleção e adaptação de espécies de FMA em relação ao tempo de aplicação de PBZ com manutenção da funcionalidade dessas espécies.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES (FMA)

A associação micorrízica é reportada em alguns grupos de fungos, tais como Ascomycota, Basidiomycota, Glomeromycota (VAN DER HEIJDEN et al., 2015) e Mucoromycota (HOYSTED et al., 2018). Essa associação é categorizada basicamente de acordo com o tipo de septação de hifa, padrão de colonização radicular interna e externa, especialmente a produção ou não de manto e rede de *Hartig*, além da presença de clorofila e taxa de plantas que fazem associação (SMITH; READ, 2008). Sinteticamente, as diferenças entre as associações baseiam-se em diferenças filogenéticas e morfofisiológicas da relação micobionte-fotobionte (LONG et al., 2013).

A associação do tipo micorrízica arbuscular é formada apenas por fungos pertencentes ao filo Glomeromycota, que apresentam hifas asseptadas (podendo apresentar septações irregulares) no córtex radicular (intra- e intercelularmente), vesículas (ou células auxiliares), arbúsculos, podendo haver formação de apressórios (CHAKRABORTY et al., 2019) – alguns autores adotam o termo hifopódio como sinônimo para apressório (RUSSO et al., 2019; VERGARA et al. 2019) e presença de esporos.

Evolutivamente, a associação micorrízica pode ter iniciado em um grupo mais basal de fungos, dentro do subfilo Mucoromycotina, na metade do período Ordoviciano (475 ma), que possuíam estruturas similares às encontradas em membros de *Endogone*, as quais auxiliaram na colonização das primeiras plantas terrestres (BIDARTONDO et al., 2011). Essas primeiras plantas eram grupos mais basais de plantas não-vasculares - Haplomitriopsida, Jungermanniopsida e Marchantiopsida.

Feijen et al. (2018) salientam que durante a evolução da associação micorrízica, Mucoromycotina foi a transição entre as primeiras plantas não-micorrízicas para uma associação mais basal, e que durante o processo evolutivo, o grupo Glomeromycota passou a ocupar amplamente o papel dominante de simbiontes micorrízicos surgindo posteriormente os demais grupos - Ascomycota e Basidiomycota como simbiontes de outros tipos de micorriza - orquidoides, ericoides e ectomicorrizas. Por outro lado, Strullu-Derrien et al. (2018) defendem o papel conjunto de Mucoromycotina e Glomeromycota nas primeiras relações simbióticas durante o início do estabelecimento terrestre das primeiras plantas.

Os FMA associam-se mutualisticamente com a maioria das espécies vegetais; entretanto, alguns membros das famílias botânicas Proteaceae, Brassicaceae, Chenopodiaceae

e Carophyllaceae são considerados não-micorrízicos por suprimirem ou perderem a condição de formação de simbiose micorrízica (COSME et al., 2018; LAMBERS; TESTE, 2013; VAN DER HEIJDEN et al., 2015). Porém, em determinadas circunstâncias alguns representantes destas famílias podem ativar essa associação, sendo considerados fenótipos do tipo RAM (*Rudimentary Arbuscular Mycorrhizal*), a exemplo das Brassicaceae (COSME et al., 2018). O tipo RAM caracteriza-se por apresentar estruturas que se assemelham a colonização micorrízica arbuscular, entretanto, não de forma fenotípica proeminente, como algumas espécies do gênero *Brassica* que apresentam arbúsculos pouco desenvolvimento.

Os FMA recebem essa denominação devido à exclusividade na formação de arbúsculo, que podem apresentar dois tipos de morfologia (*Paris* e *Arum*), como indicativo de colonização micorrízica (SMITH; READ, 2008). Nessa associação, as plantas fornecem carboidratos e lipídios (KEYMER et al., 2017; LUGINBUEHL et al., 2017; RICH et al., 2017) e em troca o fungo fornece alguns nutrientes à planta, principalmente fósforo, zinco, cobre e nitrogênio, mas também enxofre, outros minerais e água (FOSSALUNGA; NOVERO, 2019; SMITH; READ, 2008; WANG et al., 2017).

2.1.1 FMA e as espécies vegetais

A associação micorrízica arbuscular está presente em uma diversidade de espécies vegetais e podem colonizar raízes de membros mais basais de plantas, como as briófitas, sendo observado nos grupos Marchantiopsida e Pellidae colonização com estruturas típicas (arbúsculo, vesícula e hifas) presentes em regiões específicas do talo (RIMINGTON et al., 2018). Há ainda associação com a maioria dos taxa incluídos nas pteridófitas (GHANTA; SEN; DUTTA, 2016; MANE et al., 2019; PRESSEL et al., 2016) que apresentam colonização mais acentuada em grupos terrestres e saxícolas, seguida de epífitas e mais ocasionalmente em grupos aquáticos de licófitas e samambaias (LEHNERT; KRUG; KESSLER, 2017).

As gimnospermas também apresentam associação com os fungos micorrízicos arbusculares (FRANCO et al., 2019; NAGARAJ; PRIYADHARSINI; MUTHUKUMAR, 2015), reportado principalmente com membros das famílias Araucariaceae, Podocarpaceae, Sciadopityaceae e Pinaceae – formando associação com raízes mais finas e precedendo a colonização por ectomicorrizas (WAGG et al., 2008). A evolução das angiospermas, de início no período Cretáceo (BRUNDRETT, 2002) e as modificações radiculares sofridas pelas plantas (raízes mais finas) e as adaptações micorrízicas nesse período foram um dos fatores

preponderantes para a exploração do solo e absorção de nutrientes eficientemente (COMAS et al., 2012).

Relacionando-se aos estudos com angiospermas e o status de formação micorrízica, Smith e Read (2008) pontuaram que o número de famílias botânicas e espécies vegetais são amplamente estudadas sendo a maioria micorrízica obrigatória ou facultativa. Em uma revisão de literatura elaborado por Brundrett (2009) observa-se que dentro das angiospermas a associação micorrízica arbuscular é a mais representativa sendo o único grupo com tamanha variedade de associações. Em nova revisão, Brundrett e Tedersoo (2018) evidenciaram que somente 8% das plantas estudadas não formavam associações micorrízicas, registrando a formação de simbiose micorrízica arbuscular em 71% das plantas.

2.1.2 Distribuição de FMA em áreas agrícolas

De acordo com o IBGE (2020), o semiárido brasileiro compreende os estados de Alagoas, Bahia, Ceará, Maranhão, Paraíba, Pernambuco, Piauí, Rio Grande do Norte, Sergipe e o norte de Minas Gerais. Essa delimitação baseia-se nos seguintes critérios: precipitação pluviométrica anual média de 800 mm ou inferior, índice de aridez de Thornthwaite de 0,50 ou inferior e porcentagem do déficit hídrico diário de 60% ou superior. Vale ressaltar que a divisão geopolítica do semiárido está inserida na região Nordeste e muitas vezes se confunde com a delimitação do bioma Caatinga. Desta forma, é importante salientar que a Caatinga está distribuída nos estados de Alagoas, Bahia, Ceará, Minas Gerais, Paraíba, Pernambuco, Piauí, Rio Grande do Norte e Sergipe (Figura 1).

As caatingas (PRADO, 2003) apresentam 13 fisionomias de vegetação com formações florestais arbóreas ou arbustivas apresentando em sua maioria espinhos, microfilia e características xerofíticas. De acordo com Queiroz et al. (2017), tamanha é a diversidade de fisionomias dentro do Domínio Caatinga, permitindo abrigar a maior floresta tropical sazonalmente seca do mundo e contém aproximadamente 3.150 espécies vegetais (930 gêneros e 152 famílias) de angiospermas. Porém, há de ser enfatizar que o bioma (ou domínio) tem sofrido com a desertificação (COSTA et al., 2016) e processos de antropização pela extensão de áreas agrícolas. De acordo com o IBGE (2020), a região Nordeste conta com um território de 155,43 milhões de hectares, sendo 70,89 milhões de hectares compostos por estabelecimentos agropecuários. Consequentemente, a diversidade florística se encontra de certa forma ameaçada pela expansão agropecuária.

Figura 1 – Regiões fitoecológicas do Nordeste brasileiro (esquerda) e divisão dos biomas brasileiros, em rosa (Cerrado), amarelo (Caatinga) e verde-claro (Mata Atlântica).



Fonte: Banco de Dados de Informações Ambientais (BDIA, 2019)

Além dessa diversidade botânica, Silva, Leal e Tabarelli (2018) apresentam uma revisão acerca da Caatinga onde detalham sobre a diversidade de peixes (386 espécies), anfíbios (98 espécies), répteis (79 espécies), mamíferos (183 espécies) e aves, apresentando 548 espécies descritas.

Além da diversidade de plantas e da macrofauna, a revisão micológica elaborada por Maia et al. (2015) demonstra a ocorrência de grupos de fungos representativos no nordeste brasileiro, com cerca de 2.500 espécies de fungos descritas, sobretudo de espécies de Ascomycota e Basidiomycota.

Para o filo Glomeromycota, em um dos primeiros *checklists* acerca dos FMA no semiárido brasileiro, Goto et al. (2010) evidenciaram 79 espécies de FMA registradas para o seminário durante 20 anos de estudos e Silva et al. (2014) apontaram a presença de 28 gêneros e 125 espécies de FMA para o nordeste brasileiro, número aumentado na revisão de Maia et al. (2015) com registro de 157 espécies. Recentemente, Marinho et al. (2019) reportaram a ocorrência de 80 espécies de FMA em áreas de Caatinga com fisionomias diversas, incluindo as que se encontravam em processos de antropização em Pernambuco. Na Tabela 1 sintetizamos dados de riqueza de espécies de FMA relacionados ao tipo de vegetação e manejos do solo.

Tabela 1 – Riqueza de espécies de FMA identificadas em áreas manejadas no Brasil.

UF	Vegetação	Cultivo/Manejos	Riqueza de FMA		Referência
			Nativa	Manejada	
Pernambuco	Caatinga (<i>Mimosa tenuiflora</i>)	Área em pousio e cultivada com feijão-caupi	44	25~36	Pontes et al., 2017
Ceará	Caatinga	Sapoti (<i>Achras sapota</i> L.) e abacaxi (<i>Ananas comosus</i> (L.) Merril)	21	14~18	Dantas et al., 2015
Goiás	Cerrado	Rotação de soja e milho – plantio direto	18	7~14	Carneiro et al., 2019
Amazonas	Floresta Amazônica	Pastagem: gramíneas e vegetação espontânea	25	22	Leal; Siqueira; Stürmer, 2013
Amazonas	Floresta Amazônica	Diferentes estágios sucessionais de floresta, pastagem, agroflorestal, plantação de <i>Manihot esculenta</i> , milho e banana	50~30	44~23	Stürmer, Siqueira, 2011
Rio de Janeiro	Floresta Atlântica	Plantio de banana, mandioca, área de capoeira (revegetação) e floresta secundária	8~13	10~13	Silva et al., 2006
Paraná	Floresta Atlântica	Floresta primária e diferentes áreas com antigo manejo e pastagem	47	41~52	Zangaro et al., 2013
São Paulo	Floresta atlântica	Floresta nativa e diferentes áreas previamente utilizadas para plantio de cana (revegetação)	12~13	5~8	Bonfim et al., 2013
Goiás	Cerrado	Produção de café, pastagem e plantio anual em rotação (milho e soja) e floresta nativa	14~20	9~23	Fernandes et al., 2016
Minas Gerais	Floresta Atlântica	Floresta nativa, gramíneas, monocultura de milho e cana-de-açúcar	16	3~7	Pagano; Duarte; Corrêa, 2020
Bahia	Cerrado/Tensão ecológica	Floresta nativa, produção convencional de algodão e agricultura orgânica familiar	6~18	6~14	Nunes et al., 2019
Roraima	Floresta transicional Cerrado-Amazônica	Floresta nativa, plantio de milho e soja e sistema agroflorestal	2	5~10	Araújo et al., 2019
Pernambuco	Floresta Atlântica	Floresta nativa, plantio de sapoti, mogno, eucalipto e rotação com mandioca	17	16~30	Pereira et al., 2014

A partir dos trabalhos elencados na Tabela 1 é possível verificar um padrão de redução na riqueza devido ao tipo de uso do solo, tal redução pode ser causada por inúmeros fatores - aplicação de fungicidas com lenta recuperação da infectividade pelos FMA (PÁNKOVÁ et al., 2018); aplicação de pesticidas, dependendo da substância e da dosagem (HAGE-AHMED; ROSNER; NOVAIS et al., 2019; STEINKELLNER, 2019); pela preparação do solo e sua intensidade interferindo na colonização micorrízica (ROSNER et al., 2019); e utilização de

fertilizantes fosfatados e nitrogenados afetando a composição das comunidades de FMA (WILLIAMS et al., 2017).

2.2 DIVERSIDADE FUNCIONAL

Diversidade funcional em definição amplamente adotada diz respeito à influência dos componentes da biodiversidade, por exemplo, espécies em um determinado habitat, incluindo sua variabilidade genotípica e fenotípica, que sofrem influências temporais e espaciais e que interferem nas comunidades e ecossistemas em que estão inseridas (TILMAN, 2001). Embora seja um termo conceitualmente complexo e que requeira um consenso em termos de definição, Petchey; Gaston (2006) definem a diversidade funcional como o entendimento de comunidades e ecossistemas baseando-se principalmente no papel dos organismos, porém sem relacioná-las as histórias evolutivas. Complementarmente ao que propôs Tilman (2001), Cianciaruso; Silva; Batalha (2009) adicionam que a mensuração da diversidade de caracteres funcionais (componentes dos fenótipos dos organismos), que de certa forma influenciam diretamente na comunidade e em seus processos, é essencial para entender as diferenças funcionais entre os organismos.

A diversidade funcional pode ser entendida ainda com ênfase tanto ao organismo como uma unidade funcional em relação a sua abundância e propriedades considerando, por exemplo, a diversidade de grupos funcionais. Desta forma, a depender do objeto de estudo, seja em nível de indivíduo ou a influência de determinado atributo funcional sobre organismos, a definição de diversidade funcional pode ser dimensionada (SONG et al., 2014). Além disso, o entendimento acerca da diversidade funcional deve estar atrelado à composição de espécies e, portanto, sofre influência direta de atributos funcionais (morfologia, fisiologia, características ambientais e outros atributos) refletindo em outros mecanismos ecológicos de forma indireta (ALMEIDA et al., 2018). O estudo dessa diversidade funcional dependerá de qual mecanismo está promovendo a coexistência de espécies, por exemplo, quando se tem filtros ambientais (filtro de nicho) limitando a riqueza de espécies pode-se ter uma redundância funcional de espécies. Contrariamente, quando a similaridade de espécies é o atributo limitante de espécies, há uma tendência para que sejam complementarmente funcionais para evitar competição (MOUILLOT; DUMAY; TOMASINI, 2007).

Esse termo, ainda em constante transformação epistemológica e metodológica, pode ser utilizado de forma equivocada como apontam Calça e Grelle (2016), pois não se tem um padrão para medição desse componente dentro da biodiversidade e nem se escolhe adequadamente atributos que expliquem essa diversidade funcional. Esses atributos, à nível de indivíduo, são quaisquer padrões morfológicos, fisiológicos ou fenológicos mensuráveis, sem referência ao ambiente ou outro nível de organização (; DÍAZ; CABIDO, 2001; VIOLLE et al.,

2007). Ainda, um atributo funcional, de acordo com Violle et al. (2007), seria qualquer característica que impacta indiretamente no *fitness* pelo seu efeito no crescimento, reprodução e sobrevivência.

Elmqvist et al. (2003) resumem a diversidade funcional como sendo associada diretamente com a dissimilaridade de espécies que podem ser complementares; por exemplo, diferentes espécies de plantas com diferentes padrões de crescimento e armazenamento de nutrientes, podem ser complementares em funções ecossistêmicas aumentando a performance da comunidade como um todo.

Para a microbiota, há de se pontuar a importância da riqueza de recursos e diversidade de espécies (*e.g.* comunidades bacterianas) para a produtividade das comunidades residentes em determinado local dando-se ênfase não para a riqueza taxonômica, mas sim dissimilaridades funcionais nos efeitos da biodiversidade na produtividade (EISENHAUER et al., 2013).

2.2.1 Diversidade funcional em FMA

Os fungos micorrízicos arbusculares (FMA) apresentam diversidade funcional relacionada a uma gama de características funcionais. Nota-se que, mesmo entre isolados de uma mesma espécie de FMA, há um amplo espectro de características funcionais que estão diretamente ligadas ao atributo funcional escolhido, *e.g.* crescimento de hifa, contribuição do FMA ao crescimento do fotobionte e conteúdo de fósforo (MUNKVOLD et al., 2004), além da intensidade da colonização micorrízica (JANSA; SMITH; SMITH, 2008). Exemplificando o que foi encontrado por Munkvold et al. (2004), características inerentes as funcionalidades dos FMA (extensão micelial e absorção de fósforo) podem diferir entre isolados (intraespecífica) e entre espécies (interespecíficas), demonstrando considerável heterogeneidade funcional em comunidades com baixa diversidade de espécies. Essas diferentes respostas dos FMA dentro de uma comunidade podem ser complementares quando ocorre um efeito sinérgico entre duas espécies de FMA em relação à absorção de fósforo, por exemplo, onde juntas as espécies de FMA são mais eficientes do que quando atuam individualmente (JANSA; SMITH; SMITH, 2008).

A diversidade funcional em FMA pode ainda ser definida como diferentes combinações entre o fotobionte (planta) e o micobionte (FMA) impactando diferentemente na morfologia da colonização micorrízica (*Arum* e *Paris*), *status* nutricional, eficiência simbiótica e expressão gênica (FEDDERMANN et al., 2010). Isto significa que diferentes espécies de FMA podem, quando inoculados em um fotobionte específico, propiciar diferentes respostas, seja no

percentual de colonização, absorção de nutrientes, crescimento vegetal e/ou expressão gênica, as quais podem estar relacionadas à dependência micorrízica da planta (BURLEIGH; CAVAGNARO; JAKOBSEN, 2002).

A diversidade funcional pode ser evidenciada na diferença de produção de esporos e crescimento micelial, bem como na alta variabilidade genética entre isolados de uma mesma espécie de FMA, mesmo que haja baixa diversidade genética total (KOCH et al., 2004). Recentemente, reconhece-se que há uma grande variabilidade genômica entre isolados de uma mesma espécie de FMA, por exemplo, em *Rhizoglomus irregularis* apresenta alta diversidade em regiões codificadoras entre isolados principalmente os relacionados a expressão de genes acessórios com funções moleculares de sinalização que garantem funcionalidade e possíveis respostas às flutuações ambientais e adaptação (CHEN et al., 2018).

A funcionalidade dos FMA em incrementar a biomassa de diferentes espécies vegetais está diretamente relacionada à família de FMA e suas especificidades em produção e localização do micélio (raiz e solo), além de diferenças de funcionalidade entre as espécies e os gêneros dentro da família (HART; READER, 2002a) e até mesmo entre isolados de uma mesma espécie (MENSAH et al., 2015). Verifica-se ainda padrões diferentes de colonização para *taxa* dentro de um mesmo gênero, que induzem diferentes respostas em genes relacionados à colonização micorrízica (FEDDERMANN et al., 2008; HONG et al., 2012) e também em diferentes padrões de produção de arbúsculos em isolados provenientes de condições de altas e baixas temperaturas (ANTUNES et al., 2011). Além disso, há variação funcional no desenvolvimento de hifas, números de anastomoses e colonização micorrízica entre diferentes espécies (até mesmo entre isolados) de FMA, afetando sua contribuição no crescimento vegetal e absorção de fósforo e nitrogênio. (AVIO et al., 2006).

Koch et al. (2017) evidenciaram que há uma interação entre a identidade da planta e o isolado de FMA utilizando na inoculação e conseqüentemente esses isolados influenciam diferentemente na performance da planta. Além disso, diferentes gêneros e famílias de FMA vão apresentar volume total de hifas extrarradiculares e esporulação diferenciadas, destacando *Paraglomus* e *Glomus* com alta produção de glomerosporos e representantes de Gigasporaceae, que se caracterizam por formarem pouca colonização intrarradicular e formação de arbúsculos, mas investindo na produção de maior volume de hifa extrarradicular que outros *taxa* de FMA. Alguns trabalhos apontam que muito além da diversidade e riqueza de uma comunidade de FMA, o incremento em biomassa vegetal – representando a eficiência da simbiose – depende da identidade da planta e do simbionte (TURRINI et al., 2018). Porém, diferentes *taxa* em interação podem ser tanto complementares em aumentar a produtividade dos fotobiontes, na

maioria dos casos, quanto exercerem um forte papel seletivo, promovendo uma espécie em detrimento das demais (WAGG et al., 2011).

Por outro lado, outro aspecto a ser considerado é a ocorrência de redundância funcional entre espécies de FMA quando inoculadas conjuntamente, ou seja, espécies que apresentam funcionalidades semelhantes que podem exercer pressão competitiva entre si por sobreposição de nichos, neste caso a alta diversidade de espécies de FMA não está correlacionada positivamente a funcionalidade em incrementar a biomassa seca e absorção de nutrientes (GOSLING; JONES; BENDING, 2016).

Verbruggen e Kiers (2010) em uma revisão sobre funcionalidade de FMA em áreas agrícolas pontuaram que a alta intensidade no manejo pode selecionar comunidades que não sejam funcionalmente benéficas às culturas (*e.g.* absorção de água e nutrientes e proteção contra patógenos), além disso, a diversidade funcional de FMA é perdida pelo fato de haver substituição de comunidades que investem mais em crescimento micelial por comunidades que esporulam mais e produzem numerosos esporos de menor tamanho. Estes autores acrescentam ainda que há certos padrões funcionais que ajudariam na avaliação funcional de FMA e sua potencial influência na performance vegetal e processos ecossistêmicos, sendo estes divididos em termos morfológicos e fisiológicos da associação micorrízica, *i.e.* funcionalidade de hifas e sua estruturação micelial, colonização e produção de estruturas fúngicas (vesículas e células auxiliares) e absorção de nutrientes (VAN DER HEIJDEN; SCHEUBLIN, 2007).

Além de verificarmos a utilização de atributos morfológicos e de desenvolvimento dos FMA para se avaliar a funcionalidade, há também o entendimento acerca do histórico de vida desses organismos como um atributo funcional relevante. Chagnon et al. (2013) pontuam que há três tipos de atributos funcionais: 1) FMA competitivos (*Gigasporaceae*), que investem na produção de hifas extrarradiculares de forma a explorar o solo e incrementar a biomassa micelial ao invés de investir em estruturas intrarradiculares; 2) FMA estresse-tolerantes (*Acaulosporaceae*), que vão usar o carbono de forma mais eficiente, por sua baixa disponibilidade pela planta, em processos que não demandem muita energia e 3) FMA ruderais (*Glomeraceae*), que após distúrbios ou perturbações conseguem reestabelecer simbiose e propagar-se por investir em produção de esporos e ter um ciclo de vida curto e rápido.

2.2.2 FMA e fatores que influenciam sua funcionalidade

Os FMA são influenciados por fatores abióticos (salinidade, seca, excesso de água, temperatura – frio e calor, pH do solo, etc), que afetam a germinação de esporos, o desenvolvimento de hifas, colonização radicular e esporulação (LENOIR; FONTAINE; SAHRAOUI, 2016). Tais fatores podem estar associados aos processos antropogênicos que muitas vezes podem reduzir riqueza de espécies de FMA, densidade de esporos, diversidade, composição da comunidade (MARINHO et al., 2019), equabilidade e dominância de determinadas espécies (CARRENHO; GOMES-DA-COSTA, 2011). Van der Heyde et al. (2017) defendem que as espécies de FMA, no geral, apresentam maior tolerância à distúrbios químicos (presença de fertilizantes, salinidade e etc.) do que modificações por práticas agrícolas, *i.e.* revolvimento do solo.

Relacionando-se os distúrbios do solo com as famílias de FMA, há três tipos de estratégias de vida relacionadas a esses micro-organismos e suas respostas aos estresses. Os do tipo ruderal (Glomeraceae), que apresentam rápido crescimento, investimento maior em hifa intrarradicular, multiplicação por esporos e hifas, esporulação rápida e abundante. Os competidores (Gigasporaceae) investem mais fortemente em hifas extrarradiculares, esporulação tardia e crescimento lento. Por último, os conhecidos como estresse-tolerantes (Acaulosporaceae) com crescimento lento, baixa produção de hifas tanto extra- quanto intrarradiculares e são resistentes à estresses abióticos (VAN DER HEYDE et al., 2017). Na proposta inicial de Chagnon et al. (2013), as espécies ruderais conseguem ainda reestabelecer micélio funcional após distúrbios e utilizam menos recursos para manter sua funcionalidade; as competidoras são mais eficientes na competição por carbono, retardando a reprodução, em favorecimento da aquisição de nutrientes e alta absorção de fósforo, e transferência para o fotobionte; por fim, as estresse-tolerantes apresentam baixo custo metabólico.

Conforme apresentado na Tabela 2 diversos efeitos diretos e indiretos são acarretados pelos fatores abióticos, ocasionando alterações nos processos ecológicos mediados pelos FMA. Estes fatores podem trazer efeitos desde a esporulação até às modificações na comunidade, visto que os FMA participam da manutenção de numerosos processos no solo, dentre estes, estabilidade de agregados do solo (LEIFHEIT; VERBRUGGEN; RILLIG, 2015; MORRIS et al., 2019), principalmente por intermédio das hifas extrarradiculares (KOHLENER et al., 2017), produção de proteínas do solo relacionadas à glomalina (ZHANG et al., 2019), aumento na concentração de nutrientes e consequente estímulo no desenvolvimento radicular (RAMÍREZ-FLORES et al., 2019), influencia na tolerância de plantas à herbivoria (*i.e.* concentração de

compostos e produção de exsudados que atuam na defesa química da planta) (TAO et al., 2016), minimização dos efeitos negativos de danos à raiz com consequente balanço hormonal (BI et al., 2019), do estresse hídrico (ZARIK et al., 2016) e salino (EVELIN et al., 2019). Além disso, os FMA atuam ainda nos padrões morfológicos de raiz e estimulam a produção de fitohormônios para minimizar os efeitos do estresse hídrico (LIU et al., 2016).

Tabela 2 – Interferência de fatores abióticos na formação e ocorrência de FMA.

Fator	Tipo de influência	Referência
Precipitação, cobertura vegetal, matéria orgânica do solo, pH, nitrogênio total e aspectos físicos do solo	Colonização micorrízica, diversidade e composição da comunidade de FMA	Zhang et al. (2016)
Sazonalidade	Abundância de FMA, diversidade e composição da comunidade	Maitra et al. (2019); Xiao et al. (2019);
Precipitação	Abundância de glomerosporos, colonização, riqueza e diversidade de espécies	Gao et al. (2016); He et al. (2016)
Propriedades do solo (pH, fósforo disponível e cobre) e distância geográfica	Comunidade de FMA	Huang et al. (2019)
Umidade do solo	Colonização micorrízica e comunidade de FMA	Deepika; Kothamasi (2015)
Estresse hídrico e sazonalidade	Densidade de hifa extrarradicular, abundância de glomerosporos e colonização radicular	Maitra et al. (2019)
Propriedades do solo (pH, manganês e zinco) e habitat (raiz ou rizosfera)	Distribuição da comunidade de FMA	Del Mar Alguacil et al. (2016)
Propriedades do solo (pH, fósforo e nitrogênio disponíveis)	Composição da comunidade de FMA	De Beenhouwer et al. (2015)
Temperatura	Abundância de glomerosporos, hifa extrarradicular e composição da comunidade	Zhang et al. (2016)
Salinidade	Riqueza de espécies de FMA e colonização	Gupta; Bihari; Sengupta (2016)
Profundidade (solo-subsolo)	Comunidade de FMA	Sosa-Hernández et al. (2018)
Sombreamento	Colonização e abundância de glomerosporos	Konvalinková; Jansa (2016); Menezes et al. (2016)
Fito-hormônios	Formação de estruturas micorrízicas na simbiose	Liao et al. (2018)

2.3 PACLOBUTRAZOL (PBZ)

Paclobutrazol [$C_{15}H_{20}ClN_3O$ - (2R,3R)-1-(4-Chlorophenyl)-4,4-dimethyl-2-(1,2,4-triazol-1-yl)pentan-3-ol] é classificado como regulador de crescimento vegetal (NCBI, 2019) e está inserido no grupo dos triazois. Os triazois são conhecidos pelo seu poder antifúngico, bloqueando a biossíntese de ergosterol e consequentemente interferindo na integridade e funcionalidade da membrana plasmática fúngica (TATSUMI et al., 2013). Contudo, Weete; Abril; Blackwell (2010) demonstraram que nem todos os grupos de fungos apresentam ergosterol como principal constituinte da membrana e neste caso a atuação desses triazois pode não ser efetivo para estes grupos fúngicos.

Dentro do grupo dos triazois encontram-se compostos como hexaconazol que impactam negativamente na diversidade bacteriana e a estruturação dessas comunidades (JU et al., 2017); além de tebuconazol que reduzem a biomassa microbiana do solo e sua atividade, trazendo mudanças na comunidade bacteriana (MUÑOZ-LEOZ et al., 2011; SULOWICZ; PIOTROWSKA-SEGET, 2016); e propiconazol que inibem o crescimento bacteriano e fúngico além de reduzirem a atividade enzimática em altas concentrações (SATAPUTE et al., 2019).

As formas de aplicação do PBZ e os efeitos sobre diferentes espécies vegetais são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Efeitos diretos e indiretos da aplicação do PBZ em diferentes espécies vegetais.

Culturas	Forma de aplicação	Concentração	Efeito	Referência
<i>Stevia rebaudiana</i> Bertoni	Aplicação direta em solo	12 ppm	Supressão dos efeitos do estresse hídrico e aumento do peso seco; aumento dos glicosídeos de esteviol e da capacidade antioxidante de folhas	Karimi et al. (2019)
<i>Helianthus annuus</i> L.	Aplicação direta em vaso – cultivo hidropônico	0;0,5;1;2;4 e 6 mg.L ⁻¹	Inibição do crescimento e redução do diâmetro do capítulo (má formação de flores em doses elevadas)	Wanderley; Rezende; Andrade (2007)
<i>H. annuus</i>	Aplicação direta em solo	0;75;150;300;600 mg.L ⁻¹	Alteração da morfologia da parte aérea sem influência na biomassa seca ou fresca, raízes e capítulo	Brito et al. (2016)
<i>H. annuus</i>	Aplicação direta em solo	0;1;2;3;4 mg.L ⁻¹	Redução média do porte da planta, sem afetar quantidade de folhas, diâmetro de caule e capítulo	Pêgo; Mozar; Veigas (2016)
<i>H. annuus</i>	Aplicação foliar	50 + 50 g a.i. ha ⁻¹	Redução da altura da planta com efeito adverso nos aquênios de girassol	Koutroubas; Damalas (2015)
<i>Leonitis leonurus</i> (L.) R.Br.	Aplicação foliar	0;2;4;8;16 mg a.i. por planta	Redução no crescimento, diâmetro de caule, copa e número de folhas	Teto et al. (2016)
<i>Jatropha curcas</i> L.	Aplicação foliar e floral	1.250 mg/L	Incremento na quantidade de flores femininas e genes relacionados a biossíntese de fito-hormônios e sinalizadores de desenvolvimento floral e divisão celular	Seesangboon et al. (2018)
<i>Mangifera indica</i> L. cv. Totapuri	Aplicação direta em solo	1,25 g a.i. por metro (diâmetro de copa)	Promove a floração extemporânea e incremento na quantidade de frutos por planta, como consequência do aumento do ABA (ácido abscísico) e citocininas; e redução/inibição na biossíntese giberelina em botões florais	Upreti et al. (2013)

<i>Mangifera indica</i> cv. Alphonso	Aplicação direta em solo	0,75 ml a.i. m ⁻¹	Aumento na concentração de ABA e citocininas. Redução no conteúdo de auxinas e giberelinas ocasionando aumento na floração e redução no crescimento vegetativo	Burondkar et al. (2016)
<i>Zoysia japonica</i> Steud.	Aplicação foliar	25;50 mg.L ⁻¹	Redução de evapotranspiração e da biomassa e aumento da clorofila	Cohen et al. (2019)
<i>Oryza sativa</i> L. spp. <i>indica</i> cv. 'Pathumthani 1'	Aplicação foliar	15 mg.L ⁻¹	Proteção contra o estresse salino por produção de enzimas de glioxalase e redução na acumulação de MG (metilglioxal) e oxidação de proteínas.	Khunpon et al. (2018)
<i>Zea mays</i> L.	Aplicação em sementes	0;200;300;400 mg.L ⁻¹	Aumento na produção de grãos e propriedades de raiz (tamanho, superfície-área e peso seco)	Kamran et al. (2018)
<i>Psidium guajava</i> L.	Aplicação direta em solo	0;200;400;600 mg.L ⁻¹	Aumento no número de raízes, peso seco e fresco; aumento no crescimento e estabelecimento das mudas	Qadri et al. (2018)
<i>Olea europaea</i> L.	Aplicação foliar e em solo	2,0;4,0 g a.i. por árvore; 1.000; 2.000; 3.000 ppm	Redução no crescimento, área foliar, potencial hídrico, transpiração e giberelinas; aumento na clorofila, fotossíntese, prolinas, ácido abscísico, floração e frutos	Kumar; Sharma (2018)
<i>Fraxinus</i> spp.	Aplicação direta em solo	200 ml (4 g a.i.)	Redução da área foliar e crescimento radial; aumento da proporção biomassa radicular e total	Tanis; McCullough; Cregg (2015)
<i>Curcuma alismatifolia</i> Gagnep. cv. Chiang Mai Pink	Aplicação direta em solo	1.500 ppm	Aumento da tolerância de plantas sob estresse hídrico devido a redução no teor de prolina e malondialdeído; manutenção do peso fresco e conteúdo relativo de água; aumento dos níveis de vitaminas (C e E) exibindo aumento das atividades antioxidantes	Jungklang; Saengnil; Uthaibutra (2017)

O efeito direto da aplicação de PBZ reflete em alguns benefícios para diversas cultivares, contudo, observa-se que esse fitorregulador pode influenciar também a microbiota edáfica. Relata-se inibição de crescimento para bactérias, actinomicetos e fungos com inibição da atividade da desidrogenase quando em presença de PBZ, independentemente do tempo ou dosagem (SILVA; VIEIRA; NICOLLELA, 2003). Esta inibição no crescimento microbiano pode ser detectada em curto prazo na redução na respiração do solo e da biomassa microbiana (GONÇALVES et al., 2009), principalmente quando as doses de PBZ são superiores a 0,75 g a.i., refletindo também no quociente metabólico (OLIVEIRA et al., 2017).

Como supramencionado, o paclobutrazol pode ser aplicado via foliar e diretamente no solo ocasionando a permanência desse composto no meio edáfico. Em solo, quanto maior a dosagem, conseqüentemente maior será a concentração residual que permanecerá no ambiente edáfico (SING; BHATTACHERJEE, 2005). Ressalta-se ainda que o PBZ demonstra resistência à degradação por microrganismos edáficos, fato que aumenta sua capacidade de persistência em solo (JACKSON; LINE; HASAN. 1996).

Alguns trabalhos apontam uma meia-vida de 95 dias do PBZ, com degradação lenta, demonstrando que comunidades bacterianas utilizam o PBZ como fonte de carbono e energia, atuando na degradação deste produto (SILVA; FAY; VIEIRA, 2003). Posteriormente, Chen et al. (2010) demonstraram que a degradação do PBZ é mais eficiente utilizando o consórcio de bactérias, com predominância de *Pseudomonas* spp., do que a aplicação isolada desta espécie, alcançando 100% de degradação do PBZ em 36 horas. Buscando isolados bacterianos eficientes, Vaz et al. (2012) demonstraram, em condições de laboratório, que a utilização de isolados de *Pseudomonas* spp. na degradação do paclobutrazol resultava em 43% de biodegradação em 14 dias aumentando para 70% em 28 dias quando o glicerol foi adicionado ao meio, evidenciando que a adição de mais uma fonte de carbono pode ser um coadjuvante na degradação do PBZ.

Outro aspecto que deve ser considerado na persistência do PBZ no solo está relacionado ao tipo de solo, espécie ou variedade cultivada e as condições climáticas. Na região do Vale do São Francisco, grandes quantidades de PBZ são aplicadas no cultivo de manga da variedade Kent, detectando-se este fitorregulador após 150 dias de aplicação e em híbridos de manga este produto pode ser detectado mesmo após 300 dias da aplicação e somente após 700 dias algumas amostras não apresentaram concentração no solo suficiente para detecção (SILVA et al, 2017).

Deve ser salientado que a detecção do PBZ no solo pode variar em decorrência da interação deste fitorregulador com a matéria orgânica do solo, influenciado pelo tipo de solo, que trazem modificações na cinética de sorção (MILFONT et al., 2007). Estes autores demonstraram que em Argissolo amarelo o PBZ tem maior sorção por interagir com a matéria orgânica e óxido de ferro no solo.

2.3.1 Paclobutrazol e a microbiota edáfica

A relação entre fitorreguladores e a sua atuação na microbiota edáfica, em especial aos FMA, apresenta uma limitação em trabalhos que relatem as influências diretas e indiretas nesse importante grupo de micro-organismo. Um dos primeiros trabalhos que introduziram essa relação foi o de Michelini, Chinnery e Thomas (1988) em *Citrus macrophylla* Wester que relatam aumento na quantidade de vesículas, crescimento de hifa, “infecção micorrízica” e colonização em maior dosagem de PBZ ($1,0 \text{ g.i.a.m}^{-1}$). Outros trabalhos apontaram que a utilização de PBZ não interferia na colonização micorrízica quando aplicada diretamente no solo em área com árvores de carvalho-branco (WATSON, 2006) e em *Arbutus unedo* L. inoculada com fungo micorrízico arbutoide *Pisolithus tinctorius* [= *Pisolithus arhizus* (Scop.) Rauschert] (NAVARRO et al., 2009). Entretanto, relata-se efeito negativo do PBZ em fungos micorrízicos orquidoides afetando seu crescimento em *Microtis media* R. Br. e *Pterostylis sanguinea* D.L. Jones & M.A. Clem. (HOLLICK et al., 2002). Em relação aos fungos totais do solo, foi observada redução gradual do número de unidades formadoras de colônias (UFC) na presença de PBZ, principalmente nas dosagens maiores que $0,75 \text{ g.i.a.m}^{-1}$ (OLIVEIRA et al., 2017).

Embora poucos trabalhos apresentem uma resposta acerca da influência direta de fitorreguladores como o PBZ, é possível que este composto interfira na comunidade microbiana, visto que relatos demonstram que sua permanência no solo pode se estender por mais de 300 dias (meia-vida de 41,5 a 43 dias) após a aplicação inicial (BHATTACHERJEE; SINGH, 2015), decorrente de sua degradação lenta (JIANG et al., 2019). O PBZ pode ainda translocar para todas as partes da planta, com maior dosagem retida no caule e uma parte nas raízes e folhas, sendo essa última em menor concentração; ou pode ser lixiviada com a irrigação podendo contaminar outros locais (OCHOA REGO et al., 2009). Essa lixiviação, mesmo que

pequena (pouca mobilidade), pode ser responsável pelo transporte de PBZ para zonas mais profundas do solo (COSTA; TORNISIELO; REGITANO, 2008).

A permanência e translocação do PBZ claramente influenciam de forma categórica a permanência e a composição de micro-organismos no solo, *i.e.* impactam diretamente na composição da comunidade bacteriana (KUO et al., 2019) e outros micro-organismos presentes no solo (fungos e actinomicetos) (SUBBAIAH et al., 2018). Ademais, o PBZ é lentamente metabolizado por bactérias presentes no solo, mesmo àquelas adaptadas a presença do composto, apresentando meia vida de 95 dias em solo (SILVA; FAY; VIEIRA, 2003). Por outro lado, há trabalhos que mencionam o aumento nas comunidades bacterianas em solos suplementados com diferentes doses de PBZ, demonstrando uma possível adaptação de espécies degradadoras do composto, resultando em aumento do quociente metabólico de CO₂ visando a manutenção celular (OLIVEIRA et al., 2017). Recentemente, Eid et al. (2019) demonstraram que a inoculação conjunta de PBZ e FMA pode aumentar a tolerância de *Helianthus tuberosus* ao ataque de *Sclerotium rolfsii* (fungo fitopatogênico), induzindo a resistência da planta.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Para testar as hipóteses apresentadas, foram realizados dois trabalhos, que serão descritos nos itens 4.1 e 4.2. A quantificação de glomerosporos e identificação dos taxa foram realizadas nas duas partes do presente trabalho fazendo-se necessário a descrição única dos métodos para as duas partes do trabalho.

3.1 QUANTIFICAÇÃO DE GLOMEROSPOROS E IDENTIFICAÇÃO DE TÁXONS

Alíquotas de 50 g de solo, previamente homogeneizadas para uma melhor amostragem, foram utilizadas para extração de glomerosporos por meio da técnica de peneiramento úmido seguido de centrifugação em água (GERDEMANN; NICOLSON, 1963) e sacarose a 50% (JENKINS, 1964 – com modificações). Os glomerosporos foram quantificados com o auxílio de estereomicroscópio. Após a quantificação, os glomerosporos foram separados por morfotipos e montados em lâminas com PVLG (álcool polivinílico em lactoglicerol) e com PVLG + reagente de *Melzer* (1:1 v/v). Para identificação dos glomerosporos ao nível de espécie, as lâminas foram analisadas ao microscópio óptico sendo observadas as características morfológicas dos glomerosporos (cor, tamanho, número, espessura e tipo de paredes, estruturas de germinação, entre outras). Para auxiliar na identificação foram utilizados manuais de identificação (SCHENCK; PÉREZ, 1990; BLASZKOWSKI, 2012); chaves de identificação (LIN; SILVA; OEHL, 2019) e publicações recentes de descrição das espécies. A classificação adotada neste trabalho foi a proposta de Oehl et al. (2011) que foi resumida recentemente em Baltruschat et al. (2019) e com atualizações de novas famílias e gêneros (BLASZKOWSKI et al., 2017; BLASZKOWSKI et al., 2018; BLASZKOWSKI et al., 2019; CORAZON-GUIVIN et al. 2019; JOBIM et al. 2019; MARINHO et al., 2014; OEHL et al., 2014; SIEVERDING et al., 2014; SYMANCZIK et al. 2018; WIJAYAWARDENE et al., 2020).

3.2 IMPLICAÇÕES DA UTILIZAÇÃO DE DOSES CRESCENTES DE PACLOBUTRAZOL NAS COMUNIDADES DE FMA EM ÁREA DE CULTIVO DE MANGA (PETROLINA-PE)

3.2.1 Local de estudo

As coletas das amostras de solo foram realizadas por dois ciclos de produção em pomar de mangueiras cultivar Palmer, na Fazenda Special Fruit, no Município de Petrolina-PE, (09° 08' 08,9" S; 40° 18' 33,6 O) a 373 m de altitude. De acordo com a classificação climática de Köppen, o clima é classificado como semiárido do tipo BSh'. As coletas foram realizadas em dezembro de 2015 (1º ciclo de produção) e fevereiro de 2017 (2º ciclo de produção), com registro de temperatura média, precipitação e umidade relativa apresentada na Tabela 4. Além dessas duas coletas, uma outra foi realizada previamente ao estabelecimento dos ciclos de produção para uma amostragem geral da área antes da suplementação com PBZ.

Tabela 4 – Temperatura, precipitação e umidade relativa do ar nos períodos de coleta das amostras de solo.

Período	Temperatura média (°C)	Umidade relativa (%)	Precipitação (mm)
1º ciclo de produção	29,3	46,2	14,3
2º ciclo de produção	28,3	48,9	85,3

3.2.2 Descrição da área e delineamento experimental

As plantas de mangueira da cv. Palmer, com quatro anos de idade, vinham sendo cultivadas em espaçamento de 6 x 3 m, com diâmetro médio da copa de 2 m. A irrigação da área foi realizada por microaspersores no pé da planta, calculada a partir dos valores de evapotranspiração da cultura (ETc), que foi obtida a partir da evapotranspiração de referência (ETo) fornecida por uma estação meteorológica instalada próxima à área experimental, utilizando o modelo de Penman-Monteith.

As plantas foram podadas e, depois da emissão de dois fluxos vegetativos, a aplicação do PBZ foi feita na forma e doses previstas nos tratamentos. A aplicação do PBZ foi realizada em outubro de 2015 (1º ciclo) e outubro de 2016 (2º ciclo), mantendo-se o sistema de irrigação de forma a atender a demanda de evapotranspiração da cultura do dia e auxiliar na distribuição do produto no perfil do solo em que o sistema radicular se encontrava.

O delineamento experimental foi em blocos casualizados em arranjo fatorial com sete tratamentos [i. Controle - sem aplicação de PBZ (**T0**), aplicação convencional de 1,0 g.i.a.m⁻¹ (grama do ingrediente ativo por metro linear de copa da planta) paclobutrazol, sendo a dose recomendada de aplicação - **TC**, aplicação por microaspersão de paclobutrazol (0,3 g.i.a.m⁻¹ – **T1**; 0,4 g.i.a.m⁻¹ – **T2**; 0,6 g.i.a.m⁻¹ – **T3**; 0,8 g.i.a.m⁻¹ – **T4** e 1,0 g.i.a.m⁻¹ - **T5**] x dois ciclos de produção (1º e 2º ciclo), em quatro repetições.

3.2.3 Amostragem

As coletas das amostras de solo foram realizadas na região da rizosfera de *M. indica* a uma profundidade de 0 a 20 cm, em cada um dos tratamentos nos respectivos blocos experimentais, totalizando 28 amostras compostas (constituída por quatro subamostras) por ciclo de produção, sendo 56 amostras totais para os dois ciclos de produção. As amostras (~2 Kg de solo) foram acondicionadas em sacos plásticos e levadas para o Laboratório de Microbiologia da Universidade Federal do Vale do São Francisco (Univasf) – *Campus* Ciências Agrárias para quantificação dos glomerosporos e identificação dos morfotipos ao nível de espécie.

3.2.4 Análise de dados

As médias foram submetidas à análise de variância e quando significativas foram comparadas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$), utilizando-se os pacotes *gsheet* e *Expdes.pt*; para a montagem dos boxplots (*ggplot2* e *RColorBrewer*) e para a obtenção das letras indicativas de diferença estatística (*multcomp*). Os dados ecológicos calculados foram riqueza, diversidade de Shannon, equabilidade de Pielou e dominância de Simpson utilizando o pacote *vegan*. Para espécie indicadora foram utilizados os pacotes *indicspecies*. A curva de acumulação de espécies foi feita pelo pacote *vegan*, *iNEXT* e *ggplot2*. A PERMANOVA foi realizada para determinar a influência das doses e do tempo na composição das comunidades de FMA usando a função *adonis* e NMDS (escalonamento multidimensional não-métrico) foi feita para mostrar dissimilaridades na composição e estruturação das comunidades de FMA baseando-se na distância de Bray-Curtis (pacote *vegan*). Todas as análises acima foram feitas pelo programa Rstudio.

3.3 DIFERENTES TEMPOS DE APLICAÇÃO DE PBZ INFLUENCIAM NA DIVERSIDADE FUNCIONAL DE FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES?

3.3.1 Coleta das amostras de solo

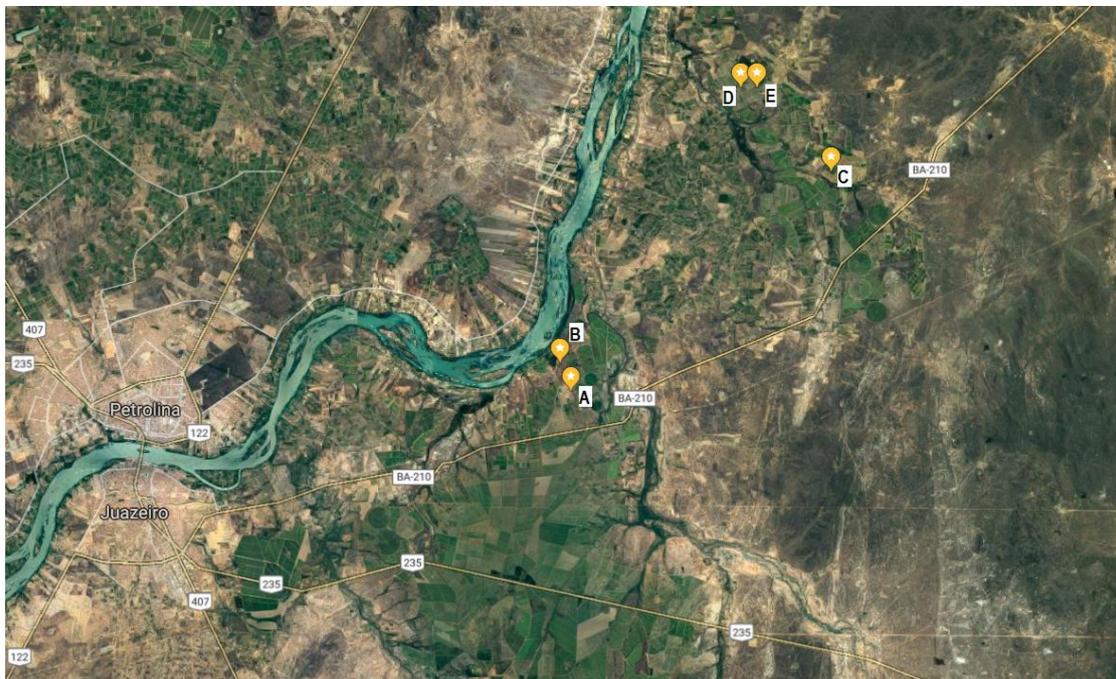
A coleta das amostras de solo foram realizadas em áreas pertencente ao grupo EBRAZ Brazil, localizadas no município de Juazeiro-BA (Figura 2), a 356 m de altitude, com clima caracterizado como BSh, de acordo com Köppen, apresentando temperatura média de 27 °C, umidade em torno de 50% e pluviosidade média de 347,9 mm, considerando os dados dos últimos 10 anos, concentrada nos meses de novembro a abril.

A caracterização das áreas, onde as amostras de solo utilizadas no experimento foram coletadas, é apresentada na Tabela 5.

Tabela 5 – Caracterização das áreas de coletas de amostras de solo utilizado como solo-inóculo no experimento com girassol (*H. annuus*) em casa de vegetação.

Tratamento	Descrição	Coordenadas	Idade da planta	Tempo de aplicação de PBZ	Classe de solo
CA	Área com vegetação de Caatinga nativa, adjacente à área de cultivo de manga	S 09° 22' 19,9" W 040° 20' 03,8"	Não se aplica	Sem aplicação de PBZ	Planossolo
TC	Cultivo de manga (<i>M. indica</i> cv. Osteen) irrigado	S 09° 23' 01,2" W 040° 19' 47,1"	18 meses	Sem aplicação de PBZ	Planossolo
T3	Cultivo de manga (<i>M. indica</i> cv. Osteen) irrigado	09° 17' 38,8" W 040° 13' 19,3"	72 meses	três anos de aplicação de PBZ	-
T9	Cultivo de manga (<i>M. indica</i> cv. Osteen) irrigado	S 09° 15' 37,1" W 040° 15' 32,4"	12 anos	Nove anos de aplicação de PBZ	-
T15	Cultivo de manga (<i>M. indica</i> cv. Osteen) irrigado	S 09° 15' 37,0" W 040° 15' 08,5"	18 anos	15 anos de aplicação de PBZ	-

Figura 2 – Área de coleta das amostras de solo em áreas com vegetação nativa de Caatinga (B), cultivo de mangueira sem aplicação de PBZ (A) e com aplicação de PBZ por três (C), nove (D) e 15 (E) anos em Juazeiro-BA.



Fonte: Google Maps (2018)

Em cada área com plantio de *M. indica* cv. Osteen foram selecionadas dez plantas aleatoriamente; em cada planta, coletou-se solo em quatro pontos equidistantes, a uma profundidade de 0-20 cm, formando uma amostra composta (quatro subamostras). Na área de Caatinga (CA), foram selecionadas dez plantas aleatoriamente e os solos foram coletados obedecendo ao mesmo padrão adotado para a área com *M. indica* (quatro subamostras por planta). Foram coletadas dez amostras por área, totalizando 50 amostras compostas de solo para montagem do experimento.

3.3.2 Caracterização química e granulométrica do solo

Amostras de solo (500 g) homogeneizadas por tratamento foram separadas e enviadas ao Laboratório de Análises de Solo e Planta (LASP), em Petrolina -PE, para caracterização química; a análise granulométrica foi realizada no Laboratório de Solos da Universidade Federal do Vale do São Francisco (Univasf). A caracterização química e granulométrica é apresentada na Tabela 6.

Tabela 6 – Análise química e granulométrica das amostras de solo utilizadas no experimento com girassol (*Helianthus annuus*) em casa de vegetação.

Atributos do solo	Unidade	Tratamentos				
		CA	TC	T3	T9	T15
Matéria orgânica	g/Kg	17,5	7,6	9,9	13,9	16
C	g/Kg	10,1	4,4	5,8	8	9,3
P	mg/dm ³	18,4	64,2	221,6	16,9	66,3
K	cmolc/dm ³	0,58	0,79	0,77	0,47	0,47
Ca	cmolc/dm ³	5,5	5,1	4,80	5,30	6,20
Mg	cmolc/dm ³	2,5	1,6	1,80	1,70	1,60
Na	cmolc/dm ³	0,35	0,24	0,17	0,09	0,11
S	cmolc/dm ³	8,93	7,73	7,54	7,56	8,39
H + Al	cmolc/dm ³	4,64	0	1,60	1,44	0
CTC	cmolc/dm ³	13,57	7,73	9,14	9	8,39
V	%	66	100	82	84	100
Cu	mg/dm ³	0,8	2,3	0,9	1,6	0,8
Fe	mg/dm ³	91,1	62,0	46	30,5	16,7
Mn	mg/dm ³	50,0	24,0	60,8	46,8	59,7
Zn	mg/dm ³	2,0	14,6	22,2	25,7	40,3
B	mg/dm ³	NS	NS	NS	NS	NS
S	mg/dm ³	NS	NS	NS	NS	NS
pH*	-	5,3	7,4	6,6	6,8	7,0
CE	-	1,60	1,50	3,10	1,20	1,70
Areia	%	34	75,6	60,1	77,3	53,2
Silte	%	60,1	3,7	18,5	4,4	39,9
Argila	%	5,9	24,4	21,4	18,3	6,9
Classificação		Franco siltosa	Areia franca	Franco arenosa	Areia franca	Franco arenosa

*1:2,5 (H₂O); Tratamentos: solo-inóculo oriundo de áreas com vegetação nativa da Caatinga (CA), áreas com plantio de mangueira sem aplicação de PBZ (TC), e com aplicação de PBZ por três anos (T3), nove anos (T9) e 15 anos (T15).

3.3.3 Montagem do experimento

O solo-inóculo proveniente de cada tratamentos foi homogeneizado para padronizar as características físicas, químicas e biológicas do solo. Foram utilizados três litros de solo homogeneizado de cada tratamento por vaso. O experimento foi realizado em casa de vegetação na Universidade Federal do Vale do São Francisco – Univasf, *Campus Ciências Agrárias*, utilizando a variedade Girassol Dobrado Anão *Sungold Amarelo* (*H. annuus*). As sementes de girassol foram lavadas com água destilada e deixadas em solução de hipoclorito de sódio a 1% por 15 minutos com subsequente lavagem com água destilada e secagem em papel toalha. As

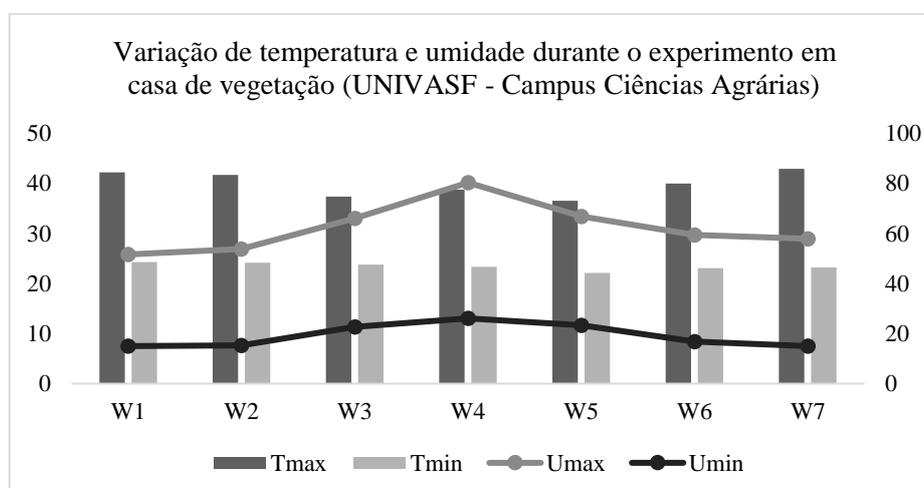
sementes devidamente desinfestadas foram alocadas em recipientes contendo areia previamente desinfestadas para germinação e quando alcançaram a fase vegetativa V2 (com um par de folhas definitivas) foram transplantadas para os vasos contendo solo-inóculo dos respectivos tratamentos. A areia utilizada para a germinação das sementes foi desinfestada com hipoclorito de sódio (0,05%, por 24h), lavada com água corrente por várias vezes e seguida de secagem em estufa de circulação forçada a 105 °C.

3.3.4 Delineamento experimental

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado com cinco tratamentos de solo-inóculo - Caatinga, TC (solo-inóculo sem aplicação de PBZ), T3 (solo-inóculo com três anos de aplicação de PBZ), T9 (solo-inóculo com nove anos de aplicação de PBZ) e T15 (solo-inóculo com 15 anos de aplicação de PBZ), em 10 repetições, totalizando 50 unidades experimentais.

As plantas eram irrigadas de forma a manter a capacidade do vaso em 70 a 80%, aferida por meio de pesagem dos vasos para reposição da umidade perdida por evapotranspiração. Variação diária de temperatura e umidade da casa de vegetação foi mensurada utilizando um Termo-Higrômetro digital instalado nas dependências da casa de vegetação, com leitura semanal durante o período do experimento (60 dias) (Figura 3).

Figura 3 – Variação de temperatura e umidade relativa do ar semanal durante o experimento com *Helianthus annuus* em casa de vegetação.



3.3.5 Índices agronômicos

Quinzenalmente foram quantificados a altura da planta, número de folhas, diâmetro do caule, diâmetro do capítulo, número de capítulos por planta, e teor de clorofila total, a e b. Ao final do experimento, quando as plantas alcançaram o estágio R5.5 (com 50% das flores do capítulo aberta sendo considerada a floração plena) foram avaliados a área foliar, biomassa seca e fresca da parte aérea e radicular.

A altura da planta foi medida com auxílio de régua graduada tomando-se como referência a distância entre o substrato e a inserção do capítulo. O diâmetro de caule e capítulo foram medidos com o auxílio de um paquímetro digital. A área foliar das folhas recém-retiradas do girassol foram fotografadas a uma distância fixa tendo como fundo papel branco e uma escala conhecida de 5 cm para utilização do cálculo no programa ImageJ. Diâmetro do caule e do capítulo foi mensurado com o auxílio de um paquímetro digital. A parte aérea foi separada da radicular, colocadas em sacos de papel devidamente identificados, pesadas e colocadas em estufa com circulação forçada de ar a 60 °C por 72 horas ou até o peso constante. Após isso, pesou-se novamente para a obtenção da biomassa seca da parte aérea e radicular. O teor de clorofila total, a e b foram quantificados *in vivo* com auxílio do medidor eletrônico de clorofila clorofiLOG.

3.3.6 Número mais provável (NMP) de propágulos infectivos de FMA

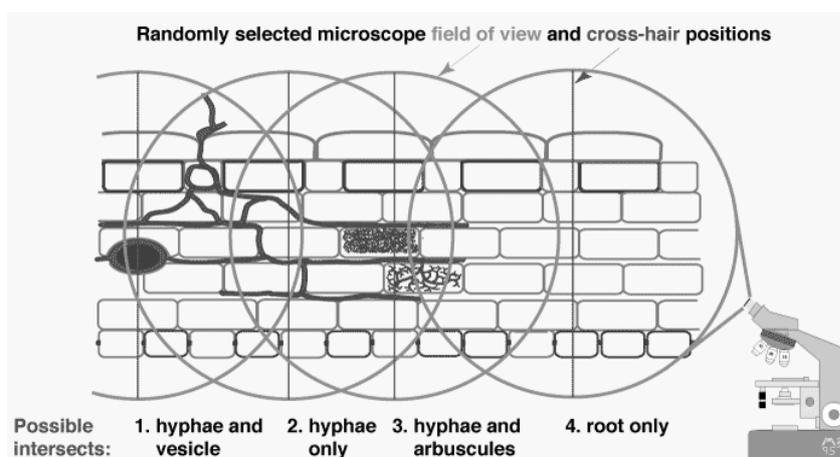
A quantificação de propágulos infectivos de FMA foi realizada antes e depois da montagem do experimento em casa de vegetação com *H. annuus* de acordo com a metodologia proposta por Feldmann e Idczak (1992). Amostras de solo provenientes dos cinco tratamentos foram homogeneizadas para a realização da diluição seriada em areia lavada, desinfestada em hipoclorito de sódio e esterilizada em estufa a 105 °C. O solo não diluído ou diluído nas proporções 1:10, 1:100 e 1:1000 foi colocado em potes, e utilizou-se o milho (*Zea mays* L.) como fotobionte, com cinco repetições por diluição. Após 30 dias em casa de vegetação, as plantas foram colhidas e a parte radicular separada para processamento e detecção da presença de estruturas típicas da colonização radicular. Para coloração, as raízes frescas de *Z. mays* foram devidamente lavadas em água corrente, diafanizadas com KOH 10%, acidificadas com HCl 1% e coradas com solução de azul de *Trypan* (0,05%) em lactoglicerol, conforme metodologia

proposta por Phillips e Hayman (1970). Após a coloração, as raízes foram visualizadas em estereomicroscópio em busca de hifas e vesículas. Para obtenção do número mais provável de propágulos infectivos de FMA por cm^{-3} de solo utilizou-se a tabela de Cochran. O NMP do solo de campo foi feito apenas de uma amostra composta por tratamento por se tratar de um solo homogêneo; entretanto, após o experimento, o NMP foi realizado em triplicata para melhor amostragem dos propágulos infectivos após a condição em microcosmo com girassol.

3.3.7 Coloração de raízes e colonização micorrízica

Para avaliação da colonização micorrízica foram separadas 0,5 g de raiz. Após a separação, as raízes frescas de cada tratamento foram devidamente lavadas em água corrente, diafanizadas com KOH 10%, acidificadas com HCl 1% e coradas com solução de azul de *Trypan* (0,05%) em lactoglicerol, conforme metodologia proposta por Phillips e Hayman (1970). A quantificação das estruturas micorrízicas (arbúsculos, hifas e vesículas) foi realizada de acordo com a metodologia proposta por McGonigle et al. (1990) – com modificações, com observação de 250 campos distribuídos regularmente em 18 fragmentos de raiz (4 cm de comprimento), totalizando três lâminas por repetição. A quantificação foi feita observando ao centro do campo a presença de arbúsculos, hifas e vesículas, ou ausência de qualquer uma das estruturas, sendo marcada como ausência de colonização (Figura 4). Os dados obtidos foram apresentados em porcentagem de colonização por hifas, vesículas, arbúsculos e colonização total.

Figura 4 – Esquema da quantificação das estruturas observadas nos campos para análise da colonização micorrízica proposta por McGonigle et al. (1990).



Fonte: Brundrett et al. (1996)

3.3.8 Análise de dados

As médias foram submetidas à análise de variância e quando significativas foram comparadas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$), utilizando-se os pacotes *gsheet* e *Expdes.pt*; para a montagem dos boxplots (*ggplot2* e *RColorBrewer*) e para a obtenção das letras indicativas de diferença estatística (*multcomp*). Os dados ecológicos calculados foram riqueza, diversidade de Shannon, equabilidade de Pielou e dominância de Simpson utilizando os pacotes *vegan*. Para espécie indicadora foram utilizados os pacotes *indicspecies*. A curva de acumulação de espécies foi feita pelo pacote *vegan*, *iNEXT* e *ggplot2*. A PERMANOVA foi realizada para determinar a influência das doses e do tempo na composição das comunidades de FMA usando a função *adonis* e NMDS (escalonamento multidimensional não-métrico) foi feita para mostrar dissimilaridades na composição e estruturação das comunidades de FMA baseando-se na distância de Bray-Curtis (pacote *vegan*). Todas as análises acima foram feitas pelo programa Rstudio.

Foi feita a correlação de *Pearson* para correlacionar as variáveis colonização e abundância de glomerosporos com as variáveis de crescimento do girassol utilizando o pacote *corrplot*. Todas as análises estatísticas foram feitas pelo R Core Team, e quando necessário, os dados foram transformados em boxcox com os pacotes *fpp*, *car* e *nortest*. O teste de Mantel foi realizado para testar possíveis correlações entre as matrizes (comunidade de FMA e atributos

químicos do solo) utilizando o pacote *vegan*. Os diagramas de Venn foram montados pelo <
<http://bioinformatics.psb.ugent.be/webtools/Venn/>>.

4 RESULTADOS

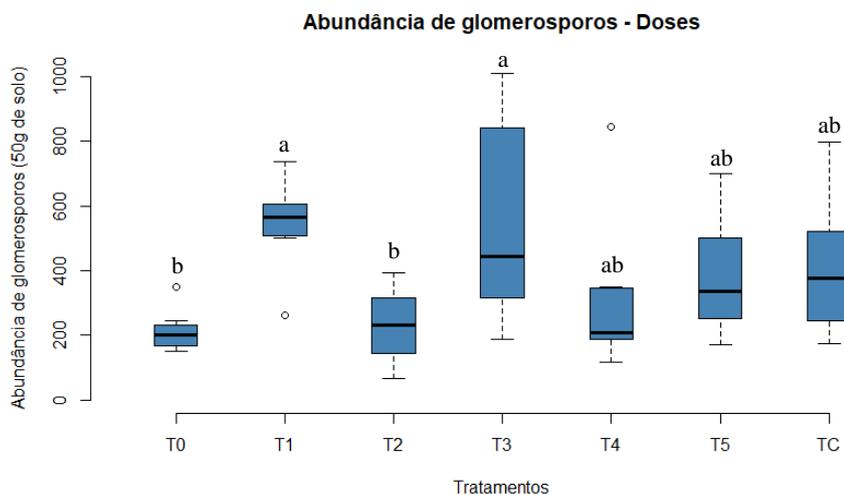
4.1 IMPLICAÇÕES DA UTILIZAÇÃO DE DOSES CRESCENTES DE PACLOBUTRAZOL NAS COMUNIDADES DE FMA EM ÁREA DE CULTIVO DE MANGA (PETROLINA-PE)

4.1.1 Abundância de glomerosporos

Antes da aplicação do PBZ, a área apresentava uma média de 900 glomerosporos por 50 g^{-1} solo e, após a aplicação do produto, houve uma redução para aproximadamente 376 glomerosporos por 50 g^{-1} de solo em média, correspondendo a uma diminuição de cerca de 60%.

Considerando-se apenas as doses, independentemente das coletas, T1 e T3 apresentaram maior média de glomerosporos em relação aos tratamentos T0 e T2 (Figura 5; F: 4,4724; $p=0,001206$), não diferindo dos demais tratamentos. Entretanto, quando se compara a abundância de glomerosporos dentro de cada ciclo de produção, observa-se que a abundância de glomerosporos não diferiu estatisticamente entre as doses crescentes de paclobutrazol, nem no primeiro (Figura 6a; F: 2,24015; $p=0,08636$) e nem no segundo ciclo de cultivo (Figura 6b; F: 1,9976; $p=0,11929$).

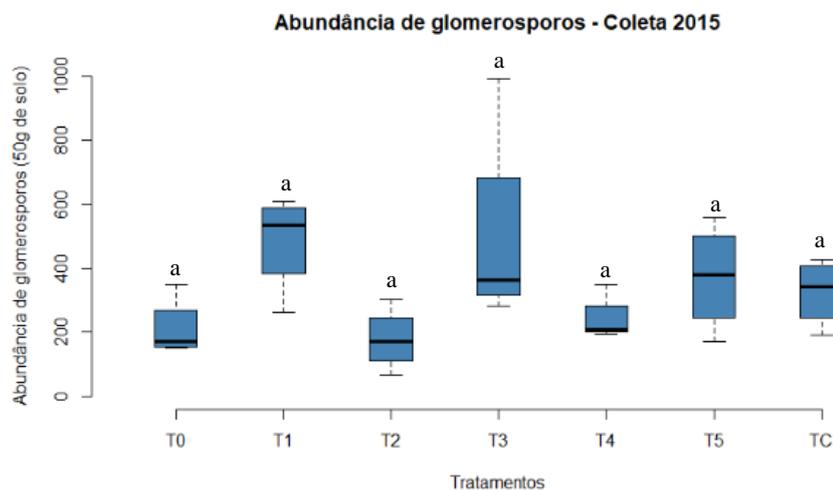
Figura 5 – Abundância de glomerosporos, independente dos tempos de coletas, em área de cultivo de manga cv. Palmer (*Mangifera indica* L.).



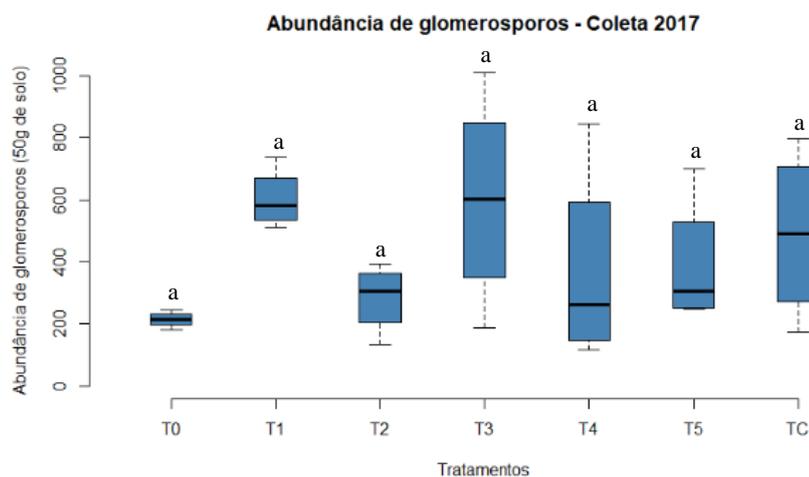
Tratamentos sem aplicação de PBZ (**T0**); com aplicação de 0,3 g.i.a.m⁻¹ (**T1**), 0,4 g.i.a.m⁻¹ (**T2**), 0,6 g.i.a.m⁻¹ (**T3**), 0,8 g.i.a.m⁻¹ (**T4**) e 1,0 g.i.a.m⁻¹ de PBZ via fertirrigação (**T5**); e tratamento com aplicação convencional (**TC**) de 1,0 g.i.a.m⁻¹ de PBZ

Figura 6 – Abundância de glomerosporos em plantio de manga cv. Palmer (*Mangifera indica* L.) no a) primeiro ciclo e b) segundo ciclo de produção.

a)



b)

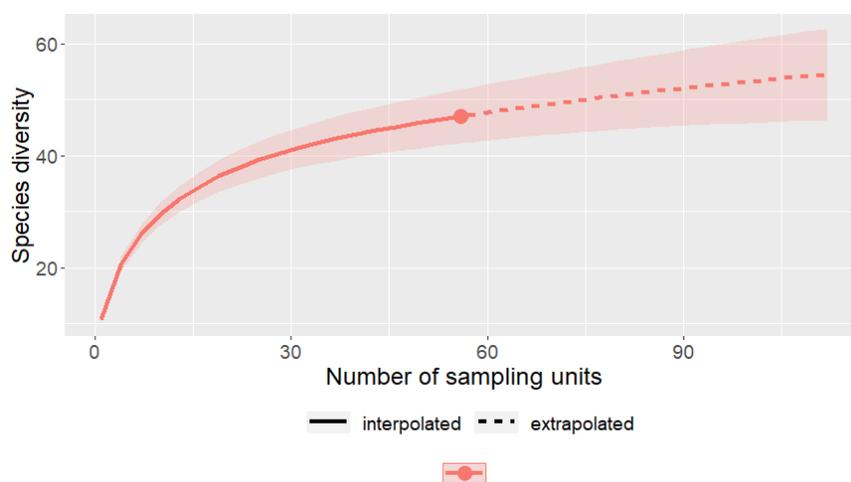


Tratamentos sem aplicação de PBZ (**T0**); com aplicação de 0,3 g.i.a.m⁻¹ (**T1**), 0,4 g.i.a.m⁻¹ (**T2**), 0,6 g.i.a.m⁻¹ (**T3**), 0,8 g.i.a.m⁻¹ (**T4**) e 1,0 g.i.a.m⁻¹ de PBZ via fertirrigação (**T5**); e tratamento com aplicação convencional (**TC**) de 1,0 g.i.a.m⁻¹ de PBZ

4.1.2 Índices ecológicos

A riqueza total da área foi de 47 espécies de FMA, no entanto, o índice de Jackknife de primeira ordem estimou 56 espécies, indicando que foi possível recuperar 83,9% das espécies esperadas para a área. A curva com a extrapolação também mostrou que para atingir o platô, ou seja, a identificação de todos os táxons esperados para a área, seriam necessários o dobro de amostras (Figura 7).

Figura 7 – Curvas de acumulação de espécies em área de cultivo de manga (cv. Palmer) manejada com paclobutrazol.



Os índices ecológicos evidenciaram que não houve diferença significativa entre as dosagens crescentes de PBZ, tanto entre os tratamentos quanto entre os ciclos de produção para os índices de diversidade de Simpson, equabilidade de Pielou e dominância de Simpson; entretanto, a riqueza e a diversidade de Shannon aumentaram no segundo ciclo de produção em comparação ao primeiro ciclo de produção (Tabela 7).

Tabela 7 – Índices ecológicos da comunidade de FMA em área de cultivo de manga cv. Palmer com doses crescentes de paclobutrazol, no primeiro (1º) e segundo (2º) ciclo de produção.

Tratamento	Riqueza		Diversidade de Shannon		Diversidade de Simpson		Dominância de Simpson		Equabilidade Pielou	
	1º	2º	1º	2º	1º	2º	1º	2º	1º	2º
T0	14,5 aB	15,7 aA	1,87 aB	2,20 aA	0,82 aA	0,96 aA	0,18 aA	0,04 aA	0,76 aA	0,90 aA
T1	12,2 aB	18,9 aA	1,85 aB	2,04 aA	0,78 aA	0,85 aA	0,22 aA	0,15 aA	0,78 aA	0,77 aA
T2	12,7 aB	19,9 aA	2,22 aB	2,36 aA	0,95 aA	0,95 aA	0,05 aA	0,05 aA	0,97 aA	0,89 aA
T3	13,0 aB	20,7 aA	1,93 aB	2,11 aA	0,87 aA	0,87 aA	0,13 aA	0,13 aA	0,82 aA	0,77 aA
T4	11,2 aB	16,7 aA	1,90 aB	2,07 aA	0,86 aA	0,86 aA	0,14 aA	0,14 aA	0,86 aA	0,83 aA
T5	12,0 aB	18,4 aA	1,83 aB	1,97 aA	0,83 aA	0,80 aA	0,17 aA	0,20 aA	0,83 aA	0,76 aA
TC	11,2 aB	18,9 aA	1,86 aB	2,34 aA	0,80 aA	0,96 aA	0,20 aA	0,04 aA	0,83 aA	0,88 aA

Médias seguidas da mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem significativamente pelo teste de Tukey 5%. Tratamentos sem aplicação de PBZ (**T0**); com aplicação de 0,3 g.i.a.m⁻¹ (**T1**), 0,4 g.i.a.m⁻¹ (**T2**), 0,6 g.i.a.m⁻¹ (**T3**), 0,8 g.i.a.m⁻¹ (**T4**) e 1,0 g.i.a.m⁻¹ de PBZ via fertirrigação (**T5**); e tratamento com aplicação convencional (**TC**) de 1,0 g.i.a.m⁻¹ de PBZ

Táxons de FMA	Inicial	T1		T2		T3		T4		T5		TC		T0	
		1°	2°	1°	2°	1°	2°	1°	2°	1°	2°	1°	2°	1°	2°
<i>Pacispora scintillans</i> (S. L. Rose & Trappe) Sieverd. & Oehl ex C. Walker, Vestberg & A. Schüßler	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,04	-
<i>Pacispora</i> sp. 1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,01	-
Gigasporales															
<i>Cetraspora gilmorei</i> (Trappe & Gerd.) Oehl, F. A. Souza & Sieverd.	-	-	0,26	-	0,61	-	0,35	-	0,04	-	0,12	-	0,19	-	-
<i>C. pellucida</i> (T. H. Nicolson & N. C. Schenck) Oehl, F. A. Souza & Sieverd.	-	-	-	0,02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Cetraspora</i> sp. 1	-	-	-	0,07	-	0,04	-	0,07	0,02	0,04	-	0,02	0,01	0,04	-
<i>Cetraspora</i> sp. 2 (cremata)	0,12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Dentiscutata cerradensis</i> Sieverd., F. A. Souza & Oehl	0,25	0,04	0,01	0,11	0,01	0,01	0,03	0,01	-	-	0,01	0,01	0,01	0,17	0,07
<i>Gigaspora albida</i> N. C. Schenck & G. S. Sm.	-	-	-	-	0,09	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>G. decipiens</i> I. R. Hall & L. K. Abbott	-	-	-	-	0,01	-	0,13	-	0,09	-	-	-	-	-	-
<i>G. gigantea</i> (T. H. Nicolson & Gerd.) Gerd. & Trappe	0,12	-	0,01	0,02	-	0,01	-	-	-	-	0,01	0,01	-	0,05	-
<i>G. margarita</i> W. N. Becker & I. R. Hall	0,04	0,02	0,01	-	0,01	-	0,01	-	0,02	-	-	-	0,02	0,02	-
<i>Gigaspora</i> sp. 1	-	-	0,02	-	-	-	0,03	-	0,01	-	0,03	-	0,01	0,01	-
<i>Scutellospora dipurpurescens</i> J. B. Morton & Koske	0,04	-	-	-	-	-	-	-	-	0,01	-	-	-	0,01	-
Glomerales															
<i>Dominikia aurea</i> (Oehl & Sieverd.) Blaszk., Chwat, G. A. Silva & Oehl	-	-	-	-	0,02	-	-	-	-	-	0,04	-	0,03	-	-
<i>Dominikia</i> sp. 1	0,04	-	-	-	-	-	-	-	-	0,01	-	0,01	-	0,01	-
<i>Funneliformis</i> sp. 1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,03	-	-	-	-
<i>Rhizoglosum aggregatum</i> N. C. Schenck & G. S. Sm.	-	-	-	-	0,10	-	0,01	-	0,01	-	0,01	-	0,01	-	-
<i>G. macrocarpum</i> Tul. & C. Tul.	1,88	0,66	7,57	0,11	7,74	0,48	9,35	0,40	7,29	0,27	9,64	0,25	3,06	0,61	2,72
<i>G. spinuliferum</i> Sieverd. & Oehl	-	0,04	0,05	-	-	-	-	-	-	-	0,01	-	-	-	-
<i>Glomus</i> sp. 1 (amarelo)	-	0,15	1,38	0,01	1,50	-	2,94	-	0,60	-	1,71	-	1,74	-	1,13
<i>Glomus</i> sp. 2 (hialino)	-	-	0,11	-	0,02	-	0,32	-	0,01	-	0,01	-	0,10	-	-

Táxons de FMA	Inicial	T1		T2		T3		T4		T5		TC		T0	
		1°	2°	1°	2°	1°	2°	1°	2°	1°	2°	1°	2°	1°	2°
<i>Glomus</i> sp. 3 (parede grossa)	0,12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,01	-	-
<i>Glomus</i> sp. 4 (buracos)	-	-	-	-	-	-	0,12	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Sclerocystis sinuosa</i> Gerd. & B. K. Bakshi	-	0,11	0,36	0,04	0,03	0,15	0,17	0,02	-	0,09	0,07	-	0,10	-	-
<i>Septoglomus</i> sp. 1	-	0,03	0,09	-	0,31	-	0,07	-	0,07	-	-	-	0,08	-	-
Paraglomerales															
<i>Paraglomus</i> sp. 1	-	-	0,03	-	-	-	0,08	-	-	-	0,01	-	-	-	-
Riqueza	17	15	21	17	25	16	23	14	20	14	22	14	21	21	12

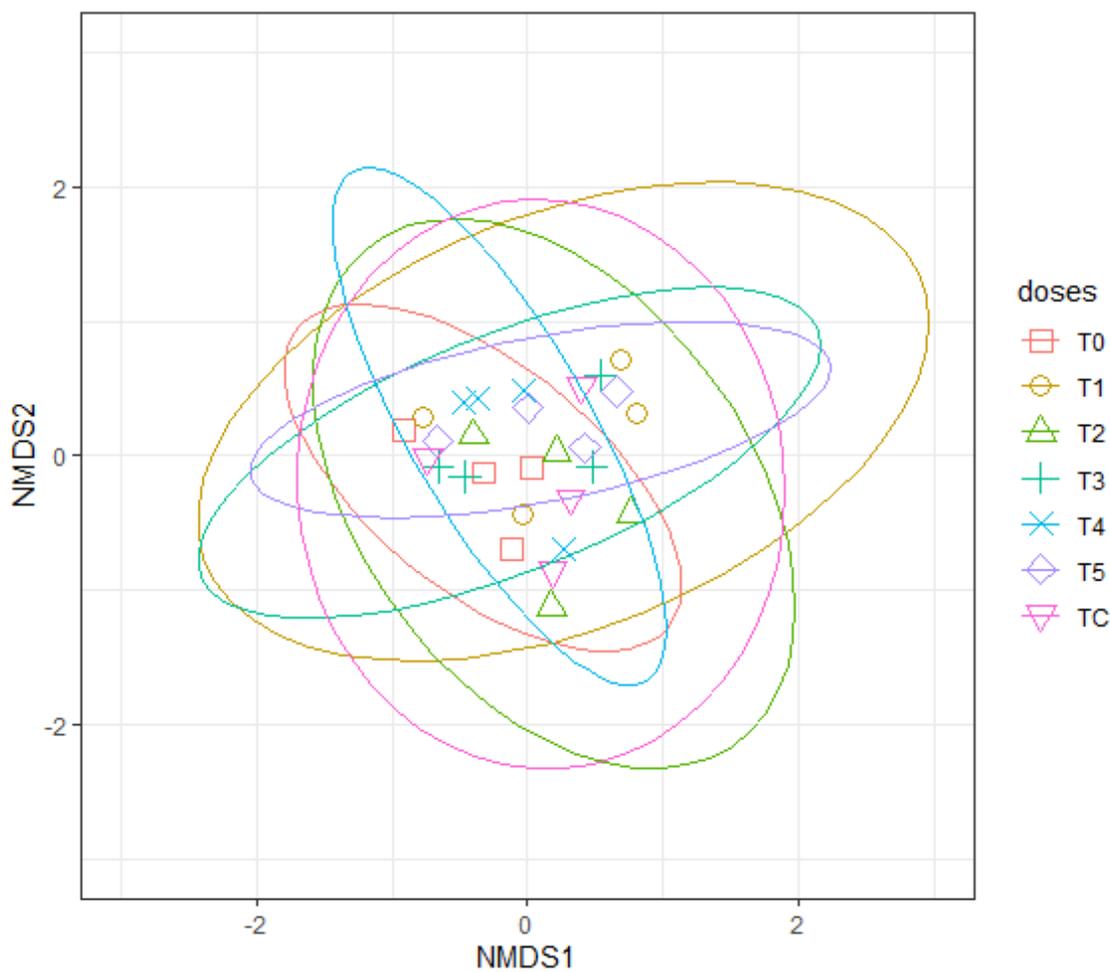
Tratamentos: **Inicial** (Amostragem inicial da área por bloco antes do estabelecimento do manejo de *M. indica* com paclobutrazol); área sem aplicação de PBZ (T0); aplicação de 0,3 g.i.a.m⁻¹ (T1), 0,4 g.i.a.m⁻¹ (T2), 0,6 g.i.a.m⁻¹ (T3), 0,8 g.i.a.m⁻¹ (T4) e 1,0 g.i.a.m⁻¹ de PBZ via fertirrigação (T5); além do tratamento com a aplicação convencional (TC) de 1,0 g.i.a.m⁻¹ de PBZ

A amostragem inicial de solo da área de mangueira cv. Palmer com quatro anos de implantação e sem aplicação de PBZ, evidenciou uma comunidade de FMA composta primordialmente por espécies do gênero *Acaulospora*, com as espécies *A. mellea*, *A. morrowiae*, *A. scrobiculata*, *A. elegans* e *A. excavata* sendo as mais abundantes (Tabela 8). Porém, a coleta realizada no primeiro ciclo de produção, após a aplicação de diferentes doses de PBZ, possibilitou observar mudanças na riqueza e abundância relativa das espécies de FMA, como por exemplo, a redução na abundância relativa das espécies *A. mellea*, *A. morrowiae* e *A. scrobiculata* (Tabela 8).

Por outro lado, ao analisar a abundância relativa de espécies no 2º ciclo de produção, verificamos aumento na riqueza de espécies de FMA e na abundância relativa de *Glomus macrocarpum* e *Glomus* sp.1; em contrapartida, a redução na abundância relativa de *A. mellea*, *A. morrowiae* e *A. scrobiculata* observada no 1º ciclo acentuou-se no 2º ciclo de produção (Tabela 8).

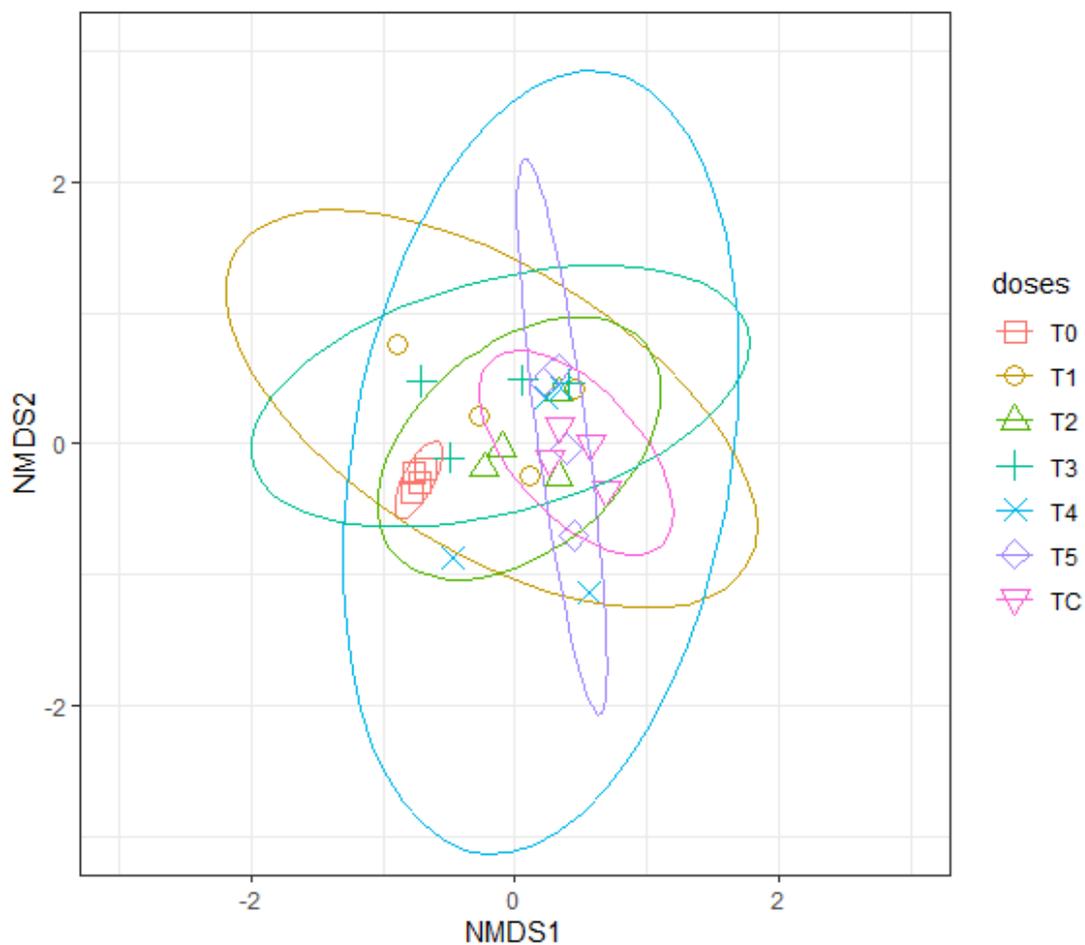
Pela análise de Permanova, as comunidades de FMA não diferiram em relação as doses de PBZ aplicadas, tanto no 1º ciclo de produção (Figura 8) (F: 0,6846; R²: 0,1636; p>0,05) quanto no 2º ciclo de produção (F: 1,433; R²: 0,1475; p>0,05) (Figura 9). Quando se analisou as comunidades de FMA, independente das doses de PBZ aplicadas ao solo, foi possível observar diferenças entre os ciclos de produção (F: 20,676; R²: 0,2768; p<0,001) (Figura 10).

Figura 8 – NMDS baseado na composição das espécies de fungos micorrízicos arbusculares em área de manga cv. Palmer no 1º ciclo de produção – Stress (13,9%).



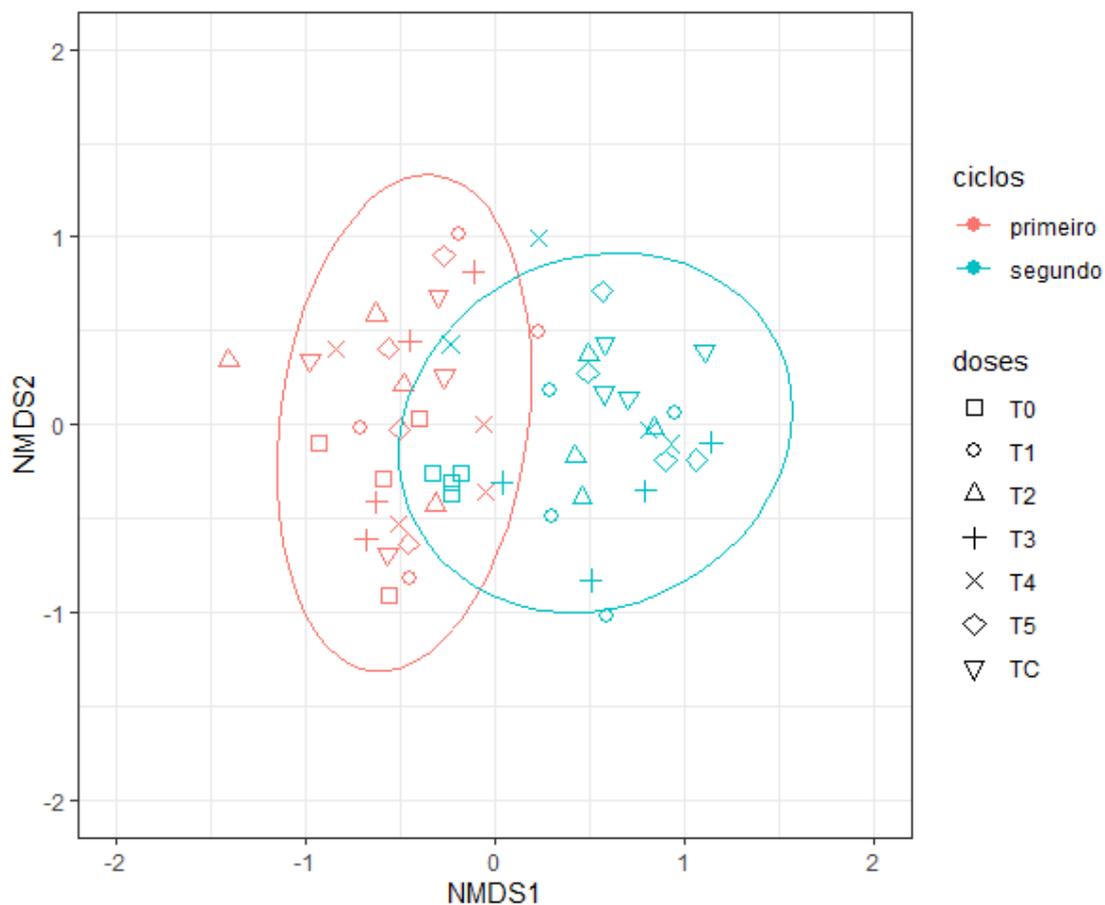
Tratamentos sem aplicação de PBZ (**T0**); com aplicação de $0,3 \text{ g.i.a.m}^{-1}$ (**T1**), $0,4 \text{ g.i.a.m}^{-1}$ (**T2**), $0,6 \text{ g.i.a.m}^{-1}$ (**T3**), $0,8 \text{ g.i.a.m}^{-1}$ (**T4**) e $1,0 \text{ g.i.a.m}^{-1}$ de PBZ via fertirrigação (**T5**); e tratamento com aplicação convencional (**TC**) de $1,0 \text{ g.i.a.m}^{-1}$ de PBZ

Figura 9 – NMDS baseado na composição das espécies de fungos micorrízicos arbusculares em área de manga cv. Palmer, no 2º ciclo de produção – Stress (12,6%).



Tratamentos sem aplicação de PBZ (**T0**); com aplicação de 0,3 g.i.a.m⁻¹ (**T1**), 0,4 g.i.a.m⁻¹ (**T2**), 0,6 g.i.a.m⁻¹ (**T3**), 0,8 g.i.a.m⁻¹ (**T4**) e 1,0 g.i.a.m⁻¹ de PBZ via fertirrigação (**T5**); e tratamento com aplicação convencional (**TC**) de 1,0 g.i.a.m⁻¹ de PBZ

Figura 10 – NMDS baseado na composição das espécies de fungos micorrízicos arbusculares nos diferentes ciclos de produção de manga cv. Palmer com aplicações crescentes de paclobutrazol (PBZ) – Stress (16,2%).



Tratamentos sem aplicação de PBZ (**T0**); com aplicação de $0,3 \text{ g.i.a.m}^{-1}$ (**T1**), $0,4 \text{ g.i.a.m}^{-1}$ (**T2**), $0,6 \text{ g.i.a.m}^{-1}$ (**T3**), $0,8 \text{ g.i.a.m}^{-1}$ (**T4**) e $1,0 \text{ g.i.a.m}^{-1}$ de PBZ via fertirrigação (**T5**); e tratamento com aplicação convencional (**TC**) de $1,0 \text{ g.i.a.m}^{-1}$ de PBZ. Primeiro ciclo de produção (primeiro) e segundo ciclo de produção (segundo)

4.2 DIFERENTES TEMPOS DE APLICAÇÃO DE PBZ INFLUENCIAM NA DIVERSIDADE FUNCIONAL DE FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES?

A caracterização do solo-inóculo inicial utilizado no experimento com girassol demonstrou que a abundância de glomerosporos entre os tratamentos diferiu (Figura 11). O solo-inóculo oriundo da área do tratamento T3, seguido do CA e TC, apresentavam maior abundância de glomerosporos. Após o experimento em microcosmo com *H. annuus* a abundância de glomerosporos se manteve entre os tratamentos, com T3 e CA apresentando maior abundância diferindo estatisticamente de TC, T9 e T15 (Figura 12).

Figura 11 – Abundância inicial de glomerosporos em solo-inóculo oriundo de áreas com vegetação nativa da Caatinga (CA), áreas com plantio de mangueira sem aplicação de PBZ (TC), e com aplicação de PBZ por três anos (T3), nove anos (T9) e 15 anos (T15).

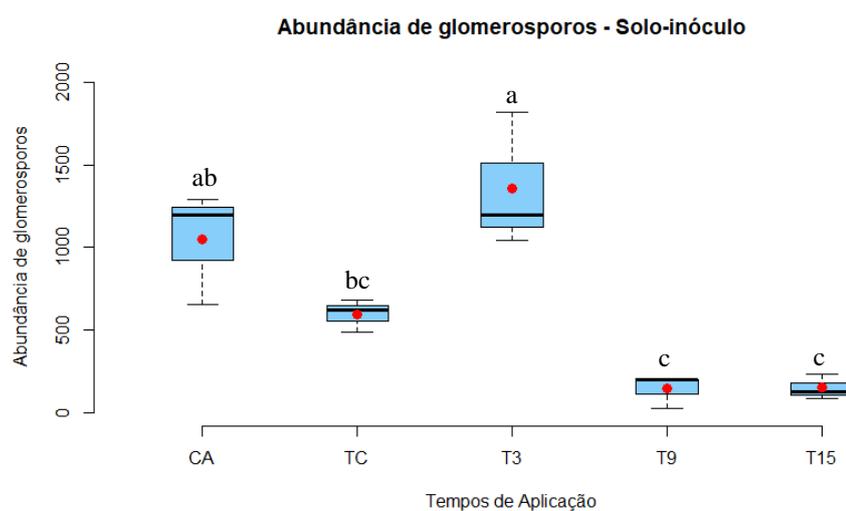


Figura 12 – Abundância de glomerosporos após o experimento em microcosmo com *H. annuus* com solo-inóculo oriundo de áreas com vegetação nativa da Caatinga (CA), áreas com plantio de mangueira sem aplicação de PBZ (TC), e com aplicação de PBZ por três anos (T3), nove anos (T9) e 15 anos (T15).

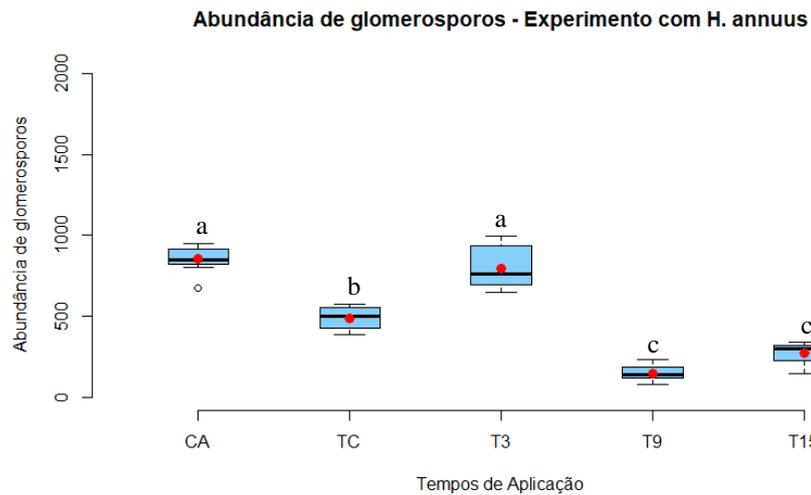


Figura 13 – Curvas de acumulação de espécies em área de cultivo de manga (cv. Osteen) manejada com paclobutrazol.

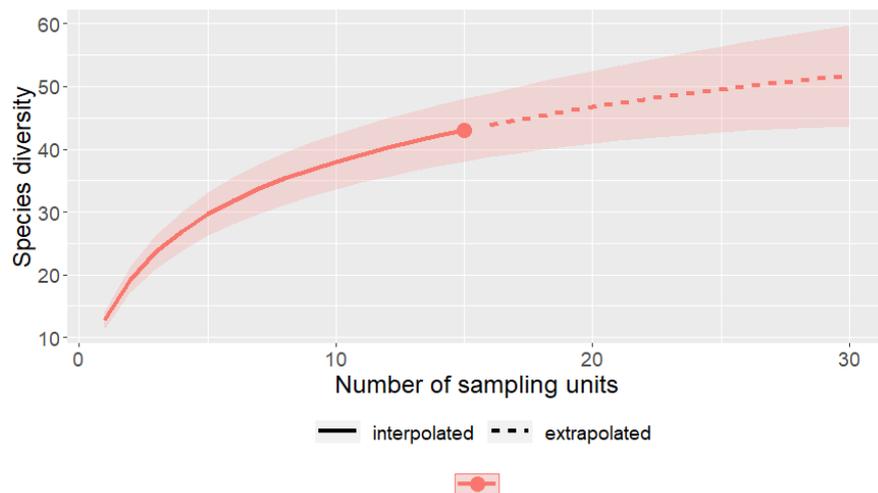
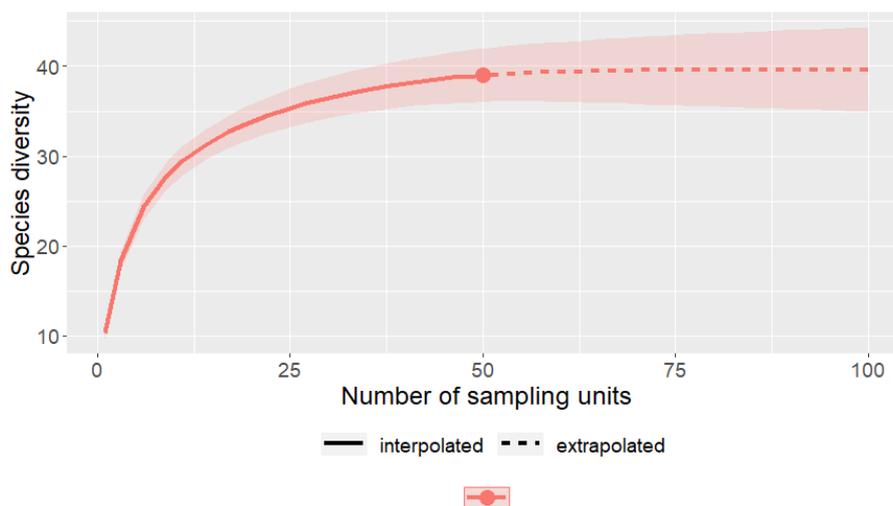


Figura 14 – Curvas de acumulação de espécies em rizosfera de *H. annuus* com solo-inóculo oriundo de área de cultivo de manga (cv. Osteen) manejada com paclobutrazol em diferentes tempos de aplicação.



A curva de acumulação de espécies mostrou que para o solo-inóculo a riqueza esperada de acordo com o estimador Jackknife de primeira ordem era de 55,13 espécies, com 43 espécies amostradas no solo-inóculo (78% aproximadamente), fazendo-se necessário dobrar a amostragem para obtenção da riqueza total esperada (Figura 13). Para o solo após o experimento com *H. annuus*, o esperado seria amostrar cerca de 41,94 espécies de acordo com o mesmo estimador, com obtenção de 39 espécies. A quase estabilização da curva após o experimento evidencia que a quantidade de amostras foi suficiente para recuperar aproximadamente 93% das espécies esperadas para o experimento (Figura 14).

Os índices ecológicos evidenciaram que inicialmente o solo-inóculo proveniente das áreas TC e T3 apresentavam maior riqueza e diversidade de Shannon e menores valores de dominância de Simpson de espécies de FMA (Tabela 9). Ao contrário, o solo-inóculo de área de Caatinga apresentou menor diversidade com maior dominância de espécies. Em relação a riqueza de espécies de FMA, menores valores foram encontrados nos tratamentos T9, Caatinga e T15. Por outro lado, a distribuição de espécies de FMA foi uniforme nos diferentes tratamentos, não sendo observada diferença estatística da equabilidade de Pielou (Tabela 9).

Tabela 9 – Índices ecológicos do solo-inóculo inicial utilizado no experimento com *Helianthus annuus* em microcosmo.

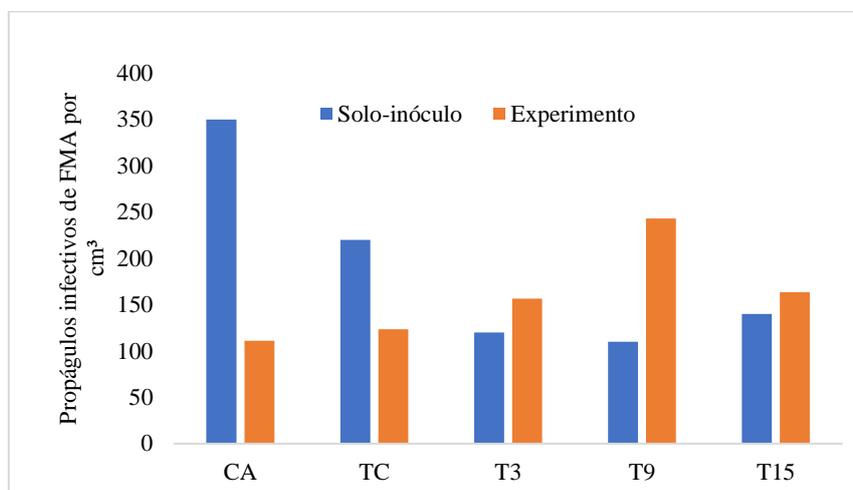
Tratamentos	Diversidade de Shannon	Diversidade de Simpson	Dominância de Simpson	Equabilidade de Pielou	Riqueza de espécies
CA	1,33 b	0,66 b	0,34 a	0,62 a	15,4 bc
TC	2,39 a	0,98 ab	0,02 ab	0,89 a	25,1 a
T3	2,38 a	1,00 a	0 b	0,92 a	22,1 ab
T9	1,92 ab	0,86 ab	0,14 ab	0,95 a	13,7 c
T15	1,93 ab	0,83 ab	0,17 ab	0,92 a	14,4 bc

Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5%.

Tratamentos: solo-inóculo oriundo de áreas com vegetação nativa da Caatinga (CA), áreas com plantio de mangueira sem aplicação de PBZ (TC), e com aplicação de PBZ por três anos (T3), nove anos (T9) e 15 anos (T15).

O número de propágulos infectivos de FMA inicial em solo-inóculo de área de Caatinga (CA) e plantio de mangueira sem aplicação de PBZ (TC) era maior do que o observado em áreas com aplicação de PBZ (T3, T9 e T15) (Figura 12). Entretanto, ao final do experimento em microcosmo com girassol (*H. annuus*), o número de propágulos infectivos de FMA em solo-inóculo proveniente das áreas com aplicação de PBZ era superior ao observado nos tratamentos CA e TC.

Figura 15 – Número de propágulos infectivos de FMA no solo-inóculo inicial e ao final do experimento com *Helianthus annuus*. Solo-inóculo oriundo de áreas com vegetação nativa da Caatinga (CA), áreas com plantio de mangueira sem aplicação de PBZ (TC), e com aplicação de PBZ por três anos (T3), nove anos (T9) e 15 anos (T15).



Cinquenta táxons foram identificados nas duas amostragens realizadas (solo-inóculo – inicial; e posteriormente ao experimento com *H. annuus* - final) oriundos de áreas de Caatinga (CA) e de cultivo de manga, com (T3, T9 e T15) ou sem aplicação de PBZ (TC) (Tabela 10). A abundância de espécies de FMA amostradas, independente dos tratamentos, evidenciou que o gênero *Acaulospora* (18 spp.) tinha a maior representatividade, seguido de *Glomus* (6 spp.) e *Gigaspora* (5 spp.)

Tabela 10 – Abundância relativa de espécies de FMA do solo-inóculo oriundo de áreas com vegetação nativa da Caatinga (CA), áreas com plantio de mangueira sem aplicação de PBZ (TC), e com aplicação de PBZ por três anos (T3), nove anos (T9) e 15 anos (T15), inicial e após 60 dias de cultivo com *Helianthus annuus* em microcosmo.

Táxons de FMA	CA		TC		T3		T9		T15	
	inicial	final								
Archaeosporales										
<i>Ambispora appendicula</i> (Spain, Sieverd. & N. C. Schenck) C. Walker	0,2478	0,4361	0,2974	0,1699	0,066	0,0906	-	-	-	0,0056
Diversisporales										
<i>Acaulospora elegans</i> Trappe & Gerd.	-	-	-	-	0,0165	-	-	-	-	-
<i>A. cavernata</i> Blaszk.	-	-	-	-	-	0,0283	-	-	-	-
<i>A. excavata</i> Ingleby & C. Walker	-	-	-	-	0,0165	-	-	-	-	-
<i>A. foveata</i> Trappe & Janos	-	-	-	0,0056	-	-	-	-	-	-
<i>A. lacunosa</i> J. B. Morton	-	-	0,066	-	-	-	0,01	-	-	-
<i>A. longula</i> Spain & N. C. Schenck	-	0,1529	0,3139	0,3285	-	0,0056	-	0,0056	-	0,0056
<i>A. mellea</i> Spain & N. C. Schenck	-	-	0,033	0,0169	-	-	-	-	-	-
<i>A. morrowiae</i> Spain & N. C. Schenck	0,0826	0,0056	0,2148	-	0,0165	0,0056	-	-	0,0826	-
<i>A. paulinea</i> J. B. Morton	-	-	0,0495	-	0,0165	-	-	-	0,01	-
<i>A. punctata</i> Oehl, Palenz., Sánchez-Castro, G.A. Silva, C. Castillo & Sieverd.	-	-	-	0,8779	-	0,0056	-	-	-	-
<i>A. reducta</i> Oehl, B. T. Goto & C. R. M. Pereira	-	0,0056	-	0,1076	0,1652	-	-	-	-	-
<i>A. rehmi</i> Sieverd. & S. Toro	-	-	0,0165	0,0623	-	0,0283	-	-	-	-
<i>A. scrobiculata</i> Trappe	0,0165	0,0113	1,7019	1,8296	8,2617	3,7158	0,2809	0,3738	0,3304	0,1586
<i>Acaulospora spinosissima</i> Oehl, Palenz., I.C. Sánchez, Tchabi, Hount. & G.A. Silva	-	-	-	0,0056	-	-	-	-	-	-

Táxons de FMA	CA		TC		T3		T9		T15	
	inicial	final								
<i>Acaulospora</i> sp. 1	-	0,0056	0,033	0,0056	-	-	0,0165	0,0113	0,0165	-
<i>Acaulospora</i> sp. 2	-	-	0,066	0,0113	0,0495	-	-	-	0,0165	-
<i>Acaulospora</i> sp. 3	-	-	0,0165	0,0056	-	-	-	-	0,0165	-
<i>Acaulospora</i> sp. 4	-	-	0,0165	-	-	-	-	-	-	-
<i>Pacispora</i> sp. 1	0,033	-	0,0991	-	0,1321	-	-	-	0,2148	-
Gigasporales										
<i>Cetraspora pellucida</i> (T. H. Nicolson & N. C. Schenck) Oehl, F. A. Souza & Sieverd.	-	-	0,1817	0,0793	0,033	0,0509	0,0165	0,0056	-	-
<i>C. gilmorei</i> (Trappe & Gerd.) Oehl, F. A. Souza & Sieverd.	-	-	-	0,0169	-	-	-	-	-	-
<i>Cetraspora</i> sp. 1	-	-	-	0,0566	-	0,0169	-	-	-	-
<i>Dentiscutata cerradensis</i> Sieverd., F. A. Souza & Oehl	-	-	0,0165	0,0226	-	-	-	-	-	-
<i>Fuscutata heterogama</i> Oehl, F. A. Souza, L. C. Maia & Sieverd.	-	-	0,0165	0,0113	0,8922	0,8496	-	0,0056	-	-
<i>Gigaspora albida</i> N. C. Schenck & G. S. Sm.	-	0,0056	0,0165	0,0226	-	0,0226	-	0,0056	-	-
<i>G. decipiens</i> I. R. Hall & L. K. Abbott	0,0495	0,0056	0,2478	0,1586	0,0495	0,0339	-	0,0113	0,033	0,0169
<i>G. gigantea</i> (T. H. Nicolson & Gerd.) Gerd. & Trappe	-	0,0113	0,5618	0,0169	-	0,0169	-	-	-	0,0056
<i>G. margarita</i> W. N. Becker & I. R. Hall	0,033	0,0283	0,0495	0,1472	0,033	0,0226	0,0165	-	-	-
<i>Gigaspora</i> sp. 1	-	0,0169	-	0,0793	-	0,0056	-	0,0113	-	-
<i>Scutellospora</i> sp. 1	-	-	0,033	-	-	-	-	-	-	-
<i>Racocetra coralloidea</i> (Trappe, Gerd. & I. Ho) Oehl, F. A. Souza & Sieverd.	-	-	0,033	0,0113	-	0,0056	-	-	-	-

Táxons de FMA	CA		TC		T3		T9		T15	
	inicial	final								
Glomerales										
<i>Claroideoglopus etunicatum</i> (W. N. Becker & Gerd.) C. Walker & A. Schüßler	-	-	-	-	-	-	0,0165	0,0396	0,5287	-
<i>Dominikia</i> sp. 1	-	-	0,066	-	0,0991	-	-	-	-	-
<i>Funneliformis mosseae</i> (T. H. Nicolson & Gerd.) C. Walker & A. Schüßler	0,0165	0,0113	0,0495	0,4644	0,0165	0,0113	0,0495	0,0056	0,1652	0,0283
<i>Glomus brohultii</i> R. A. Herrera, Ferrer & Sieverd.	-	-	0,0165	-	-	-	-	-	0,033	-
<i>Glomus</i> sp. 1 (marrom)	25,4461	20,1484	6,0971	10,3942	4,0317	11,8613	0,7435	3,0814	0,3139	4,2596
<i>Glomus</i> sp. 2 (hialino)	9,2861	11,7707	1,2557	0,3681	10,9551	6,752	0,2313	0,0453	0,38	0,2718
<i>Glomus</i> sp. 3 (amarelo)	0,8261	2,6113	5,998	5,2622	2,5446	0,9459	2,7924	1,3141	2,3298	3,5176
<i>Glomus</i> sp. 4 (aglomerado vermelho)	-	0,0339	-	0,0056	0,0495	-	0,0165	0,0056	-	-
<i>Glomus</i> sp. 5 (aglomerado)	-	0,0226	-	0,0113	-	0,0283	-	0,0113	-	0,0453
<i>Rhizoglopus clarum</i> T.H. Nicolson & N.C. Schenck	0,033	-	0,0165	-	-	-	-	-	-	-
<i>Rhizoglopus affin. fasciculatum</i> (Thaxt.) Gerd. & Trappe	-	-	-	-	-	-	-	-	0,033	-
<i>Rhizoglopus</i> sp. 1	-	0,0566	0,066	0,0169	0,0165	0,0566	-	0,0566	0,0165	0,0566
<i>Sclerocystis sinuosa</i> Gerd. & B. K. Bakshi	0,148	0,2095	0,066	0,0339	0,099	0,4248	0,066	0,4814	0,033	0,9686
<i>Septoglopus</i> sp. 1	-	0,0056	0,0165	0,0056	0,2478	0,5324	0,0165	-	0,066	0,0226
<i>Septoglopus titan</i> B. T. Goto & G. A. Silva	-	0,0056	-	-	0,1321	0,2605	-	0,0056	-	-
Paraglomerales										
<i>Paraglopus</i> sp. 1	0,066	-	0,0495	-	-	-	0,033	-	-	-
<i>P. bolivianum</i> (Sieverd. & Oehl) Oehl & G. A. Silva	0,0165	0,0169	0,0165	0,0169	3,0072	2,8095	0,1652	0,0566	0,0495	0,0566
<i>P. occultum</i> (C. Walker) J. B. Morton & D. Redecker	0,413	0,0226	0,0991	0,0396	5,1553	0,2095	0,1321	0,0226	-	0,0509
Riqueza	15	24	35	33	24	28	15	20	19	15

Após o experimento em casa de vegetação com *H. annuus*, o tratamento T3 apresentou maior diversidade de espécies e menor dominância. Para a riqueza de espécies, os tratamentos T3 e TC apresentaram maior quantidade de espécies do que os demais tratamentos, similar ao que foi observado antes do experimento. Os tratamentos T3, T9 e T15 apresentaram maior uniformidade na distribuição de espécies pelo índice de equabilidade de Pielou. Ao contrário, os tratamentos T9 e T15 apresentaram maior dominância de espécies juntamente com o tratamento CA. Estas análises mostram que há um padrão entres os índices ecológicos realizados no solo-inóculo inicial (Tabela 9) e após o experimento (Tabela 11) para os tratamentos, com maior riqueza e diversidade de espécies de FMA encontrada no tratamento T3, seguido de TC; destaca-se ainda que T3 apresentou menor dominância de espécies.

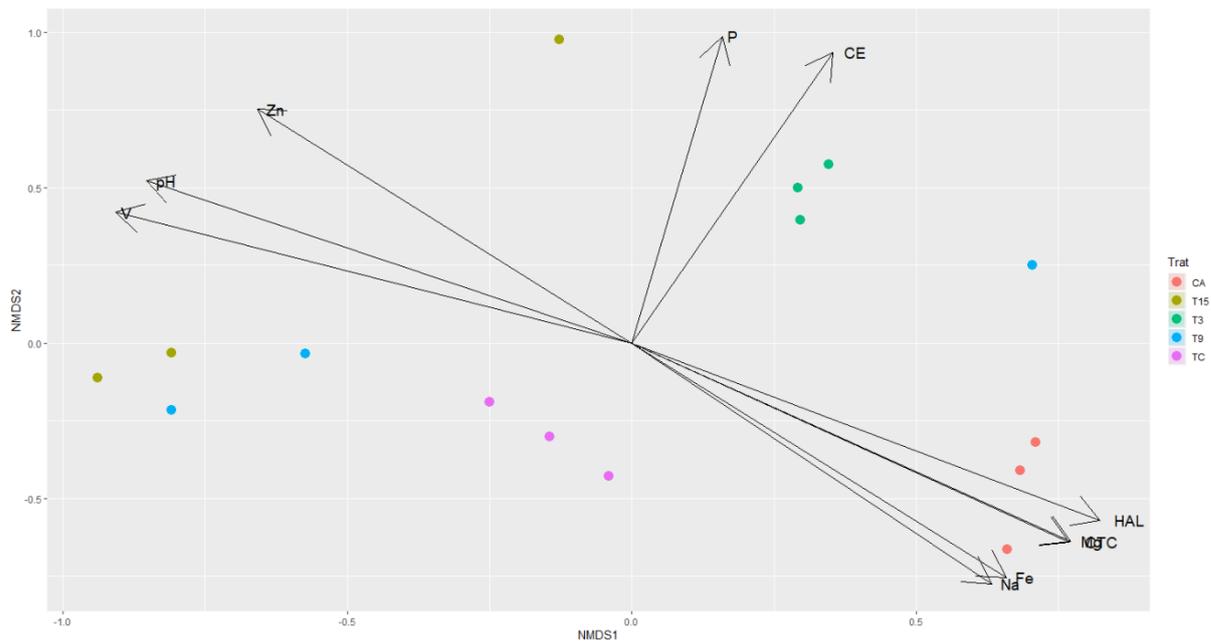
Tabela 11 – Índices ecológicos do solo-inóculo oriundo de área com vegetação nativa da Caatinga (CA), áreas com plantio de mangueira sem aplicação de PBZ (TC), e com aplicação de PBZ por três anos (T3), nove anos (T9) e 15 anos (T15), após 60 dias de cultivo com *Helianthus annuus* em microcosmo.

Tratamentos	Diversidade de Shannon	Diversidade de Simpson	Dominância de Simpson	Equabilidade de Pielou	Riqueza de espécies
CA	1,12 c	0,61 bc	0,39 ab	0,51 c	10,63 b
TC	1,57 b	0,69 b	0,31 b	0,58 bc	16,73a
T3	1,78 a	0,79 a	0,21 c	0,69 a	15,33 a
T9	1,19 c	0,60 c	0,40 a	0,65 ab	8,13 b
T15	1,24 c	0,63 bc	0,37 ab	0,62 ab	9,23 b

Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5%

A PERMANOVA evidenciou que o solo-inóculo inicial apresentava diferença entre as comunidades de FMA (F: 2,3981; R²: 0,4896; p<0,001) (Figura 13). Após o cultivo por 60 dias com *H. annuus* (Figura 14), as comunidades continuaram distintas em função dos tempos de aplicação (F: 14,777; R²: 0,5677; p<0,001). A separação das comunidades presentes no solo-inóculo antes do experimento em microcosmo evidenciou que a comunidades em CA esteve mais associada à capacidade de troca catiônica, Fe e Na e saturação por alumínio; a T3 com CE e P; T9 e T15 com o pH, Zn e saturação por bases (Figura 16).

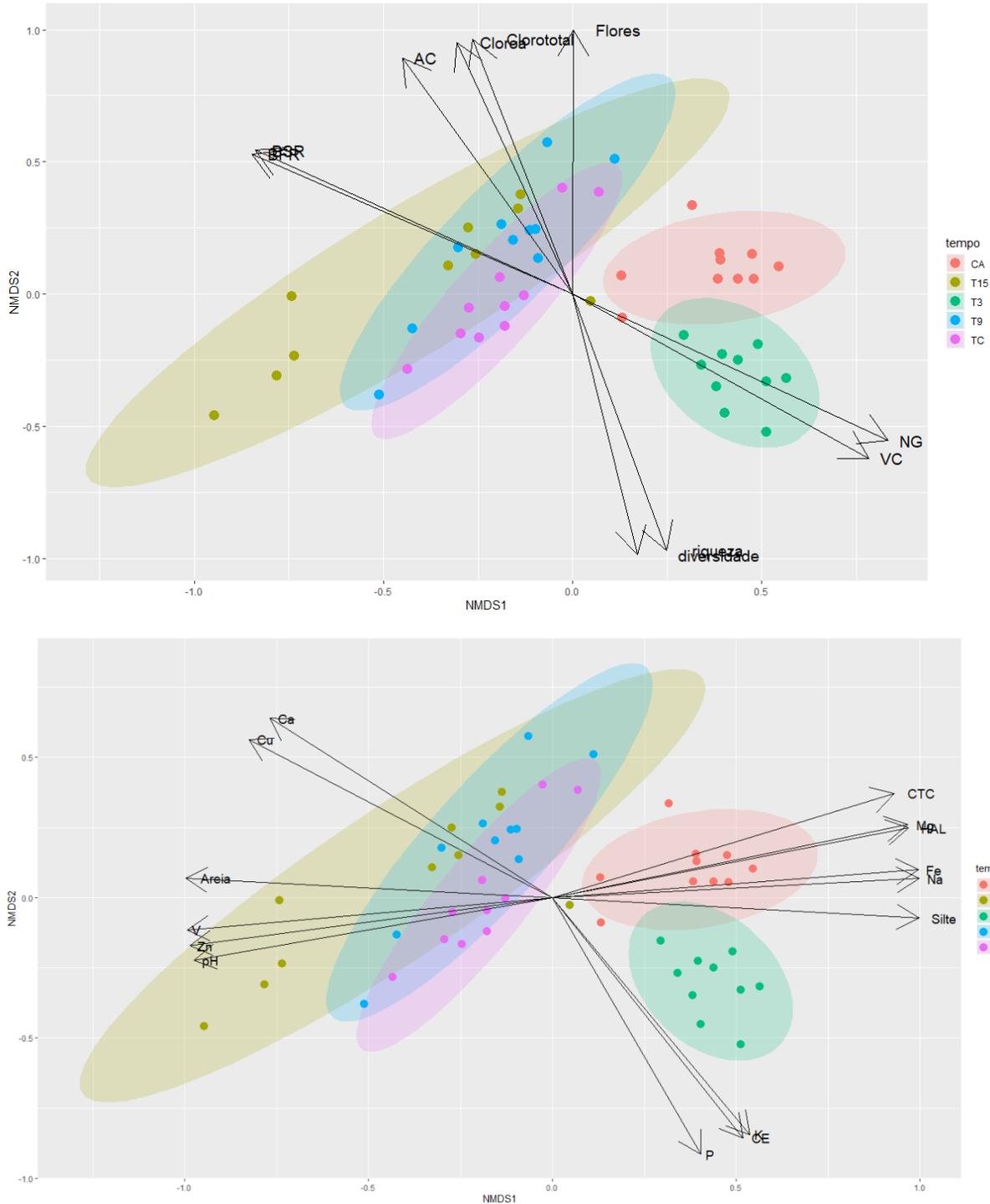
Figura 16 – NMDS baseado na composição das espécies de fungos micorrízicos arbusculares presentes no solo-inóculo inicial.



Legenda: área de Caatinga (CA); área de cultivo de manga sem aplicação de PBZ (TC) e com aplicação de PBZ por três anos (T3), nove anos (T9) e quinze anos (T15). Stress: 0,1040

A análise de NMDS após o experimento evidenciou que as comunidades T3 e CA estão mais próximas entre si e mais relacionadas com a CTC, matéria orgânica, HAL, Fe, Na, Silte, CE, K e P. As comunidades TC, T9 e T15 estão mais próximas e são separadas das comunidades T3 e CA por Ca, Cu, Areia, V, Zn e pH. Além disso, riqueza, diversidade, abundância de glomerosporos e colonização vesicular estiveram mais relacionadas ao tratamento T3; por outro lado, biomassa seca e fresca da raiz, colonização por arbúsculo, teor de clorofila estavam mais relacionados aos tratamentos TC, T9 e T15 (Figura 17).

Figura 17 – NMDS baseado na composição das espécies de fungos micorrízicos arbusculares presentes no solo oriundo de diferentes fontes de solo-inóculo após 60 dias de cultivo com *Helianthus annuus*.



Legenda: área de Caatinga (CA); área de cultivo de manga sem aplicação de PBZ (TC) e com aplicação de PBZ por três anos (T3), nove anos (T9) e quinze anos (T15). Stress: 0,1161

A partir das análises, 20 espécies foram identificadas como indicadoras de um ou mais tratamentos, sendo 12 espécies indicadoras de apenas um grupo. O tratamento com maior número de espécies indicadoras foi TC (*A. punctata*, *F. mosseae*, *G. margarita*, *G. decipiens*, *Gigaspora* sp. e *D. cerradensis*), seguido pelo tratamento T3 (*F. heterogama*, *P. bolivianum*, *Septoglomus* sp. e *A. reducta*), e as espécies *C. etunicatum* e *Glomus* sp.4 que foram indicadoras dos tratamentos T9 e CA, respectivamente (Tabela 12).

Cinco espécies foram indicadoras para dois grupos: *Glomus* sp.2 foi indicadora para os tratamentos CA e T3; *A. longula* para os tratamentos CA e TC; *C. pellucida*, *A. rehmi* e *Cetraspora* sp. para os tratamentos T3 e TC (Tabela 12). Uma espécie foi selecionada como indicadora de três grupo: *A. appendicula* foi indicadora para os grupos CA, TC e T3 (Tabela 12). Duas espécies foram indicadoras de quatro grupos: *S. sinuosa* foi indicadora para CA, T15, T3 e T9 e *A. scrobiculata* para T15, T3, T9 e TC (Tabela 12).

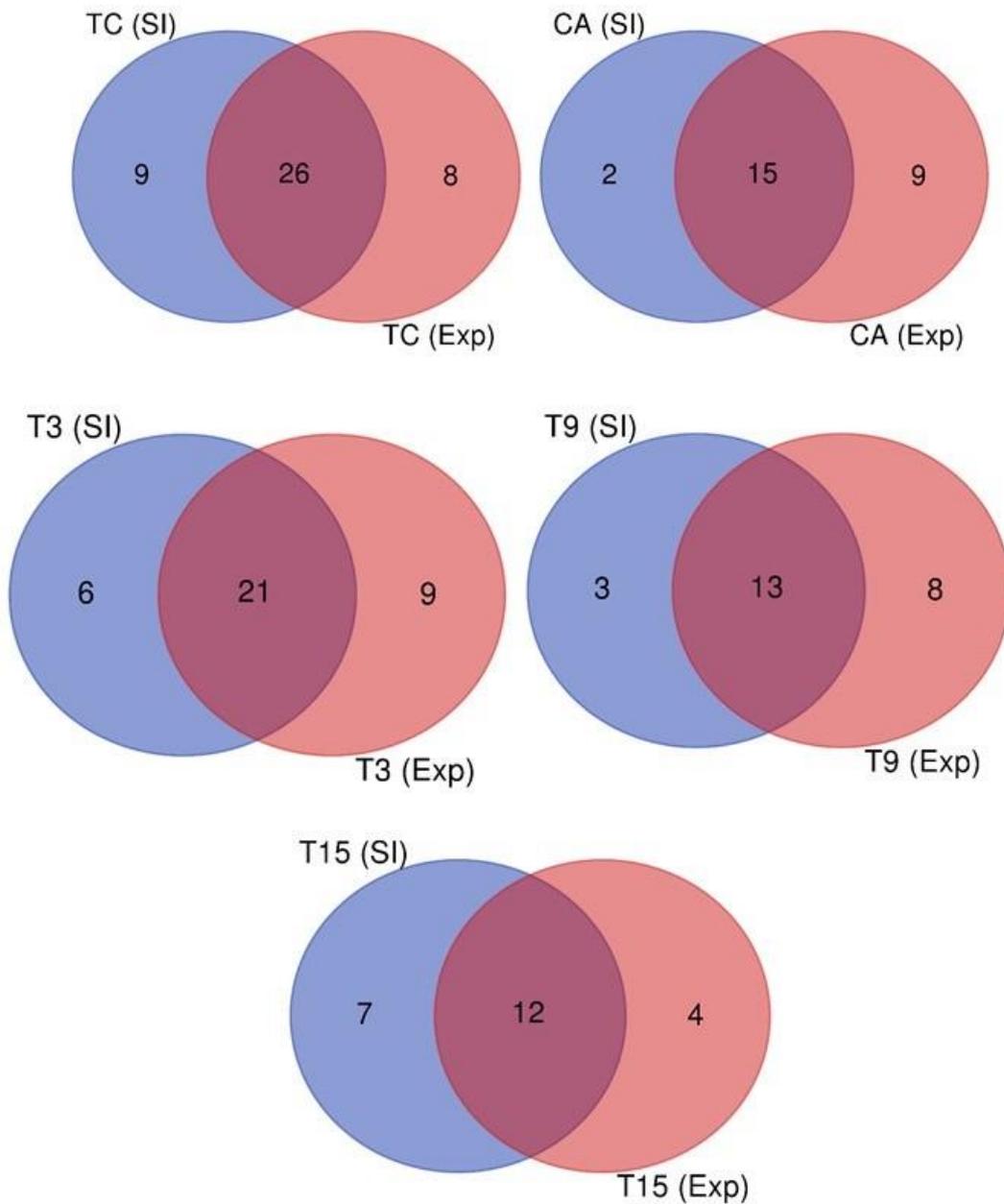
Tabela 12 – Relação de espécies indicadoras após o experimento com *Helianthus annuus*.

Tratamento	Espécie	IndVal	p-value
TC	<i>A. punctata</i>	0,997	0,001***
	<i>G. margarita</i>	0,771	0,001***
	<i>G. decipiens</i>	0,748	0,001***
	<i>Gigaspora</i> sp. 1	0,648	0,003**
	<i>Dentiscutata cerradensis</i>	0,548	0,028*
	<i>Funneliformis mosseae</i>	0,790	0,001***
CA	<i>Glomus</i> sp. 4	0,548	0,035*
T3	<i>Fuscutata heterogama</i>	0,997	0,001***
	<i>Paraglomus boliviano</i>	0,975	0,001***
	<i>Septoglomus</i> sp. 1	0,920	0,001***
	<i>A. reducta</i>	0,872	0,001***
T9	<i>Claroideoglomus etunicatum</i>	0,632	0,007**
CAxT3	<i>Glomus</i> sp. 2	0,982	0,001***
CAxTC	<i>A. longula</i>	0,983	0,001***
T3xTC	<i>Cetraspora pellucida</i>	0,891	0,001***
	<i>A. rehmi</i>	0,671	0,001***
	<i>Cetraspora</i> sp. 1	0,592	0,010**
CAxT3xTC	<i>Ambispora appendicula</i>	0,945	0,001***
CAxT15xT3xT9	<i>Sclerocystis sinuosa</i>	0,928	0,001***
T15xT3xT9xTC	<i>A. scrobiculata</i>	0,999	0,001***

Tratamentos: área de Caatinga (CA); área de cultivo de manga sem aplicação de PBZ (TC) e com aplicação de PBZ por três anos (T3), nove anos (T9) e quinze anos (T15).

Os diagramas de Venn abaixo mostram que as comunidades do solo-inóculo inicial (SI) e após o cultivo com girassol (Exp) compartilham muitas espécies de FMA: TC compartilhou 26 spp., CA: 15 spp., T3: 21 spp., T9: 13 spp. e T15: 12 spp. Mostrando que a maior parte das espécies se manteve no solo, mesmo com a mudança de hospedeiro (Figura 15).

Figura 18 – Diagrama de Venn representando as espécies de FMA no solo-inóculo inicial e após 60 dias de cultivo com girassol (*Helianthus annuus*) em microcosmo.



Legenda: área de Caatinga (CA); área de cultivo de manga sem aplicação de PBZ (TC) e com aplicação de PBZ por três anos (T3), nove anos (T9) e quinze anos (T15).

4.2.1 Experimento com *H. annuus* em microcosmo utilizando o solo-inóculo

A partir dos parâmetros de crescimento de *H. annuus*, verifica-se que o tratamento T15 propiciou maior altura, área foliar, diâmetro do caule, biomassa fresca e seca da raiz e parte aérea e teores de clorofila total, a e b. Em muitas variáveis de crescimento vegetal, o tratamento T15 não diferiu estatisticamente de T9; da mesma forma os dados de clorofila em girassol são similares entre T15 e CA (Tabela 13). Os tratamentos CA, T9 e T15 apresentaram mais de três capítulos por planta, diferindo significativamente de T3 e TC.

No que se refere à colonização micorrízica, os tratamentos T9 e T15 apresentaram menor colonização por vesícula, enquanto a colonização por arbúsculos foi similar entre os tratamentos, exceto em T3 que diferiu dos demais tratamentos e apresentou os menores valores de colonização arbuscular (Tabela 13). No geral, a maior colonização total foi encontrada em plantas de girassol cultivada com solo-inóculo de CA quando comparada com a T3 e T15, não diferindo dos demais tratamentos.

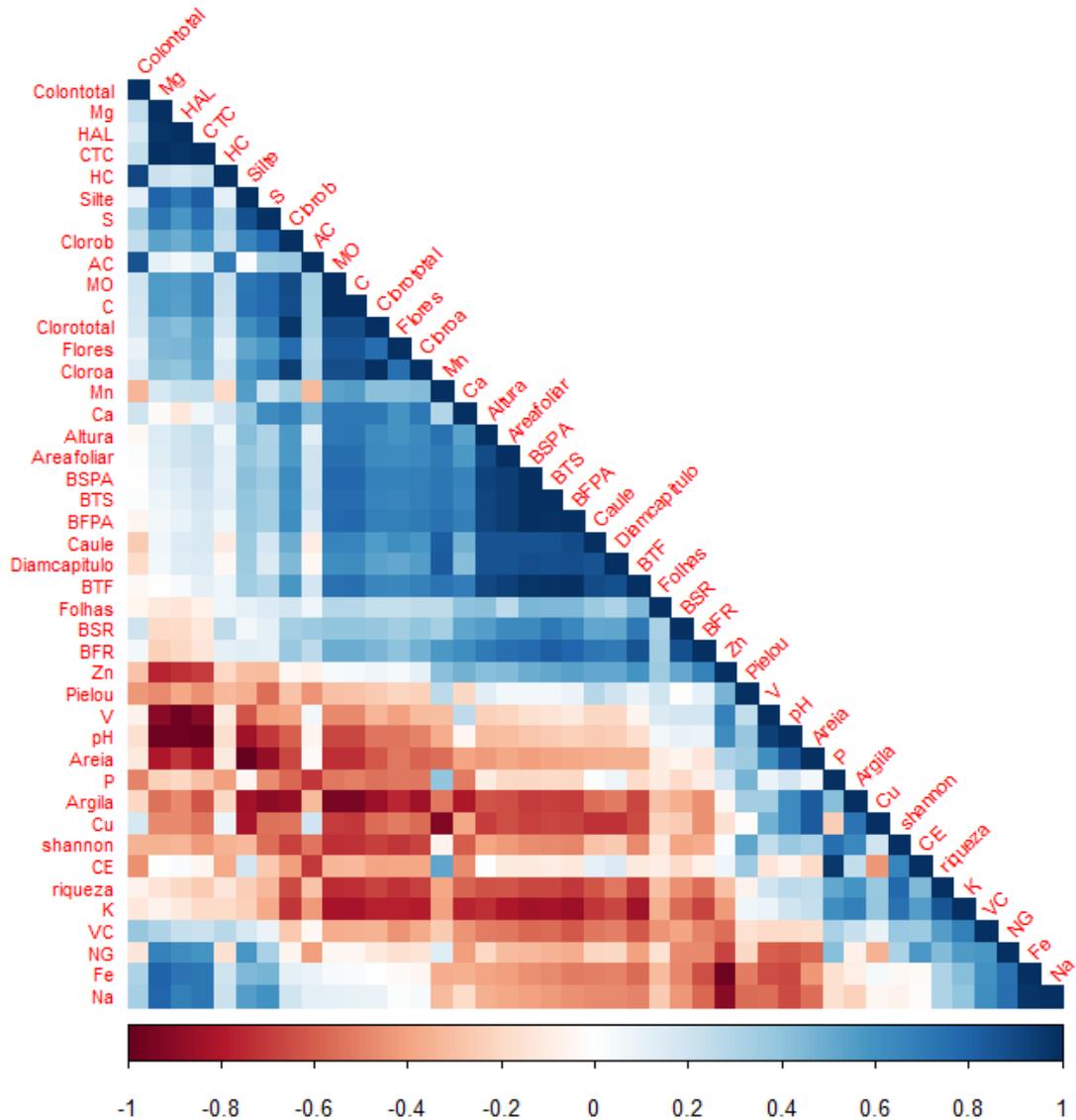
Análise de correlação de Pearson evidenciou que houve correlação negativa entre as variáveis de desenvolvimento vegetal e a riqueza e diversidade de espécies de FMA (Figura 19). Entretanto, houve correlação positiva para os fatores número de glomerosporos e colonização vesicular; ressalta-se ainda, que a colonização arbuscular apresentou correlação negativa com o teor de P no solo.

Tabela 13 – Variáveis analisadas após 60 dias de cultivo de *Helianthus annuus* (var. Dobrado Anão *Sungold* Amarelo).

Tratamentos	TC	CA	T3	T9	T15
Parâmetros de crescimento					
Altura da planta (cm)	17,28 c	24,45 b	23,34 b	25,5 ab	27,25 a
Área foliar (cm ²)	15,95 d	40,81 bc	34,35 c	46,62 ab	50,76 a
Diâmetro do caule (cm)	0,45 d	0,68 c	0,70 bc	0,75 ab	0,80 a
Biomassa fresca da parte aérea (g)	11,61 e	37,58 c	31,45 d	44,74 b	54,6 a
Biomassa fresca da raiz (g)	0,63 d	3,23 c	4,02 bc	6,60 ab	10,02 a
Biomassa seca da parte aérea (g)	1,68 d	5,59 b	4,53 c	6,33 b	7,67 a
Biomassa seca da raiz (g)	0,46 c	0,63 bc	0,58 bc	0,94 ab	1,19 a
Capítulos por planta	1 b	4,1 a	1,6 b	3,5 a	3,6 a
Diâmetro do capítulo (cm)	6,85 d	8,99 c	9,43 bc	9,7 ab	10,18 a
Número de folhas	15,5 b	16 ab	15,8 ab	16,4 ab	17,7 a
Clorofila total	24,80 c	32,14 a	25,49 c	29,37 b	31,51 a
Clorofila a	19,95 c	25,01 a	20,58 c	23,36 b	24,86 a
Clorofila b	4,85 c	7,13 a	4,90 c	6,01 b	6,65 a
Colonização micorrízica					
Colonização por hifa	0,38 a	0,42 a	0,31 a	0,38 a	0,37 a
Colonização por vesícula	0,10 a	0,09 a	0,10 a	0,01 b	0,03 b
Colonização por arbúsculo	0,31 a	0,33 a	0,14 b	0,32 a	0,31 a
Colonização total	80,61 ab	85,09 a	55,86 c	72,65 abc	71,92 bc

Legenda: solo-inóculo de área de Caatinga (**CA**); solo-inóculo de área de cultivo de manga sem aplicação de PBZ (**TC**) e solo-inóculo de áreas com aplicação de PBZ por três anos (T3), nove anos (T9) e quinze anos (T15).

Figura 19 – Correlação de Pearson entre as variáveis de crescimento vegetal e os FMA.



Legenda: NG (abundância de glomerosporos); AC (colonização por arbúsculo); VC (colonização por vesícula); HC (colonização por hifa); colontotal (colonização total); Caule (diâmetro do caule); área foliar (área foliar); BFPA (peso fresco da parte aérea); BFR (peso fresco da raiz); BSPA (peso seco da parte aérea); BSR (peso seco da raiz); flores (número de capítulos por planta); BTF (peso fresco total); BTS (peso seco total); altura (altura da planta); folhas (número de folhas); clorotal (clorofila total); cloroa (clorofila a); clorob (clorofila b); diamcapitulo (diâmetro do capítulo); riqueza (riqueza de espécies de FMA); diversidade (diversidade de espécies de FMA)

5 DISCUSSÃO

5.1 IMPLICAÇÕES DA UTILIZAÇÃO DE DOSES CRESCENTES DE PACLOBUTRAZOL NAS COMUNIDADES DE FMA EM ÁREA DE CULTIVO DE MANGA (PETROLINA-PE)

De modo geral, a introdução de PBZ na área de cultivo de manga reduziu o número de glomerosporos em aproximadamente 60%, principalmente no 1º ciclo de produção da manga. O uso de agroquímicos aplicados diretamente no solo pode levar a uma redução na riqueza ou modificações na abundância de espécies de FMA sendo possivelmente relacionada às oscilações na esporulação e colonização micorrízica dos FMA, como observado por Castelli et al. (2014) ao testar diferentes manejos e tratamentos convencionais com fungicida (Fludioxonil).

Por outro lado, Jin, Germida e Walley (2013) não observaram efeito significativo de fungicidas formulados com Captan 30%, Fludioxonil, Metalaxil, Carbendazim e Tiabendazol na abundância de glomerosporos na rizosfera de ervilha e grão-de-bico, mas encontraram modificações na diversidade e composição de espécies de FMA após oito semanas de experimento. Este resultado reforça que o intervalo entre o tempo de análise dos efeitos decorrentes da aplicação de fungicidas devem ser considerados, visto que embora as doses de PBZ não tenham resultado em modificações na comunidade de FMA, a análise entre os ciclos de produção demonstra a dinâmica na ocorrência das espécies. Além do tempo de aplicação, Sugavanam, Udaiyan e Manian (1994) sugerem que os efeitos dos fungicidas podem variar devido ao tipo de composto e as espécies de FMA, observando redução na abundância de glomerosporos total após 90 dias de aplicação de 75 mL m⁻² dimetilditiocarbamato de zinco (0,2%) e 6% methoxyethyl mercuric chloride (0,2%), e aumento na esporulação total e de algumas espécies de *Rhizogloium fasciculatum*, *Funneliformis geosporus*, *F. mosseae* e *Acaulospora sporocarpia* pela aplicação de 75 ml m⁻² oxiclório de cobre 50% (0,2%).

Testando os efeitos do propiconazol, fungicida do grupo triazol, no metabolismo lipídico de *Rhizogloium irregularis*, Callone et al. (2011) verificaram que este fungicida reduziu a colonização, germinação e esporulação deste fungo por interferir no metabolismo de esterol e alterar a membrana plasmática. Estes resultados indicam que substâncias do grupo triazol, como o PBZ, podem afetar os FMA diretamente, se considerarmos efeito sobre a esporulação destes fungos, ou indiretamente, se tal efeito for mediado pela comunidade microbiana do solo, visto que efeito inibitório sobre a biomassa microbiana e grupos de

bactérias, actinomicetos e fungos filamentosos são relatados (SILVA, VIEIRA, NICOLELLA, 2003; OLIVEIRA et al., 2017), podendo trazer modificações no equilíbrio edáfico.

Analisando a abundância de glomerosporos, independente dos ciclos de produção de manga, observa-se efeito estimulante da aplicação de PBZ nas doses 0,3 e 0,6 g.i.a.m⁻¹ via fertirrigação quando comparado ao controle (sem aplicação de PBZ). Porém, deve ser salientado que o efeito do PBZ sobre as espécies de FMA pode ser distinto, tendo em vista que observamos aumento na abundância de algumas espécies de *Glomus* e redução de *A. mellea*, *A. morrowiae* e *A. scrobiculata*. Da mesma forma, Castelli et al. (2014) também observaram redução na frequência de espécies de *Acaulospora* e aumento em representantes de *Glomus* quando utilizaram fludioxonil no manejo. Ademais, as espécies de FMA podem responder de forma diferenciada frente aos fatores abióticos, considerando que representantes da família Glomeraceae são conhecidos por apresentarem maior tolerância a maioria dos distúrbios, exceto os mecânicos; ao contrário, representantes de Acaulosporaceae seriam mais tolerantes aos distúrbios mecânicos do que a limitação de carbono e inibição química (VAR DER HEYDE et al., 2017).

Por outro lado, Dodd e Jeffries (1989) observaram redução na colonização e esporulação de *Funneliformis geosporus*, *F. mosseae* e *Glomus monosporum* quando em contato com Tilt Turbo (propiconazol). Resultados positivos da aplicação conjunta de PBZ (concentração de 50 mg.L⁻¹ aplicados por via foliar) e inóculo de *Diversispora versiformis* foram obtidos por Zhou et al. (2012), que conseguiriam reduzir o estresse em plantas de *Tectona grandis* L. causado pelas baixas temperaturas. Estes resultados reforçam a necessidade de ampliarmos os estudos sobre a biologia das espécies de FMA, pois potencialmente isolados tolerantes aos fungicidas podem ser aplicados em áreas agrícolas visando aumentar o desenvolvimento das plantas.

Os índices ecológicos não evidenciaram modificações na equabilidade de Pielou e dominância de Simpson; entretanto, houve aumento na riqueza e diversidade de Shannon no segundo ciclo de produção de manga, independente das doses de PBZ. O aumento na riqueza e diversidade de espécies após o 2º ciclo de produção pode estar relacionado a esporulação de outras espécies de FMA, e.g. *A. lacunosa*, *Acaulospora* sp. 6, *Cetraspora gilmorei*, *Dominikia aurea*, *Rhizoglomus aggregatum* e *Glomus* sp. 2, detectadas apenas no 2º ciclo de produção com redução na abundância relativa de outras espécies do gênero *Acaulospora* (Tabela 8). A sensibilidade ao manejo de *A. foveata* e *A. tuberculata* foi evidenciada por Fernandes et al. (2016), comparando áreas nativas com áreas de plantio de café e, recentemente, Marinho et al. (2019) registraram *A. foveata* como espécie indicadora de área de afloramento rochoso em Caatinga, que não estão sujeitas a manejo intensivo.

As variações observadas na abundância relativa dos grupos de FMA resultou em mudanças nas comunidades evidenciada pelos dados da PERMANOVA comparando os ciclos de produção, fato que pode estar relacionado ao tempo para que as comunidades de FMA possam se estabelecer. Chagnon et al. (2013) evidenciaram o caráter ruderal do gênero *Glomus*, que apresentam esporulação e ciclo de vida curto em solos com intenso manejo agrícola, mecanismo eficiente de reparo de hifa após distúrbio e uso eficiente de recursos. Outros trabalhos também relatam a dominância das espécies deste gênero frente aos diversos usos do solo, tais como: área de cultivo de uva com utilização de manejo mecânico e químico (pesticidas) (RIVERA-BECERRIL et al., 2017), em plantio de *Manihot esculenta* (BEGOUDE et al., 2016), ambientes contaminados por metais pesados (HUANG et al., 2018) e foi identificado como gênero indicador em áreas com distúrbio em pradarias (ALLAN; THORN, 2017). A característica do gênero *Glomus* como tolerante ao estresse químico e generalistas foi evidenciado por Leal et al. (2016) encontrando esse gênero em locais com histórico de contaminação por metais pesados, áreas nativas de cerrado e pastagem.

O aumento na riqueza de espécies de FMA observado no 2º ciclo de produção em nosso estudo pode ser explicado por analogia com a meta análise de García de Leon et al. (2018), que sugerem que áreas com poucas espécies de FMA quando sofrem distúrbio tendem a aumentar a diversidade de espécies mais generalistas e tolerantes ao estresse, porém áreas que possuem comunidades naturalmente mais diversas são impactadas negativamente pelo distúrbio, reduzindo a diversidade por redução de espécies raras e sensíveis. Logo, o uso do solo tende a equalizar as comunidades de FMA modificando sua estrutura funcional.

O aumento na riqueza e diversidade de espécies de FMA em solos com aplicação de PBZ também pode indicar que este elemento não teria efeito inibidor sobre os Glomeromycota, considerando que este composto atua na inibição da biossíntese de ergosterol (TATSUMI et al., 2013), e como os FMA não possuem ergosterol em sua membrana plasmática, mas 24-etil-colesterol (WEETE; ABRIL; BLACKWELL, 2010), isso poderia explicar a ausência de efeitos inibitórios como ocorre para os demais grupos de fungos. A ausência de efeito inibidor do PBZ sobre os FMA também foi encontrado por Michelini, Chinnery e Thomas (1988), pois ao testarem seis concentrações de PBZ aplicados na rizosfera de *Citrus macrophylla* em microcosmo, não observaram interferência na abundância de vesículas, desenvolvimento de hifa e nem colonização micorrízica, mesmo nas maiores doses aplicadas (1,0 g i.a/cm³).

Outro aspecto a ser considerado é a possibilidade de o aumento na riqueza e diversidade de espécies de FMA, decorrente em parte devido ao estímulo na esporulação, encontrado somente no 2º ciclo de produção da manga ter sido por efeito cumulativo do PBZ por efeito

indireto na comunidade microbiana. Van der Heyde et al. (2017) em seu trabalho acerca da resposta dos FMA à distúrbios afirmam que essas respostas são dependentes do contexto e estão relacionadas tanto com a identidade dos FMA quanto o tipo de estresse, para eles, as espécies tendem a ser mais resistentes a distúrbios do tipo químico (*i.e.* toxinas, salinidade e fertilizantes), podendo incluir o uso de fitorreguladores como o paclobutrazol que teriam efeito sobre a comunidade microbiana e serem influenciados pela fisiologia da planta.

Poucos trabalhos relacionam PBZ com FMA, pois a maioria dos estudos avalia o efeito deste elemento sobre os fungos totais (OLIVEIRA et al., 2017; SUBBAIAH et al., 2018) e a comunidade bacteriana (KUO et al., 2019). Desta forma, este estudo constitui em um dos primeiros estudos sobre a relação entre PBZ em área de manga cv. Palmer e a comunidade de FMA. Nota-se, contudo, a importância de estudos à longo prazo e acompanhar de forma cautelosa as modificações das comunidades de FMA em solo suplementado com paclobutrazol e seus efeitos cumulativos tanto no solo e sua influência na manutenção funcional dos FMA.

5.2 DIFERENTES TEMPOS DE APLICAÇÃO DE PBZ INFLUENCIAM NA DIVERSIDADE FUNCIONAL DE FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES?

A abundância de glomerosporos variou em função do manejo do solo, com áreas de maior tempo de histórico de aplicação de PBZ apresentando menores valores pra esta variável, confirmando parcialmente nossa hipótese inicial. A área com três anos de aplicação de PBZ apresentou maior abundância de glomerosporos, não diferindo estatisticamente da área com vegetação nativa da Caatinga (CA). Esse aumento na abundância de glomerosporos em áreas manejadas pode estar associado as modificações das propriedades físico-químicas do solo que consequentemente ocasionam um aumento na diversidade de FMA por estimular a esporulação de determinadas espécies (Cerqueira et al., 2018). Outro aspecto que deve ser considerado nas áreas com manejo em comparação às áreas nativas, principalmente em regiões semiáridas, relaciona-se a introdução de irrigação e consequente aumento na biomassa vegetal, a exemplo do que foi observado por Martinez e Johnson (2010) que registraram elevada densidade de glomerosporos em áreas com manejo de milho.

Quando comparamos as áreas com vegetação nativa da Caatinga e aquelas com histórico de maior tempo de aplicação de PBZ (T9 e T15) é notório que o manejo impactou negativamente a abundância de glomerosporos. Alguns trabalhos realizados na Caatinga reportam esta redução na esporulação de FMA em áreas com adoção de manejo (Pereira et al., 2018), especialmente quando intensificadas pela antropização (Marinho et al., 2019). Estes resultados demonstram que a análise temporal de uma área permite melhor avaliação das mudanças promovidas pelos manejos, sendo possível observar que o manejo prolongado, em geral, reduz a abundância de glomerosporos como demonstrado por Mirzaei e Moradi (2017) comparando áreas com vegetação nativa e plantio e por Dudinszky et al. (2019) em área com aumento gradual na intensidade de pastagem.

Visto que as áreas T9 e T15 possuem longo histórico de aplicação de PBZ é possível que este composto tenha influência sobre a comunidade edáfica, como reportado por Silva; Vieira; Nicolella (2003) para bactérias, actinomicetos e fungos filamentosos. Na literatura alguns trabalhos reportam a influência de compostos químicos utilizados na agricultura e sua relação com os FMA, evidenciando que de acordo com o tipo de composto aplicado pode ocorrer tanto incremento como redução na esporulação e colonização micorrízica (CHANNABASAVA; LAKSHMAN; JORQUERA, 2015). Sugavanam, Udaiyan e Manian (1994) pontuaram ainda que o incremento ou redução na abundância de glomerosporos dependerá da espécie de FMA e do tempo de aplicação das substâncias.

Outros trabalhos mencionam ainda que pode ocorrer aumento na esporulação dos FMA, mesmo em contato com fungicidas sistêmicos e de contato no meio edáfico, pois Chiomento et al. (2019), avaliando áreas com produção de morango e aplicação de fungicida, observaram que a riqueza de espécies se mostrou constante e não diferia das áreas nativas, o que também foi observado no presente estudo em relação a área de Caatinga (CA) e do tratamento T3. Por outro lado, os tratamentos com maior tempo de aplicação de PBZ possuem baixa densidade de glomerosporos por grama de solo em relação ao tratamento inicial com o fitorregulador mostrando que o tempo de utilização do PBZ foi o fator determinante na abundância de glomerosporos.

A quantificação dos propágulos infectivos no solo coletado e após o experimento com girassol (Figura 15) evidenciou que o solo-inóculo proveniente da Caatinga apresentou maior quantidade de propágulos infectivos (raiz colonizada, hifa e esporos) seguido do tratamento TC. Os demais tratamentos com manejo do paclobutrazol apresentaram médias de propágulos similarmente baixas. Menor número de propágulos infectivos em áreas sem aplicação de PBZ reforçam a conclusão de Pánková et al. (2018), que afirmam que o tratamento com fungicidas afeta negativamente o número mais provável de propágulos infectivos de FMA. Após o experimento, destaca-se redução nos propágulos infectivos das áreas de cultivo de manga (TC) e Caatinga (CA), com incremento no número de propágulos infectivos de FMA nos tratamentos com PBZ (T3, T9 e T15). O aumento no NPI de FMA em áreas com maior tempo de aplicação de PBZ após o cultivo com *H. annuus* pode ser explicado pelo favorecimento da formação de estruturas fúngicas (*i.e.* hifas e esporos) pela presença de uma outra espécie vegetal associado a um aumento na biomassa fresca da raiz nos tratamentos T3, T9 e T15.

Embora em condições de campo (*i.e.* solo-inóculo) os propágulos infectivos de FMA nos tratamentos com PBZ (T3, T9, T15) fossem baixos, o tempo de aplicação não levou à eliminação, o que pode ser observado com o aumento desses propágulos após o cultivo com *H. annuus*, sugerindo resiliência de algumas espécies (*A. scrobiculata*, *F. mosseae*, *Glomus* sp. 1, *Glomus* sp. 2, *Glomus* sp. 3, *S. sinuosa*, *P. occultum* e *P. bolivianum*). Guadarrama et al. (2008) evidenciaram que a introdução de novas espécies vegetais estimula a produção de propágulos e que algumas práticas agrícolas em florestas tropicais secas não eliminam os propágulos infectivos não afetando sua dinâmica.

Considerando-se as diferentes estratégias de vida dos diferentes táxons de FMA e sua relação com a produção de propágulos, a presença de membros da família Glomeraceae em todos os tempos de aplicação de forma mais acentuada, tanto antes quanto depois do experimento, pode ser explicado pelo caráter ruderal dessa família (CHAGNON et al., 2013),

que apresentam facilidade de propagação por meio de micélio intra e extrarradicular, maior biomassa e extensão de colonização na raiz do que no solo (SCHALAMUK; CABELLO, 2010). Além disso, membros dessa família são reconhecidos por seu caráter “r” estrategista, isto é, apresentarem ciclo de vida curto, serem generalistas e se reproduzirem rapidamente após distúrbios, mesmo com perda micelial (VAN DER HEYDE et al., 2017). Estas características podem explicar o aumento dos propágulos infectivos após o cultivo com *H. annuus*.

Embora algumas espécies de Acaulosporaceae e Gigasporaceae apresentem certa resiliência, esta característica é menos evidente do que a observada em espécies de Glomeraceae, o que pode ser explicado pelo fato de membros dessas duas famílias (Acaulosporaceae e Gigasporaceae) terem como forma principal de propágulos os esporos (SCHALAMUK; CABELLO, 2010) e investirem maior biomassa micelial no solo ao invés da raiz (HART; READER, 2002b); ressalta-se ainda que membros de Gigasporaceae apresentam taxa de colonização mais lenta.

Logo, a forte resiliência das espécies de Glomeraceae encontradas no trabalho são explicadas pela rapidez na esporulação após distúrbios ou estresse e por conseguirem se propagar facilmente por micélio e fragmentos de raízes presentes no solo. Por outro lado, como os representantes de Gigasporaceae apresentam recuperação mais lenta, pois investem mais em produção de micélio extrarradicular e em esporos maiores (“k” estrategista), demandando mais tempo para se observar uma resiliência de representantes dessa família.

A colonização total foi maior para os tratamentos CA, TC e T9, com menor colonização para o tratamento T3 (Tabela 13), que também apresentou a menor colonização por arbúsculo, fato que pode estar associado à altíssima concentração de fósforo presente no solo-inóculo (Tabela 6). Relacionando-se a influência do fósforo na formação de arbúsculos não se tem um consenso, alguns trabalhos mostram efeito da adubação fosfatada com redução da colonização total, porém poucos avaliam a os efeitos específicos sobre a colonização por arbúsculos (SPAGNOLETTI et al., 2018). Wang, White e Li (2017) evidenciaram que a suplementação fosfatada em milho, profundidade do solo e estágio de crescimento influenciam negativamente na colonização micorrízica inclusive na formação de arbúsculos, fato que foi observado no presente trabalho.

No que se refere a influência de agroquímicos no solo e sua influência nas comunidades de FMA, Hage-Ashmed, Rosner e Steinkellner (2019) afirmam que a influência de pesticidas nos FMA é bastante variável e depende da dose e o tipo de substância utilizada, e deve-se considerar também o alvo dessa substância, modo de aplicação e características físico-químicas do solo que podem influenciar ainda mais a relação pesticida-FMA. Com isso, observou-se no

presente estudo que a influência do PBZ nas comunidades de FMA foi mais relacionada ao tempo de manejo com PBZ do que dose-dependente quando se observa uma maior riqueza e diversidade de espécies no T3 e uma redução desses dois parâmetros em áreas com maiores tempos de aplicação.

Maior riqueza de espécies de FMA ocorreu nos tratamentos T3 e TC, em relação à área nativa. Esse padrão foi evidenciado por Pereira et al. (2014) avaliando a comunidade e esporulação de FMAs em áreas nativas de Floresta Atlântica com diferentes usos de solo, os quais constataram maior riqueza, diversidade e equabilidade para áreas em rotação de cultura do que em áreas nativas; o que pode ser explicado, segundo esses mesmos autores, pela estabilidade, baixa competição e presença de espécies de FMA não-pioneiras (*k* estrategistas). Esses resultados corroboram os obtidos no presente trabalho, com a área de Caatinga apresentando menor riqueza e diversidade e os tratamentos com manejo inicial com manga (TC) e PBZ (T3) apresentando maior riqueza e diversidade de espécies. Stürmer e Siqueira (2011) discutem que esse comportamento de aumento de abundância, riqueza e diversidade em áreas manejadas pode ser explicado pelas modificações edáficas que ocasionam aparecimento de espécies mais generalistas e que esporulam mais.

Para o tratamento T3, é de se surpreender que houve uma maior diversidade e riqueza de espécies apresentando altíssima concentração de fósforo. Alguns trabalhos demonstram que a concentração de fósforo não afetou a diversidade de FMA presente tanto em raízes quanto na rizosfera de gramíneas (GARCÍA; PEZZANI; RODRÍGUEZ-BLANCO, 2017). Benefícios da presença desse elemento sobre a diversidade das comunidades de FMA em soja também são registrados (HIGO et al., 2018). Esses resultados relacionam-se com os encontrados no presente estudo (Tabela 6; Tabela 10)

Já para os tratamentos com menores riqueza e diversidade observadas, Verbruggen et al. (2012) explicam que comunidades mais pobres em espécies são originadas de outras anteriormente mais ricas e que em áreas agrícolas há uma perda de espécies e não prioritariamente de mudanças na comunidade de FMA, explicando o que foi observado nos tratamentos T9 e T15, que apresentaram baixa riqueza e diversidade de espécies, porém, não diferindo entre si em questão de composição de comunidade. Provavelmente, mudanças ocasionadas pela nova condição do solo tem efeito de modificar a dominância de espécies de FMA, segundo a teoria do distúrbio intermediário de Connell, desta forma os distúrbios iniciais podem ter ocasionado aumento na diversidade (TC e T3) se comparado com a área de Caatinga (CA), naturalmente menos diversa. Com o manejo adotado a longo tempo em T9 e T15 essa diversidade tende a ser reduzida (ABBOTT; GAZEY, 1994)

Os índices ecológicos aplicados neste estudo evidenciaram um padrão entre a riqueza e diversidade de espécies, considerando que a Caatinga apresentou menor riqueza e diversidade de espécies, mesmo apresentando maior abundância de glomerosporos, indicando uma dominância de espécies. Comparativamente, o tratamento TC que apresentou baixa abundância de esporos quando comparado a CA, apresentou maior índice de diversidade e riqueza de espécies de FMA.

O tratamento T3 apresentou maior abundância de glomerosporos e também maior riqueza, diversidade e equabilidade. Pontes et al. (2017) ao analisar áreas de Caatinga, pousio e observaram um aumento na abundância de glomerosporos e total de espécies em dose inicial de fibra de coco (12 toneladas por hectare) com redução para esses parâmetros com maiores doses de fibra de coco, o que corrobora com o presente trabalho com T3, uma dose inicial, apresentando maiores abundância, riqueza e diversidade de espécies em relação ao tratamento Caatinga e os tratamentos com maiores tempos de aplicação do PBZ (T9 e T15).

A alta concentração de P no tratamento T3 interferiu negativamente apenas na colonização micorrízica, entretanto, a riqueza e a diversidade não sofreram influência desse macronutriente presente em excesso. A relação entre a adubação fosfatada, colonização e diversidade de FMA foi evidenciada por Zhang et al. (2016) e por Alvaro-Herrejón et al. (2019) afirmando que a adubação fosfatada interfere apenas na colonização micorrízica, não apresentando quaisquer influências na riqueza de espécies ou na composição das comunidades (WILLIAMS et al., 2017) o que foi observado no presente estudo, onde, para o T3 a colonização foi a mais baixa dentre os demais tratamentos, por outro lado, a riqueza e a diversidade altas, mesmo apresentando altíssimas concentrações de fósforo.

Esse aumento na riqueza de espécies para os tratamentos iniciais com manejo de manga e PBZ, pode ser resposta de um estresse inicial empregado na área, o primeiro estresse com a supressão vegetal, preparo do solo e introdução de plântulas de manga e um segundo estresse com a introdução do manejo químico com o fitorregulador PBZ. Algumas condições impostas nessas duas áreas com maior riqueza de espécies pode ser por: a) aumento na disponibilidade hídrica e de nutrientes corroborando com os achados de Del Mar Alguacil et al. (2012) e Silva et al. (2015); b) revolvimento do solo, tratos culturais e modificação na composição vegetal como fator-chave na modificação de uma fase micelial (intra e extrarradicular) para uma fase esporulante (STÜRMER; SIQUEIRA, 2011); c) seleção de espécies de FMA adaptadas ao tempo de aplicação de PBZ que passou pelos filtros ambientais impostos na área ao longo dos anos.

Em relação a essa última proposição, Atunnisa e Ezawa (2019) defendem que espécies de FMA tolerantes a distúrbios ambientais são amplamente distribuídos nos ecossistemas e que o aninhamento ecológico “nestedness” atua nessas comunidades favorecendo espécies mais robustas e tolerantes. Associando-se esse conceito ecológico ao que foi encontrado em nosso trabalho, verifica-se que espécies generalistas, *e.g. Glomus*, tendem a passar por todos os filtros ambientais impostos nas áreas não interferindo negativamente em sua composição entre as diferentes condições de manejo.

Os resultados obtidos no experimento em casa de vegetação com girassol ornamental demonstraram que maior riqueza e diversidade de espécies de FMA, presente em T3 e TC, nem sempre estão diretamente relacionadas a maior funcionalidade, de forma a prover maior desenvolvimento da planta. Maior desenvolvimento do *H. annuus* nos tratamentos T15 e de forma menos marcante em T9 pode estar associado a uma comunidade de FMA adaptada ao manejo com adição de PBZ e altamente funcional, garantindo desenvolvimento da planta. Ao contrário, maior riqueza e diversidade de espécies de FMA associadas ao tratamento T3 e TC pode significar uma comunidade funcionalmente menos eficiente em proporcionar crescimento.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A médio prazo, doses crescentes de PBZ não interferem na riqueza e diversidade de espécies de FMA, sendo o tempo o fator mais determinante para modificação nas comunidades destes fungos sob influência desse fitorregulador.

Menores doses de PBZ podem estimular a esporulação de algumas espécies – *Acaulospora* sp. 6, *G. macrocarpum*, *Glomus* sp. 1, presentes em comunidades de solos suplementados com 0,3 e 0,6 g.i.a.m⁻¹ de PBZ.

Em geral, representantes do gênero *Acaulospora* foram sensíveis ao manejo com PBZ, reduzindo sua abundância relativa, fato que pode ter favorecido também as espécies de *Glomus* que aumentaram sua representatividade na rizosfera de manga cv. Palmer manejada com PBZ aplicado diretamente em solo. Estes resultados confirmam a característica estresse-tolerante de representantes do gênero *Glomus* em áreas suplementadas com PBZ tanto em doses crescentes quanto em anos de aplicação.

O manejo prolongado com PBZ leva à redução da riqueza e diversidade de FMA em áreas de manga cv. Osteen, porém quando se analisa a comunidade micorrízica em áreas jovens de cultivo de manga e com pouco tempo de aplicação de PBZ detecta-se certa riqueza e diversidade de espécies de FMA, provavelmente decorrente do efeito de distúrbio intermediário.

Em áreas com manejo a longo prazo com PBZ (>nove anos) é possível selecionar espécies ou comunidades de FMA que possuem funcionalidade em promover a colonização e o crescimento de *H. annuus*, as quais podem ser consideradas resilientes. Esta resiliência é verificada pelo aumento no número de propágulos infectivos a partir do cultivo com girassol dos solos provindos de áreas com histórico de aplicação de PBZ por longo tempo.

REFERÊNCIAS

- ABBOTT, L. K.; GAZEY, C. An ecological view of the formation of VA mycorrhizas. **Plant and Soil**, v. 159, n. 1, p. 69, 1994.
- ALLAN, S. N. Disturbance and the community composition of arbuscular mycorrhizal fungi in Ontario tallgrass prairies. 2017.
- ALVARADO-HERREJÓN, M. et al. Relation between arbuscular mycorrhizal fungi, root-lesion nematodes and soil characteristics in maize agroecosystems. **Applied soil ecology**, v. 135, p. 1-8, 2019.
- ANTUNES, P. M. et al. Evidence for functional divergence in arbuscular mycorrhizal fungi from contrasting climatic origins. **New Phytologist**, v. 189, n. 2, p. 507-514, 2011.
- ANUÁRIO BRASILEIRO DE HORTI & FRUTI 2019. Disponível em: <http://www.editoragazeta.com.br/anuario-brasileiro-de-hortifruti-2019/> Acesso em 23 nov. 2019
- ARAÚJO, T. M. et al. Diversity of Arbuscular Mycorrhizal Fungi in Agroforestry, Conventional Plantations and Native Forests in Roraima State, Northern Brazil. **Journal of Agricultural Science**, v. 11, n. 14, 2019.
- ALMEIDA, B. et al. Comparing species richness, functional diversity and functional composition of waterbird communities along environmental gradients in the neotropics. **PloS one**, v. 13, n. 7, 2018.
- ATUNNISA, R.; EZAWA, T. Nestedness in Arbuscular Mycorrhizal Fungal Communities in a Volcanic Ecosystem: Selection of Disturbance-tolerant Fungi along an Elevation Gradient. **Microbes and environments**, p. ME19073, 2019.
- AVIO, L. et al. Functional diversity of arbuscular mycorrhizal fungal isolates in relation to extraradical mycelial networks. **New Phytologist**, v. 172, n. 2, p. 347-357, 2006.
- BALTRUSCHAT, H. et al. Unexpectedly high diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in fertile Chernozem croplands in Central Europe. **Catena**, v. 182, p. 104-135, 2019.
- BEGOUDE, D. A. B. et al. Composition of arbuscular mycorrhizal fungi associated with cassava (*Manihot esculenta* Crantz) cultivars as influenced by chemical fertilization and tillage in Cameroon. **Journal of Applied Biosciences**, v. 98, p. 9270-9283, 2016.
- BHATTACHERJEE, A. K.; SINGH, V. K. Uptake of soil applied paclobutrazol in mango cv. Dashehari and its persistence in soil, leaves and fruits. **Indian Journal of Plant Physiology**, v. 20, n. 1, p. 39-43, 2015.
- BI et al. Arbuscular mycorrhizal fungi alleviate root damage stress induced by simulated coal mining subsidence ground fissures. **Science of The Total Environment**, v. 652, p. 398-405, 2019.

- BIDARTONDO et al. The dawn of symbiosis between plants and fungi. **Biology letters**, v. 7, n. 4, p. 574-577, 2011.
- BŁASZKOWSKI, J. et al. **Glomeromycota**. W. Szafer Institute of Botany, Polish Academy of Sciences, 2012.
- BONFIM, J. A. et al. Arbuscular mycorrhizal fungi in the Brazilian Atlantic forest: A gradient of environmental restoration. **Applied Soil Ecology**, v. 71, p. 7-14, 2013.
- BRITO, C. L. L. et al. Efeito do paclobutrazol no desenvolvimento de plantas de girassol ornamental. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 39, n. 1, p. 153-160, 2016.
- BRUNDRETT, M. C. Coevolution of roots and mycorrhizas of land plants. **New phytologist**, v. 154, n. 2, p. 275-304, 2002.
- BRUNDRETT, M. et al. **Working with mycorrhizas in forestry and agriculture**. Canberra: Australian Centre for International Agricultural Research, 1996.
- BRUNDRETT, M. C.; TEDERSOO, L. Evolutionary history of mycorrhizal symbioses and global host plant diversity. **New Phytologist**, v. 220, n. 4, p. 1108-1115, 2018.
- 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, n. 1-2, p. 37-77, 2009.
- BURLEIGH, S. H.; CAVAGNARO, T.; JAKOBSEN, I. Functional diversity of arbuscular mycorrhizas extends to the expression of plant genes involved in P nutrition. **Journal of Experimental Botany**, v. 53, n. 374, p. 1593-1601, 2002.
- BURONDKAR, M. M. et al. Hormonal changes during flowering in response to paclobutrazol application in mango cv. Alphonso under Konkan conditions. **Indian Journal of Plant Physiology**, v. 21, n. 3, p. 306-311, 2016.
- BUSTAMANTE, P. M. A. C. A fruticultura no Brasil e no Vale do São Francisco: vantagens e desafios. **Revista Econômica do Nordeste**, v. 40, n. 1, p. 153-172, 2009.
- CALAÇA, A. M.; GRELLE, C. E. V. Diversidade funcional de comunidades: Discussões conceituais e importantes avanços metodológicos. **Oecologia Australis**, v. 20, n. 04, p. 401-416, 2016.
- CALLONNE, M. et al. Side effects of the sterol biosynthesis inhibitor fungicide, propiconazole, on a beneficial arbuscular mycorrhizal fungus. **Communications in agricultural and applied biological sciences**, v. 76, n. 4, p. 891-902, 2011.
- CARNEIRO, M. A. C. et al. Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi and nematodes in a 14 years no-tillage chronosequence. **Rhizosphere**, v. 10, p. 100149, 2019.
- CARENHO, R.; GOMES-DA-COSTA, S. M. Environmental degradation impact on native communities of arbuscular mycorrhizal fungi in an urban fragment of semideciduous plateau forest. **Acta Botanica Brasilica**, v. 25, n. 2, p. 373-379, 2011.

CASTELLI, M. et al. Arbuscular mycorrhizal fungi diversity in maize under different soil managements and seed treatment with fungicide. **Journal of Food, Agriculture & Environment**, v. 12, n. 2, p. 486-491, 2014.

CERQUEIRA, A. E. S. et al. Amazon basin pasture soils reveal susceptibility to phytopathogens and lower fungal community dissimilarity than forest. **Applied Soil Ecology**, v. 131, p. 1-11, 2018.

CHAGNON, P. et al. A trait-based framework to understand life history of mycorrhizal fungi. **Trends in plant science**, v. 18, n. 9, p. 484-491, 2013.

CHAKRABORTY et al. Arbuscular mycorrhiza and dark septate endophyte fungal associations of *Oryza sativa* L. under field condition: colonization features and their occurrence. **Plant Science Today**, v. 6, n. 1, p. 63-70, 2019.

CHANNABASAVA, A.; LAKSHMAN, H. C.; JORQUERA, M. A. Effect of fungicides on association of arbuscular mycorrhiza fungus *Rhizophagus fasciculatus* and growth of Proso millet (*Panicum miliaceum* L. **Journal of soil science and plant nutrition**, v. 15, n. 1, p. 35-45, 2015.

CHEN, E. C. H. et al. High intraspecific genome diversity in the model arbuscular mycorrhizal symbiont *Rhizophagus irregularis*. **New Phytologist**, v. 220, n. 4, p. 1161-1171, 2018.

CHEN, J. et al. Biodegradation of paclobutrazol by a microbial consortium isolated from industrially contaminated sediment. **Toxicological and Environ Chemistry**, v. 92, n. 8, p. 1487-1494, 2010.

CHIOMENTO, J. L. T. et al. Composition of arbuscular mycorrhizal fungi communities signals generalist species in soils cultivated with strawberry. **Scientia Horticulturae**, v. 253, p. 286-294, 2019.

CIANCIARUSO, M. V.; SILVA, I. A.; BATALHA, M. A. Diversidades filogenética e funcional: novas abordagens para a Ecologia de comunidades. **Biota Neotropica**, v. 9, n. 3, p. 93-103, 2009.

COHEN, I. et al. Plant growth regulators improve drought tolerance, reduce growth and evapotranspiration in deficit irrigated *Zoysia japonica* under field conditions. **Plant Growth Regulation**, v. 88, n. 1, p. 9-17, 2019.

COMAS et al. Evolutionary patterns and biogeochemical significance of angiosperm root traits. **International Journal of Plant Sciences**, v. 173, n. 6, p. 584-595, 2012.

COSME et al. Non-mycorrhizal plants: the exceptions that prove the rule. **Trends in Plant Science**, v. 23, n. 7, p. 577-587, 2018.

COSTA, A. R. S. et al. Desertification in semi-arid northeast of Brazil| Desertificação no nordeste semi-árido do Brasil. **Revista Geama**, v. 2, n. 4, p. 427-445, 2016.

COSTA, M. A.; TORNISIELO, V. L.; REGITANO, J. B. Mobilidade do paclobutrazol em um solo franco-arenoso cultivado com manga no nordeste brasileiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 5, p. 2177-2182, 2008.

DANTAS, B. L. et al. Diversidade de fungos micorrízicos arbusculares em pomar orgânico no semiárido cearense. **Ciência Rural**, v. 45, n. 8, p. 1480-1486, 2015.

DE BEENHOUWER et al. Changing soil characteristics alter the arbuscular mycorrhizal fungi communities of Arabica coffee (*Coffea arabica*) in Ethiopia across a management intensity gradient. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 91, p. 133-139, 2015.

DE NOVAIS, C. B. et al. Interconnectedness, length and viability of arbuscular mycorrhizal mycelium as affected by selected herbicides and fungicides. **Applied Soil Ecology**, v. 143, p. 144-152, 2019.

DEEPIKA, S.; KOTHAMASI, D. Soil moisture—a regulator of arbuscular mycorrhizal fungal community assembly and symbiotic phosphorus uptake. **Mycorrhiza**, v. 25, n. 1, p. 67-75, 2015.

DEL MAR ALGUACIL, M. et al. Long-term effects of irrigation with waste water on soil AM fungi diversity and microbial activities: the implications for agro-ecosystem resilience. **PloS one**, v. 7, n. 10, 2012.

DEL MAR ALGUACIL, M. et al. Soil characteristics driving arbuscular mycorrhizal fungal communities in semiarid Mediterranean soils. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 82, n. 11, p. 3348-3356, 2016.

DÍAZ, S.; CABIDO, M. Vive la différence: plant functional diversity matters to ecosystem processes. **Trends in ecology & evolution**, v. 16, n. 11, p. 646-655, 2001.

DODD, J. C.; JEFFRIES, P. Effect of fungicides on three vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi associated with winter wheat (*Triticum aestivum* L.). **Biology and Fertility of Soils**, v. 7, n. 2, p. 120-128, 1989.

DUDINSZKY, N. et al. Role of Grazing Intensity on Shaping Arbuscular Mycorrhizal Fungi Communities in Patagonian Semiarid Steppes. **Rangeland ecology & management**, v. 72, n. 4, p. 692-699, 2019.

EID, K. E. et al. Arbuscular mycorrhiza and environmentally biochemicals enhance the nutritional status of *Helianthus tuberosus* and induce its resistance against *Sclerotium rolfsii*. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 186, p. 109783, 2019.

EISENHAUER, N. et al. Niche dimensionality links biodiversity and invasibility of microbial communities. **Functional Ecology**, v. 27, n. 1, p. 282-288, 2013.

ELMQVIST, T. et al. Response diversity, ecosystem change, and resilience. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v. 1, n. 9, p. 488-494, 2003.

EVELIN et al. Mitigation of salinity stress in plants by arbuscular mycorrhizal symbiosis: current understanding and new challenges. **Frontiers in Plant Science**, v. 10, n. 470, p. 1-21, 2019.

FEDDERMANN, N. et al. Functional diversity in arbuscular mycorrhiza—the role of gene expression, phosphorous nutrition and symbiotic efficiency. **Fungal ecology**, v. 3, n. 1, p. 1-8, 2010.

FEDDERMANN, N. et al. *Medicago truncatula* shows distinct patterns of mycorrhiza-related gene expression after inoculation with three different arbuscular mycorrhizal fungi. **Planta**, v. 227, n. 3, p. 671-680, 2008.

FEIJEN et al. Evolutionary dynamics of mycorrhizal symbiosis in land plant diversification. **Scientific Reports**, v. 8, 2018.

FELDMANN, F.; IDCZAK, E. 18 Inoculum Production of Vesicular-arbuscular Mycorrhizal Fungi for Use in Tropical Nurseries. In: **Methods in microbiology**. Academic Press, 1992. p. 339-357.

FERNANDES, R. A. et al. Occurrence and species richness of mycorrhizal fungi in soil under different land use. **Canadian journal of soil science**, v. 96, n. 3, p. 271-280, 2016.

FOSSALUNGA, A. S.; NOVERO, M. To trade in the field: the molecular determinants of arbuscular mycorrhiza nutrient exchange. **Chemical and Biological Technologies in Agriculture**, v. 6, n. 1, p. 12, 2019.

FRANCO et al. First report of enhanced contents of nine macro-and micronutrients in gymnosperms via arbuscular mycorrhizal fungi. **BioRxiv**, p. 515031, 2019.

GAO et al. Increased precipitation, rather than warming, exerts a strong influence on arbuscular mycorrhizal fungal community in a semiarid steppe ecosystem. **Botany**, v. 94, n. 6, p. 459-469, 2016.

GARCÍA DE LEÓN, D. et al. Anthropogenic disturbance equalizes diversity levels in arbuscular mycorrhizal fungal communities. **Global change biology**, v. 24, n. 6, p. 2649-2659, 2018.

GARCÍA, S.; PEZZANI, F.; RODRÍGUEZ-BLANCO, A. Long-term phosphorus fertilization effects on arbuscular mycorrhizal fungal diversity in Uruguayan grasses. **Journal of soil science and plant nutrition**, v. 17, n. 4, p. 1013-1027, 2017.

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, n. 2, p. 235-244, 1963.

GHANTA, R.; SEN, M.; DUTTA, S. An investigation on arbuscular mycorrhizal colonization in some pteridophytes of West Bengal, India. **Int. J. Adv. Res. Biol. Sci**, v. 3, n. 11, p. 143-153, 2016.

GOLLAGI, S. G.; JASMITHA, B. G.; SREEKANTH, H. S. A review on: Paclobutrazol a boon for fruit crop production. **Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry**, v. 8, n. 3, p. 2686-2691, 2019.

GONÇALVES, I. C. R. et al. Effect of paclobutrazol on microbial biomass, respiration and cellulose decomposition in soil. **European journal of soil biology**, v. 45, n. 3, p. 235-238, 2009.

GOSLING, P.; JONES, J.; BENDING, G. D. Evidence for functional redundancy in arbuscular mycorrhizal fungi and implications for agroecosystem management. **Mycorrhiza**, v. 26, n. 1, p. 77-83, 2016.

GOTO, B. T. et al. Checklist of the arbuscular mycorrhizal fungi (Glomeromycota) in the Brazilian semiarid. **Mycotaxon**, v. 113, p. 251-254, 2010.

GUADARRAMA, P. et al. Propagules of arbuscular mycorrhizal fungi in a secondary dry forest of Oaxaca, Mexico. **Revista de Biología Tropical**, v. 56, n. 1, p. 269-277, 2008

GUPTA, N.; BIHARI, K. M.; SENGUPTA, I. Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in different salinity of mangrove ecosystem of Odisha, India. **Advances in Plants & Agriculture Research**, v. 3, n. 1, p. 85, 2016.

HAGE-AHMED, K.; ROSNER, K.; STEINKELLNER, S. Arbuscular mycorrhizal fungi and their response to pesticides. **Pest management science**, v. 75, n. 3, p. 583-590, 2019.

HART, M. M.; READER, R. J. Host plant benefit from association with arbuscular mycorrhizal fungi: variation due to differences in size of mycelium. **Biology and Fertility of Soils**, v. 36, n. 5, p. 357-366, 2002 a.

HART, M. M.; READER, R. J. Taxonomic basis for variation in the colonization strategy of arbuscular mycorrhizal fungi. **New Phytologist**, v. 153, p. 335-344, 2002 b.

HE et al. Effects of soil and climatic factors on arbuscular mycorrhizal fungi in rhizosphere soil under *Robinia pseudoacacia* in the Loess Plateau, China. **European Journal of Soil Science**, v. 67, n. 6, p. 847-856, 2016.

HIGO, M. et al. Can phosphorus application and cover cropping alter arbuscular mycorrhizal fungal communities and soybean performance after a five-year phosphorus-unfertilized crop rotational system?. **PeerJ**, v. 6, p. e4606, 2018.

HOLLICK, P. et al. Response to paclobutrazol of symbiotic mycorrhizal fungi and dropper (tuber stalk) formation of host orchid seedlings. **Plant growth regulation**, v. 36, n. 1, p. 31-39, 2002.

HONG, J. J. et al. Diversity of morphology and function in arbuscular mycorrhizal symbioses in *Brachypodium distachyon*. **Planta**, v. 236, n. 3, p. 851-865, 2012.

HOYSTED et al. A mycorrhizal revolution. **Current opinion in plant biology**, v. 44, p. 1-6, 2018.

HUANG et al. Soil chemical properties and geographical distance exerted effects on arbuscular mycorrhizal fungal community composition in pear orchards in Jiangsu Province, China. **Applied Soil Ecology**, v. 142, p. 18-24, 2019a.

HUANG, Z. et al. Prediction of the distribution of arbuscular mycorrhizal fungi in the metal (loid)-contaminated soils by the arsenic concentration in the fronds of *Pteris vittata* L. **Journal of Soils and Sediments**, v. 18, n. 7, p. 2544-2551, 2018.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) – Disponível em: <
<https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/vegetacao.html>> Acesso em 7 de fev. 2020

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) – Disponível em: <
https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/3096/agro_2017_resultados_definitivos.pdf> Acesso em 7 de fev. 2020

JACKSON, M. J.; LINE, M. A.; HASAN, O. Microbial degradation of a recalcitrant plant growth retardant—paclobutrazol (PP333). **Soil biology and biochemistry**, v. 28, n. 9, p. 1265-1267, 1996.

JANSA, J.; SMITH, F. A.; SMITH, S. E. Are there benefits of simultaneous root colonization by different arbuscular mycorrhizal fungi?. **New Phytologist**, v. 177, n. 3, p. 779-789, 2008.

JENKINS, W. et al. A rapid centrifugal-flotation technique for separating nematodes from soil. **Plant disease reporter**, v. 48, n. 9, 1964.

JIANG, X. et al. Environmental behavior of paclobutrazol in soil and its toxicity on potato and taro plants. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 26, n. 26, p. 27385-27395, 2019.

JIN, H.; GERMIDA, J. J.; WALLEY, F. L. Suppressive effects of seed-applied fungicides on arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) differ with fungicide mode of action and AMF species. **Applied Soil Ecology**, v. 72, p. 22-30, 2013.

JU, C. et al. Effects of hexaconazole application on soil microbes community and nitrogen transformations in paddy soils. **Science of The Total Environment**, v. 609, p. 655-663, 2017.

JUNGKLANG, J.; SAENGNIL, K.; UTHAIBUTRA, J.. Effects of water-deficit stress and paclobutrazol on growth, relative water content, electrolyte leakage, proline content and some antioxidant changes in *Curcuma alismatifolia* Gagnep. cv. Chiang Mai Pink. **Saudi Journal of Biological Sciences**, v. 24, n. 7, p. 1505-1512, 2017.

KALERI, A. A. et al. Integrated foliar fertilizer effects on growth and yield of sunflower. **Pakistan Journal of Agriculture, Agricultural Engineering and Veterinary Sciences**, v. 35, n. 1) June, p. 25-28, 2019.

KAMRAN, M. et al. Application of paclobutrazol affect maize grain yield by regulating root morphological and physiological characteristics under a semi-arid region. **Scientific reports**, v. 8, n. 1, p. 1-15, 2018.

KARIMI, M. et al. Plant growth retardants (PGRs) affect growth and secondary metabolite biosynthesis in *Stevia rebaudiana* Bertoni under drought stress. **South African journal of botany**, v. 121, p. 394-401, 2019.

KEYMER et al. Lipid transfer from plants to arbuscular mycorrhiza fungi. **Elife**, v. 6, p. e29107, 2017.

KHUNPON, B. et al. Paclobutrazol mitigates salt stress in indica rice seedlings by enhancing glutathione metabolism and glyoxalase system. **Biologia**, v. 73, n. 12, p. 1267-1276, 2018.

KOCH, A. M. et al. Evolutionary asymmetry in the arbuscular mycorrhizal symbiosis: conservatism in fungal morphology does not predict host plant growth. **New Phytologist**, v. 214, n. 3, p. 1330-1337, 2017.

KOCH, A. M. et al. High genetic variability and low local diversity in a population of arbuscular mycorrhizal fungi. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 101, n. 8, p. 2369-2374, 2004.

KOHLER et al. Unraveling the role of hyphal networks from arbuscular mycorrhizal fungi in aggregate stabilization of semiarid soils with different textures and carbonate contents. **Plant and Soil**, v. 410, n. 1-2, p. 273-281, 2017.

KONVALINKOVÁ, T.; JANSÁ, J. Lights off for arbuscular mycorrhiza: on its symbiotic functioning under light deprivation. **Frontiers in Plant Science**, v. 7, p. 782, 2016.

KOUTROUBAS, S. D.; DAMALAS, C. A. Sunflower response to repeated foliar applications of Paclobutrazol. **Planta daninha**, v. 33, n. 1, p. 129-135, 2015.

KUMAR, A.; SHARMA, N. Growth, flowering and physiological responses of olive trees to growth retardants under rain-fed conditions of Himachal Pradesh. **Indian Journal of Horticulture**, v. 75, n. 3, p. 411-414, 2018.

KUO, J. et al. The effect of paclobutrazol on soil bacterial composition across three consecutive flowering stages of mung bean. **Folia Microbiologica**, v. 64, n. 2, p. 197-205, 2019.

LAMBERS, H.; TESTE, F. P. Interactions between arbuscular mycorrhizal and non-mycorrhizal plants: do non-mycorrhizal species at both extremes of nutrient availability play the same game? **Plant, Cell & Environment**, v. 36, n. 11, p. 1911-1915, 2013.

LEAL, P. L. et al. Enrichment of arbuscular mycorrhizal fungi in a contaminated soil after rehabilitation. **brazilian journal of microbiology**, v. 47, n. 4, p. 853-862, 2016.

LEAL, P. L.; SIQUEIRA, J. O.; STÜRMER, S. L. Switch of tropical Amazon forest to pasture affects taxonomic composition but not species abundance and diversity of arbuscular mycorrhizal fungal community. **Applied Soil Ecology**, v. 71, p. 72-80, 2013.

LEHNERT, M.; KRUG, M.; KESSLER, M. A review of symbiotic fungal endophytes in lycophytes and ferns—a global phylogenetic and ecological perspective. **Symbiosis**, v. 71, n. 2, p. 77-89, 2017.

LEIFHEIT, E. F.; VERBRUGGEN, E.; RILLIG, M. C. Arbuscular mycorrhizal fungi reduce decomposition of woody plant litter while increasing soil aggregation. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 81, p. 323-328, 2015.

LENOIR, I.; FONTAINE, J.; SAHRAOUI, A. L. Arbuscular mycorrhizal fungal responses to abiotic stresses: a review. **Phytochemistry**, v. 123, p. 4-15, 2016.

LIAO et al. Phytohormones regulate the development of arbuscular mycorrhizal symbiosis. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 19, n. 10, p. 3146, 2018.

LIN, T.; ALVES DA SILVA, G.; OEHL, F.. Acaulospora tsugae, a new species in the Glomeromycetes from Taiwan, and a key to species in Acaulosporaceae. **Nova Hedwigia**, v. 108, n. 3-4, p. 475-488, 2019.

LIU, J. et al. Mycorrhizal inoculation modulates root morphology and root phytohormone responses in trifoliolate orange under drought stress. **Emirates Journal of Food and Agriculture**, p. 251-256, 2016.

LONG, J. R. et al. Mycorrhizal preference promotes habitat invasion by a native Australian orchid: *Microtis media*. **Annals of botany**, v. 111, n. 3, p. 409-418, 2013.

LUGINBUEHL et al. Fatty acids in arbuscular mycorrhizal fungi are synthesized by the host plant. **Science**, v. 356, n. 6343, p. 1175-1178, 2017.

MAIA, L. C. et al. Diversity of Brazilian Fungi. *Rodriguésia* [online]. 2015, vol. 66, n. 4.

MAITRA et al. Effect of drought and season on arbuscular mycorrhizal fungi in a subtropical secondary forest. **Fungal Ecology**, v. 41, p. 107-115, 2019.

MANE et al. Mycorrhizal Association in Pteridophytes Species from Marathwada Region of Deccan Plateau Zone of India. **Sciences**, v. 18, n. 1, p. 33-45, 2019.

MARINHO, F. et al. High diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in natural and anthropized sites of a Brazilian tropical dry forest (Caatinga). **Fungal Ecology**, v. 40, p. 82-91, 2019.

MARTINEZ, T. N.; JOHNSON, N. C. Agricultural management influences propagule densities and functioning of arbuscular mycorrhizas in low-and high-input agroecosystems in arid environments. **Applied soil ecology**, v. 46, n. 2, p. 300-306, 2010.

MCGONIGLE, T. P. et al. A new method which gives an objective measure of colonization of roots by vesicular—arbuscular mycorrhizal fungi. **New phytologist**, v. 115, n. 3, p. 495-501, 1990.

MENEZES et al. Arbuscular mycorrhizal fungal communities in buffelgrass pasture under intercropping and shading systems in Brazilian semiarid conditions. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 230, p. 55-67, 2016.

MENSAH, J. A. et al. High functional diversity within species of arbuscular mycorrhizal fungi is associated with differences in phosphate and nitrogen uptake and fungal phosphate metabolism. **Mycorrhiza**, v. 25, n. 7, p. 533-546, 2015.

MICHELINI, S.; CHINNERY, L. E.; THOMAS, J. P. The effect of paclobutrazol on the vesicular-arbuscular mycorrhizae of alemow, *Citrus macrophylla* Wester, rootstocks. In: **VI**

International Symposium on Growth Regulators in Fruit Production 239. 1988. p. 427-430.

MILFONT, M. L. et al. Sorção do paclobutrazol em dois solos cultivados com manga irrigada. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 2, n. 4, p. 285-291, 2007.

MIRZAEI, J.; MORADI, M.. Biodiversity of arbuscular mycorrhizal fungi in *Amygdalus scoparia* Spach plantations and a natural stand. **Journal of forestry research**, v. 28, n. 6, p. 1209-1217, 2017.

MORADI, M. et al. Arbuscular mycorrhizal fungi changes by afforestation in sand dunes. **Journal of arid environments**, v. 140, p. 14-19, 2017.

MORRIS et al. Visualizing the dynamics of soil aggregation as affected by arbuscular mycorrhizal fungi. **The ISME Journal**, p. 1-8, 2019.

MOUILLOT, D.; DUMAY, O.; TOMASINI, J. A. Limiting similarity, niche filtering and functional diversity in coastal lagoon fish communities. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 71, n. 3-4, p. 443-456, 2007.

MUNKVOLD, L. et al. High functional diversity within species of arbuscular mycorrhizal fungi. **New Phytologist**, v. 164, n. 2, p. 357-364, 2004.

MUÑOZ-LEOZ, B. et al. Tebuconazole application decreases soil microbial biomass and activity. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 43, n. 10, p. 2176-2183, 2011.

NAGARAJ, K.; PRIYADHARSINI, P.; MUTHUKUMAR, T. Mycorrhizal and septate endophytic fungal associations in gymnosperms of southern India. 2015.

NAVARRO et al. The influence of mycorrhizal inoculation and paclobutrazol on water and nutritional status of *Arbutus unedo* L. **Environmental and Experimental Botany**, v. 66, n. 3, p. 362-371, 2009.

NCBI. U.S. **National Library of Medicine – National Center for Biotechnology Information**. 2019. Disponível em: <<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/158076>>. Acesso em: 02 dez. 2019;

NUNES, H. B. et al. Is arbuscular mycorrhizal fungal species community affected by cotton growth management systems in the Brazilian Cerrado?. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 91, n. 4, 2019.

OCHOA REGO, J. et al. Distribution in plant, substrate and leachate of paclobutrazol following application to containerized *Nerium oleander* L. seedlings. 2009.

OEHL, F. et al. Advances in Glomeromycota taxonomy and classification. **IMA fungus**, v. 2, n. 2, p. 191-199, 2011.

OLIVEIRA, H. T. B. et al. Produção e qualidade de frutos de mangueira "Tommy Aktins" sob doses de Paclobutrazol. **Agropecuária Científica no Semiárido**, v. 10, n. 3, p. 89-92, 2015.

OLIVEIRA, M. B. et al. Paclobutrazol in the microbiota of a soil cultivated with 'Palmer' mango tree. In: **XII International Mango Symposium 1244**. 2017. p. 151-158.

PAGANO, M. C.; DUARTE, N. F.; CORRÊA, E. J. A. Effect of crop and grassland management on mycorrhizal fungi and soil aggregation. **Applied Soil Ecology**, v. 147, p. 103385, 2020.

PÁNKOVÁ, H. et al. Slow recovery of arbuscular mycorrhizal fungi and plant community after fungicide application: An eight-year experiment. **Journal of Vegetation Science**, v. 29, n. 4, p. 695-703, 2018.

PÊGO, R. G.; DE SOUZA MOZAR, A. P.; VEIGAS, H. B. Crescimento e qualidade de girassol ornamental tratados com paclobutrazol. **Pensar Acadêmico**, v. 14, n. 2, p. 108-115, 2016.

PEREIRA, C. M. R. et al. Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in Atlantic forest areas under different land uses. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 185, p. 245-252, 2014.

PEREIRA, J. E. S. et al. Arbuscular mycorrhizal fungi in soils of arboreal Caatinga submitted to forest management. **Embrapa Agrobiologia-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 2018.

PETCHEY, O. L.; GASTON, K. J. Functional diversity: back to basics and looking forward. **Ecology letters**, v. 9, n. 6, p. 741-758, 2006.

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

PONTES, J. S. et al. Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in Brazil's Caatinga and experimental agroecosystems. **Biotropica**, v. 49, n. 3, p. 413-427, 2017.

PRADO, D. E. As caatingas da América do Sul. **Ecologia e conservação da Caatinga**, v. 2, p. 3-74, 2003.

PRESSEL et al. Pteridophyte fungal associations: Current knowledge and future perspectives. **Journal of systematics and evolution**, v. 54, n. 6, p. 666-678, 2016.

QADRI, R. et al. Response of guava (*Psidium guajava* L.) softwood cuttings to paclobutrazol application in different rooting media. **Bangladesh Journal of Botany**, v. 47, n. 3, p. 361-367, 2018.

QUEIROZ, L. P. et al. Diversity and evolution of flowering plants of the Caatinga Domain. In: **Caatinga**. Springer, Cham, 2017. p. 23-63.

RAMOS, R. R. D.; DE MELO JÚNIOR, J. C. F. Mapping of the current land use in part of the Irrigated Perimeter Nilo Coelho, Petrolina-PE, Brazil. **Comunicata Scientiae**, v. 10, n. 1, p. 89-97, 2019.

RAMÍREZ-FLORES et al. Inoculation with the mycorrhizal fungus *Rhizophagus irregularis* increases nutrient uptake in maize (*Zea mays*) through hyphal foraging and promotion of root growth. **bioRxiv**, p. 1-36, 2019.

RICH et al. Diet of arbuscular mycorrhizal fungi: bread and butter?. **Trends in Plant Science**, v. 22, n. 8, p. 652-660, 2017.

RIMINGTON et al. Ancient plants with ancient fungi: liverworts associate with early-diverging arbuscular mycorrhizal fungi. **Proceedings of the Royal Society B**, v. 285, n. 1888, p. 20181600, 2018.

RIVERA-BECERRIL, F. et al. Impact of a pesticide cocktail (fenhexamid, folpel, deltamethrin) on the abundance of Glomeromycota in two agricultural soils. **Science of the Total Environment**, v. 577, p. 84-93, 2017.

ROSNER, K. et al. Soil tillage and herbicide applications in pea: arbuscular mycorrhizal fungi, plant growth and nutrient concentration respond differently. **Archives of Agronomy and Soil Science**, p. 1-13, 2019.

RUSSO et al. Ectopic activation of cortical cell division during the accommodation of arbuscular mycorrhizal fungi. **New Phytologist**, v. 221, n. 2, p. 1036-1048, 2019.

SATAPUTE, P. et al. Influence of triazole pesticides on tillage soil microbial populations and metabolic changes. **Science of The Total Environment**, v. 651, p. 2334-2344, 2019.

SCHALAMUK, S.; CABELLO, M. Arbuscular mycorrhizal fungal propagules from tillage and no-tillage systems: possible effects on Glomeromycota diversity. **Mycologia**, v. 102, n. 2, p. 261-268, 2010

SCHENCK, N. C.; PEREZ, Y. **Manual for the identification of VA mycorrhizal fungi**. Gainesville: Synergistic Publications, 1990.

SEESANGBOON, A. et al. Transcriptome analysis of *Jatropha curcas* L. flower buds responded to the paclobutrazol treatment. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 127, p. 276-286, 2018.

SILVA, I. R. et al. Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi along an environmental gradient in the Brazilian semiarid. **Applied Soil Ecology**, v. 84, p. 166-175, 2014.

SILVA, C. M. M. S.; VIEIRA, R. F.; NICOLELLA, G. Paclobutrazol effects on soil microorganisms. **Applied Soil Ecology**, v. 22, n. 1, p. 79-86, 2003.

SILVA, C. F. et al. Fungos micorrízicos arbusculares em áreas no entorno do Parque Estadual da Serra do Mar em Ubatuba (SP). **Revista Caatinga**, v. 19, n. 1, p. 1-10, 2006.

SILVA, P.T. de S. et al. Análise de paclobutrazol em solos de áreas cultivadas com diferentes variedades de mangueira no Vale do São Francisco empregando QuEchHers e CLAE. **Embrapa Semiárido-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 2017.

- SILVA, E. M. et al. Water availability and formation of propagules of arbuscular mycorrhizal fungi associated with sorghum. **Applied Soil Ecology**, v. 94, p. 15-20, 2015.
- SILVA, J. M. C.; LEAL, I. R.; TABARELLI, Marcelo (Ed.). **Caatinga: the largest tropical dry forest region in South America**. Springer, 2018.
- SINGH, V. K.; BHATTACHERJEE, A. K. Genotypic response of mango yield to persistence of paclobutrazol in soil. **Scientia Horticulturae**, v. 106, n. 1, p. 53-59, 2005.
- SMITH, S. E.; READ, D. J. **Mycorrhizal symbiosis**. Academic Press, 2008.
- SONG, Y. et al. Relationships between functional diversity and ecosystem functioning: A review. **Acta Ecologica Sinica**, v. 34, n. 2, p. 85-91, 2014.
- SOSA-HERNÁNDEZ A. et al. Subsoil arbuscular mycorrhizal fungal communities in arable soil differ from those in topsoil. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 117, p. 83-86, 2018.
- SPAGNOLETTI, F. N. et al. Phosphorus fertilization reduces the severity of charcoal rot (*Macrophomina phaseolina*) and the arbuscular mycorrhizal protection in soybean. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 181, n. 6, p. 855-860, 2018.
- STRULLU-DERRIEN et al. The origin and evolution of mycorrhizal symbioses: from palaeomycology to phylogenomics. **New Phytologist**, v. 220, n. 4, p. 1012-1030, 2018.
- 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, n. 4, p. 255-267, 2011.
- SUBBAIAH et al. Effect of paclobutrazol on hermaphrodite flowers, leaf chlorophyll. **Journal homepage: <http://www.ijcmas.com>**, v. 7, n. 04, p. 2018, 2018.
- SUGAVANAM, V.; UDAIYAN, K.; MANIAN, S. Effect of fungicides on vesicular-arbuscular mycorrhizal infection and nodulation in groundnut (*Arachis hypogea* L.). **Agriculture, ecosystems & environment**, v. 48, n. 3, p. 285-293, 1994.
- SUŁOWICZ, S.; PIOTROWSKA-SEGET, Z. Response of microbial communities from an apple orchard and grassland soils to the first-time application of the fungicide tetraconazole. **Ecotoxicology and environmental safety**, v. 124, p. 193-201, 2016.
- TANIS, S. R.; MCCULLOUGH, D. G.; CREGG, B. M. Effects of paclobutrazol and fertilizer on the physiology, growth and biomass allocation of three *Fraxinus* species. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 14, n. 3, p. 590-598, 2015.
- TAO et al. Arbuscular mycorrhizal fungi affect plant tolerance and chemical defences to herbivory through different mechanisms. **Journal of Ecology**, v. 104, n. 2, p. 561-571, 2016.
- TATSUMI, Y. et al. Mechanism of action of efinaconazole, a novel triazole antifungal agent. **Antimicrobial agents and chemotherapy**, v. 57, n. 5, p. 2405-2409, 2013.

- TETO, A. A. et al. Paclobutrazol retards vegetative growth in hydroponically-cultured *Leonotis leonurus* (L.) R. Br. Lamiaceae for a multipurpose flowering potted plant. **South African Journal of Botany**, v. 106, p. 67-70, 2016.
- TILMAN, D. Functional diversity. **Encyclopedia of biodiversity**, v. 3, n. 1, p. 109-120, 2001.
- TSIAFOULI et al. Intensive agriculture reduces soil biodiversity across Europe. **Global change biology**, v. 21, n. 2, p. 973-985, 2015.
- TURRINI, A. et al. Local diversity of native arbuscular mycorrhizal symbionts differentially affects growth and nutrition of three crop plant species. **Biology and fertility of soils**, v. 54, n. 2, p. 203-217, 2018.
- UPRETI, K. K. et al. Hormonal changes in response to paclobutrazol induced early flowering in mango cv. Totapuri. **Scientia Horticulturae**, v. 150, p. 414-418, 2013.
- VAN DER HEIJDEN et al. Mycorrhizal ecology and evolution: the past, the present, and the future. **New Phytologist**, v. 205, n. 4, p. 1406-1423, 2015.
- VAN DER HEIJDEN, M. G. A.; SCHEUBLIN, T. R. Functional traits in mycorrhizal ecology: their use for predicting the impact of arbuscular mycorrhizal fungal communities on plant growth and ecosystem functioning. **New Phytologist**, v. 174, n. 2, p. 244-250, 2007.
- VAN DER HEYDE et al. Arbuscular mycorrhizal fungus responses to disturbance are context-dependent. **Mycorrhiza**, v. 27, n. 5, p. 431-440, 2017.
- VAZ, F. L. et al. Biodegradação de paclobutrazol por *Pseudomonas* spp. em sistemas de solo saturados. **Química Nova**, v. 35, n. 6, p. 1090-1096, 2012.
- VERBRUGGEN, E. et al. Community assembly, species richness and nestedness of arbuscular mycorrhizal fungi in agricultural soils. **Molecular Ecology**, v. 21, n. 10, p. 2341-2353, 2012.
- VERBRUGGEN, E.; TOBY KIERS, E. Evolutionary ecology of mycorrhizal functional diversity in agricultural systems. **Evolutionary Applications**, v. 3, n. 5-6, p. 547-560, 2010.
- VERGARA, C. et al. Plant-mycorrhizal fungi interaction and response to inoculation with different growth-promoting fungi. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 54, 2019.
- VIOLLE, C. et al. Let the concept of trait be functional!. **Oikos**, v. 116, n. 5, p. 882-892, 2007.
- WAGG et al. The co-occurrence of ectomycorrhizal, arbuscular mycorrhizal, and dark septate fungi in seedlings of four members of the Pinaceae. **Mycorrhiza**, v. 18, n. 2, p. 103-110, 2008.
- WAGG, C. et al. Belowground biodiversity effects of plant symbionts support aboveground productivity. **Ecology Letters**, v. 14, n. 10, p. 1001-1009, 2011.
- WANDERLEY, C. da S.; REZENDE, R.; ANDRADE, C. A. B. Efeito de paclobutrazol como regulador de crescimento e produção de flores de girassol em cultivo hidropônico. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, n. 6, p. 1672-1678, 2007.

WANG et al. Nutrient exchange and regulation in arbuscular mycorrhizal symbiosis. **Molecular Plant**, v. 10, n. 9, p. 1147-1158, 2017.

WANG, C.; WHITE, P. J.; LI, C. Colonization and community structure of arbuscular mycorrhizal fungi in maize roots at different depths in the soil profile respond differently to phosphorus inputs on a long-term experimental site. **Mycorrhiza**, v. 27, n. 4, p. 369-381, 2017.

WATSON, G. W. The effect of paclobutrazol treatment on starch content, mycorrhizal colonization, and fine root density of white oaks (*Quercus alba* L.). **Arboriculture & Urban Forestry**, v. 32, n. 3, p. 114, 2006.

WEETE, J. D.; ABRIL, M.; BLACKWELL, M. Phylogenetic distribution of fungal sterols. **PloS One**, v. 5, n. 5, 2010.

WHIPKER, B. E.; DASOJU, S. Potted sunflower growth and flowering responses to foliar applications of daminozide, paclobutrazol, and uniconazole. **HortTechnology**, v. 8, n. 1, p. 86-88, 1998.

WILLIAMS, A. et al. Long-term agricultural fertilization alters arbuscular mycorrhizal fungal community composition and barley (*Hordeum vulgare*) mycorrhizal carbon and phosphorus exchange. **New Phytologist**, v. 213, n. 2, p. 874-885, 2017.

XIAO et al. Arbuscular mycorrhizal fungi abundance was sensitive to nitrogen addition but diversity was sensitive to phosphorus addition in karst ecosystems. **Biology and Fertility of Soils**, p. 1-13, 2019.

ZANGARO, W. et al. Root colonization and spore abundance of arbuscular mycorrhizal fungi in distinct successional stages from an Atlantic rainforest biome in southern Brazil. **Mycorrhiza**, v. 23, n. 3, p. 221-233, 2013.

ZARIK et al. Use of arbuscular mycorrhizal fungi to improve the drought tolerance of *Cupressus atlantica* G. **Comptes Rendus Biologies**, v. 339, n. 5-6, p. 185-196, 2016.

ZHANG, J. et al. Precipitation shapes communities of arbuscular mycorrhizal fungi in Tibetan alpine steppe. **Scientific Reports**, v. 6, p. 23488, 2016.

ZHANG, T. et al. Response of AM fungi spore population to elevated temperature and nitrogen addition and their influence on the plant community composition and productivity. **Scientific Reports**, v. 6, p. 1-12, 2016.

ZHANG, Z. et al. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi on inoculated seedling growth and rhizosphere soil aggregates. **Soil and Tillage Research**, v. 194, p. 1-7, 2019.

ZHOU, Z. et al. Improved tolerance of teak (*Tectona grandis* Lf) seedlings to low-temperature stress by the combined effect of arbuscular mycorrhiza and paclobutrazol. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 31, n. 3, p. 427-435, 2012.

