

**VAGNER ALVES RODRIGUES FILHO**

**MICROBIOTA E ATIVIDADE BIOLÓGICA EM SOLO SOB BANANEIRA ‘PRATA-  
ANÃ’ COM APLICAÇÃO DE COMPOSTO ORGÂNICO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Microbiologia Agrícola, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

Orientadora: Maria Catarina Megumi Kasuya

Coorientador: Sérgio Luiz Rodrigues Donato

**VIÇOSA - MINAS GERAIS  
2022**

**Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade  
Federal de Viçosa - Campus Viçosa**

T

R696m  
2022  
Rodrigues Filho, Vagner Alves, 1989-  
Microbiota e atividade biológica em solo sob bananeira  
'prata-anã' com aplicação de composto orgânico. / Vagner Alves  
Rodrigues Filho. – Viçosa, MG, 2022.  
1 tese eletrônica (76 f.): il. (algumas color.).

Orientador: Maria Catarina Megumi Kasuya.  
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa,  
Departamento de Microbiologia, 2022.

Inclui bibliografia.

DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2023.029>

Modo de acesso: World Wide Web.

1. Bananeira - Doenças e pragas - Controle. 2. Fungos  
fitopatogênicos. 3. Adubos e fertilizantes orgânicos. I. Kasuya,  
Maria Catarina Megumi, 1961-. II. Universidade Federal de  
Viçosa. Departamento de Microbiologia. Programa de  
Pós-Graduação em Microbiologia Agrícola. III. Título.

CDD 22. ed. 632.4677


**VAGNER ALVES RODRIGUES FILHO**

**MICROBIOTA E ATIVIDADE BIOLÓGICA EM SOLO SOB BANANEIRA ‘PRATA-  
ANÃ’ COM APLICAÇÃO DE COMPOSTO ORGÂNICO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Microbiologia Agrícola, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.


APROVADA: 01 de novembro de 2022.

Assentimento:

Documento assinado digitalmente  
 VAGNER ALVES RODRIGUES FILHO  
Data: 26/01/2023 11:21:20-0300  
Verifique em <https://verificador.iti.br>

---

Vagner Alves Rodrigues Filho  
Autor

Documento assinado digitalmente  
 MARIA CATARINA MEGUMI KASUYA  
Data: 27/01/2023 08:28:21-0300  
Verifique em <https://verificador.iti.br>

---

Maria Catarina Megumi Kasuya  
Orientadora

*A Deus, a minha mãe Julia e meu irmão  
Guilherme.*

*Aos meus avós maternos Antonio (in  
memorian) e Rita (in memorian).*

*Aos meus familiares e amigos de todos os  
momentos...*

*A todos bananeiros do Brasil.*

*DEDICO*

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus pelas oportunidades que me são dadas na vida, principalmente por ter conhecido pessoas e lugares interessantes, mas também por ter vivido fases difíceis, que foram matérias-primas de aprendizado.

Também, agradeço a minha mãe Julia e ao meu irmão Guilherme, sem os quais não estaria aqui, por todo apoio, amor, ensinamentos e confiança, por terem me fornecido condições para me tornar a pessoa que sou e por sempre me darem apoio e me incentivarem nas horas mais difíceis.

Aos meus avós maternos Antonio (*in memorian*) e Rita (*in memorian*) pelos ensinamentos, valores e determinação sem esses os quais não teria chegado aqui.

A todos da minha família, tios, tias, avós e primos, que de alguma forma contribuíram para a minha formação.

Ao Grupo Sítio Barreiras, principalmente na pessoa do Sr Fábio Régis de Albuquerque pelos ensinamentos, confiança, pelo imenso apoio, e dos recursos para realização deste trabalho, pois sem isso eu não teria chegado até aqui.

A Universidade Federal de Viçosa, por ter me acolhido e por ter me concedido oportunidade de cursar uma pós-graduação, muito além do que sonhava.

A minha Orientadora a Professora Maria Catarina Megumi Kasuya, por ter me aceitado como estudante, pelos ensinamentos, amizade, críticas e sugestões muito valorosas, foi uma honra conhecê-la e trabalhar com a senhora.

Ao meu Coorientador o Professor Júlio César Lima Neves, pelos ensinamentos, amizade, críticas e sugestões muito valorosas.

Ao meu Coorientador o DSc. Sérgio Luiz Rodrigues Donato pela amizade, dedicação e colaboração com críticas e sugestões que muito contribuíram na minha formação acadêmica e profissional. Além de ser um exemplo de pessoa e profissional.

Aos membros da banca, pelas valorosas contribuições que certamente elevaram o nível desse trabalho.

A Dra Rita Melo, pela ajuda no desenvolvimento desse trabalho, sem a sua ajuda não teríamos chegado até aqui.

Ao Programa de pós-graduação em Microbiologia Agrícola pelo acolhimento, estrutura e todo o conhecimento passado a mim, sem dúvida foi um divisor de águas na minha vida.

À Capes, ao CNPq e à Fapemig, pelo apoio financeiro que me permitiram usufruir da infraestrutura existente e desenvolvimento deste trabalho, nas dependências dos laboratórios do Departamento de Microbiologia/Bioagro/UFV.

Aos amigos que fiz em Viçosa, que tornaram minha estadia mais prazerosa.

Enfim, a todas as pessoas, que de uma forma ou outra colaboraram para a conclusão deste curso, meu sincero Obrigado!

## RESUMO

RODRIGUES FILHO, Vagner Alves, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, novembro de 2022. **Microbiota e atividade biológica em solo sob bananeira ‘prata-anã’ com aplicação de composto orgânico.** Orientadora: Maria Catarina Megumi Kasuya. Coorientador: Sérgio Luiz Rodrigues Donato.

O Brasil é considerado o quarto maior produtor mundial de banana, atrás da Índia, China e Indonésia, respectivamente. Apesar do grande volume de produção e grande área cultivada, a produtividade brasileira situa-se bem abaixo da de países como Indonésia, Costa Rica, Guatemala, Equador, Índia e China. Um dos fatores que limitam essa produtividade é a ocorrência da doença denominada mal do Panamá, causada pelo fungo *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* (FOC). No Brasil, a doença tem grande importância na bananicultura, limitando cultivos, principalmente do tipo Prata, havendo em alguns locais a tendência de substituição pelas cultivares do subgrupo Cavendish. Fertilizantes orgânicos contêm microrganismos, nutrientes e outros compostos que melhoram as características biológicas, químicas e físicas do solo, podendo modular a comunidade microbiana e favorecer a interação planta-microrganismos. Este trabalho foi desenvolvido na empresa Sítio Barreiras Fruticultura LTDA, na fazenda da Unidade Missão Velha (coleta) e nas dependências do Laboratório de Associações Micorrízicas, do Departamento de Microbiologia / BIOAGRO, da Universidade Federal de Viçosa (análises), com o objetivo de avaliar as características biológicas e a diversidade da comunidade microbiana dos solos de plantios comerciais de bananeira ‘Prata-Anã’ de diferentes idades e fertirrigadas com composto orgânico (Capítulo 1); e determinar as características biológicas, químicas e físicas dos solos cultivados com bananeira ‘Prata-Anã’ que receberam aplicação de composto orgânico, e compreender quais fatores e suas interações influenciam na incidência do FOC (Capítulo 2). As coletas foram realizadas em 11 áreas: nove áreas com bananais com a cultivar ‘Prata-Anã’ de três idades distintas de implantação, a saber, PIT2 - bananal de referência, com 22 anos de idade e sem a incidência de mal do Panamá; U8T4 – bananal com seis anos de idade e com a presença de FOC, porém com plantas assintomáticas; U8T4\_FOC – bananal com seis anos de idade, com a presença de FOC e com plantas sintomáticas, que recebem a aplicação de composto orgânico há seis anos, semanalmente; e duas áreas de referência adjacentes à área comercial: uma mata natural e um bananal de 15 anos, de propriedade vizinha, sem aplicação de composto orgânico. Foram coletadas três amostras compostas em cada área e em duas épocas, período chuvoso e seco. As

características biológicas do solo avaliadas foram: respiração, carbono da biomassa microbiana, quociente metabólico e microbiano, enzimas e as comunidades de nematoides e a diversidade bacteriana e fúngica. Análises químicas avaliadas foram pH, M.O.S., teores de macros e microelementos, e as físicas foram capacidade de retenção de água no solo, teor de areia, silte, argila, densidade do solo e de partícula. Verificou-se que as características biológicas do solo avaliadas são influenciadas pela área amostrada e pela época de amostragem. Plantios mais velhos apresentam comunidades microbianas mais estáveis. A diversidade microbiana do solo está associada à espécie de bananeira, sendo a sua composição, diversidade e atividades no solo alteradas em função do tempo de cultivo. A aplicação de composto orgânico via fertirrigação não influencia a riqueza e a diversidade microbiana no bananal, mas diminui a população de fitonematoides associado às raízes. As características biológicas, químicas e físicas dos solos, influenciam no aumento ou na diminuição do FOC em bananeiras. As alterações das características biológicas, químicas e físicas dos solos, após a aplicação de composto orgânico, principalmente com o maior tempo de cultivo, modulou as comunidades bacterianas e fúngicas, aumentando a supressividade da doença. Características que aumentam a degradação do sistema radicular da bananeira, aumentam a incidência de FOC. Conclui-se que o a influência maior nas alterações das características microbianas do solo, se dá principalmente com o aumento da idade de plantio, do que pela aplicação do composto orgânico líquido, porém quando há aplicação do composto orgânico sólido, pode haver um aumento da estabilidade microbiana, mesmo em plantio mais jovens. O maior equilíbrio, principalmente entre as características biológicas, químicas e físicas do solo, são mais determinantes na supressão de FOC, do que apenas algumas variáveis isoladas. E esse equilíbrio ocorre principalmente à medida que a idade do bananal avança.

Palavras-chave: *Musa spp.* Atividade microbiana. Biofertilizantes

## ABSTRACT

RODRIGUES FILHO, Vagner Alves, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, November, 2022. **Microbiota and biological activity in soil under 'prata-anã' banana tree with application of organic compost.** Adviser: Maria Catarina Megumi Kasuya. Co-adviser: Sérgio Luiz Rodrigues Donato.

Brazil is considered the fourth largest banana producer in the world, behind India, China and Indonesia, respectively. Despite the large volume of production and large cultivated area, Brazilian productivity is well below that of countries such as Indonesia, Costa Rica, Guatemala, Ecuador, India and China. One of the factors that limit this productivity is the occurrence of the disease called Panama disease, caused by the fungus *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* (FOC). In Brazil, the disease is of great importance in banana farming, limiting crops, mainly of the Prata type, and in some places there is a tendency to be replaced by cultivars of the Cavendish subgroup. Organic fertilizers contain microorganisms, nutrients and other compounds that improve the biological, chemical and physical characteristics of the soil, being able to modulate the microbial community and favor the plant-microorganism interaction. This work was carried out at the company Sítio Barreiras Fruticultura LTDA, at the Missão Velha Unit farm (collection) and at the premises of the Laboratory of Mycorrhizal Associations, of the Department of Microbiology / BIOAGRO, of the Federal University of Viçosa (analysis), with the objective of to evaluate the biological characteristics and the diversity of the microbial community of the soils of commercial plantations of banana 'Prata-Anã' of different ages and fertirrigated with organic compost (Chapter 1); and to determine the biological, chemical and physical characteristics of the soils cultivated with banana 'Prata-Anã' that received application of organic compost, and to understand which factors and their interactions influence the incidence of FOC (Chapter 2). The collections were carried out in 11 areas: nine areas with banana plantations with the cultivar 'Prata-Anã' of three different ages of implantation, namely, PIT2 - reference banana plantation, with 22 years of age and without the incidence of Panama disease; U8T4 – six-year-old banana plantation with the presence of FOC, but with asymptomatic plants; U8T4\_FOC – six-year-old banana plantation, with the presence of FOC and with symptomatic plants, which receive the application of organic compost for six years, weekly; and two reference areas adjacent to the commercial area: a natural forest and a 15-year-old banana plantation, on a neighboring property, without application of organic compost. Three composite samples were collected in each area and in two seasons, rainy and dry seasons.

The biological characteristics of the soil evaluated were: respiration, microbial biomass carbon, metabolic and microbial quotient, enzymes and nematode communities and bacterial and fungal diversity. Chemical analyzes evaluated were pH, M.O.S., macro and microelement contents, and the physical ones were soil water retention capacity, sand, silt, clay, soil and particle density. It was found that the biological characteristics of the soil evaluated are influenced by the sampled area and the sampling time. Older plantations have more stable microbial communities. Soil microbial diversity is associated with the banana species, and its composition, diversity and activities in the soil change as a function of growing time. The application of organic compost via fertigation does not influence the richness and microbial diversity in the banana plantation, but it reduces the population of nematodes associated with the roots. The biological, chemical and physical characteristics of the soil influence the increase or decrease of FOC in banana trees. The alterations in the biological, chemical and physical characteristics of the soils, after the application of organic compost, mainly with the longer cultivation time, modulated the bacterial and fungal communities, increasing the suppressiveness of the disease. Characteristics that increase the degradation of the banana root system, increase the incidence of FOC. It is concluded that the greatest influence on changes in soil microbial characteristics occurs mainly with increasing planting age, than by the application of liquid organic compost, but when there is application of solid organic compost, there may be an increase in stability. microbial growth, even in younger plantations. The greater balance, mainly between the biological, chemical and physical characteristics of the soil, are more determinant in the suppression of FOC, than just a few isolated variables. And this balance occurs mainly as the age of the banana plantation advances.

Keywords: *Musa spp.* Microbial activity. Biofertilizers.

## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO GERAL .....</b>	<b>11</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>12</b>
<b>CAPÍTULO 1.....</b>	<b>14</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>14</b>
<b>1.1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>15</b>
<b>1.2 MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>16</b>
1.2.1 Condições experimentais .....	16
1.2.2 Coleta de amostras.....	18
1.2.3 Atividades microbiológicas do solo .....	18
1.2.4 Diversidade biológica .....	20
1.2.5 Análises estatísticas .....	21
<b>1.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>21</b>
<b>1.4 CONCLUSÕES.....</b>	<b>37</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>37</b>
<b>CAPÍTULO 2.....</b>	<b>43</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>43</b>
<b>2.1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>44</b>
<b>2.2 MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>45</b>
2.2.1 Descrição das condições experimentais .....	45
2.2.2 Coleta de amostras.....	47
2.2.3 Caracterização química do solo .....	47
2.2.4 Caracterização física do solo .....	48
2.2.5 Comunidade de nematoides no solo .....	48
2.2.6 Atividades microbiológicas do solo .....	48
2.2.7 Diversidade biológica no solo .....	49
2.2.8 Análises estatísticas .....	50
<b>2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>50</b>
<b>2.4 CONCLUSÕES.....</b>	<b>69</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>69</b>
<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>76</b>

## INTRODUÇÃO GERAL

O Brasil é considerado o quarto maior produtor mundial de banana, atrás da Índia, China e Indonésia (FAO, 2022). Apesar do grande volume de produção e grande área cultivada, a produtividade brasileira é de  $14,5 \text{ t ha}^{-1}$ , bem abaixo da de países como Costa Rica ( $56,81 \text{ t ha}^{-1}$ ), Indonésia ( $50,06 \text{ t ha}^{-1}$ ), Guatemala ( $48,27 \text{ t ha}^{-1}$ ), Equador ( $36,2 \text{ t ha}^{-1}$ ), Índia ( $34,42 \text{ t ha}^{-1}$ ) e China ( $30,98 \text{ t ha}^{-1}$ ).

A produtividade agrícola é resultado da ação de vários fatores bióticos e abióticos. Entre esses a produtividade da bananeira está associada ao suprimento de nutrientes durante o ciclo da cultura, seja na forma química ou orgânica.

Fertilizantes orgânicos oriundos de processo de compostagem contém nutrientes e podem reduzir a necessidade de fertilizantes químicos, como nitrogênio, fósforo e potássio, além de melhorar as propriedades biológicas, químicas e físicas do solo.

A utilização de composto orgânico líquido na agricultura é relativamente recente no Brasil, e as informações sobre as alterações na qualidade dos solos pela adoção dessa prática ainda são escassas e restritas à utilização de esterco animal sólido, principalmente em solos cultivados por plantas frutíferas, como a bananeira. Esse composto líquido pode ser distribuído via irrigação, permitindo aumentar a eficiência e reduzir o custo de aplicação. Por apresentarem composição química muito variável em função do tipo de matéria-prima utilizada no processo de compostagem e da qualidade do material gerado, esses compostos demandam avaliações específicas, quanto ao valor agrônomico e aos possíveis efeitos sobre a qualidade do solo.

Os parâmetros biológicos e bioquímicos do solo, como C, N e P na biomassa microbiana ou atividade enzimática, são reativos às variações mínimas. Assim, eles poderiam fornecer informações imediatas e precisas sobre as mudanças na qualidade desse ambiente (Paz-Ferreiro e Fu, 2016).

Enzimas extracelulares catalisam a decomposição da matéria orgânica do solo (MOS), detrito, nitrogênio organicamente ligado (N), fósforo (P) e enxofre (S) em moléculas solúveis menores para assimilação microbiana e absorção de plantas (Cunha et al., 2012). Mas o processo é suscetível à quantidade e qualidade do esterco aplicado, assim como fatores como o pH do meio, o estado nutricional disponível e as culturas cultivadas (Song et al., 2018). Esses fatores alteram os *pools* de carbono orgânico do solo (COS) e a disponibilidade de substrato microbiano em vários ecossistemas (Wilson et al., 2018) e impactam a atividade enzimática e

a diversidade funcional (Bautista-Cruz et al., 2018). Assim, a quantidade e a qualidade dos adubos aplicados têm grande impacto na qualidade e na disponibilidade de nutrientes.

Melhorias na biomassa e atividade microbiana, C, N e atividades enzimáticas são encontradas devido à suplementação de fertilizantes orgânicos em solos altamente intemperizados (Mangalassery et al. 2019). Em Vertissolos da Índia central, foram encontradas atividades enzimáticas microbianas maiores ( $p > 0,05$ ) em parcelas orgânicas (Aher et al. 2015). A biomassa microbiana do solo, as populações de bactérias, fungos e actinomicetos, bem como as atividades enzimáticas do solo aumentaram ( $p > 0,05$ ) nos solos tratados com composto orgânico em comparação com outras fontes de fertilizantes (Chang et al., 2007). O C da biomassa microbiana (CBM), a urease, a protease, a fosfatase (ácida e alcalina), a sulfatase, a  $\beta$ -glicosidase etc. têm sido tradicionalmente utilizados para avaliar as mudanças na qualidade do solo devido ao manejo (Raiesi e Beheshti, 2015).

A aplicação do composto orgânico pode influenciar as características biológicas, químicas e físicas do solo, refletindo na produtividade e sanidade dos bananais. Assim, esta tese teve como objetivo avaliar as características biológicas, químicas e físicas dos solos cultivados com bananeira ‘Prata-Anã’, com diferentes idades de cultivo e com a ocorrência do mal do Panamá, fertirrigadas ou não com composto orgânico. Sendo divididos em dois capítulos. O primeiro trata de avaliar as características biológicas e a diversidade da comunidade microbiana dos solos de plantios comerciais de bananeira ‘Prata-Anã’ de diferentes idades e fertirrigadas com composto orgânico. E o segundo, de determinar as características biológicas, químicas e físicas dos solos cultivados em diferentes idades de plantio com bananeira ‘Prata-Anã’ que receberam aplicação de composto orgânico, e compreender quais fatores e suas interações influenciam na incidência do mal do Panamá.

## REFERÊNCIAS

Aher, S. B.; Lakaria, B. L.; Kaleshananda, S.; Singh, A. B.; Ramana, S.; Ramesh, K.; Thakur, J. K. 2015. Effect of organic farming practices on soil and performance of soybean (*Glycine max*) under semi-arid tropical conditions in Central India. *Journal of Applied Natural Science*. 7, 67–71.

Bautista-Cruz, A.; Leyva-Pablo, T.; de León-González, F.; Zornoza, R.; Martínez Gallegos, V.; Fuentes-Ponce, M.; Rodríguez-Sánchez, L. 2018. Cultivation of *Opuntia ficusindica* under different soil management practices: a possible sustainable agricultural system to promote soil carbon sequestration and increase soil microbial biomass and activity. *Land Degrad. Dev.* 29, 38–46.

Chang, E. H.; Chung, R.S.; Tsai, Y.H.; 2007. Effect of different application rates of organic fertilizer on soil enzyme activity and microbial population. *Soil Science. Plant Nutrition*. 53, 132–140.

Cunha, E. D. Q.; Stone, L. F.; Ferreira, E. P. D. B.; Didonet, A. D.; Moreira, J. A. 2012. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo sob produção orgânica impactados por sistemas de cultivo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 16, 56-63.

FAO. Food and Agricultural Organization. Faostat. Disponível em: <<http://www.faostat.fao.org/site/567/default.aspx>>. Acesso em: 12 maio. 2022.

Mangalassery, S.; Kalaivanan, D.; Philip, P.S. 2019. Effect of inorganic fertilisers and organic amendments on soil aggregation and biochemical characteristics in a weathered tropical soil. *Soil Till. Res.* 187, 144–151.

Paz-Ferreiro, J.; Fu, S. 2016. Biological indices for soil quality evaluation: perspectives and limitations. *Land Degrad. Dev.* 27, 14–25.

Raiesi, F.; Beheshti, A. 2015. Microbiological indicators of soil quality and degradation following conversion of native forests to continuous croplands. *Ecol. Indic.* 50, 173-185.

Song, D.; Tang, J.; Xi, X.; Zhang, S.; Liang, G.; Zhou, W.; Wang, X. 2018. Responses of soil nutrients and microbial activities to additions of maize straw biochar and chemical fertilization in a calcareous soil. *Eur. J. Soil Biol.* 84, 1–10.

Wilson, C. H.; Strickland, M. S.; Hutchings, J. A.; Bianchi, T. S.; Flory, S. L. 2018. Grazing enhances belowground carbon allocation, microbial biomass, and soil carbon in a subtropical grassland. *Glob. Chang. Biol.* 24, 2997–3009.

## CAPÍTULO 1

### ATIVIDADE BIOLÓGICA E DIVERSIDADE MICROBIANA EM SOLOS SOB BANANANEIRA ‘PRATA-ANÃ’ FERTIRRIGADAS COM COMPOSTO ORGÂNICO

#### RESUMO

Fertilizantes orgânicos contêm microrganismos, nutrientes e outros compostos que melhoram as características biológicas, químicas e físicas do solo, podendo modular a comunidade microbiana e favorecer a interação planta-microrganismos. Objetivou-se com o presente trabalho avaliar as características biológicas e a diversidade da comunidade microbianas dos solos de plantios comerciais de bananeira ‘Prata-Anã’ de diferentes idades e fertirrigadas com composto orgânico. O trabalho foi desenvolvido na fazenda da Unidade Missão Velha, da empresa Sítio Barreiras Fruticultura LTDA. As coletas foram realizadas em 5 áreas: 3 áreas com bananais com a cultivar ‘Prata-Anã’ de três idades distintas de implantação 6 anos, 16 anos e 22 anos, que recebem a aplicação de composto orgânico há seis anos, semanalmente; e duas área de referência adjacentes à área comercial: uma mata natural e um bananal de 15 anos, de propriedade vizinha, sem aplicação de composto orgânico. Sendo amostradas em duas épocas, período chuvoso e seco. Foram tomadas três amostras compostas em cada área. As características biológicas do solo avaliadas foram: respiração, carbono da biomassa microbiana, quociente metabólico e microbiano, enzimas e as comunidades de nematoides e bacteriana. As características biológicas do solo avaliadas são influenciadas pela área amostrada e pela época de amostragem. Plantios mais velhos apresentam comunidades bacterianas mais estáveis. A diversidade microbiana do solo está associada à espécie de bananeira, sendo a sua composição, diversidade e atividades no solo alteradas em função do tempo de cultivo. A aplicação de composto orgânico via fertirrigação não influencia a riqueza e a diversidade microbiana no bananal, mas diminui a população de fitonematoides associado às raízes.

**Palavras-chaves:** *Musa* spp., atividade microbiana, biofertilizante.

## 1.1 INTRODUÇÃO

Fertilizantes orgânicos contêm nutrientes e sua utilização pode reduzir a necessidade de fertilizantes químicos, como nitrogênio, fósforo e potássio, além de melhorar as características biológicas, químicas e físicas do solo.

A utilização de composto orgânico líquido na agricultura é relativamente recente no Brasil, e as informações sobre a qualidade dos solos pela adoção dessa prática ainda são pouco conhecidas. Esse composto orgânico líquido pode ser distribuído via irrigação, permitindo aumentar a eficiência e reduzir o custo de aplicação. Por apresentarem composição química variável em função do tipo de matéria-prima utilizada no processo de compostagem e da qualidade do material gerado, esses compostos demandam avaliações específicas, quanto ao valor agrônômico e aos possíveis efeitos sobre a qualidade do solo.

Em solos cultivados com bananeira (*Musa* spp.), a adubação orgânica promove incrementos nas características microbiológicas, aumento da diversidade e quantidade de microrganismos do solo, aumento da biomassa microbiana e atividades enzimáticas (Melero et al., 2007; Lee 2010; Moeskops et al., 2010). A adubação orgânica promove também melhoria nas características químicas do solo, como pH, matéria orgânica (MOS), fósforo (P), cálcio (Ca), soma de bases (SB), capacidade de troca catiônica (CTC) e saturação por bases (V%) do solo cultivado com bananeira (Damatto Junior et al., 2006).

Os métodos convencionais e intensivos de agricultura causam degradação solo, tanto sob o aspecto químico como físicos, além de poluir as águas superficiais (Castro et al., 2008). Na agricultura moderna, fertilizantes químicos são a principal fonte de nutrientes para as lavouras. Assim, a redução da qualidade do solo estaria relacionada principalmente às técnicas agrícolas inadequadas (Moreno et al., 2009).

O uso de práticas agrícolas ecológicas tem se mostrado eficaz na restauração ou melhoria da qualidade do solo em áreas cultivadas por bananeiras, reduzindo a perturbação mecânica do solo, protegendo a superfície do solo com cobertura morta, e adição de matéria orgânica ao solo (Damatto Junior et al., 2006). Essas práticas afetam também a rizosfera, local que ocorre grande interação entre as plantas e os microrganismos, sendo o local onde se pode moldar a promoção de crescimento e a supressão de doenças (Hadar e Papadopoulou, 2012). Assim, estudos atuais sobre os efeitos da aplicação de biofertilizante na microbiota estão focados na comunidade microbiana da rizosfera (Qiu et al., 2012; Zhang et al., 2014). Como o biofertilizante é aplicado diretamente ao solo, é importante compreender a mudança na comunidade microbiana do solo. Portanto, é necessário monitorar os efeitos da aplicação de

biofertilizante, bem como entender como as propriedades biológicas do solo podem estar envolvidas na promoção de crescimento e supressão de doenças das plantas (Garbeva et al., 2004).

As comunidades bacterianas e fúngicas em solos com aplicação de dose alta de biofertilizante (HBIO) eram diferentes de solos que levaram dose baixa de biofertilizante (LBIO) ou aqueles que recebiam somente fertilizantes químicos (CF) (Shen et al., 2015). Esses autores verificaram que a abundância de Firmicutes e *Bacillus* foi aumentada, enquanto a abundância de *Acidobacteria*, *Bacteroidetes* e Ascomycota diminuiu no tratamento HBIO em comparação ao CF. Essas alterações não foram somente devido ao efeito direto da quantidade do biofertilizante, mas também do efeito indireto, devido às alterações nas características químicas do solo, como aumento do pH e nos teores de MOS, nitrogênio (N) e potássio (K) (Shen et al., 2015). A aplicação de biofertilizante ainda diminuiu a incidência de *Fusarium oxysporum* e aumentou a biomassa vegetal (Shen et al., 2019).

Objetivou-se com o presente trabalho comparar as características biológicas e a diversidade microbiana em solos sob plantio comercial de bananeira ‘Prata-Anã’, com diferentes idades de cultivo e fertirrigadas, semanalmente, com composto orgânico.

## **1.2 MATERIAL E MÉTODOS**

### **1.2.1 Condições experimentais**

As amostras de solos foram coletadas na fazenda da Unidade Missão Velha, da empresa Sítio Barreiras Fruticultura LTDA, localizada no município de Missão Velha - Ceará, coordenadas geográficas de 7° 35' 90" S e 39° 21' 17" W, com altitude aproximada de 442 m. O clima da região é do tipo Aw - clima tropical com estação seca no inverno e chuvas concentradas no verão (Köppen-Geiger) (Figura 1). Nessa área, a empresa dispõe de 57 talhões de bananeira ‘Prata-Anã’, todas com fertirrigação química e orgânica, com área média de 3,26 ha cada. O composto orgânico é produzido na própria fazenda, utilizando como matéria prima, cama de frango, raquis da bananeira e cana-de-açúcar.

**Tabela 1.** Características químicas do solo, sob cultivo de bananeiras com idades distintas e em duas épocas de amostragem, bem como de uma mata e um bananal sem aplicação de composto, Missão Velha - CE.

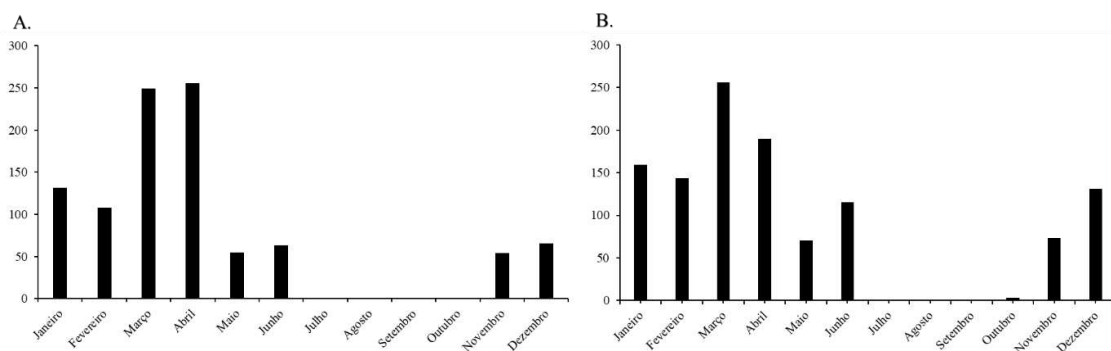
Área	pH		M.O g kg <sup>-1</sup>		P-Melich-1 ----- mg dm <sup>-3</sup> -----				P-Rem ----- mg dm <sup>-3</sup> -----		CTC cmolc dm <sup>-3</sup>	
	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca
Mata	5,6	6,1	31,0	28,6	2,0	5,3	49,3	49,8	4,51	6,17		
Bananal s/ composto	7,4	7,5	23,3	16,9	20,1	27,8	53,3	53,5	4,78	5,68		
Seis anos	7,7	7,7	25,7	13,3	126,6	106,6	48,7	49,3	4,56	5,12		
Dezesseis anos	7,1	7,4	36,6	20,7	138,0	96,7	48,0	47,8	7,42	7,25		
Vinte e dois anos	7,3	7,5	34,3	33,1	144,3	106,3	46,0	46,1	17,35	16,36		

Área*	K		Ca		Mg		H+Al		S	
	----- cmolc dm <sup>-3</sup> -----									
	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca
Mata	0,14	0,16	2,30	2,63	0,57	0,57	0,1	2,80	10,0	6,0
Bananal s/ composto	0,13	0,18	2,87	3,37	0,95	1,12	0,0	0,97	8,7	5,5
Seis anos	0,19	0,14	2,50	2,73	1,10	1,20	0,0	0,97	10,7	10,0
Dezesseis anos	0,19	0,24	4,97	4,43	1,30	1,30	0,0	1,20	12,7	8,7
Vinte e dois anos	1,22	0,78	11,87	11,27	3,10	3,03	0,0	1,20	2,0	8,7

M.O: Teor de matéria orgânica do solo; P-Melich-1: Teor de fósforo do solo extraído por Melich-1; P-Rem: Fósforo remanescente; CTC: Capacidade de troca catiônica.

As coletas foram realizadas em cinco áreas de amostragem: 3 áreas com bananais com a cultivar 'Prata-Anã', dividido em três idades distintas de implantação 22 anos, 16 anos e 6 anos, que recebem a aplicação de composto orgânico há seis anos, semanalmente; e duas área de referência adjacentes à área comercial: uma mata natural e um bananal de 15 anos, de propriedade vizinha, sem aplicação de composto orgânico. Sendo amostradas em duas épocas, período chuvoso e seco. Foram tomadas três amostras compostas em cada área. O mesmo procedimento foi adotado na área de referência, sem aplicação do composto e na área de mata, totalizando 66 unidades experimentais.



**Figura 1.** Precipitação mensal nas áreas amostradas: (A) durante o ano de 2019 e (B) média histórica, da região de Missão Velha, Ceará.

### 1.2.2 Coleta de amostras

Foi utilizado um cano de PVC de 50 mm de diâmetro, nos quatro vértices dos quadrantes da unidade produtiva (família, touceira), para compor a amostra composta, na profundidade de 0-10 cm nos bananais. A família amostrada foi escolhida de forma aleatória dentro do bananal, no estádio com o cacho recém-lançado, sendo três famílias por área. Na área de mata nativa foi considerada a espécie angico (*Anadenanthera macrocarpa* Benth.) como referência, pela predominância na área. Para as análises dos nematoides foram coletadas também as raízes frescas dessas famílias de bananeiras.

As amostras foram mantidas sob refrigeração até chegar ao laboratório e, posteriormente, mantidas em câmara fria (4 °C) até o momento das análises.

### 1.2.3 Atividades microbiológicas do solo

O carbono da biomassa microbiana (CBM) foi estimado por irradiação em microondas (Islam e Weil, 1998). O CBM foi medido em subamostras de 20 g (massa fresca), sendo que 10 g foram irradiadas em microondas por 5 min e 10 g não irradiados. Após a irradiação das amostras, foram adicionados 80 mL da solução extratora ( $K_2SO_4$ ), e levados para agitação a 120 rpm por 30 min, seguidas de mais 30 min de repouso.

A determinação do carbono da biomassa foi realizada de acordo com Tedesco (1995). Cinco mililitros do extrato filtrado foram transferidos para um Erlenmeyer e, em seguida, adicionados de 1 mL de uma solução  $0,006 \text{ mol L}^{-1} K_2Cr_2O_7$  e 5 mL de  $H_2SO_4$ . Após esfriar, 25 mL de água deionizada foram adicionados também ao Erlenmeyer e mantidas em repouso para o resfriamento. Após o resfriamento, 3 gotas de ferroin foram adicionadas às amostras e, em seguida, estas foram tituladas com uma solução de sulfato ferroso amoniacal  $0,03 \text{ mol L}^{-1}$ . Seis controles foram realizados, três contendo  $K_2SO_4$  e todos os outros reagentes e, os outros

três, sem o  $K_2SO_4$  mais todos os outros reagentes. O cálculo do carbono da biomassa segue de acordo com Tedesco (1995).

$$C_{I,NI} = \frac{(Vb-Va) \times MFeSO_4 \times 3 \times 1000 \times Vext}{V_{Extrato} \times Msolo} \quad (1)$$

Em que:

Vb: volume do branco (mL);

Vam: volume da amostra (mL);

MFeSO<sub>4</sub>: Molaridade do sulfato ferroso;

3: é resultado da relação entre o número de mols de  $Cr_2O_7^-$  que reagem com o  $Fe^{2+}$  (1/6), multiplicado pelo número de mols do  $Cr_2O_7^-$  que reagem com o  $C^0$  (3/2), multiplicado pela massa equivalente do C (12);

1000: é fator de conversão de unidades;

Vext: Volume do extrator;

Vextrato: Volume do extrato (amostra filtrada) para determinação do carbono (mL).

O CBM foi obtido pela diferença dos resultados obtidos entre as amostras irradiadas e não irradiadas, divididas por um fator de conversão de 0,33, usado para converter o fluxo de C para a C da biomassa microbiana (Sparling e West, 1988).

A respiração do solo foi determinada pelo método da Espectroscopia de cavidade ressonante do tipo “ring-down” (CRDS). Trinta gramas de solo fresco foram acondicionados em frascos de 580 mL e vedados com tampas com suporte de borracha para permitir a coleta do gás por seringas, e mantidos em bancadas em laboratório para realização das coletas.

Foram realizadas três coletas em um período de incubação do solo: 24 h, 72 e 120 h após incubação do solo, pela coleta de 60 mL de gás de cada frasco em cada coleta, com auxílio de seringa, o qual foi injetado no equipamento *CRDS Analyzer for CO<sub>2</sub>/CH<sub>4</sub>/H<sub>2</sub>O in Air - Model G2301 - Picarro* para leitura e quantificação do CO<sub>2</sub> de cada amostra nas diferentes coletas. Após a leitura no CRDS, o valor do branco (frasco sem solo) foi descontado das amostras e, posteriormente, o valor do CO<sub>2</sub> produzido e acumulado ao longo dos 5 dias de incubação por massa seca do solo foi calculado em função do volume do frasco e do tempo (em horas) de incubação.

A obtenção do quociente metabólico ( $qCO_2$ ) foi determinada pela razão C-CO<sub>2</sub> e a CBM conforme Anderson e Domsch (1993). A partir dos valores do CBM e do conteúdo de matéria orgânica, foi determinado o quociente microbiano ( $qMIC$ ), que representa a percentagem do carbono orgânico do solo que é representado pelo CBM. A transformação dos valores de

matéria orgânica (M.O.) para carbono orgânico (C.O.) foi feita pela relação  $M.O. = 1,724 \times C.O.$  (Alvares V. et al., 1999).

A atividade da urease foi determinada conforme Kandeler e Gerber (1988), baseada na quantificação do amônio liberado após a incubação de 1 g de solo em 2,5 ml da solução de uréia 0,8 % (v:v). Foram incubados por 2 h em banho-maria a 37 °C. Nesse método ocorre uma reação de oxidação do amônio na presença de hipoclorito em solução alcalina contendo citrato e salicilato de sódio, adicionada de nitroprussiato de sódio como catalisador. Após a reação, foram quantificados em espectrofotômetro 690 nm. As atividades de urease foram expressas em  $\mu\text{g NH}_4\text{-N g}^{-1} \text{dwt } 2\text{h}^{-1}$ .

As atividades das fosfatases ácida e alcalina foram determinadas conforme Eivazi e Tabatabai (1977). Com base na liberação do *p*-nitrofenol após a incubação do solo com uma solução tamponada de *p*-nitrofenil fosfato e tolueno. Amostras de 1 g de solo foram incubadas em 5,2 mL de uma solução contendo tolueno a 4 % (v:v) e o MUB, com o pH ajustado em 6,5 (Fosfatase ácida) ou em 11 (Fosfatase alcalina), durante 1 hora, a 37 °C. A reação foi interrompida pela adição de  $\text{CaCl}_2$  e NaOH e o complexo de cor amarela resultante foi quantificado em espectrofotômetro a 400 nm. As atividades das fosfatases ácidas e alcalinas foram expressas em  $\mu\text{g pNP g}^{-1} \text{ solo seco h}^{-1}$ .

A atividade da  $\beta$ -glicosidase (BG) foi determinada conforme Eivazi e Tabatabai (1988). Foi baseada na determinação colorimétrica do *p*-nitrofenol liberado após incubação de 1 g de solo com uma solução tamponada de *p*-nitrofenil-b-D-glicosídase (PNG substrato da b-glicosidase) e tolueno a 5 % (v:v), a 37 °C, por 1 h. O *p*-nitrofenol liberado na reação foi quantificado em espectrofotômetro 410 nm. As atividades de BG foram expressas em  $\mu\text{g pNP g}^{-1} \text{ solo seco h}^{-1}$ .

#### 1.2.4 Diversidade biológica

Para a determinação da diversidade bacteriana e fúngica do solo, o DNA total das amostras de solo foi extraído a partir da maceração de dez gramas de cada amostra separadamente em nitrogênio líquido e 250 mg foram utilizados para a extração do DNA total utilizando o kit comercial Nucleo Spin Soil (Machereye-Nagel, GmbH & Co. KG, Germany), seguindo às recomendações do fabricante. A integridade e a quantificação do DNA extraído foram visualizados por eletroforese em gel de agarose (0,8%). Alíquotas do DNA total foram enviadas para o sequenciamento da região V3-V4 do rRNA 16S e 18S, pelo método 2 x 250 paired-end utilizando a plataforma Illumina MiSeq.

Os dados brutos foram analisados utilizando a pipeline do *Brazilian Microbiome Project* (BMP), com os seguintes programas: Qiime v 1.9.1 e o vsearch/2.5.0. E, para a atribuição taxonômica das OTUs (Unidade Taxinômica Operacional), o banco de dados SILVA foi utilizado (SILVA, 2021).

Para a determinação da comunidade de nematoides, foram contabilizados os nematoides de vida livre e associados à planta (endoparasitas). Os de vida livre foram determinados a partir das amostras de solo utilizando a técnica da flotação centrífuga em solução de sacarose (Jenkins, 1964). Os associados à planta foram extraídos de 50 g de raízes trituradas em água, utilizando um liquidificador de baixa rotação por 20 s e vertidas sobre uma peneira de 400 mesh, onde os nematoides e resíduos de raízes foram submetidos ao método da flotação e centrifugação em solução de sacarose (Jenkins, 1964). A contagem de nematoides foi realizada utilizando a Câmara de Peters.

### 1.2.5 Análises estatísticas

As análises estatísticas dos dados biológicos do solo foram realizadas com o uso dos softwares R-CRAN (Silva, 2016). Os dados foram submetidos à análise de variância. As variáveis que apresentaram efeito de tratamento, demonstrado pela análise de variância, foram submetidas ao critério de agrupamento de médias de Scott-Knott a 5% de significância.

Diferentes índices ecológicos foram calculados utilizando QIIME (algoritmo `core_diversity_analyses.py`) para descrever a diversidade e riqueza microbianas (índices de Chao1, de Shannon, Simpson, espécies observadas, Equitabilidade) a partir da normalização das amostras, padronizadas para o mesmo número de sequências, utilizando o comando `single_rarefaction.py` do Qiime.

Análises de coordenadas principais (PCoA) para o agrupamento das amostras em função da diversidade e abundância das OTUs foram realizadas com base nas matrizes de distância UniFrac. Diagramas de *Venn* foram construídos para mostrar as OTUs únicas e compartilhadas entre as diferentes amostras.

## 1.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As alterações na atmosfera, provocadas pela chuva (Figura 1), influenciam positivamente a bananeira, com maior umidade relativa do ar e menor temperatura. Isso resulta em menor déficit de pressão de vapor (DPV), o que ocasiona maior condutância estomática da bananeira e, portanto, maior taxa fotossintética (Arantes et al., 2016, 2018). Quanto maior a taxa fotossintética líquida, maior será a produção de biomassa por parte da bananeira.

Conseqüentemente, ocorrerá maior liberação de exsudatos radiculares, que são responsáveis pelo aumento das comunidades microbianas na rizosfera, fator chave na interação planta-microrganismo (Trivedi et al 2020). Adicionalmente, a precipitação aumenta a disponibilidade hídrica no solo, o fluxo de nutrientes e sua absorção pela planta, além da contribuição do nitrogênio atmosférico para as plantas e microrganismos (Rennenberg et al., 2009; Dijkstra et al., 2012; Wang et al., 2015).

Assim, verifica-se que as atividades biológicas (Figura 2), as atividades das enzimáticas (Figura 3) e o número de nematoides associados às raízes (Figura 4) foram mais influenciadas pela época de amostragem, sendo os maiores valores observados na época chuvosa, mostram a influência do clima sobre as atividades microbianas do solo, mesmo em plantios irrigados, como é o caso da área deste estudo. As alterações atmosféricas do ambiente, como pluviosidade, radiação e temperatura, são fatores importantes que influenciam a atividade microbiana (Giacometti et al., 2013; Cruz-Paredes et al., 2021).

Os maiores valores da respiração basal do solo (Figura 2B) e  $qCO_2$  (Figura 2C) foram observados na estação seca. Um alto  $qCO_2$  indica menor eficiência na utilização de energia e supostamente reflete um ambiente menos estável ou mais distante do seu estado de equilíbrio (Tótola e Chaer, 2002). Portanto, há indícios de que mesmo em plantios irrigados a estação seca pode ser um fator perturbador da microbiota do solo.

Os maiores valores de respiração basal do solo (RBS) foram apresentados pelas áreas com 22 anos de produção (Figura 2B). Provavelmente, quanto maior a idade do bananal, maior será o retorno de matéria seca produzido pelo mesmo, maior a incorporação ao longo dos anos e, conseqüentemente, maior atividade microbiana. A respiração basal é um indicador de atividade biológica, principalmente de processos catabólicos de microrganismos aeróbios relacionados à decomposição da matéria orgânica e à liberação ou imobilização de nutrientes no solo (Anderson e Domsch, 2010; Morales et al., 2016).

O CBM constitui a fração ativa da matéria orgânica do solo (MOS), sendo importante na decomposição e acúmulo da MOS, bem como na ciclagem de nutrientes (Tótola e Chaer, 2002). Por outro lado, o  $qMIC$  indica a quantidade de carbono orgânico imobilizado na biomassa microbiana, demonstrando a eficiência dos microrganismos na utilização do composto orgânico (Silva et al., 2010b; Carneiro et al., 2009). Fica evidente que na época chuvosa, a microbiota desse solo é mais eficiente na utilização do carbono do solo e na ciclagem de nutrientes, a exemplo de P, demonstrada pelo aumento das atividades das fosfatases (Figura 3C e 3D). As fosfatases constituem um grupo de enzimas que catalisam a hidrólise monoéster

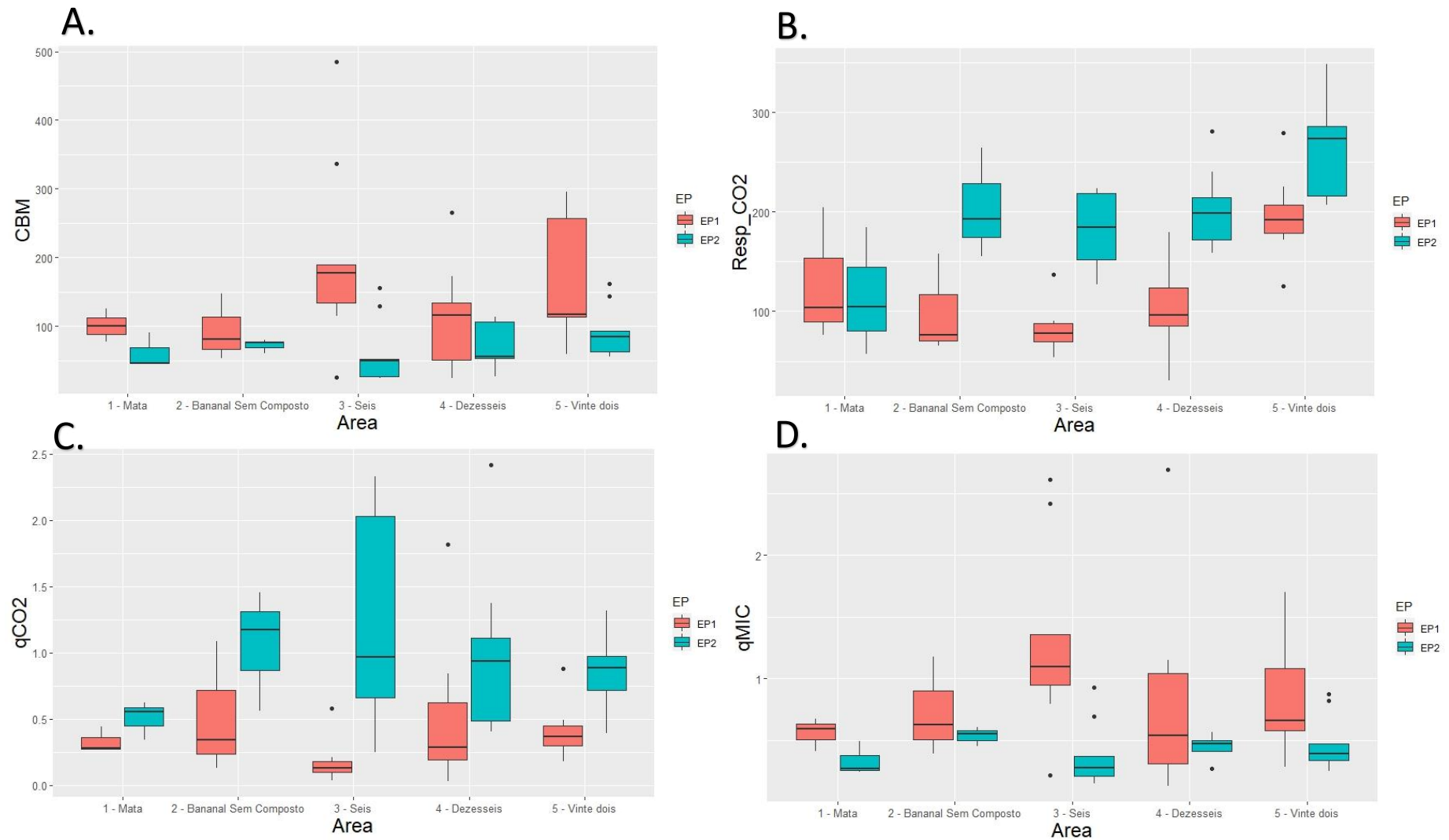
de fosfato para produzir fosfato livre para absorção biológica (Makoi e Ndakidemi, 2008) e o aumento dessa enzima na rizosfera e no solo incrementa a disponibilidade de P para as plantas (Makoi et al., 2010; Maseko e Dakora, 2013).

As atividades da enzima urease foram maiores nas áreas da mata e nas áreas com 22 anos de idade (Figura 3), enquanto as demais áreas apresentaram os menores valores de urease. A maior atividade enzimática da urease foram registradas no período chuvoso. A urease é a enzima responsável pela transformação da ureia em  $\text{NH}_3^+$ , possuindo papel importante no ciclo do nitrogênio. Gera nitrogênio acessível para as plantas, principalmente em áreas nas quais a ureia é a principal fonte de fertilizante químico nitrogenado (Sinsabaugh e Follstad Shah, 2012).

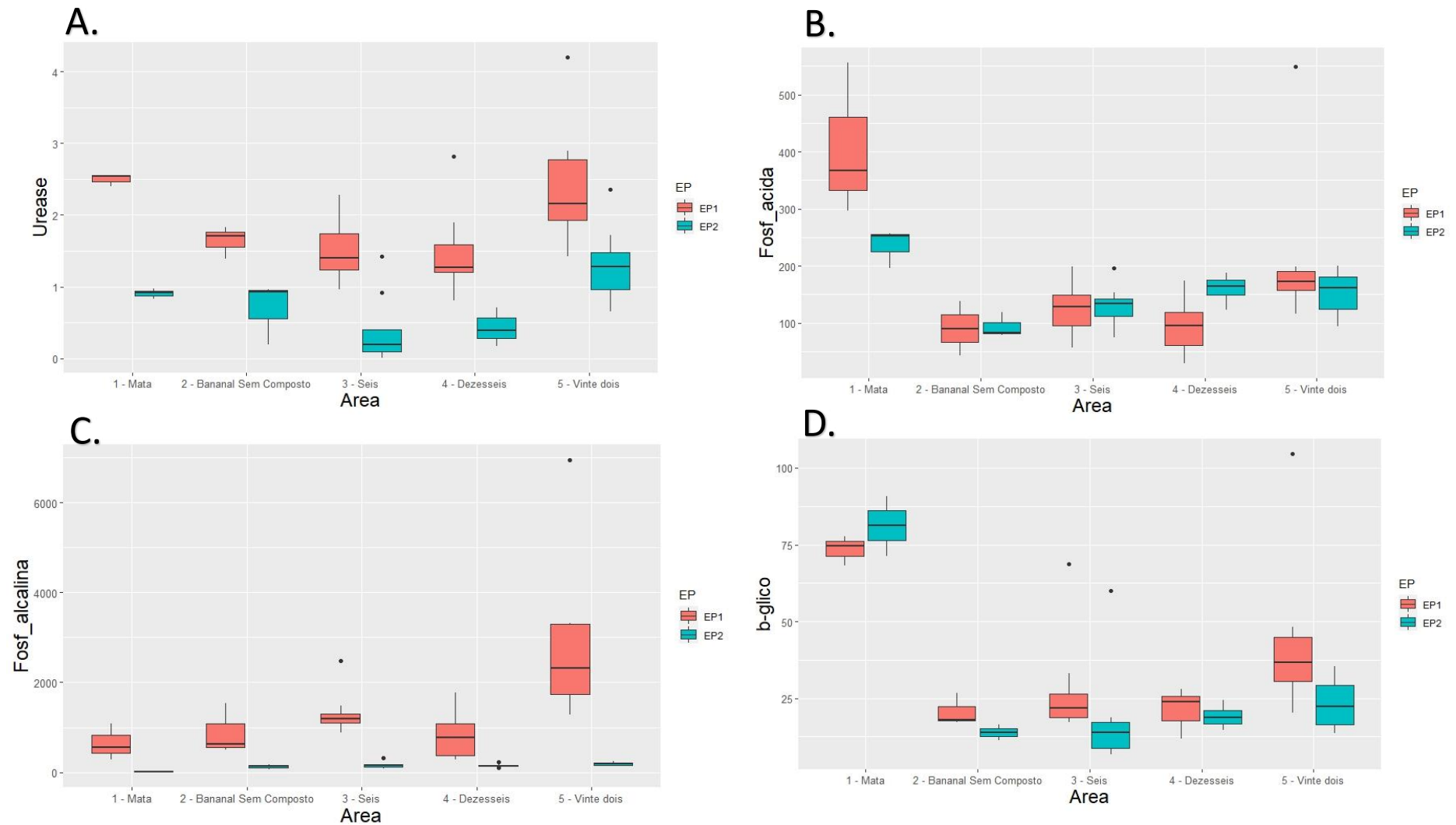
Para  $\beta$ -glicosidase, o maior valor foi para área da mata, com valor de  $77,34 \mu\text{g g}^{-1}$  de solo  $\text{h}^{-1}$ , muito superior as áreas cultivadas com bananeira (Figura 3). Com maior atividade na época chuvosa, independente da área amostrada. A  $\beta$ -glicosidase está intimamente relacionado ao conteúdo de carbono no solo (Cunha et al., 2012), talvez por isso que a área da mata apresentou maior atividade para essa enzima. A  $\beta$ -glicosidase é importante para degradação da celulose em vários polissacarídeos (Turner et al., 2002). Quando ativada, é a primeira etapa na degradação de compostos orgânicos. Quanto maior a atividade dessa enzima, menor serão as estruturas orgânicas moleculares, facilitando a ação de microrganismos (Sardans et al., 2008).

De maneira geral, as reduções das atividades das enzimas no período seco podem ter ocorrido pela diminuição do conteúdo de água no solo (Sardans e Penuelas, 2005), apesar das áreas investigadas terem sido irrigadas

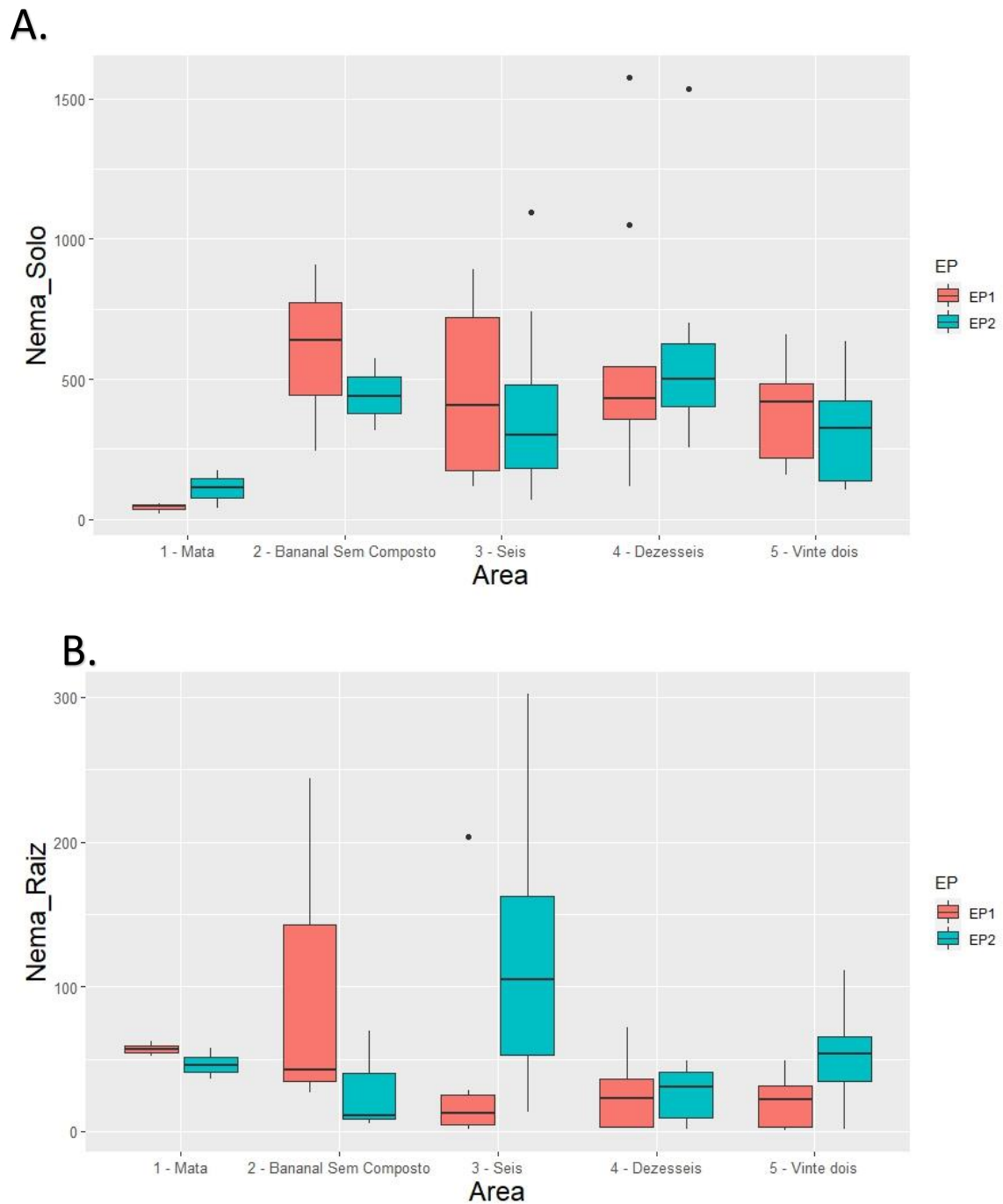
A composição trófica da comunidade de nematoides sob bananeiras não respondeu às diferenças de manejo (com ou sem aplicação de composto orgânico) (Figura 4), o que vai de encontro ao que sugere Pattinson et al. (2008), que a composição das espécies de plantas tem um impacto maior nas comunidades de nematoides do que o manejo da cultura. Entretanto, o número de nematoides associado às raízes aumentou na época seca e no bananal sem composto orgânico (Tabela 4). Isso está de acordo com outras pesquisas que sugerem que a aplicação de composto orgânico muda as propriedades biológicas do solo, podendo desfavorecer comunidade de fitonematoides (Berkelmans et al., 2003; Bulluck et al., 2002; Gunapala e Scow, 1998).



**Figura 2.** Carbono da biomassa microbiana (CBM) (A), respiração basal (B), quociente metabólico ( $qCO_2$ ) (C) e quociente microbiano ( $qMIC$ ) (D), em plantios comerciais de bananeira Prata-anã, com três idades distintas, com 6 anos, área com 16 anos, área com 20 anos de plantio, que receberam composto orgânico por 6 anos e dois controles: um bananal com 15 anos que nunca recebeu composto orgânico (Bananal Sem Composto) e uma mata natural (Mata), em duas épocas de amostragem (seca e chuvosa), em Missão Velha - Ceará.



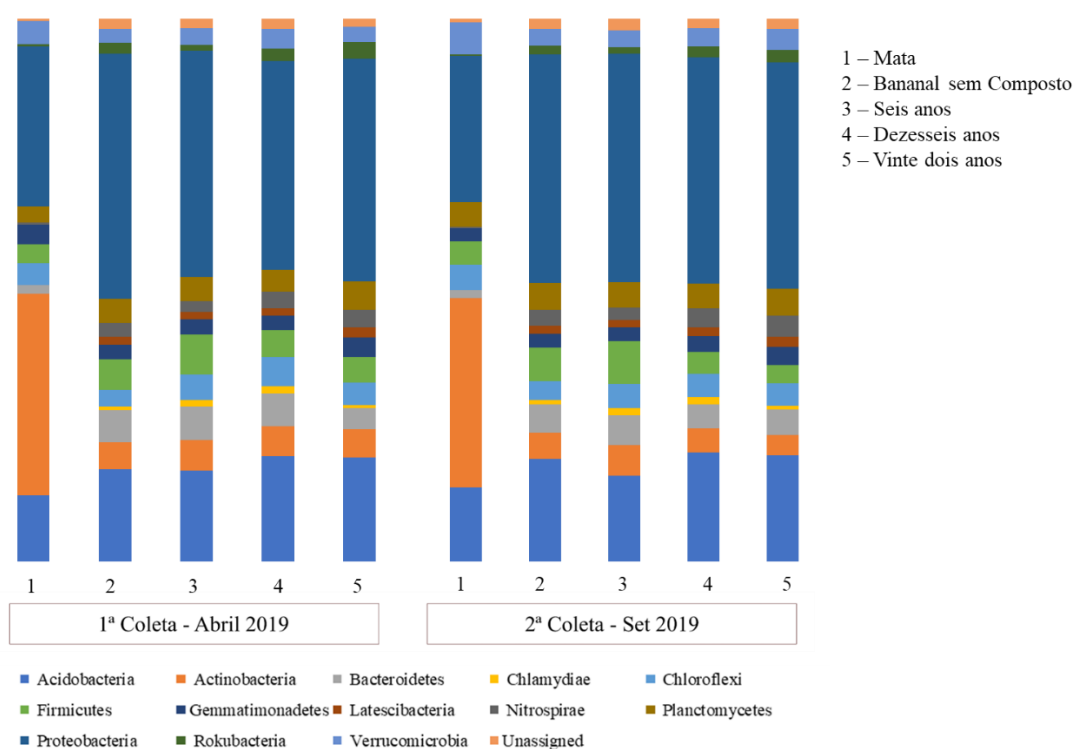
**Figura 3.** Atividades das enzimas ureases (A), fosfatases ácidas (B), fosfatases alcalinas (C) e  $\beta$ -glicosídases (D), em plantios comerciais de banana Prata-anã, com três idades distintas, com 6 anos, área com 16 anos, área com 20 anos de plantio, que receberam composto orgânico por 6 anos e dois controles: um bananal com 15 anos que nunca recebeu composto orgânico (Bananal Sem Composto) e uma mata natural (Mata), em duas épocas de amostragem (seca e chuvosa), em Missão Velha - Ceará.



**Figura 4.** Número de nematoides no solo (A) e nas raízes (B), em plantios comerciais de banana Prata-anã, com três idades distintas, com 6 anos, área com 16 anos, área com 20 anos de plantio, que receberam composto orgânico por 6 anos e dois controles: um bananal com 15 anos que nunca recebeu composto orgânico (Banal Sem Composto) e uma mata natural (Mata), em duas épocas de amostragem (seca e chuvosa), em Missão Velha - Ceará.

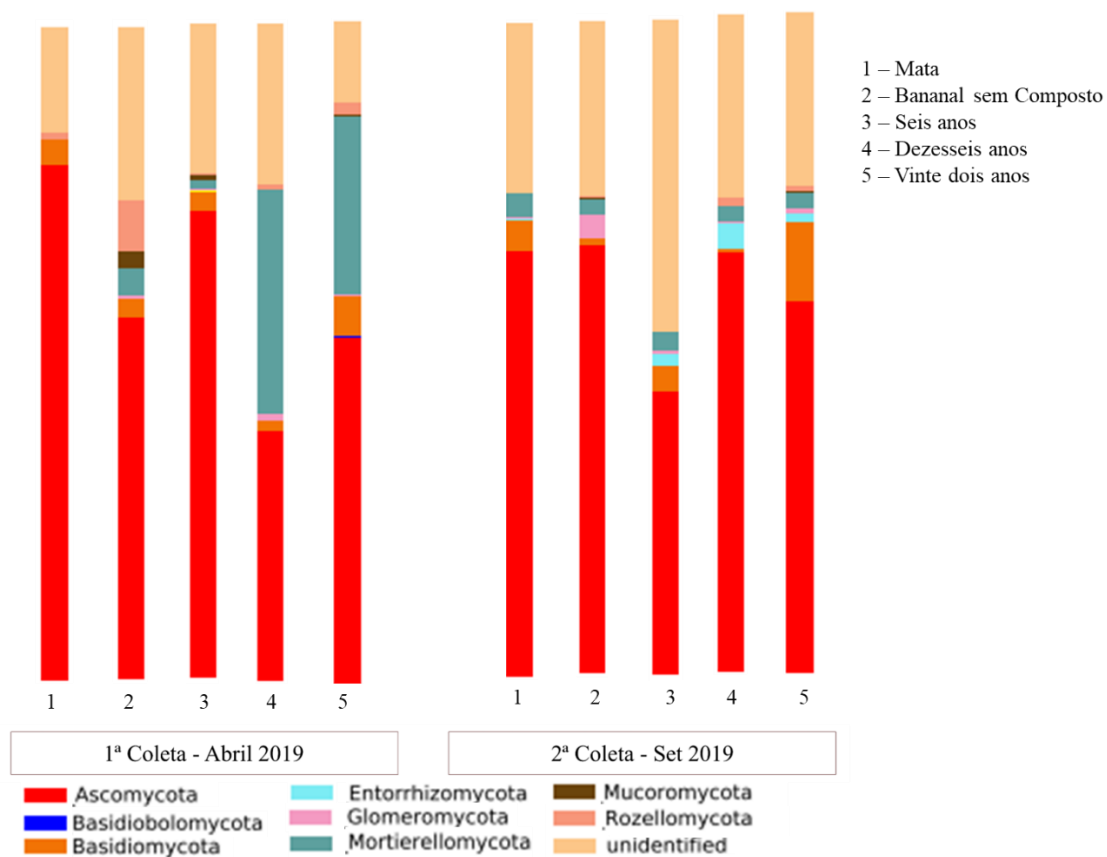
A ausência nas características biológicas do solo, entre as áreas cultivadas com banana, pode ser devido ao grande aporte de material orgânico ao longo dos anos, principalmente por se tratar de uma cultura que restitui ao solo cerca de 70% da sua matéria seca produzido ao longo do ciclo de vida (Hoffman et al., 2010; Deus et al 2020; Donato et al., 2021).

Como resultado do sequenciamento da região do RNAr 16S, um total de 34.110 Unidades Taxonômicas Operacionais (OTUs) foram observadas, com um maior número na época seca. Os principais filos observados nas amostras foram: Acidobacteria – 17,2%, Actinobacteria – 7%, Firmicutes – 5,2%, Proteobacteria – 39,3%. A abundância dos filos variou em função das amostras e do período de coleta (Figura 5). Como esperado, as amostras das áreas da mata apresentaram diferenças das demais amostras, com expressiva maior abundância do filo Actinobacteria (Figura 5).



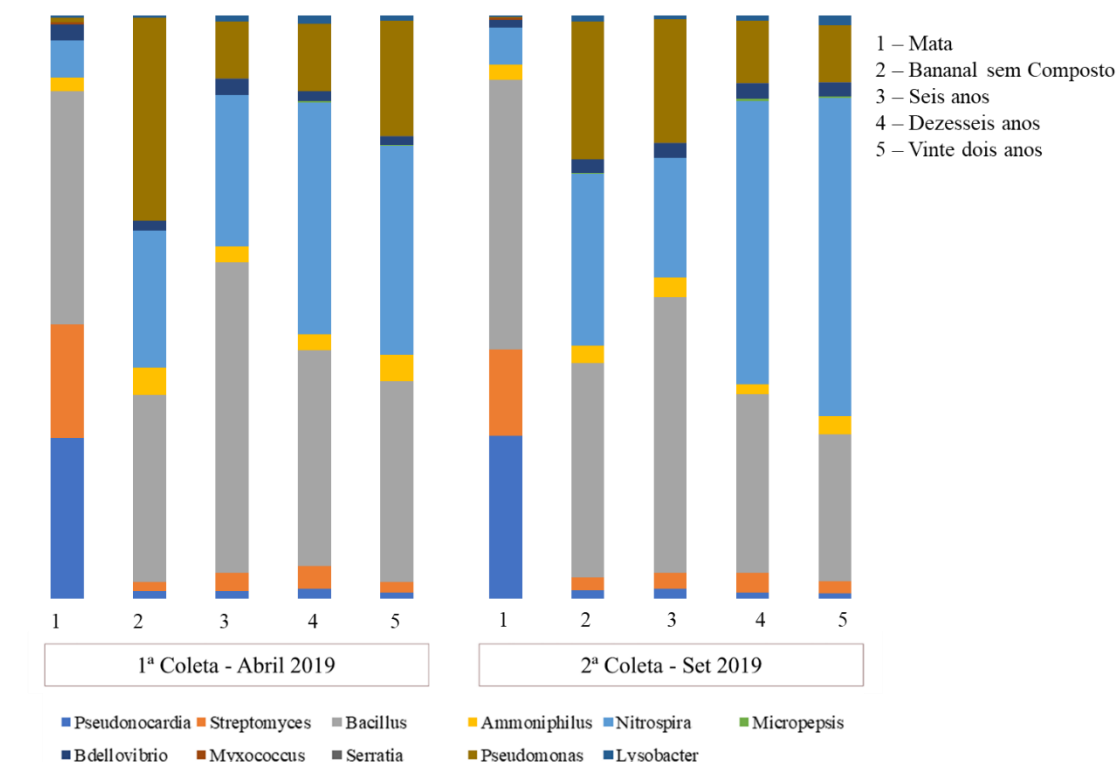
**Figura 5.** Abundância dos principais filos bacterianos em amostras de solo coletadas em plantios comerciais de bananeira Prata-anã, com três idades distintas, com 6 anos, área com 16 anos, área com 20 anos de plantio, que receberam composto orgânico por 6 anos e dois controles: um bananal com 15 anos que nunca recebeu composto orgânico (Banal Sem Composto) e uma mata natural (Mata), em duas épocas de amostragem (seca, abril e chuvosa, setembro), em Missão Velha - Ceará.

Os principais filos observados nas amostras foram: Ascomycota – 57,0 %, Mortierellomycota – 6,0 %, Basidiomycota – 5,3%, Rozellomycota – 1,8 %. A abundância dos filos variou em função das amostras e do período de coleta (Figura 6). Como esperado, as amostras das áreas da mata apresentaram diferenças das demais amostras, com expressiva maior abundância do filo Ascomycota (Figura 6). A presença de filos Ascomycota e Basidiomycota, é amplamente relatado na literatura, como os filos fúngicos mais abundantes na rizosfera de banana (Shen et al, 2015, 2019; Kaushal et al, 2021).



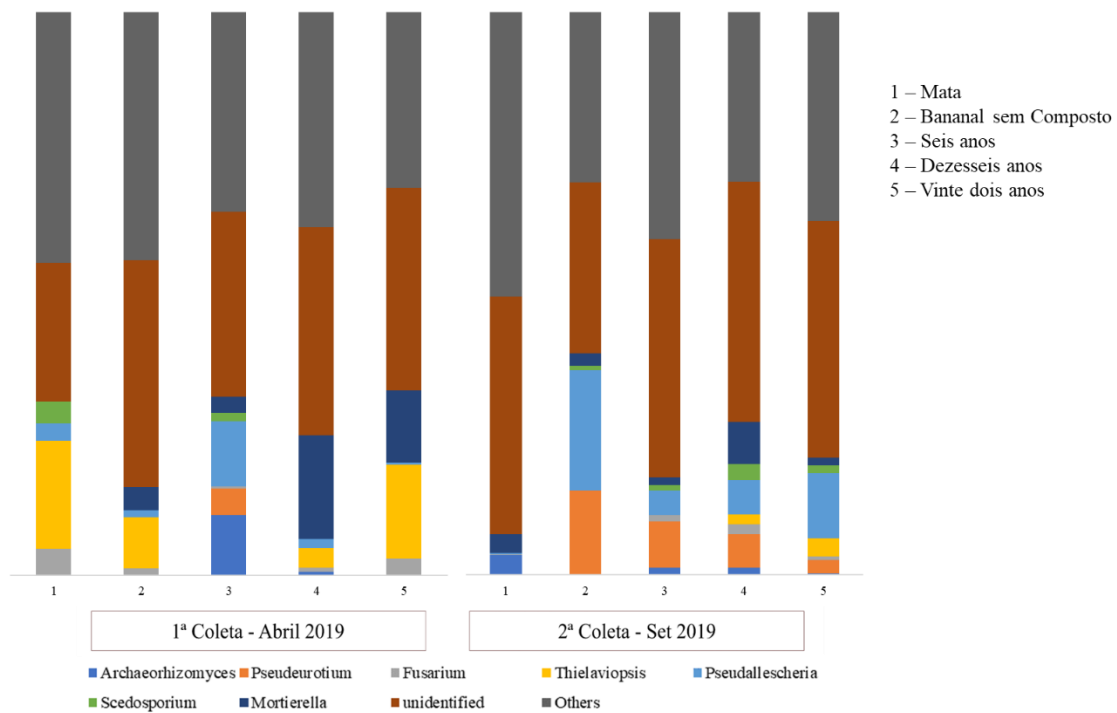
**Figura 6.** Abundância dos principais filos fúngicos em amostras de solo coletadas em plantios comerciais de bananeira Prata-anã, com três idades distintas, com 6 anos, área com 16 anos, área com 20 anos de plantio, que receberam composto orgânico por 6 anos e dois controles: um bananal com 15 anos que nunca recebeu composto orgânico (Banal Sem Composto) e uma mata natural (Mata), em duas épocas de amostragem (seca e chuvosa), em Missão Velha - Ceará.

Os gêneros bacterianos mais abundantes na área de mata em ambas as coletas foram *Pseudonocardia*, *Streptomyces*, *Bacillus* e *Nitrospira*, enquanto nas amostras de bananais foram *Bacillus*, *Nitrospira* e *Pseudomonas* (Figura 7). O gênero *Bacillus* e *Pseudomonas* foram os mais abundantes em quase todas as amostras, corroborando com Xue et al. (2015), os quais descrevem como o mais abundante, e são considerados por possuir papel importante em lavouras de bananeira, como microrganismos chaves no controle biológico de doenças causadas por fitopatógenos habitantes do solo e na promoção de crescimento vegetal (Shen et al., 2013, 2015, 2019; Wang et al., 2013; Zhou et al., 2019). O gênero *Nitrospira* aparece logo na sequência como o mais abundante, considerado de suma importância devido à participação no ciclo do nitrogênio no solo (Zoppas et al., 2016).



**Figura 7.** Abundância dos principais gêneros bacterianos em amostras de solo coletadas em plantios comerciais de bananeira Prata-anã, com três idades distintas, com 6 anos, área com 16 anos, área com 20 anos de plantio, que receberam composto orgânico por 6 anos e dois controles: um bananal com 15 anos que nunca recebeu composto orgânico (Banal Sem Composto) e uma mata natural (Mata), em duas épocas de amostragem (seca e chuvosa), em Missão Velha - Ceará.

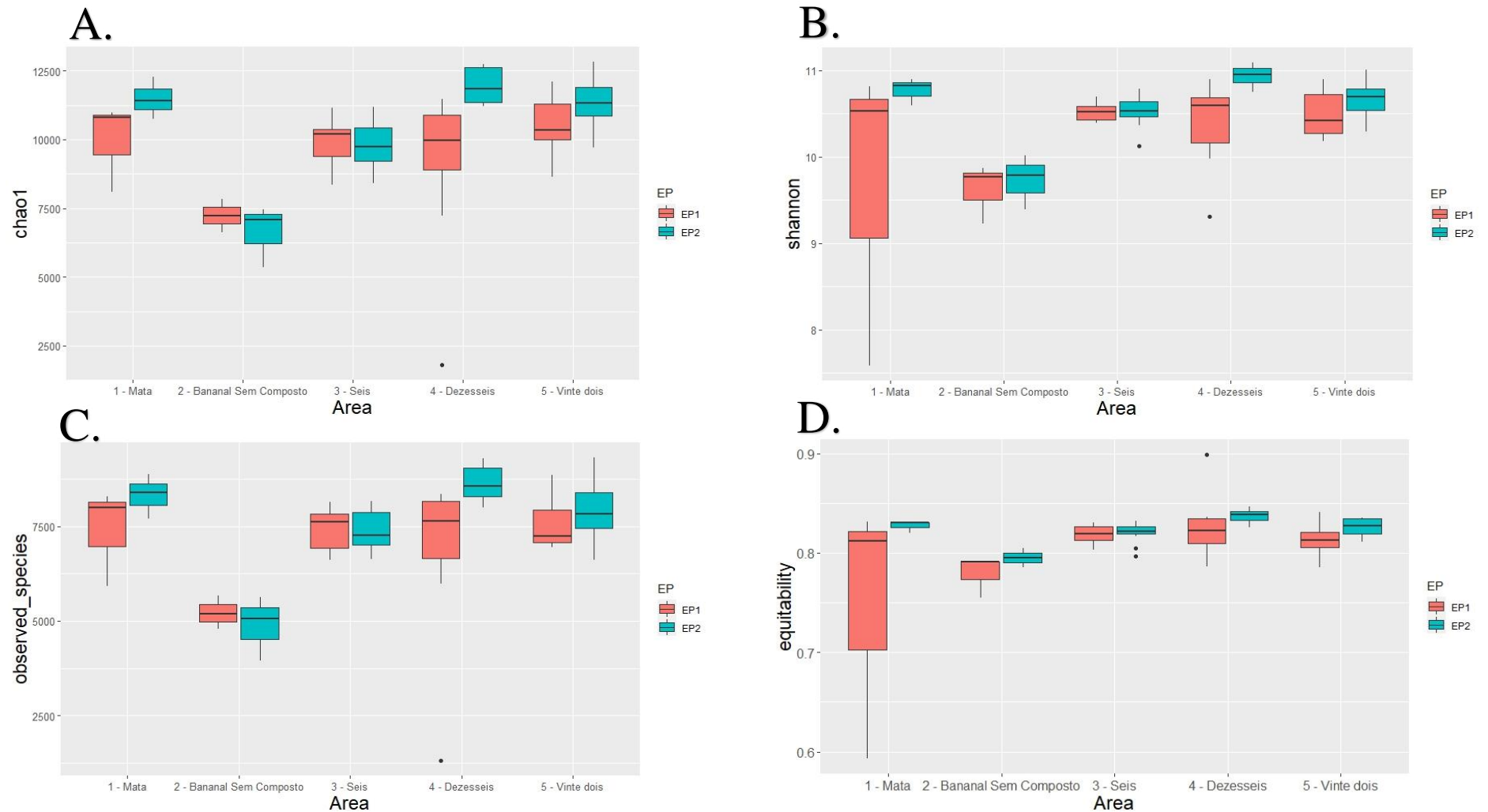
Os gêneros fúngicos mais abundantes na área de mata em ambas as coletas foram *Fusarium*, *Thielaviopsis*, *Scedosporium*, *Mortierella* e *Archaeorhizomyces*, enquanto nas amostras de bananais foram *Pseudallescheria*, *Thielaviopsis*, *Pseudeurotium*, *Mortierella* e *Archaeorhizomyces* (Figura 8).



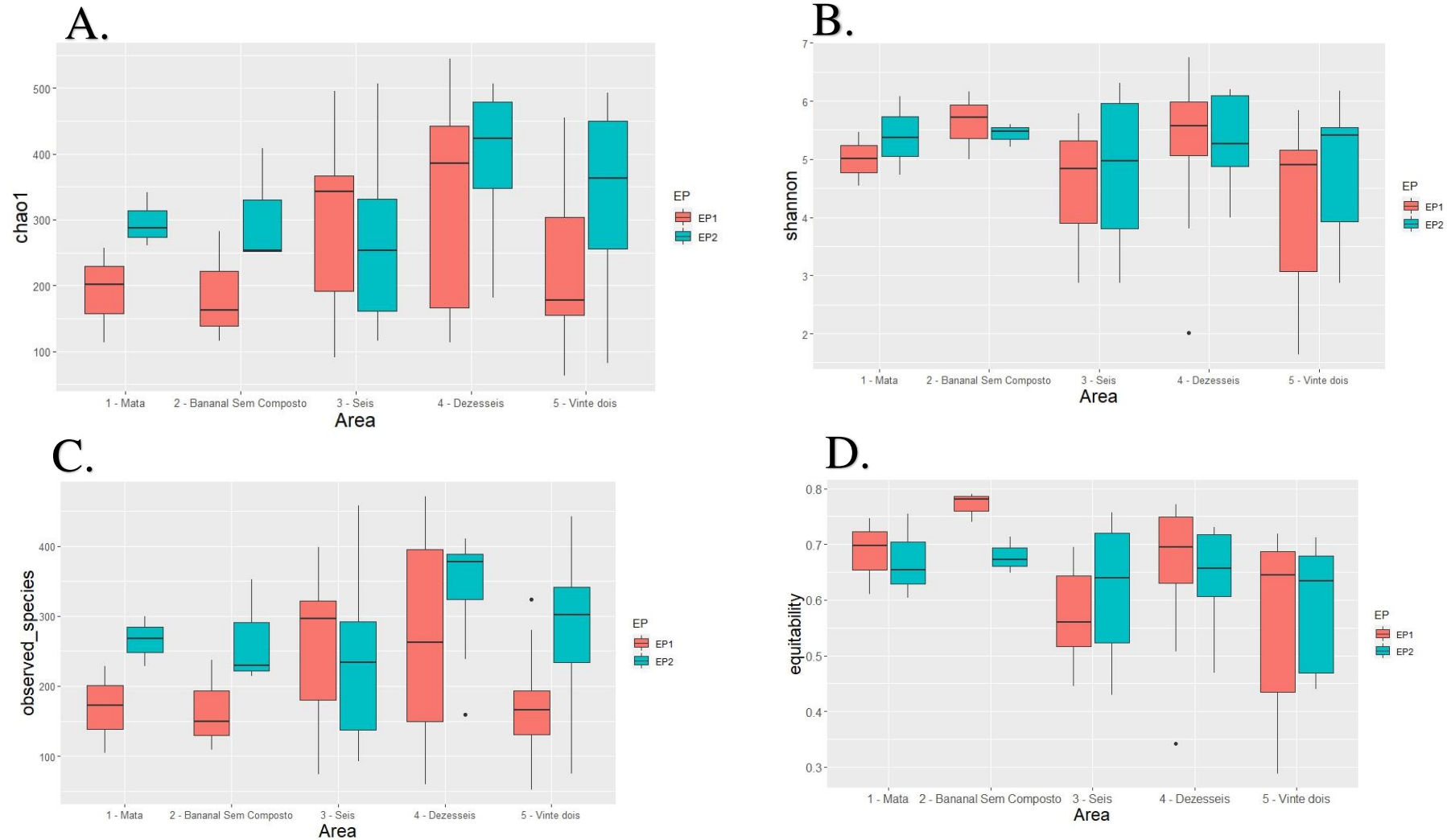
**Figura 8.** Abundância dos principais gêneros fúngicos em amostras de solo coletadas em plantios comerciais de bananeira Prata-anã, com três idades distintas, com 6 anos, área com 16 anos, área com 20 anos de plantio, que receberam composto orgânico por 6 anos e dois controles: um bananal com 15 anos que nunca recebeu composto orgânico (Banal Sem Composto) e uma mata natural (Mata), em duas épocas de amostragem (seca e chuvosa), em Missão Velha - Ceará.

Os índices de riqueza de espécies, Chao1 e de diversidade, Shannon (Figura 9), apresentaram pouca variação entre as amostras de bananais comercial e a mata, apenas diferindo do Bananal sem Composto, que apresentou os menores valores para esses índices, com exceção da Equitabilidade que não diferiu entre as áreas amostradas. Assim como as espécies observadas foram menores na área do bananal sem composto, em comparação com as áreas comerciais de banana e a mata. Os índices Chao1, Shannon e o número de espécies observadas, foram maiores para as épocas seca em comparação com a época chuvosa.

Enquanto que para os mesmos índices (Figura 10), quando se tratando de riqueza e diversidade de fungos, praticamente não houve diferença entre as áreas amostradas, sendo os maiores valores, foram na época seca. O mesmo para a riqueza de espécies e equitabilidade.



**Figura 9.** Estimadores de riqueza (Chao1) (A), estimador de diversidade (Shannon) (B), espécies observadas (C), equitabilidade das OTUs (D), dentro das amostras em nível de gênero bacteriano em amostras de solo coletadas em plantios comerciais de bananeira Prata-anã, com três idades distintas, com 6 anos, área com 16 anos, área com 20 anos de plantio, que receberam composto orgânico por 6 anos e dois controles: um bananal com 15 anos que nunca recebeu composto orgânico (Bananal Sem Composto) e uma mata natural (Mata), em duas épocas de amostragem (seca e chuvosa), em Missão Velha - Ceará.

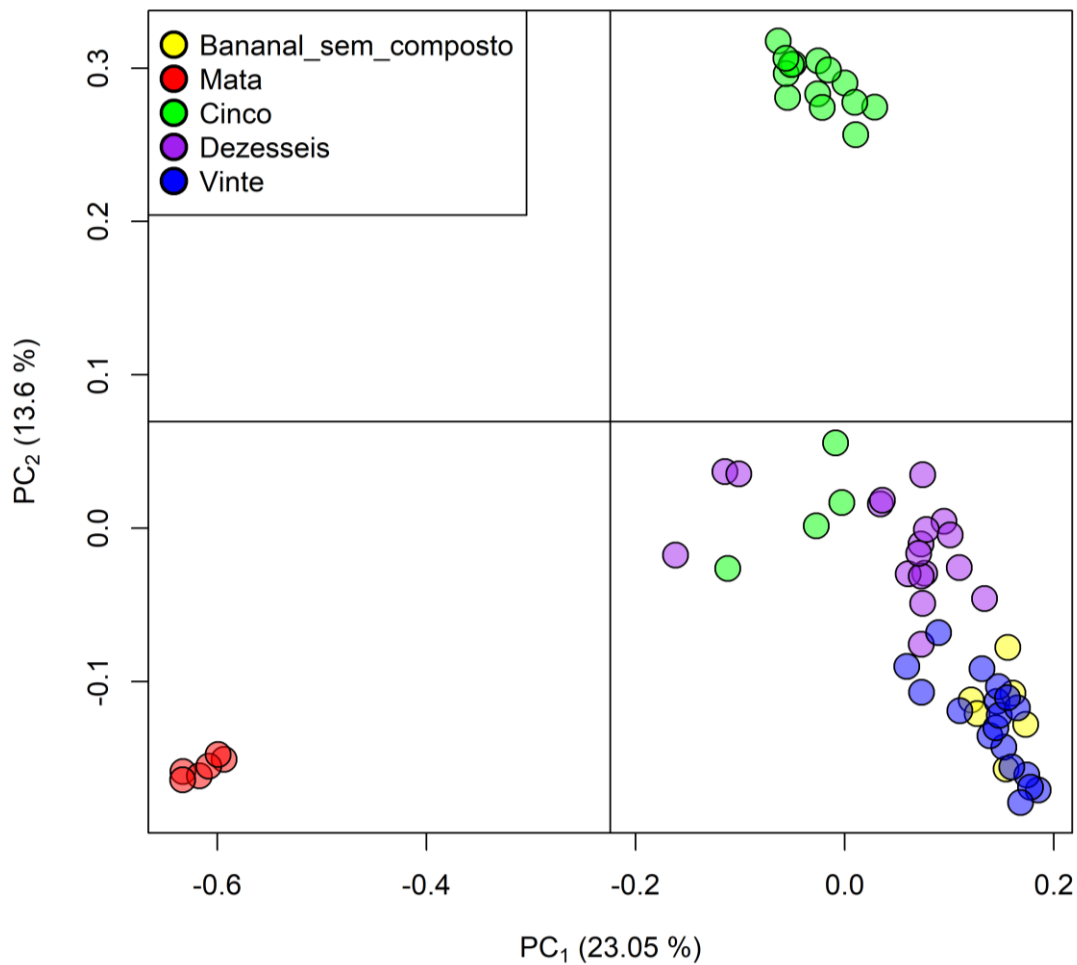


**Figura 10.** Estimadores de riqueza (Chao1) (A), estimador de diversidade (Shannon) (B), espécies observadas (C), equitabilidade das OTUs (D), dentro das amostras em nível de gênero fungico em amostras de solo coletadas em plantios comerciais de bananeira Prata-anã, com três idades distintas, com 6 anos, área com 16 anos, área com 20 anos de plantio, que receberam composto orgânico por 6 anos e dois controles: um bananal com 15 anos que nunca recebeu composto orgânico (Banal Sem Composto) e uma mata natural (Mata), em duas épocas de amostragem (seca e chuvosa), em Missão Velha - Ceará.

Os índices de riqueza e diversidade Chao1 e Shannon (Figura 9 e 10) foram superiores aos encontrados por Melo (2019), que determinou esses índices para algumas áreas avaliadas nesse trabalho, enquanto o índice Simpson, as espécies observadas e a equitabilidade foram semelhantes. Essa diferença no índice de riqueza pode ser decorrente do trabalho de Melo (2019) ter realizado as coletas das amostras de solo em 2015, quatro anos antes ao presente trabalho.

Os índices ecológicos demonstram que a aplicação de composto orgânico influencia na riqueza e na diversidade nessas áreas, sendo maior em comparação a área que não leva aplicação de composto. Isso pode ser também, devido ao grande aporte de material orgânico ao longo dos anos, devido à restituição de material vegetal, característica da cultura da bananeira, como já discutida anteriormente, podendo influenciar na riqueza e diversidade bacteriana.

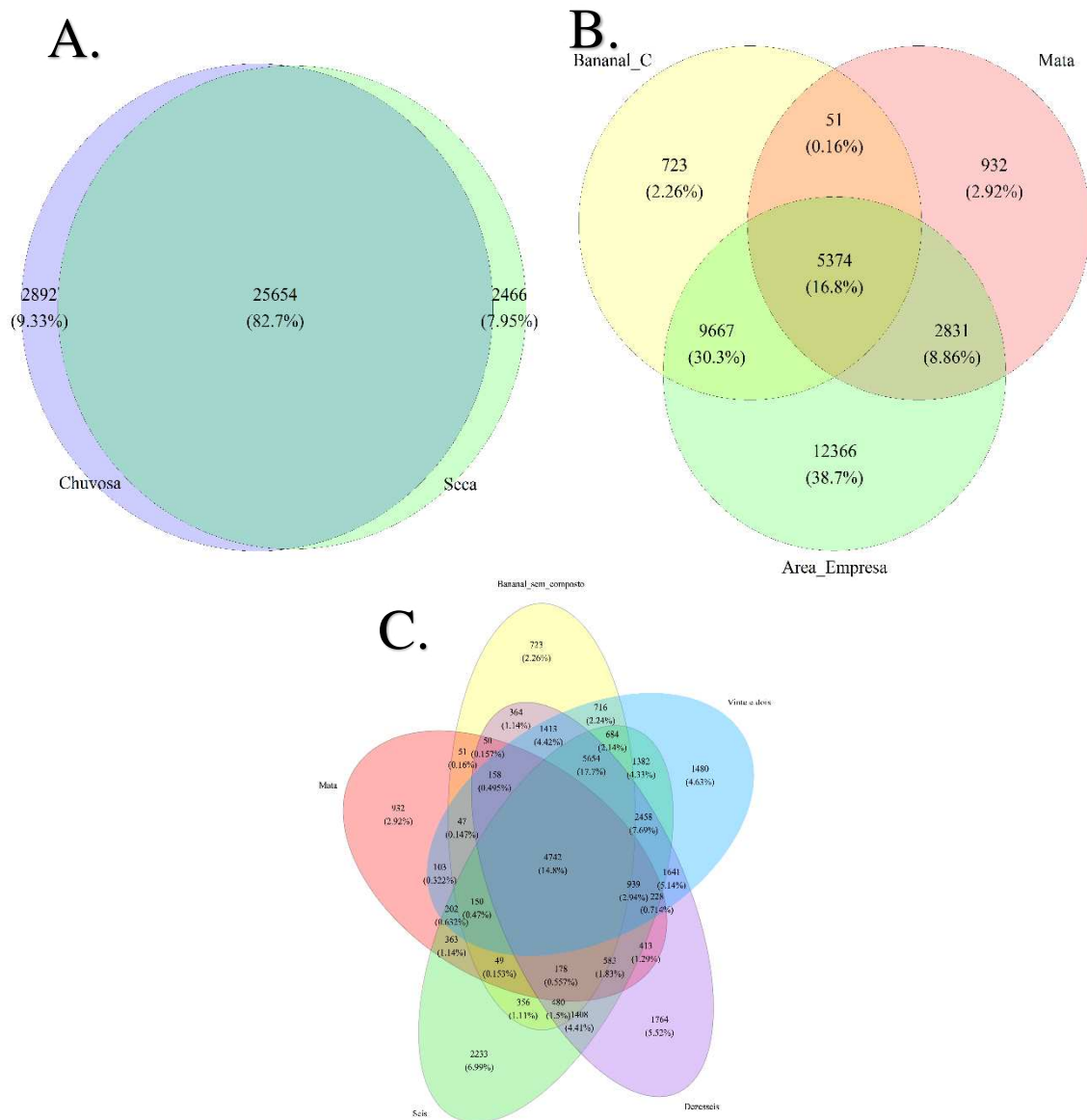
A área com 6 anos de idade se distinguiu das demais (Figura 11), sugerindo que o bananal tende a ter uma estabilidade entre as comunidades bacterianas à medida que a idade de plantio avança, mesmo sem aplicação de composto. Entretanto, uma parcela da área amostrada com 6 anos de idade, apresentou similaridade mais próxima dos bananais com maior idade. Isso pode ter sido porque esta área recebeu uma aplicação de composto sólido antes das coletas. Isso pode sugerir que aplicações periódicas de fontes orgânicas como composto orgânico sólido, pode antecipar a estabilidade das comunidades bacterianas no solo cultivados com bananeira e ajudar a sustentar um maior número de espécies ou gêneros distintos de bactérias indígenas nos solos (Shen et al., 2015; Chou et al., 2016). Sugerindo também que o manejo adotado pela empresa desde 2013, até os dias atuais, de aplicação de composto na forma líquida, pode não ter sido suficiente para estabilização dessas comunidades.



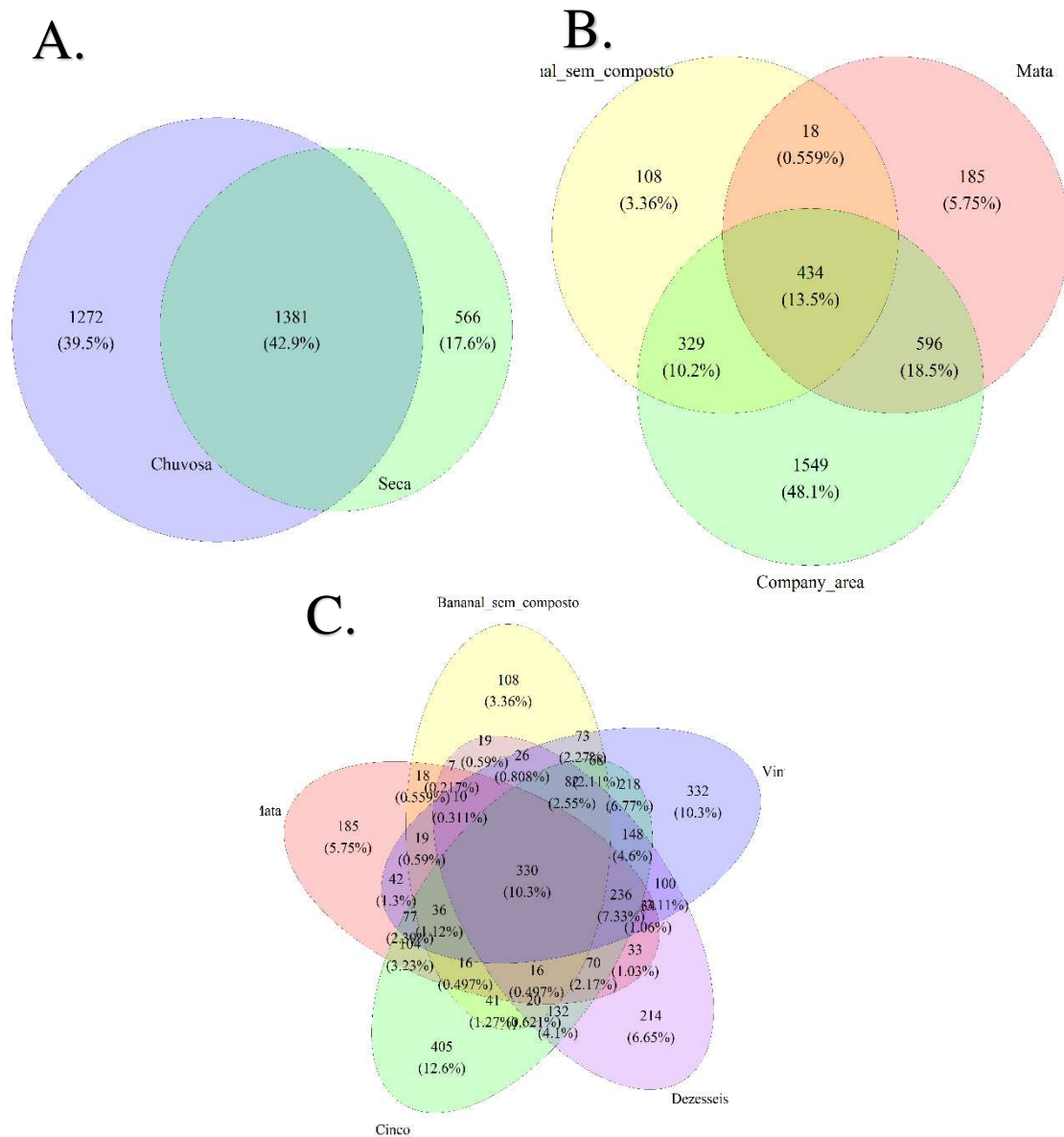
**Figura 11.** Análise de coordenadas principais (PCoA) baseada nas matrizes de distância *UniFrac* para o agrupamento das comunidades bacterianas de acordo com a composição e abundância, em amostras solo sob bananal comercial de bananeira Prata-anã, com três idades distintas, com 6 anos, área com 16 anos, área com 20 anos de plantio, que receberam composto orgânico por 6 anos e dois controles: um bananal com 15 anos que nunca recebeu composto orgânico (Bananal Sem Composto) e uma mata natural (Mata), em duas épocas de amostragem (seca e chuvosa), em Missão Velha - Ceará.

Houve pouca diferença na distribuição das OTUs bacterianas em função dos períodos de coleta, sendo a maioria compartilhadas, com apenas 8,56% das OTUs únicas na coleta 1 e 7, 1% na coleta 2 (Figura 12A). Enquanto para OTUs fúngicas houve uma diferença significativa entre as épocas amostradas, sendo que 39,5% foram únicas na época chuvosa e apenas 17,6% na época seca (Figura 13A). Como esperado, o maior número de OTUs compartilhadas foi entre as amostras de cultivo agrícola (bananal sem composto e plantio comercial), com um maior número de OTUs únicas nas amostras da empresa, com 38,8% das OTUs bacterianas (Figura 12B) e 48,1% nas OTUs fúngicas (Figura 13B). Quando se observa a distribuição das OTUs em função do tempo de implantação dos talhões, é possível observar

que, tanto para as amostras obtidas do sistema comercial de plantio (Figura 12C e 13C), quanto do sistema convencional, o maior número de OTUs compartilhadas em relação à mata nativa, é das amostras dos talhões com apenas 6 anos de implantação. Observa-se também um maior número de OTUs únicas nas áreas com maior tempo de implantação (22 anos) e menor tempos de implantação (seis anos).



**Figura 12.** Diagrama de *Venn* mostrando as OTUs bacterianas únicas e compartilhadas entre os períodos de coleta (A); entre dos diferentes tipos de amostras (B); entre os anos de implantação dos talhões amostrados do sistema comercial de produção (C), com as suas respectivas porcentagens.



**Figura 13.** Diagrama de *Venn* mostrando as OTUs fungicas únicas e compartilhadas entre os períodos de coleta (A); entre dos diferentes tipos de amostras (B); entre os anos de implantação dos talhões amostrados do sistema comercial de produção (C), com as suas respectivas porcentagens.

O maior número de OTUs compartilhado entre as áreas de plantio comercial que receberam aplicação de composto e da área que não recebeu, demonstra que as alterações das comunidades bacterianas desses solos, são fortemente influenciadas pela liberação de exsudatos radiculares da bananeira, que modulam essas comunidades, enquanto uma menor proporção influenciada apenas pela aplicação do composto (Trivedi et al 2020). Apesar da época amostrada ter influenciado na atividade, a influência foi menor na diversidade desses microrganismos.

Essa similaridade entre as áreas de banana (Figuras 5 a 13), com e sem aplicação de composto, indicam a formação de um *core* microbiano que pode ser explicada pelo fato que em ambas as áreas prevalece a prática do monocultivo de bananeira por mais de 10 anos, o que limita a estrutura microbiana (Philippot et al., 2013). A bananeira é o genótipo vegetal predominante e, conseqüentemente, os exsudados radiculares liberados nas rizosferas são pouco diversificados (Qin et al., 2016; Andreote et al., 2017).

#### 1.4 CONCLUSÕES

As características biológicas do solo são influenciadas pela área amostrada e pela época amostragem. Plantios mais velhos apresentam comunidades bacterianas mais estáveis.

A aplicação de composto orgânico via fertirrigação não influencia a riqueza e a diversidade microbiana no bananal, mas diminui a população de fitonematoides associado às raízes.

A diversidade microbiana do solo está associada à espécie bananeira, sendo a sua composição, diversidade e atividades no solo alteradas em função do tempo de cultivo.

#### REFERÊNCIAS

- Alvarez V, V. H.; Novais, R. D.; Barros, N. D.; Cantarutti, R. B.; Lopes, A. S. 1999. Interpretação dos resultados das análises de solos. Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais, 5, 25-32.
- Anderson, T. H.; Domsch, K. H. 1993. The metabolic quotient for CO<sub>2</sub> (qCO<sub>2</sub>) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils. *Soil Biology Biochemistry*. 25, 393-395.
- Anderson, T.H.; Domsch, K.H. 2010. Soil microbial biomass: the eco-physiological approach. *Soil Bio. Biochem.* 42, 2039–2043.
- Andreote, F.; Silva, M., 2017. Microbial communities associated with plants: learning from nature to apply it in agriculture. *Curr Opin Microbiol* 37, 29–34.
- Arantes, A. M.; Donato, S. L. R.; Siqueira, D. L.; Coelho, E. F. 2018. Gas exchange in ‘Pome’ banana plants grown under different irrigation systems. *Engenharia Agrícola, Jaboticabal*, 38, 197-207.
- Arantes, A. M.; Donato, S. L. R.; Siqueira, D. L.; Coelho, E. F.; Silva, T. S. 2016. Gas exchange in diferente varieties of banana prata in semi-arid environment. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 38, 1-12.

- Berkelmans, R.; Ferris, H.; Tenuta, M.; van Bruggen, A. H. C. 2003. Effects of long-term crop management on nematode trophic levels other than plant feeders disappear after 1 year of disruptive soil management. *Appl. Soil Ecol.* 23, 223–235.
- Bulluck III, L. R.; Brosius, M.; Evanylo, G. K.; Ristiano, J. B.; 2002. Organic and synthetic fertility amendments influence soil microbial, physical and chemical properties on organic and conventional farms. *Appl. Soil Ecol.* 19, 147–160.
- Carneiro, M. A. C.; Souza, E. D. de; Reis, E. F. dos; Pereira, H. S.; Azevedo, W. R. de. 2009. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de Cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 33, 147-157.
- Castro, J.; Fernandez-Ondono, E.; Rodríguez, C.; Lallena, A.M.; Sierra, M.; Aguilar, J. 2008. Effects of different olive-grove management systems on the organic carbon and nitrogen content of the soil in Jaen (Spain). *Soil. Tillage Res.* 98, 56-67.
- Chou, Y. M.; Shen, F. T.; Chiang, S. C.; Chang, C. M. 2017. Functional diversity and dominant populations of bacteria in banana plantation soils as influenced by long-term organic and conventional farming. *Applied Soil Ecology*, 110, 21-33.
- Cruz-Paredes, C.; Tájmel, D.; Rousk, J. 2021. Can moisture affect temperature dependences of microbial growth and respiration?. *Soil Biology and Biochemistry*, 156, 108-223.
- Cunha, E. D. Q.; Stone, L. F.; Ferreira, E. P. D. B.; Didonet, A. D.; Moreira, J. A. 2012. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo sob produção orgânica impactados por sistemas de cultivo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 16, 56-63.
- Damatto Junior, E. R.; Villas Bôas, R. L.; Leonel, S.; Fernandes, D. M. 2006. Alterações em propriedades de solo adubado com doses de composto orgânico sob cultivo de bananeira. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 28, 546-549.
- Deus, J. A. L. D.; Neves, J. C. L.; Lima, A. J. D.; Natale, W.; Alvarez V, V. H.; Albuquerque, F. M. R. 2020. Partitioning of macronutrients and nutritional efficiency in fertigated prata banana. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 42.
- Dijkstra, F. A.; Augustine, D. J.; Brewer, P.; von Fischer, J. C. 2012. Nitrogen cycling and water pulses in semiarid grasslands: are microbial and plant processes temporally asynchronous?. *Oecologia*, 170, 799-808.
- Donato, S. L. R.; Brito, C. F. B.; Fonseca, V. A.; Sônego, M.; Marques, P. R. R.; Santos, M. R.; Arantes, A. M.; Lichtemberg, L. A. Aspectos da ecofisiologia, fenologia e produção: In: Donato, S. L. R.; Borém, A.; Rodrigues, M.G. V. (Ed.). *Banana: do plantio à colheita*. 1 ed. Belo Horizonte: EPAMIG, 2021. p.45-76.
- Eivazi, F.; Tabatabai, M. A. 1977. Phosphatases in soils. *Soil biology and biochemistry*, 9, 167-172.
- Eivazi, F.; Tabatabai, M. A. 1988. Glucosidases and galactosidases in soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 20, 601-606.

- Garbeva, P.; Veen, J.A.; Elsas, J.D. 2004. Assessment of the diversity, and antagonism towards *Rhizoctonia solani* AG3, of *Pseudomonas* species in soil from different agricultural regimes. *FEMS Microbiol. Ecol.* 47, 51–64.
- Giacometti, C.; Demyan, M. S.; Cavani, L.; Marzadori, C.; Ciavatta, C.; Kandeler, E. 2013. Chemical and microbiological soil quality indicators and their potential to differentiate fertilization regimes in temperate agroecosystems. *Applied Soil Ecology*, 64, 32-48.
- Gunapala, N.; Scow, K.M.; 1998. Dynamics of soil microbial biomass and activity in conventional and organic farming systems. *Soil Biol. Biochem.* 30, 805–816.
- Hadar, Y.; Papadopoulou, K.K. 2012. Suppressive composts: microbial ecology links between abiotic environments and healthy plants. *Annu. Rev. Phytopathol.* 50, 133–153.
- Hoffmann, R.B.; Oliveira, F.H.T.; Souza, A.P.; Gheyi, H.R.; Souza Júnior, R.F. 2010. Acúmulo de matéria seca e de macronutrientes em cultivares de bananeira irrigada. *Revista Brasileira de Fruticultura, Jaboticabal*, 32, 268-275.
- Insam, H.; Domsch, K. H. 1988. Relationship between soil organic carbon and microbial biomass on chronosequences of reclamation sites. *Microbial Ecology*, 15,177-188.
- Islam, K. R.; Weil, R. R. 1998. Microwave irradiation of soil for routine measurement of microbial biomass carbon. *Biol and Fert. Soils.* 27, 408-416.
- Jenkins, W. R. 1964. A rapid centrifugal-flotation technique for separating nematodes from soil. *Plant disease reporter*, 48, 669-678.
- Kandeler, E.; Gerber, H. 1998. Short-term assay of soil urease activity using colorimetric determination of ammonium. *Biol. Fert. Soils*, 6, 68-72.
- Lee, J. 2010. Effect of application methods of organic fertilizer on growth, soil chemical properties and microbial densities in organic bulb onion production. *Scientia Horticulturae*, 124, 299-305.
- Makoi, J. H. J. R.; Ndakidemi, P. A.; 2008. Selected soil enzymes: examples of their potential roles in the ecosystem. *Afr. J. Biotechnol.* 3, 181–191.
- Makoi, J. H. J. R.; Chimphango, S. B. M.; Dakora, F. D. 2010. Elevated levels of acid and alkaline phosphatase activity in roots and rhizosphere of cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.) genotypes grown in mixed culture and at different densities with sorghum (*Sorghum bicolor* L.). *Crop & Pasture Science* 61, 279–286.
- Maseko, S. T.; Dakora, F. D. 2013. Rhizosphere acid and alkaline phosphatase activity as a marker of P nutrition in nodulated *Cyclopia* and *Aspalathus* species in the Cape fynbos of South Africa. *South African journal of botany*, 89, 289-295.
- Melero, S.; Madejón, E.; Ruiz, J. C.; Herencia, J. F. 2007. Chemical and biochemical properties of a clay soil under dryland agriculture system as affected by organic fertilization. *European Journal of Agronomy*, 26, 327-334.

- Melo, R. C. C. 2019. Microbiota do solo de bananeira comercial e do composto orgânico, isolamento de actinobactérias e avaliação do potencial biotecnológico. Tese Doutorado. Viçosa, MG.
- Moeskops, B.; Buchan, D.; Sleutel, S.; Herawaty, L.; Husen, E.; Saraswati, R.; ... De Neve, S. 2010. Soil microbial communities and activities under intensive organic and conventional vegetable farming in West Java, Indonesia. *Applied Soil Ecology*, 45, 112-120.
- Morales, D.; Vargas, M. M.; Oliveira, M. P. D.; Taffe, B. L.; Comin, J.; Soares, C. R.; Lovato, P. 2015. Response of soil microbiota to nine-year application of swine manure and urea. *Ciência Rural*, 46, 260-266.
- Moreno, B.; García-Rodríguez, S.; Canizares, R.; Castro, J.; Benítez, E. 2009. Rainfed olive farming in south-eastern Spain: long-term effect of soil management on biological indicators of soil quality. *Agric. Ecosyst. Environ.* 131, 333-339.
- Pattison, A. B.; Moody, P. W.; Badcock, K. A.; Smith, L. J.; Armour, J. A.; Rasiyah, V.; ... Mayer, R. 2008. Development of key soil health indicators for the Australian banana industry. *applied soil ecology*, 40, 155-164.
- Philippot, L.; Raaijmakers, J.; Lemanceau, P.; Putten, W. 2013. Going back to the roots: the microbial ecology of the rhizosphere. *Nat Rev Microbiol* 11, 789-799.
- Qin, S.; Miao, Q.; Feng, W. W.; Wang, Y.; Zhu, X.; Xing, K.; Jiang, J. H. 2015. Biodiversity and plant growth promoting traits of culturable endophytic actinobacteria associated with *Jatropha curcas* L. growing in Panxi dry-hot valley soil. *Appl Soil Ecol* 93, 47-55.
- Qiu, M.; Zhang, R.; Xue, C.; Zhang, S.; Li, S.; Zhang, N.; Shen, Q. 2012. Application of bio-organic fertilizer can control *Fusarium* wilt of cucumber plants by regulating microbial community of rhizosphere soil. *Biol. Fert. Soils* 48, 807-816.
- Rennenberg, H.; Dannenmann, M.; Gessler, A.; Kreuzwieser, J.; Simon, J.; Papen, H. 2009. Nitrogen balance in forest soils: nutritional limitation of plants under climate change stresses. *Plant Biology*, 11, 4-23.
- Sardans, J.; Penuelas, J. 2005. Drought decreases soil enzyme activity in a Mediterranean *Quercus ilex* L. forest. *Soil Biology and Biochemistry* 37, 455-461.
- Sardans, J.; Penuelas, J.; Estiarte, M. 2008. Changes in soil enzymes related to C and N cycle and in soil C and N content under prolonged warming and drought in a Mediterranean shrubland. *Applied Soil Ecology* 39, 223-235.
- Shen, Z.; Zhong, S.; Wang, Y.; Wang, B.; Mei, X.; Li, R.; Ruan, Y.; Shen, Q. 2013. Induced soil microbial suppression of banana fusarium wilt disease using compost and biofertilizers to improve yield and quality. *European Journal of Soil Biology* 57, 1-8.
- Shen, Z.; Ruan, Y.; Chao, X.; Zhang, J.; Li, R.; Shen, Q. 2015. Rhizosphere microbial community manipulated by 2 years of consecutive biofertilizer application associated with banana *Fusarium* wilt disease suppression. *Biology and Fertility of Soils* 51, 553-562.

- Shen, Z.; Xue, C.; Penton, C. R.; Thomashow, L. S.; Zhang, N.; Wang, B.; ... Shen, Q. 2019. Suppression of banana Panama disease induced by soil microbiome reconstruction through an integrated agricultural strategy. *Soil Biology and Biochemistry*, 128, 164-174.
- Silva, 2021. [https://www.arb-silva.de/no\\_cache/download/archive/qiime/](https://www.arb-silva.de/no_cache/download/archive/qiime/) (accessed jun 2021).
- Silva, A. P.; Babujia, L. C.; Franchini, J. C.; Souza, R. A.; Hungria, M. 2010. Microbial biomass under various soil- and crop-management systems in short- and long-term experiments in Brazil. *Field Crops Research*, 119, 20-26.
- Silva, A. R. 2016. *Métodos de Análise Multivariada em R*. 1ª Ed. Piracicaba: FEALQ. 167p.
- Sinsabaugh, R. L.; Follstad Shah, J. J. 2012. Ecoenzymatic stoichiometry and ecological theory. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 43, 313-343.
- Sparling, G. P.; West, A. W. 1988. A direct extraction method to estimate soil microbial C: calibration in situ using microbial respiration and <sup>14</sup>C labelled cells. *Soil Biol Biochem.* 20, 337-343.
- Tedesco, M. J.; Gianello, C.; Bissani, C. A. 1995. *Análises de solos, plantas e outros materiais*, UFRGS, Porto Alegre, 176p.
- Trivedi, P.; Leach, J.E.; Tringe, S.G.; Sa, T.; Singh, B. K. 2020. Plant–microbiome interactions: from community assembly to plant health. *Nature reviews microbiology* , 18, 607-621.
- Tótola, M. R.; Chaer, G. M. 2002. Microorganismos e processos microbiológicos como indicadores de qualidade dos solos. In: Alvares, V. H.; Schaefer, C. E. G. R.; Barros, N. F.; Mello, J. W. V.; Costa, L. M. (ed.). *Tópicos em ciência do solo*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2, 195-276.
- Turner, B. L.; Hopkins, D. W.; Haygarth, P. M.; Ostle, N. 2002.  $\beta$ -Glucosidase activity in pasture soils. *Applied Soil Ecology* 20, 157-162.
- Wang, B.; Yuan, J.; Zhang, J.; Shen, Z.; Zhang, M.; Li, R.; Ruan, Y.; Shen, Q. 2013. Effects of novel bioorganic fertilizer produced by *Bacillus amyloliquefaciens* W19 on antagonism of *Fusarium* wilt of banana. *Biol Fert Soils* 49, 435–446.
- Wang, H.; Guo, C. L.; Yang, C. F.; Lu, G. N.; Chen, M. Q.; Dang, Z. 2016. Distribution and diversity of bacterial communities and sulphate-reducing bacteria in a paddy soil irrigated with acid mine drainage. *J Appl Microbiol* 121, 196–206.
- Wang, R.; Dorodnikov, M.; Yang, S.; Zhang, Y.; Filley, T. R.; Turco, R. F.; ... Jiang, Y. 2015. Responses of enzymatic activities within soil aggregates to 9-year nitrogen and water addition in a semi-arid grassland. *Soil Biology and Biochemistry*, 81, 159-167.
- Xu, S.; Lu, W.; Liu, Y.; Ming, Z.; Liu, Y.; Meng, R.; Wang, H. 2017. Structure and diversity of bacterial communities in two large sanitary landfills in China as revealed by high-throughput sequencing (MiSeq). *Waste Manage* 63, 41–48.
- Yadav, A., 2017. Plant Microbiomes and Its Beneficial Multifunctional Plant Growth Promoting Attributes. *Int J Environ Sci Nat Resour* 3.

Zhang, W.; Chen, L.; Zhang, R.; Lin, K. 2016. High throughput sequencing analysis of the joint effects of BDE209-Pb on soil bacterial community structure. *J Hazard Mater* 301, 1–7.

Zhang, L.; Sun, X. 2014. Changes in physical, chemical, and microbiological properties during the two-stage co-composting of green waste with spent mushroom compost and biochar. *Bioresource technology*, 171, 274-284.

Zhou, Y.; Selvam, A.; Wong, J. 2016. Effect of Chinese medicinal herbal residues on microbial community succession and anti-pathogenic properties during co-composting with food waste. *Bioresource Technol* 217, 190–199.

Zoppas, F. M.; Bernardes, A. M.; Meneguzzi, Á. 2016. Parâmetros operacionais na remoção biológica de nitrogênio de águas por nitrificação e desnitrificação simultânea. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, 21, 29-42.

## CAPÍTULO 2

### CARACTERÍSTICAS DO SOLO SOB INCIDÊNCIA DE MAL DO PANAMÁ EM PLANTIO DE BANANEIRA ‘PRATA-ANÃ’ COM APLICAÇÃO DE COMPOSTO ORGÂNICO

#### RESUMO

Um dos fatores que limitam a produtividade dos bananais é a ocorrência da doença denominada mal do Panamá, causada pelo fungo *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* (FOC). No Brasil, a doença tem grande importância na bananicultura, limitando cultivos, principalmente do tipo Prata, havendo em alguns locais a tendência de substituição pelas cultivares do subgrupo Cavendish. O presente trabalho teve como objetivo avaliar as características biológicas, químicas e físicas dos solos cultivados com bananeira ‘Prata-Anã’ que receberam aplicação de composto orgânico por seis anos, e compreender quais fatores e suas interações influenciam na incidência do mal do Panamá. O trabalho foi desenvolvido na fazenda da Unidade Missão Velha, da empresa Sítio Barreiras Fruticultura LTDA e no Laboratório de Associações Micorrízicas/Departamento de Microbiologia/Bioagro/UFV. Foram efetuadas coletas de amostras de solo em três áreas, sendo: P1T2 - bananal de referência, com 22 anos de idade e sem a incidência de mal do Panamá; U8T4 – bananal com seis anos de idade e com a presença de FOC, porém com plantas assintomáticas; U8T4\_FOC – bananal com seis anos de idade, com a presença de FOC e com plantas sintomáticas. As amostragens foram realizadas em duas épocas, abril e setembro de 2019, período chuvoso e seco. As características biológicas do solo avaliadas foram: respiração, carbono da biomassa microbiana, quociente metabólico e microbiano, enzimas e as comunidades de nematoides e microbianas. Características biológicas como a atividades das enzimas  $\beta$ -glicosidase, Fosfatase alcalina, qCO<sub>2</sub>, RBS e número de nematoide nas raízes e as características químicas e físicas como M.O.S, teores de K no solo, relação K/Mg, porosidade total, capacidade de campo do solo e teores de micronutrientes, com Zn, Mn, Cu e B no solo, estão relacionados com a supressividade do FOC. As alterações das características biológicas, químicas e físicas dos solos, principalmente em plantios mais velhos, modulou as comunidades microbianas, com a diminuição da população do *Fusarium spp*, aumentando a supressividade de FOC. Solos da área P1T2 com teores de P, K, Ca, Mg, além da maior capacidade de retenção de água, são mais supressivos ao FOC. Características que aumentam a degradação do sistema radicular da

bananeira, como CE, Na, H+Al, densidade do solo e de partícula, aumentam a incidência de FOC.

**Palavras-chaves:** *Musa* spp., atividade microbiana, biofertilizante.

## 2.1 INTRODUÇÃO

O Brasil é considerado o quarto maior produtor mundial de banana (*Musa* spp.), superado pela Índia, China e Indonésia (FAO, 2022). Apesar da grande área cultivada e do volume de produção, a produtividade brasileira situa-se abaixo da de países como Indonésia, Costa Rica, Guatemala, Equador, Índia e China. Um dos fatores que limitam essa produtividade é a ocorrência da doença denominada mal do Panamá, causada pelo fungo *Fusarium oxysporum* f. sp. *ubense* (FOC) (Klein et al., 2016). Esse fungo infecta o xilema, induz a murcha e mata bananeiras (Stover, 1962; Dita et al., 2018).

A doença é considerada uma das mais destrutivas da bananeira em nível mundial (Stover e Simmonds, 1987; Dita et al. 2018). No Brasil, a doença tem grande importância na bananicultura, limitando cultivos, principalmente do tipo Prata, havendo em alguns locais a tendência de substituição pelas cultivares do subgrupo Cavendish (Haddad et al. 2018).

Uma vez estabelecido em uma plantação de bananeira, o controle de FOC é muito difícil (Deltour et al., 2017), pois sobrevive como clamidósporos no solo por vários anos (Stover, 1962) e pode persistir de forma assintomática em ervas daninhas (Hennessy et al., 2005).

A intensidade das doenças em plantas pode ser modulada por processos fisiológicos e bioquímicos dependentes das interações solo-planta, especialmente aquelas relacionadas à disponibilidade de nutrientes (Panth et al., 2020; Teixeira et al., 2021). Esta modulação é particularmente relevante para patógenos habitantes do solo, como FOC. Melhorias na compreensão desses processos propicia melhorias nas estratégias de manejo do solo que permitem o cultivo de cultivares suscetíveis na presença de FOC (Pattison et al. 2014; Dita et al. 2018).

Práticas de manejo voltadas para a sanidade e supressividade do solo, como rotação de culturas, plantas de cobertura, aplicação de adubos orgânicos e agentes de biocontrole, têm se mostrado eficazes para suprimir o inóculo de FOC, reduzir a intensidade da doença e aumentar a produtividade da bananeira na Austrália (Pattison et al., 2014), na China (Huang et al., 2012; Fu et al., 2017) e no Brasil (Haddad et al., 2018).

A aplicação de compostos orgânicos ou biofertilizantes em solos cultivados com bananeira promove incrementos nas características microbiológicas, como diversidade e quantidade de microrganismos do solo, aumento da biomassa microbiana e de atividades enzimáticas no solo (Melero et al., 2007; Lee 2010; Moeskops et al., 2010). A aplicação desses materiais também propicia a melhoria nas características químicas do solo, como pH, matéria orgânica, fósforo, cálcio, soma de bases, CTC e saturação por bases (Damatto Junior et al., 2006). Nas características físicas, propicia o aumento da agregação, da aeração e da retenção de água, reduzindo a densidade aparente do solo (Tejada e Gonzalez 2008; Lee et al., 2009).

A utilização de compostos orgânicos ou biofertilizantes pode se constituir em uma importante ferramenta no manejo integrado do FOC, fazendo com que a produção seja sustentável, mesmo em campos severamente infestados (Shen et al., 2015, 2019). No entanto, o FOC pode apresentar taxas epidêmicas diferentes em determinadas áreas, independentemente dos níveis de resistência da cultivar plantada (Dita et al., 2008; Teixeira et al., 2021). Nesse contexto, fatores preexistentes e variáveis específicas do local, como características biológicas, químicas e físicas do solo, nutrição da bananeira, sistema de produção e variáveis ambientais, precisam ser levados em consideração no desenvolvimento e aplicação de práticas de manejo eficazes da doença (Dita et al., 2008; Teixeira et al., 2021). Portanto, há a necessidade de mais investigações, principalmente considerando condições de sítios específicas, como solo, clima e material genético.

O presente trabalho teve como objetivo determinar as características biológicas, químicas e físicas dos solos cultivados com bananeira ‘Prata-Anã’ que receberam aplicação de composto orgânico, e compreender quais fatores e suas interações influenciam na incidência do mal do Panamá.

## **2.2 MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.2.1 Descrição das condições experimentais**

As amostras do solo foram obtidas na fazenda da Unidade Missão Velha, da empresa Sítio Barreiras Fruticultura LTDA, localizada no município de Missão Velha - Ceará, coordenadas geográficas de 7° 35' 90" S e 39° 21' 17" W, com altitude aproximada de 442 m. O clima da região é do tipo Aw - clima tropical com estação seca no inverno e chuvas concentradas no verão (Köppen-Geiger). A área é dividida em 57 talhões de bananeira ‘Prata-Anã’, todas com fertirrigação orgânica e química. O composto orgânico é produzido na própria

fazenda, utilizando como matéria prima, cama de frango, raquis da bananeira e cana de açúcar trituradas.

**Tabela 1.** Características químicas e físicas do solo, cultivados sobre bananeiras com e sem incidência de *Fusarium oxysporum* f. sp. *Cubense* (FOC) e em duas épocas de amostragem, Missão Velha - CE.

Área	pH		M.O g kg <sup>-1</sup>		P-Melich-1 mg dm <sup>-3</sup>		P-Rem		CTC cmolc dm <sup>-3</sup>	
	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca
P1T2	7,2	7,5	35,3	20,7	267	88,3	48,7	49	7,41	7,29
U8T4	7,5	7,7	23,3	13	85,7	140	50	50,8	3,85	5,14
U8T4_FOC	7,7	7,8	18,3	15,3	110,7	122	49,3	49,2	4,33	6,20

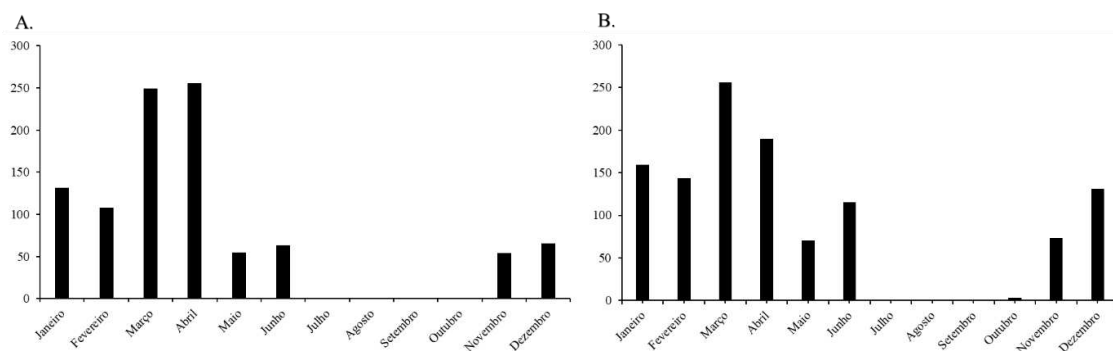
Área	K cmolc dm <sup>-3</sup>		Ca cmolc dm <sup>-3</sup>		Mg cmolc dm <sup>-3</sup>		H+Al cmolc dm <sup>-3</sup>		S mg dm <sup>-3</sup>	
	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca
P1T2	0,63	0,25	5,1	5,0	0,73	0,87	0,00	1,1	8	8
U8T4	0,19	0,12	2,07	3,0	0,83	0,97	0,00	0,87	12,7	16,7
U8T4_FOC	0,16	0,15	2,53	4,0	0,77	1,10	0,80	0,80	18,7	18

Área	K /Mg		Ca/Mg		CE dS m <sup>-1</sup>		Capacidade de Campo cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup>		Argila %	
	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca
P1T2	0,83	0,29	6,9	5,8	0,13	0,14	0,20	0,21	9,8	9,8
U8T4	0,23	0,12	2,5	3,1	0,09	0,17	0,09	0,10	16,2	11,3
U8T4_FOC	0,25	0,15	4,7	3,7	0,14	0,21	0,09	0,09	13,1	12,0

M.O: Teor de matéria orgânica do solo; P-Melich-1: Teor de fósforo do solo extraído por Melich-1; P-Rem: Fósforo remanescente; CTC: Capacidade de troca catiônica; K/Mg: relação de Potássio e Magnésio no solo; Ca/Mg: relação Cálcio e Magnésio no solo; CE: Condutividade elétrica do solo.

Foram efetuadas coletas de amostras de solo em três áreas, sendo: P1T2 - bananal de referência, com 22 anos de idade e sem a incidência de mal do Panamá; U8T4 – bananal com seis anos de idade e com a presença de FOC, porém com plantas assintomáticas; U8T4\_FOC – bananal com seis anos de idade, com a presença de FOC e com plantas sintomáticas com incidência de 42% das plantas sintomáticas. As amostragens foram realizadas em duas épocas durante ano de 2019, período chuvoso (Abril) e seco (Setembro). Os dados de precipitação pluviométrica mensal em 2019 e a média histórica nas áreas amostradas são apresentados na Figura 1. Foram tomadas três amostras compostas em cada área, totalizando 18 unidades experimentais.



**Figura 1.** Precipitação mensal nas áreas amostradas: (A) durante o ano de 2019 e (B) média histórica, da região de Missão Velha, Ceará.

### 2.2.2 Coleta de amostras

Utilizando um cano de PVC de 50 mm, retirou-se de amostras de solo de quatro pontos ao redor da touceira, para compor a amostra composta, na profundidade de 0-10 cm. A touceira amostrada foi escolhida de forma aleatória dentro do talhão, no estágio reprodutivo, com o cacho recém lançado, sendo três touceiras por área, cada touceira sendo considerado uma repetição.

As amostras foram mantidas sob refrigeração até chegar ao laboratório e mantidas em câmara fria (4 °C). Após a coleta, as amostras compostas de solo foram separadas, para determinação dos atributos físicos, químicos e biológicos do solo. Para análises dos nematoides foram coletadas também as raízes frescas dessas famílias.

### 2.2.3 Caracterização química do solo

Foram determinados, em laboratório, o pH em água na relação 1:2,5 (solo:água); os teores de K, Ca, Mg, S e Al em  $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ; P trocável por Mehlich 1 e Resina em  $\text{mg dm}^{-3}$ , Condutividade elétrica do solo ( $\text{dS m}^{-1}$ ); conforme Teixeira et al., 2017; P-Remanescente em  $\text{mg L}^{-1}$  (Alvarez V. et al., 2000); Foram determinados os teores de micronutrientes no solo, como B, Cu, Fe, Mn, Zn e Na no solo ( $\text{mg dm}^{-3}$ ), conforme Teixeira et al., 2017; A matéria orgânica foi determinada conforme Walkley e Black (1934) expressa em  $\text{g dm}^{-3}$ . Foram calculados a Soma de Base (SB), Capacidade troca catiônica (CTC) em  $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  e a Saturação por bases em % (Teixeira et al., 2017).

#### **2.2.4 Caracterização física do solo**

Foram determinadas a densidade de partículas, análise granulométrica, densidade do solo; a porosidade total (Pt), conforme método descrito por Teixeira et al. (2017). A capacidade de campo foi determinada usando a tensão de trabalho de potencial de -10, kPa, tensão da capacidade de campo para solos arenosos.

#### **2.2.5 Comunidade de nematoides no solo**

Para a determinação da comunidade de nematoides, foram contabilizados os nematoides de vida livre e associados à planta (endoparasitas). Os de vida livre e os associados a raízes foram determinados a partir das amostras de solo e das raízes, conforme Jenkins, 1964.

#### **2.2.6 Atividades microbiológicas do solo**

O carbono da biomassa microbiana (CBM) foi estimado por irradiação (Islam e Weil, 1998) em subamostras de 20 g (massa seca), sendo que 10 g foram irradiadas em microondas por 5 min e 10 g não irradiadas. A essas amostras, irradiadas ou não, foram adicionados 80 mL da solução extratora ( $K_2SO_4$ ), e levados para agitação por 30 min (120 rpm). Foram mantidos em repouso após este período por mais 30 min.

A determinação do carbono da biomassa foi realizada de acordo com Tedesco (1995). O cálculo do CBM foi realizado conforme Tedesco (1995).

O CBM foi obtido pela diferença entre amostras irradiadas e não irradiadas, divididas por um fator de conversão (0,33) usado para converter o fluxo de C para a C da biomassa microbiana (Sparling e West, 1988).

A respiração basal do solo (RBS) foi determinada pelo método da espectroscopia de cavidade ressonante do tipo “ring-down”. Trinta gramas (30 g) de solo úmido foram acondicionados em frascos de 580 mL e vedados com tampas com suporte de borracha para permitir a coleta do gás por seringas, e mantidos em bancadas em laboratório para realização das coletas. Foram realizadas três coletas em um período de incubação do solo de cinco dias: 24 horas após incubação do solo; 3 dias após a incubação do solo; 5 dias após a incubação do solo. Sessenta mililitros (60 mL) de gás foram coletados de cada frasco em cada coleta, com auxílio de seringas e, posteriormente, o gás foi injetado no equipamento *CRDS Analyzer for CO2/CH4/H2O in Air - Model G2301 - Picarro* para leitura e quantificação do  $CO_2$  de cada

amostra nas diferentes coletas. Após a leitura no CRDS, o valor do branco foi descontado das amostras e, posteriormente, o valor do CO<sub>2</sub> produzido e acumulado ao longo dos 10 dias de incubação por massa seca do solo será calculado em função do volume do frasco e do tempo (em horas) de incubação.

O quociente metabólico ( $q\text{CO}_2$ ) foi determinada pela razão C-CO<sub>2</sub> e carbono da biomassa microbiana (CBM) (Anderson e Domsch, 1993). A partir dos valores do CBM e do conteúdo de matéria orgânica, foi determinado o quociente microbiano ( $q\text{MIC}$ ), que é a fração do carbono orgânico do solo que é representado pelo CBM. A transformação dos valores de matéria orgânica para carbono orgânico foi feita pela metodoliga proposta por Alvares V. et al., (1999).

A atividade da  $\beta$ -glicosidase (BG) foi determinada conforme Eivazi e Tabatabai (1988). Foi baseada na determinação colorimétrica do *p*-nitrofenol liberado após incubação de 1 g de solo. As atividades de BG foram expressas em  $\mu\text{g pNP g}^{-1}$  solo seco  $\text{h}^{-1}$ .

A atividade da urease foi determinada conforme Kandeler e Gerber (1988). Foi baseada na quantificação do amônio liberado após a incubação de 1 g de solo em 2,5 ml da solução de uréia 0,8 % (v:v). Foram incubados por 2 h em banho-maria a 37 °C. As atividades de urease foram expressas em  $\mu\text{g NH}_4\text{-N g}^{-1}$  solo seco  $2\text{h}^{-1}$ .

As atividades das fosfatases ácida e alcalina foram determinadas conforme Eivazi e Tabatabai (1977). Com base na liberação do *p*-nitrofenol após a incubação do solo com uma solução tamponada de *p*-nitrofenil fosfato e tolueno. As atividades das fosfatases ácidas e alcalinas foram expressas em  $\mu\text{g pNP g}^{-1}$  solo seco  $\text{h}^{-1}$ .

### **2.2.7 Diversidade biológica no solo**

Para a determinação da diversidade bacteriana e fúngica do solo, o DNA total das amostras de solo foi extraído a partir da maceração de 10 g de cada amostra separadamente em nitrogênio líquido, em almofariz de porcelama, previamente esterilizados. Amostras de 250 mg foram utilizados para a extração do DNA total utilizando o kit comercial Nucleo Spin Soil (Machereye-Nagel, GmbH & Co. KG, Germany), seguindo às recomendações do fabricante. A integridade e a quantificação do DNA extraído foram visualizados por eletroforese em gel de agarose (0,8%). Alíquotas do DNA total foram enviadas para o sequenciamento da região V3-V4 do rRNA 16S e 18S, pelo método 2 x 250 paired-end utilizando a plataforma Illumina MiSeq.

Os dados brutos foram analisados utilizando a pipeline do *Brazilian Microbiome Project* (BMP), com os seguintes programas: QIIME v 1.9.1 e o vsearch/2.5.0. E, para a atribuição taxonômica das OTUs (Unidade Taxinômica Operacional), o banco de dados SILVA foi utilizado (SILVA, 2021).

### 2.2.8 Análises estatísticas

As análises Box Plot dos valores das características biológicas do solo para os tratamentos foram realizadas com o uso dos softwares R-CRAN (Silva, 2016).

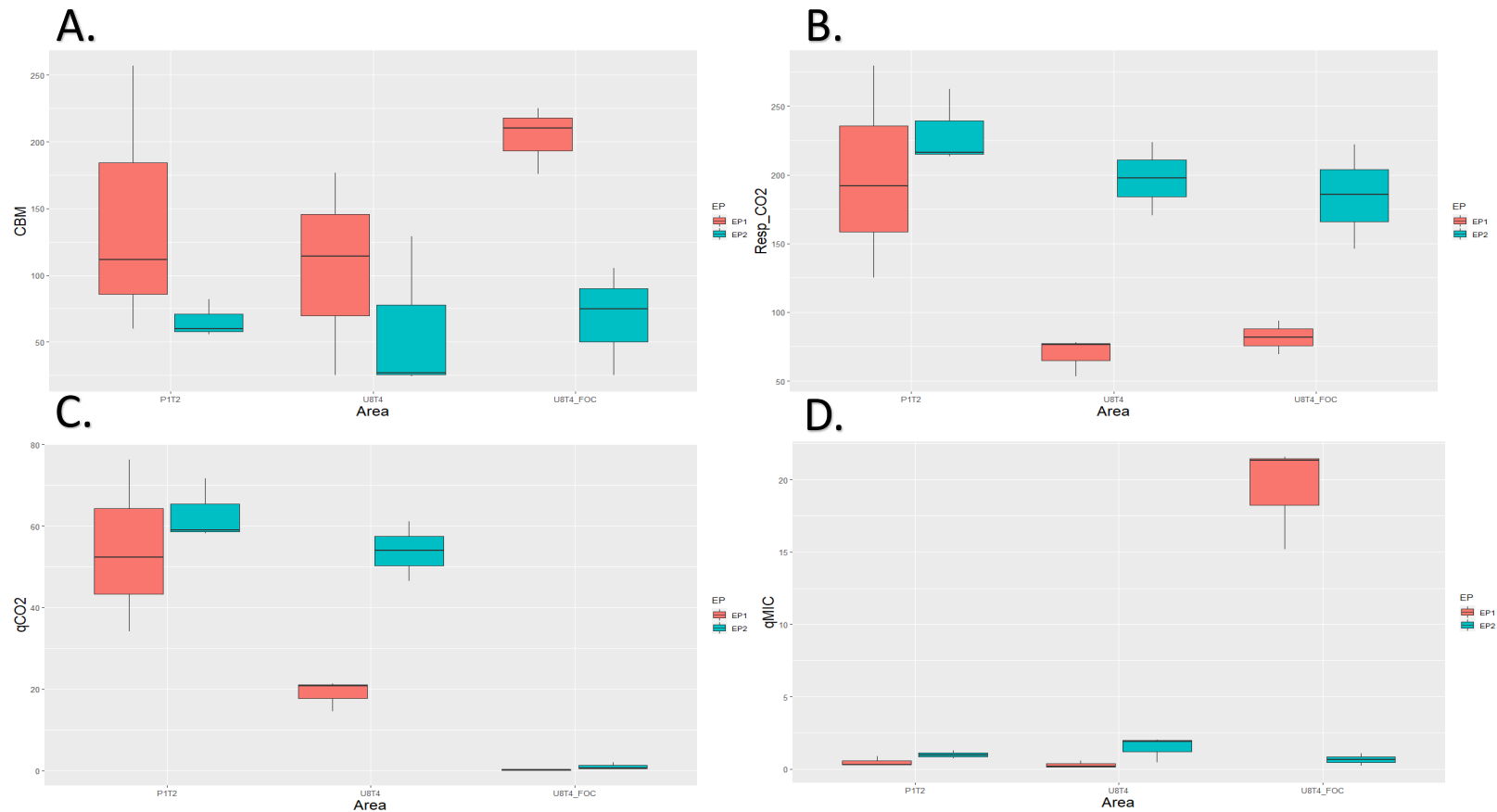
Diferentes índices ecológicos foram calculados utilizando o QIIME (algoritmo `core_diversity_analyses.py`) para descrever a diversidade e riqueza microbianas (índices de Chao1, de Shannon, espécies observadas, Equitabilidade) a partir da normalização das amostras, padronizadas para o mesmo número de sequências, utilizando o comando `single_rarefaction.py` do Qiime (Silva, 2021).

Análises de coordenadas principais (PCoA) para o agrupamento das amostras em função da diversidade e abundância das OTUs foram realizadas com base nas matrizes de distância UniFrac. Diagramas de *Venn* foram construídos para mostrar as OTUs únicas e compartilhadas entre as diferentes amostras. As análises de componentes principais (PCA), foi realizado utilizando as amostras da diversidade e abundancia das OTUs e os dados das características biológicas, químicas e físicas das áreas estudadas.

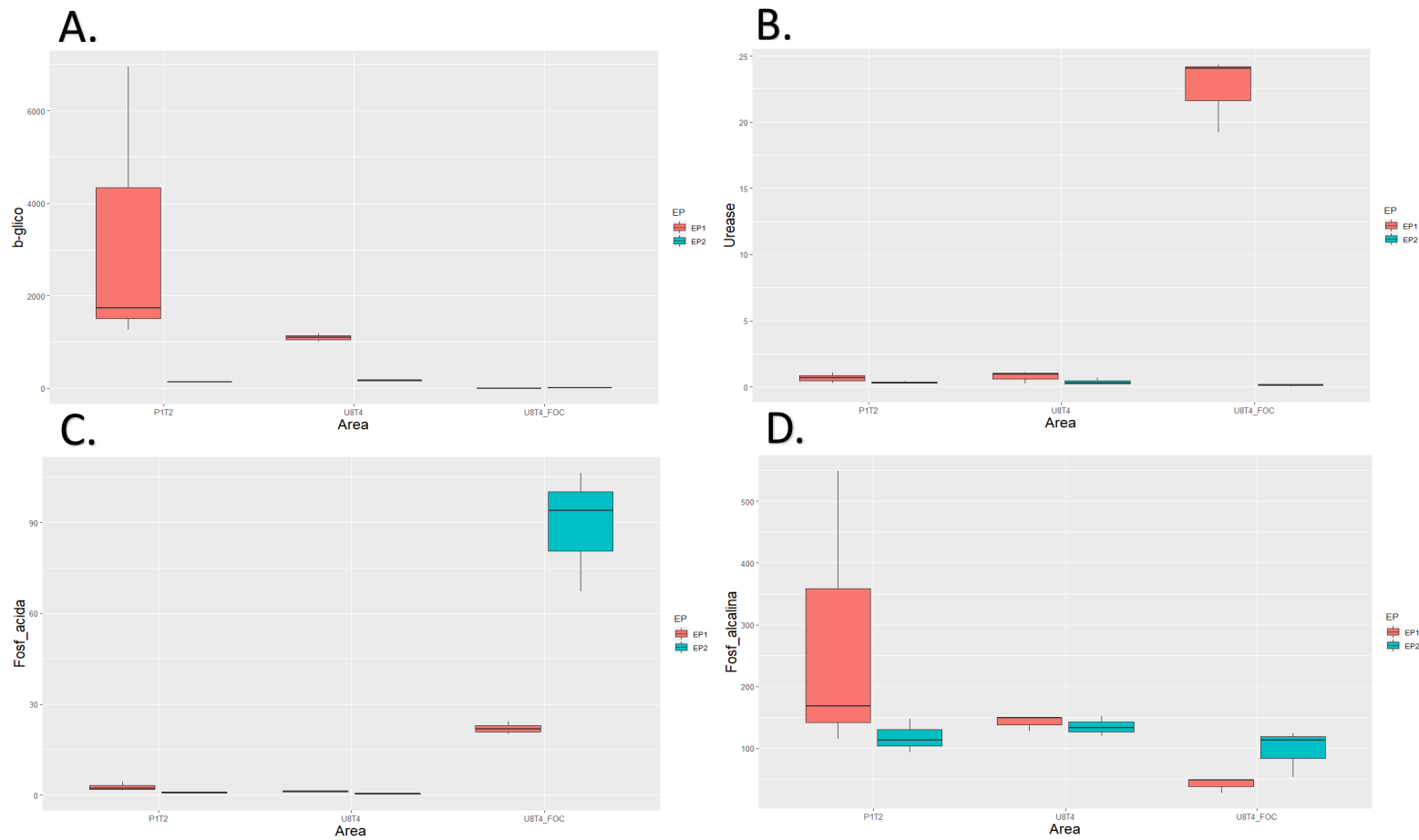
## 2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Houve diferença ( $p \leq 0,05$ ) para as variáveis estudadas da comparação entre a área de referência (P1T2) e as áreas que apresentavam plantas com (U8T4\_FOC) e sem sintomas de FOC (U8T4) (Figura 2, 3 e 4).

CBM, RBS,  $qCO_2$  (Figura 2) e as atividades das enzimas  $\beta$ -glicosidade e fosfatase alcalina (Figura 3), foram maiores na área de referência, que não apresentava plantas com FOC, principalmente na época chuvosa, e que possui alta produtividade ( $> 45 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ). Os maiores valores dessas características na época chuvosa podem indicar a influência do clima nas atividades microbianas do solo, mesmo em plantios irrigados, como é o caso da área deste estudo, uma vez que alterações atmosféricas do ambiente, como pluviosidade, radiação e temperatura, são fatores importantes que influenciam na atividade microbiana (Giacometti et al., 2013; Cruz-Paredes et al., 2021).



**Figura 2.** Carbono da biomassa microbiana (CBM) (A), respiração basal (B), quociente metabólico ( $qCO_2$ ) (C) e quociente microbiano ( $qMIC$ ) (D), em solos de plantios comerciais de banana Prata-anã sem a incidência de mal do Panamá (P1T2), com a presença de *Fusarium oxysporum* f. sp. *ubense* (FOC) nas plantas assintomáticas (U8T4) e com a presença de FOC e plantas sintomáticas (U8T4\_FOC), que receberam composto orgânico por seis anos, em duas épocas de amostragem (EP1: chuvoso; EP2: seco), em Missão Velha – Ceará.



**Figura 3.** Atividades das enzimas ureases, fosfatases ácidas, fosfatases alcalinas e  $\beta$ -glicosidades, em solos de plantios comerciais de banana Prata-anã sem a incidência de mal do Panamá (P1T2), com a presença de *Fusarium oxysporum* f. sp. *ubense* (FOC) mas plantas assintomáticas (U8T4) e com a presença de FOC e plantas sintomáticas (U8T4\_FOC), que receberam composto orgânico por seis anos, em duas épocas de amostragem (EP1: chuvoso; EP2: seco), em Missão Velha - Ceará.

As alterações na atmosfera, provocada pelas chuvas (Fig. 1), também influenciam positivamente a bananeira, com menor Déficit de Pressão de Vapor (DPV), o que ocasiona maior condutância estomática da bananeira e, portanto, maior taxa fotossintética líquida (Arantes et al., 2016, 2018). Quanto maior a fotossíntese líquida, maior será a produção de biomassa, resultando em maior liberação de exsudatos radiculares, que são responsáveis pela modulação das comunidades microbianas na rizosfera, fator chave na interação planta-microrganismo (Trivedi et al., 2020). A precipitação aumenta a disponibilidade hídrica no solo, o fluxo de nutrientes e sua absorção pela planta, além da contribuição do nitrogênio atmosférico para as plantas e microrganismos (Dijkstra et al., 2012; Wang et al., 2015).

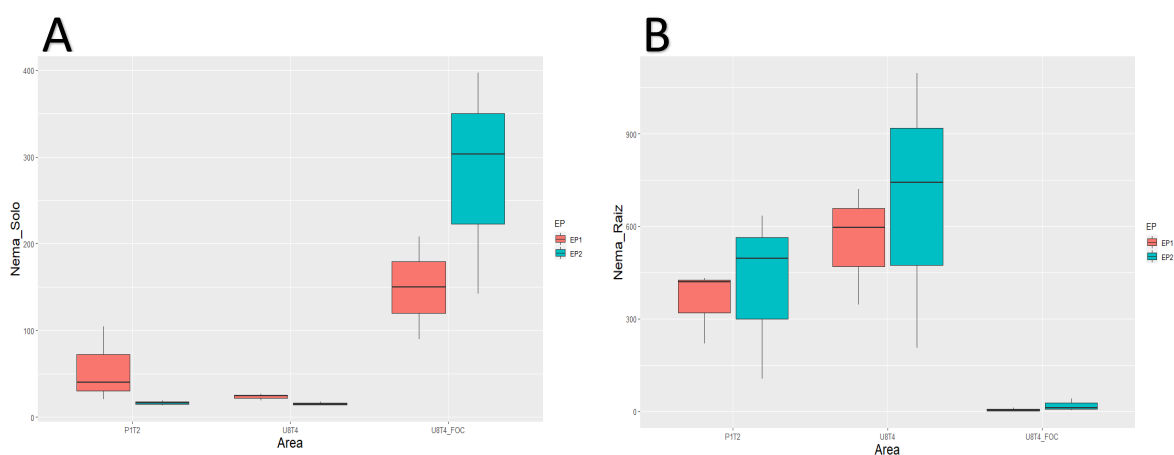
Os maiores valores de RBS e  $qCO_2$  foram apresentados pela área PIT2 e na época chuvosa (Figura 2). Provavelmente, quanto maior a idade do bananal, maior será o retorno de matéria seca produzido pelo mesmo, maior a incorporação ao longo dos anos e, conseqüentemente, maior atividade microbiana, resultando em maior supressão de doenças radiculares, mesmo com a menor eficácia na utilização de energia, pois um alto  $qCO_2$  indica um ambiente menos estável ou mais distante do seu estado de equilíbrio (Tótola e Chaer, 2002).

A respiração basal é um indicador de atividade biológica, principalmente de processos catabólicos de microrganismos aeróbios relacionados à decomposição da matéria orgânica, à liberação ou imobilização de nutrientes no solo e à liberação de compostos fungitóxicos (Anderson e Domsch, 2010; Morales et al., 2016; Bonanomi et al., 2017). Fato esse corroborado pelas maiores atividades das enzimas  $\beta$ -glicosidade e fosfatase alcalina (Figura 3). Que são responsáveis por ciclos de nutrientes importantes no solo como, Carbono e Fósforo (Cunha et al., 2012; Makoi e Ndakidemi, 2008).

A  $\beta$ -glicosidase é importante para degradação da celulose em vários polissacarídeos (Turner et al., 2002). Quando ativada, é a primeira etapa na degradação de compostos orgânicos, pois quanto maior a atividade dessa enzima, menor serão as estruturas orgânicas moleculares, facilitando a ação de outros microrganismos (Sardans et al., 2008). O aumento da atividade da fosfatase na rizosfera e no solo incrementa a disponibilidade de P para as plantas (Makoi et al., 2010; Maseko e Dakora, 2013), fator importante na supressão da doença, pois quanto maior o conteúdo de carbono orgânico e de P no solo, menor será incidência dessa doença (Teixeira et al., 2021).

A composição da comunidade de nematoides associada às raízes bananeiras foi maior nas áreas que não apresentaram sintomas de FOC (PIT2 e U8T4), sendo maior na

época seca (Figura 4). O número de nematoides associados as raízes, não era esperado que fosse maior nas áreas sem ocorrência de FOC, pois geralmente a doença tem maior incidência em áreas e plantas mais infestadas por nematoides, principalmente devido aos ferimentos ocasionados por estes que servem de porta de entrada para FOC, potencializando a infecção (Pattison et al., 2008; Dita et al., 2018). No solo, a comunidade de nematoides, foi maior na área com FOC (U8T4\_FOC), também na época seca.



**Figura 4.** Número de nematoides no solo e nas raízes, em plantios comerciais de bananeira Prata-anã sem a incidência de mal do Panamá (P1T2), com a presença de *Fusarium oxysporum* f. sp. *ubense* (FOC) mas plantas assintomáticas (U8T4) e com a presença de FOC e plantas sintomáticas (U8T4\_FOC), que receberam composto orgânico por seis anos, em duas épocas de amostragem (EP1: chuvoso; EP2: seco), em Missão Velha - Ceará.

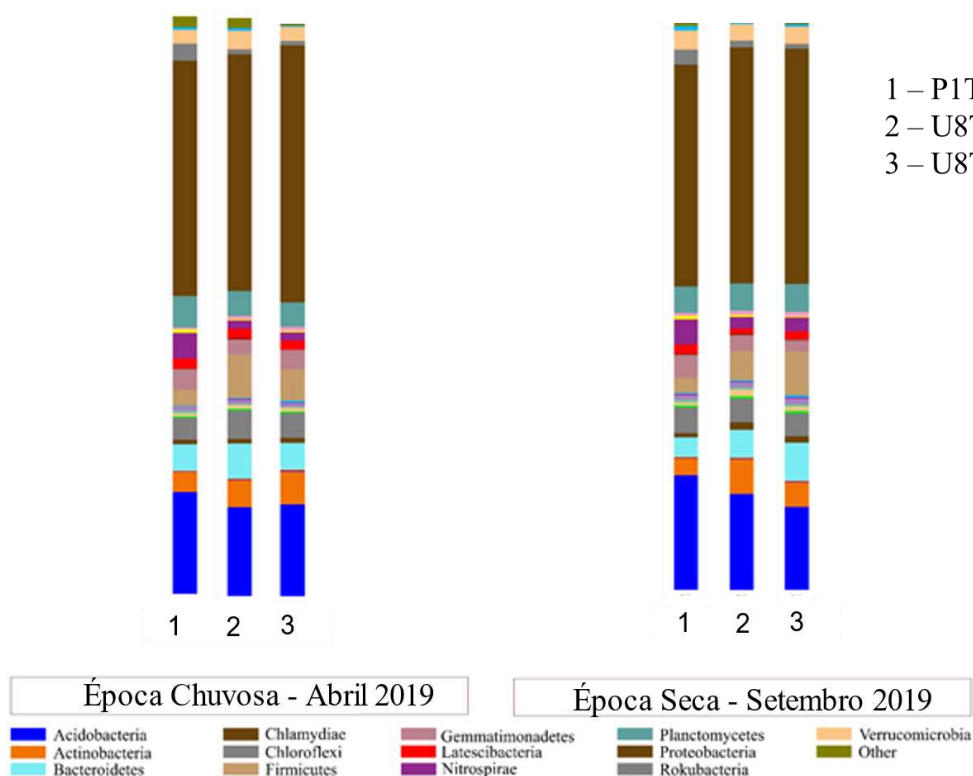
O maior número de nematoides associados às raízes da bananeira em áreas não afetadas por FOC, pode ser devido à ausência de ação patogênica do FOC no sistema radicular, o que provavelmente leva a uma maior densidade radicular. A densidade do sistema radicular das plantas afetadas com FOC geralmente são menores, contribuindo para potencializar o efeito do FOC (Dita et al., 2018). A incidência da doença pode ter reduzido a quantidade de raízes saudáveis, ocasionando a diminuição das quantidades dos exsudatos radiculares da bananeira, o que é importante para que ocorra a interação entre nematoides e a bananeira (Pattison et al., 2008; Santana-Gomes et al. 2013). Como essas observações são somente especulações, há necessidade de pesquisas futuras para melhor compreensão do fenômeno.

A área P1T2 por possuir uma comunidade microbiana mais estabilizada, com presença de gêneros microbianos, como *Bacillus spp.* e *Pseudomonas spp.*, contribui principalmente no aumento da proteção do sistema radicular da bananeira, contra o ataque de patógenos como é o caso do FOC (Bubici et al., 2019). Essas comunidades moduladas pelo plantio mais velho, mostram que a depender do tipo de comunidades microbianas,

ou até mesmo mudança no tipo de exsudatos radiculares pela bananeira, pode haver uma maior competição nas raízes, e mesmo que tenham maior número associado as raízes, pode haver uma diminuição da patogenicidade, ou até mesmo o silenciamento de genes que expressam essa característica (Mohan, et al., 2020; Topalovic e Vestergard, 2021).

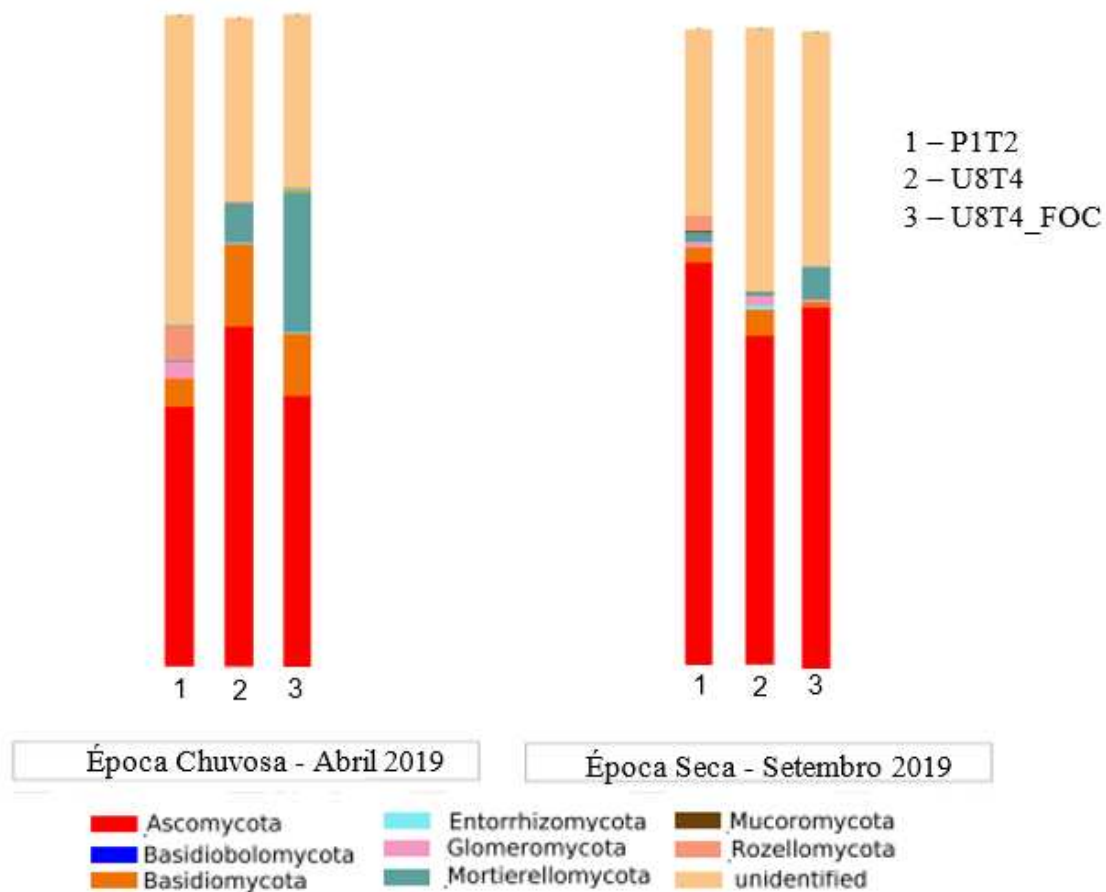
O maior número de nematoides no solo para as áreas que apresenta plantas sintomáticas a FOC, pode ser por tudo aqui já discutido. Uma área mais nova, com menor incorporação de material orgânico principalmente oriundo de restos culturais, possui menor estabilidade das comunidades microbianas, conseqüentemente, a menor presença de microrganismos antagônicos aos nematoides, que pode contribuir para o aumento dessa população (Shen et al., 2013; 2015; 2019).

Como resultado do sequenciamento da região do RNAr 16S, um total de 32.911 OTUs foram observadas, com maior número na época seca. Os principais filos observados nas amostras foram: Acidobacteria – 15,2%, Actinobacteria – 4%, Firmicutes – 8,2%, Proteobacteria – 42,3%. A abundância dos filos variou em função das amostras e do período de coleta (Figura 5). As amostras das áreas avaliadas apresentaram similaridade, com expressiva maior abundância do filo Proteobacteria (Figura 5).



**Figura 5.** Abundância dos principais filos bacterianos em amostras de solos coletadas em dois períodos (chuvoso e seco) em três áreas de plantio comercial de bananeira Prata-anã, sem a incidência de mal do Panamá (P1T2), com a presença de *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* (FOC) mas plantas assintomáticas (U8T4) e com a presença de FOC e plantas sintomáticas (U8T4\_FOC), que receberam composto orgânico por seis anos, em Missão Velha - Ceará.

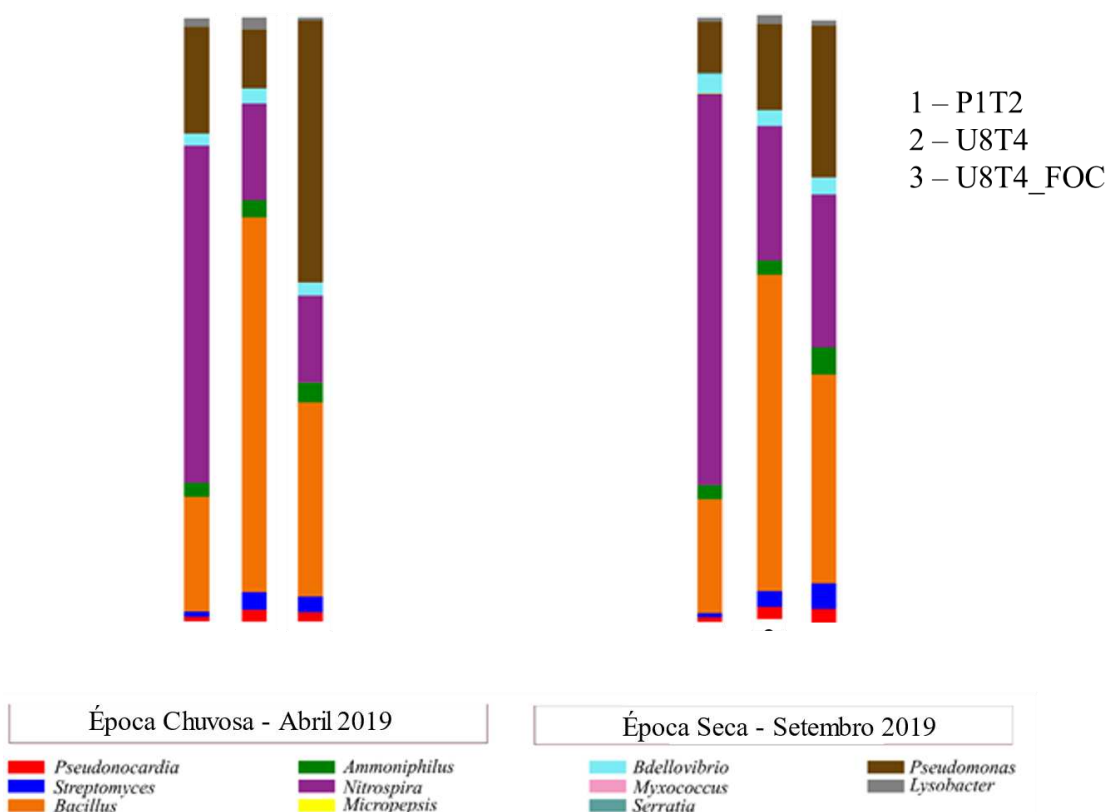
Os principais filos observados, após sequenciamento da região ITS, um total de 1.958 OTUs foram observadas nas amostras foram: Ascomycota – 60,0 %, Mortierellomycota – 6,0 %, Basidiomycota – 5,3%, Rozellomycota – 1,8 %. A abundância dos filos variou em função das amostras e do período de coleta (Figura 6). Na área de referência (P1T2) houve a predominância dos filos Ascomycota e Basidiomycota (Figura 6).



**Figura 6.** Abundância dos principais filos fúngicos em amostras de solos coletadas em dois períodos (chuvoso e seco) em três áreas de plantio comercial de banana Prata-anã, sem a incidência de mal do Panamá (P1T2), com a presença de *Fusarium oxysporum* f. sp. *ubense* (FOC) nas plantas assintomáticas (U8T4) e com a presença de FOC e plantas sintomáticas (U8T4\_FOC), que receberam composto orgânico por seis anos, em Missão Velha - Ceará.

Apenas na área P1T2 foi constatada a presença de filos como Glomeromycota e Rozellomycota, enquanto nas áreas com presença da FOC (U8T4) e incidência de FOC (U8T4\_FOC), houve uma maior abundância do filo Mortierellomycota, principalmente na época chuvosa. O filo Glomeromycota, é o filo de algumas espécies de fungos que formam associações micorrízicas, essas associações, além de promover o crescimento vegetal, aumentando a área de absorção de nutrientes, possui importância no controle do FOC em banana (Sampaio et al., 2012).

Os gêneros bacterianos mais abundantes nas áreas avaliadas em ambas as coletas foram *Pseudomonas*, *Streptomyces*, *Bacillus* e *Nitrospira* (Figura 7), apenas diferenciando a abundância desses filos por área. A U8T4\_FOC, teve uma abundância maior do gênero *Pseudomonas* e *Streptomyces*, em comparação às demais áreas. Enquanto em P1T2 houve maior predominância de *Nitrospira*.



**Figura 7.** Abundância dos principais gêneros bacterianos em amostras de solos coletadas em dois períodos (chuvoso e seco) em três áreas de plantio comercial de bananeira Prata-anã, sem a incidência de mal do Panamá (P1T2), com a presença de *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* (FOC) mas plantas assintomáticas (U8T4) e com a presença de FOC e plantas sintomáticas (U8T4\_FOC), que receberam composto orgânico por seis anos, em Missão Velha - Ceará.

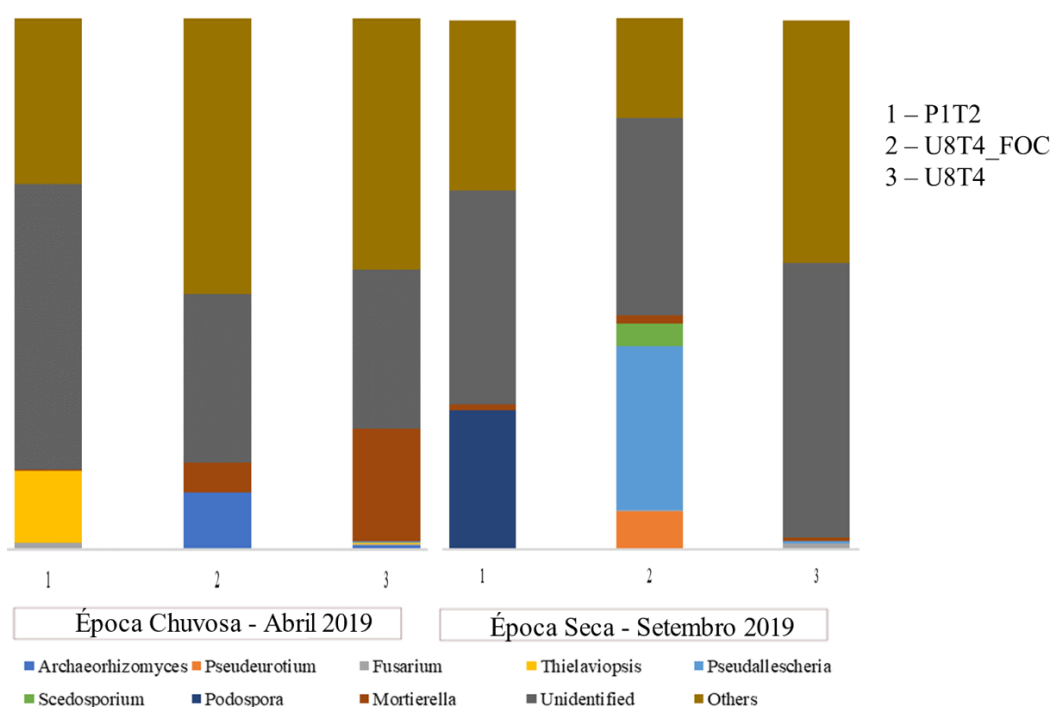
O gênero *Bacillus* e *Pseudomonas* foram os mais abundantes em quase todas as amostras, corroborando com Xue et al. (2015), os quais descreveram como os mais abundantes e considerados de papel importante em lavouras de bananeira, como microrganismos chaves no controle biológico de doenças causadas por fitopatógenos habitantes do solo e na promoção de crescimento vegetal (Shen et al., 2013, 2015, 2019; Wang et al., 2013; Zhou et al., 2019).

As bactérias Proteobacteria, Firmicutes, Acidobacteria, Bacteroidetes e Actinobacteria e os fungos Ascomycota e Basidiomycota foram os filos mais abundantes em todas as amostras, semelhante aos resultados anteriores derivados de solos agrícolas (Shen et al., 2019; Xiong et al., 2015; Li et al., 2010; Acosta Martinez et al., 2008). No presente estudo, as abundâncias

relativas de Actinobacteria e Firmicutes, bem como gêneros como *Streptomyces* e *Bacillus*, relatados como agentes comuns de biocontrole e promotores de crescimento, aumentaram após alguma ação perturbadora, como no caso, um plantio mais novo como são as áreas U8T4 e U8T4\_FOC, levam a um aumento na sua abundância relativa (Trivedi et al., 2017; Xiong et al., 2017).

Embora bactérias do gênero *Bacillus* tenham aumentado nas áreas U8T4 e U8T4\_FOC, não houve relação negativa significativa entre a abundância de *Bacillus* e a de *Fusarium*, sugerindo que o efeito supressor pode não ser direto. No entanto, dada a complexidade da dinâmica da comunidade no sistema solo, parece improvável que a supressão de doenças possa ser atribuída a um único táxon ou grupo microbiano, mas é provavelmente atribuída aos complexos consórcios microbianos do solo (Mendes et al., 2011). Outro gênero bastante abundante é o *Nitrospira*, que tem importância devido à participação no ciclo do nitrogênio no solo (Zoppas et al., 2016). Que podem aumentar a disponibilidade de N para as plantas (Canfield et al., 2010).

Os gêneros fúngicos mais abundantes nas áreas com U8T4 e U8T4\_FOC em ambas ascoletas foram *Fusarium*, *Scedosporium*, *Pseudallescheria*, *Mortierella* e *Archaeorhizomyces*, enquanto nas amostras P1T2 foram *Thielaviopsis*, *Pseudeurotium*, *Mortierella* e *Archaeorhizomyces* (Figura 8).



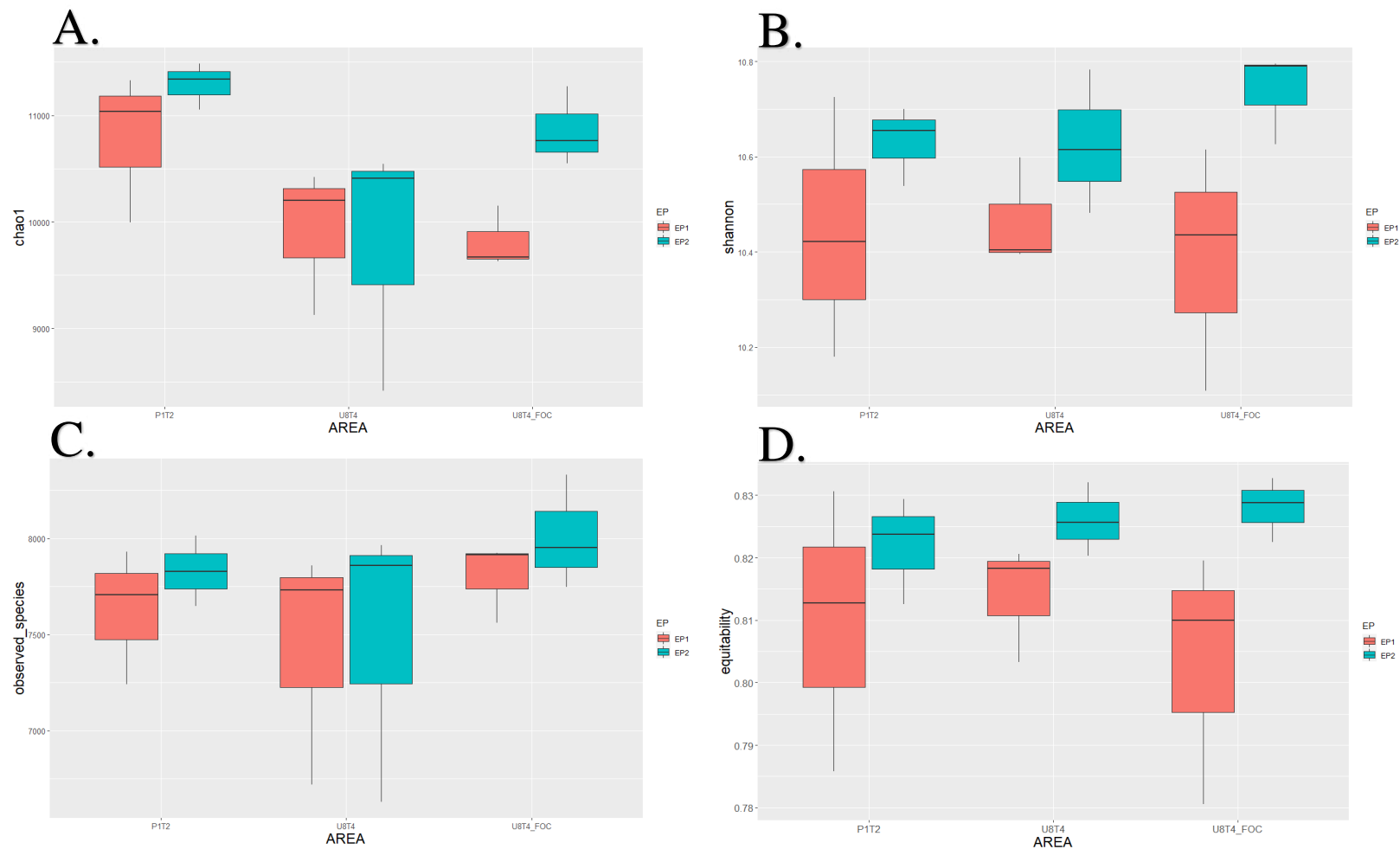
**Figura 8.** Abundância dos principais gêneros fúngicos em amostras de solos coletadas em dois períodos (chuvoso e seco) em três áreas de plantio comercial de bananeira Prata-anã, sem a

incidência de mal do Panamá (P1T2), com a presença de *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* (FOC) mas plantas assintomáticas (U8T4) e com a presença de FOC e plantas sintomáticas (U8T4\_FOC), que receberam composto orgânico por seis anos, em Missão Velha - Ceará.

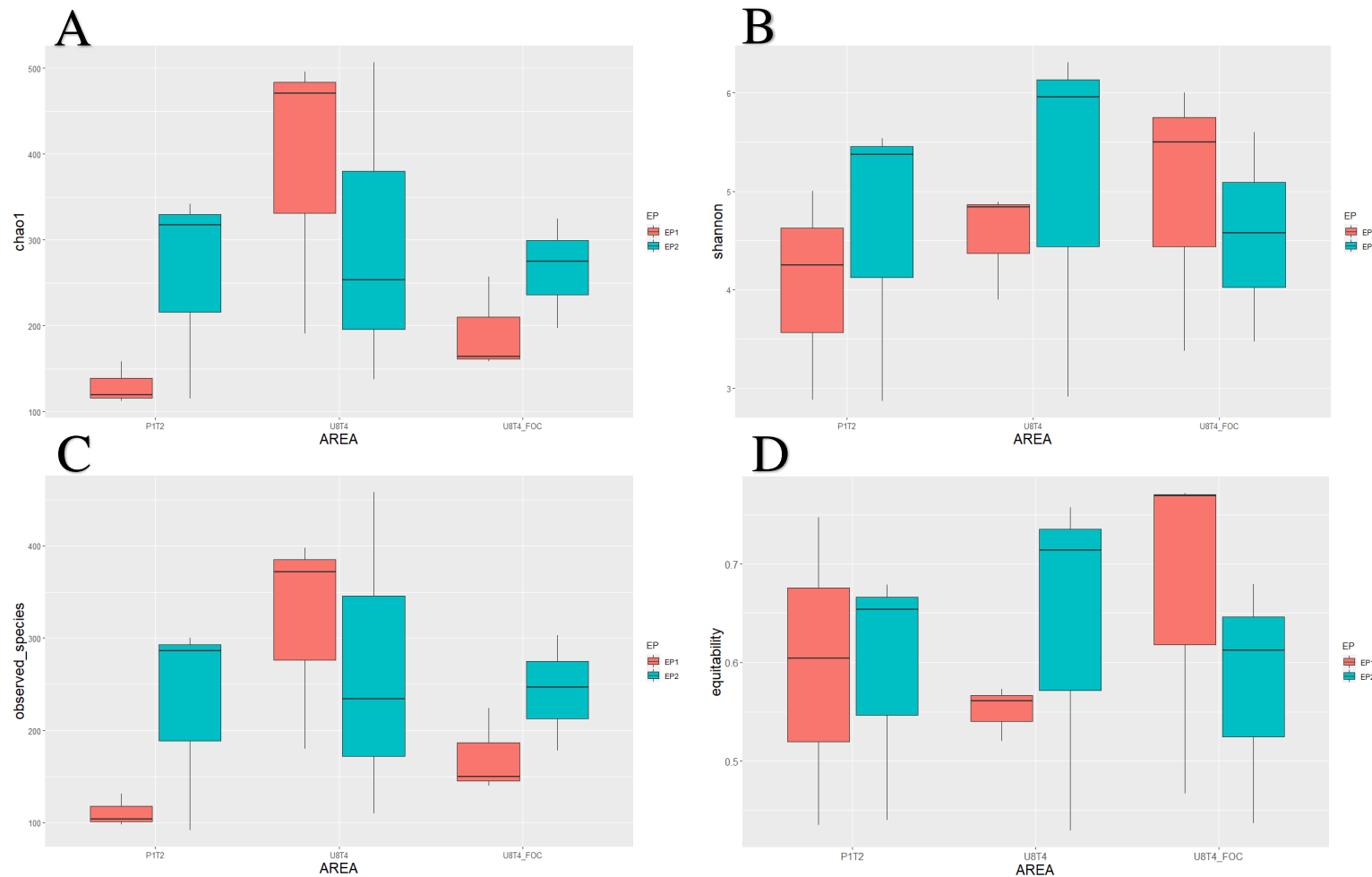
A abundância do gênero *Fusarium* nas amostras das áreas U8T4 e U8T4\_FOC indica que o inóculo necessário para a ocorrência do mal do Panamá está presente nessas áreas, em comparação a área P1T2, que apresentou baixa presença desse gênero fúngico. A ocorrência de média a alta abundância relativa do gênero *Fusarium* está correlacionada com a alta incidência da doença, bem como a menor fitomassa em bananeiras presente nessas áreas (Shen et al., 2019). Parte da estratégia de manejo consiste em redução dessa abundância relativa (Shen et al., 2015; 2019).

Os índices de riqueza de espécies bacterianas expresso pelos índices de Shannon e de diversidade, (Figura 9), apresentaram pouca variação entre as áreas, apresentando as maiores diferenças pela época amostrada, que a época chuvosa apresentou os menores valores para esses índices, com exceção do número de espécies observadas que não diferiu entre as áreas amostradas. Entretanto o índice Chao1 apresentou diferença entre as áreas amostradas, no qual a área P1T2, apresentou maiores valores desse índice, independente da época amostrada. Enquanto a área U8T4\_FOC apresentou o maior índice de Chao1 apenas na época seca.

Os índices de riqueza de espécies fúngicas, Chao1 e de diversidade, Shannon (Figura 10), apresentaram pouca variação entre as áreas amostradas. Os índices Chao1 e a Equitabilidade, foram menores para área P1T2 na época chuvosa, em comparação com a época seca, e menor em comparação com as demais áreas amostradas.



**Figura 9.** Estimadores de riqueza (Chao1) (A), estimador de diversidade (Shannon) (B), espécies observadas (C), equitabilidade das OTUs (D), dentro das amostras em nível de gênero bacteriano em amostras de solos coletadas em dois períodos (EP1: chuvoso; EP2: seco) em três áreas de plantio comercial de bananeira Prata-anã, sem a incidência de mal do Panamá (P1T2), com a presença de *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubeense* (FOC) mas plantas assintomáticas (U8T4) e com a presença de FOC e plantas sintomáticas (U8T4\_FOC), que receberam composto orgânico por seis anos, em Missão Velha - Ceará.

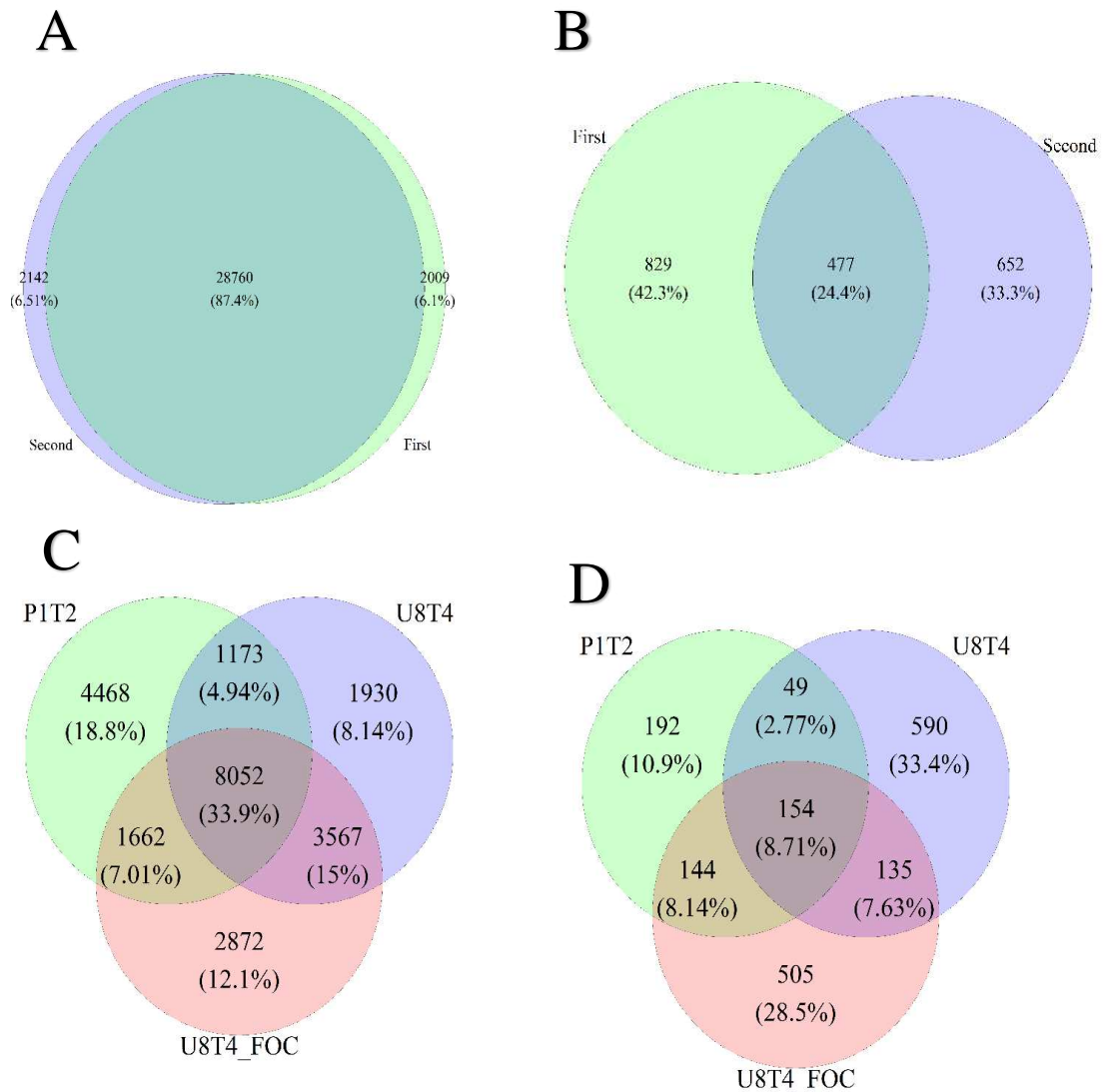


**Figura 10.** Estimadores de riqueza (Chao1) (A), estimador de diversidade (Shannon) (B), espécies observadas (C), equitabilidade das OTUs (D), dentro das amostras em nível de gênero fungico em amostras de solos coletadas em dois períodos (EP1: chuvoso; EP2: seco) em três áreas de plantio comercial de bananeira Prata-anã, sem a incidência de mal do Panamá (P1T2), com a presença de *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubeense* (FOC) mas plantas assintomáticas (U8T4) e com a presença de FOC e plantas sintomáticas (U8T4\_FOC), que receberam composto orgânico por seis anos, em Missão Velha - Ceará.

Houve pouca diferença na distribuição das OTUs bacterianas em função dos períodos de coleta, sendo a maioria compartilhadas, com apenas 6,51% das OTUs únicas na época chuvosa e 6,1% na época seca (Figura 11A). Enquanto a distribuição das OTUs fúngicas em função dos períodos de coleta, a minoria é compartilhada 24,4% (Figura 11B), enquanto a maior distribuição de OTUs, foram para época chuvosa 42,3% e 33,3% das OTUs fúngicas para época seca.

O maior número de OTUs bacterianas 33,9% foram compartilhadas entre as áreas amostradas. Com um maior número de OTUs únicas na área P1T2, com 18,8% das OTUs (Figura 11C). Quando se observa a distribuição das OTUs na mesma área, com e sem sintomas de mal do Panamá, é possível observar que, maior número de OTUs compartilhadas entre essas amostras, na ordem de 15%.

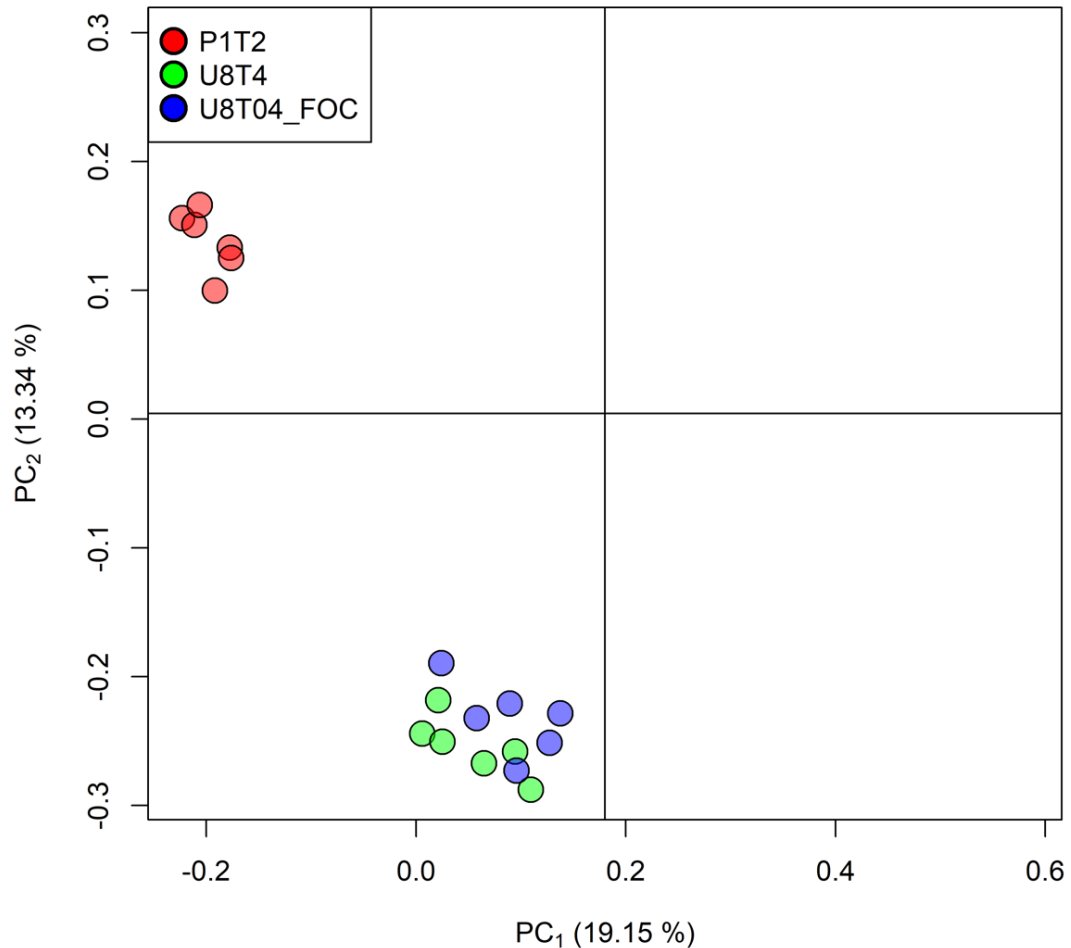
Enquanto para as OTUs fúngicas (Figura 11D), uma minoria foi compartilhada entre as áreas amostradas, 8,71%. A área P1T2, apresentou apenas 10,9% das OTUs únicas, enquanto as áreas U8T4 e U8T4\_FOC, apresentaram a maior número de OTUs únicas, na ordem de 33,4% e 28,5%, respectivamente.



**Figura 11.** Diversidade microbiana em amostras de solos coletadas em dois períodos (chuvoso e seco) em três áreas de plantio comercial de banana Prata-anã, sem a incidência de mal do Panamá (PIT2), com a presença de *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* (FOC) nas plantas assintomáticas (U8T4) e com a presença de FOC e plantas sintomáticas (U8T4\_FOC), que receberam composto orgânico por seis anos, em Missão Velha – Ceará. Diagrama de Venn mostrando as OTUs bacterianas e fúngicas únicas e compartilhadas entre os períodos de coleta, bacterianas (A) e fúngicas (B); entre dos diferentes tipos de amostras, bactérias (C) e fungos (D); com as suas respectivas porcentagens.

A área do PIT2 mostrou-se ter uma comunidade bacteriana muito distinta, enquanto as áreas U8T4 e U8T4\_FOC, foram muito semelhantes entre si, mesmo em plantas com e sem sintomas de mal do Panamá (Figura 12). Isso pode sugerir que, um dos fatores que podem estar influenciando a supressão da doença é realmente uma comunidade bacteriana mais estável e a sua composição distinta em comparação as demais áreas. Como são áreas distintas em termos biológicos, químicos e físicos além disso são áreas com idades de plantio diferentes, a área PIT2, possui idade de 22 anos de plantio, enquanto as áreas U8T4 e U8T4\_FOC, possui idade de seis anos. Além de todo

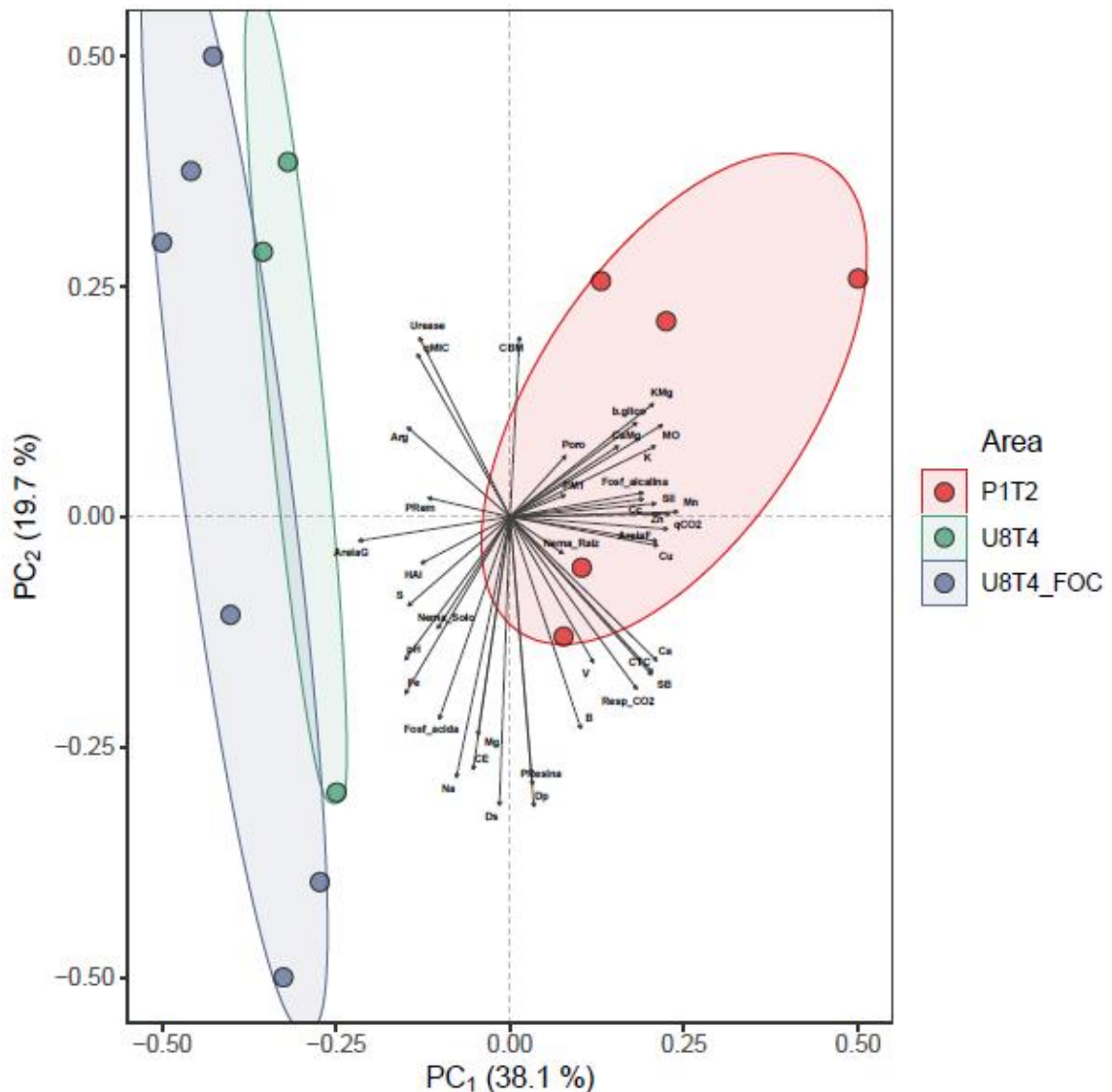
aporte de matéria orgânica ao longo dos anos, principalmente os restos culturais da bananeira depositado ao longo desse período podem ter influenciado nessa estabilidade das comunidades microbianas, levando a um aumento na supressividade da doença, a ponto de não existir nessa área.



**Figura 12.** Análise de coordenadas principais (PCoA) baseada nas matrizes de distância *UniFrac* para o agrupamento das comunidades bacterianas de acordo com a composição e abundância, em amostras de solos coletadas em dois períodos (chuvoso e seco) em três áreas de plantio comercial de bananeira Prata-anã, sem a incidência de mal do Panamá (P1T2), com a presença de *Fusarium oxysporum* f. sp. *ubense* (FOC) mas plantas assintomáticas (U8T4) e com a presença de FOC e plantas sintomáticas (U8T4\_FOC), que receberam composto orgânico por seis anos, em Missão Velha – Ceará.

A análise de componentes principais (PCA), foi realizada para analisar a influência das características biológicas, químicas e físicas das amostras de solo da área de referência e das áreas com e sem plantas com sintomas de mal do Panamá (Figuras 13 e 14). As características do solo foram responsáveis por explicar a distribuição e agrupamentos para as comunidades bacterianas em 54,4%. Desse total, 35,4% são explicados pelo eixo 1, enquanto o eixo 2 apresenta a explicação para 19,0%. Para as





**Figura 14.** Análise de componentes principais (PCA) para o agrupamento das comunidades fúngicas de acordo com a composição e abundância e características biológicas, químicas e físicas em amostras de solos coletadas em dois períodos (chuvoso e seco) em três áreas de plantio comercial de bananeira Prata-anã, sem a incidência de mal do Panamá (P1T2), com a presença de *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* (FOC) mas plantas assintomáticas (U8T4) e com a presença de FOC e plantas sintomáticas (U8T4\_FOC), que receberam composto orgânico por seis anos, em Missão Velha – Ceará.

A análise destaca o agrupamento das amostras por área amostrada, tanto para as comunidades bacterianas quanto para as fúngicas (Figura 13 e 14), com os componentes ambientais apresentando influência nesta distribuição das comunidades bacteriana e fúngica das amostras. As comunidades fúngicas e bacterianas sendo bem opostas da amostra P1T2 em comparação com as demais áreas, U8T4 e U8T4\_FOC. Características biológicas como a atividades das enzimas  $\beta$ -glicosidase, Fosfatase alcalina, qCO<sub>2</sub>, RBS e número de nematoide

nas raízes e as características químicas e físicas como matéria orgânica do solo (M.O.S), teores de K no solo, relação K/Mg, porosidade total, capacidade de campo do solo e teores de micronutrientes, com Zn, Mn, Cu e B no solo, apresentaram uma relação direta com as comunidades bacterianas e fúngicas do solo da área P1T2, sem a ocorrência de plantas afetadas por FOC, e podem estar relacionadas com o aumento da supressividade desse solo ao mal do Panamá (Teixeira et al., 2021).

As amostras da área com plantas sem sintomas de FOC (U8T4) e área com plantas sintomáticas a FOC (U8T4\_FOC), foram muito similares no que diz respeito às comunidades microbianas desses solos. Enquanto as características biológicas que mais se relacionaram, foram as atividades das enzimas Urease e Fosfatase ácida, bem como o número de nematoides nos solos e qMIC. E as características químicas e físicas foram, pH do solo, teores de H+Al, Na, condutividade elétrica (CE), densidade do solo, densidade de partícula, e os teores de areia grossa e fina, tanto para comunidades bacterianas quanto para fúngicas do solo.

A importância das características biológicas, químicas e físicas do solo para o crescimento e produtividade da bananeira é indiscutível. No entanto, como eles influenciam a intensidade e severidade da doença, especialmente para patógenos como FOC, precisa ser mais pesquisada. Encontrar características do solo associados a intensidade do FOC pode ajudar a entender e modular melhor interações hospedeiro-patógeno (Teixeira et al., 2021), podendo ser um primeiro passo para gerar estratégias no manejo das doenças baseadas no manejo da saúde do solo (Pattison et al., 2014).

No presente estudo, as áreas com sintomas de FOC apresentaram os maiores valores de pH do solo (Tabela 1), contrariando diversos trabalhos publicados anteriormente, no qual um menor valor de pH do solo, está correlacionando positivamente com a incidência e severidade da doença (Li, 2014; Deltour et al., 2017; Orr e Nelson, 2018; Shen et al., 2015, 2019; Teixeira et al., 2021). Os valores de pH do solo são médios de 10 cm de profundidade, considerando que 80% das raízes de bananeiras estão na profundidade de até 40 cm, mas podendo chegar até 1 metro de profundidade (Sant'ana et al., 2012), o que pode aumentar a quantidade de raízes que interceptam zonas do solo, chamadas microssítios, no qual podem possuir valores inferiores a esses, expressos nos resultados. Outro motivo para o aumento da doença, pode estar relacionado à menor disponibilidade de micronutrientes como Fe, Zn, Mn e Cu, ocasionado pelo aumento do pH do solo. Esses nutrientes são importantes na nutrição da bananeira, além de ajudar no aumento da resistência a patógenos (Havlin et al., 2013; Orr e Nelson, 2018).

Outras variáveis químicas como teores de Na, H+Al e CE, parecem influenciar na incidência do mal do Panamá. Essas variáveis estão relacionadas ao aumento da salinidade a ocorrência de danos no sistema radicular da bananeira, originados principalmente pela ação de sais no solo, como é o caso do aporte de fertilizantes químicos nessas áreas, principalmente de fontes que aumentam a salinidade do solo como Cloreto de Potássio e Ureia, favorecendo o aumento da incidência dessa doença (Dita et al., 2018; Orr e Nelson, 2018).

Os teores de M.O.S e a atividade da enzima  $\beta$ -glicosidase, correlacionaram positivamente com as comunidades tanto bacteriana quanto fúngica do solo da área P1T2, área de referência, corroborando assim com diversos autores que enfatizaram que para o aumento da supressividade do solo é necessário o aumento do teor de M.O.S (Cardoso et al., 2013; Dita et al., 2018; Shen et al., 2015, 2019). Entretanto, mais importante que o aumento do teor de M.O.S, é a qualidade da estrutura carbônica associado a essa M.O.S (Cardoso et al., 2013; Bonanomi, et al., 2017).

A maior atividade da enzima  $\beta$ -glicosidase na área P1T2 demonstra que mais carbono está sendo redirecionado para o sistema solo, já que essa enzima faz parte do ciclo do carbono (Cunha et al., 2012; Makoi e Ndakidemi, 2008), e que conseqüentemente serve como fonte de energia para as comunidades microbianas no solo (Turner et al., 2002), promovendo assim, uma comunidade microbiana distinta de um sistema aparentemente mais fragilizado como das áreas U8T4 e U8T4\_FOC. O que é corroborado pelo aumento da RBS, que é um indicador do aumento da atividade microbiana, podendo demonstrar que não se trata de apenas de uma comunidade microbiana diferente em termos de OTUs (Figuras 7, 8 e 11), conforme discutido anteriormente, mas com atividade maior do que das áreas afetadas pelo FOC.

A área de P1T2 apresentou maiores teores de K e P no solo, além das relações K/Mg e Ca/Mg, relações essas importante no equilíbrio nutricional de bananais. A maior disponibilidade de P no solo na área P1T2 em comparação as demais áreas, pode ser um indicador de um elemento importante no aumento da supressividade do mal do Panamá. Esses resultados estão de acordo com estudos anteriores, que associaram baixas disponibilidade de P com alta incidência de FOC (Furtado et al., 2009; Shen et al., 2015; Teixeira et al., 2021). Como o P desempenha um papel importante no desenvolvimento radicular da bananeira, garantir o P adequado ao longo dos ciclos da cultura (principalmente no plantio e na seleção do “filho”) parece essencial para um melhor manejo do FOC (Dita et al., 2018). Solos que possuem teores de Ca e Mg no solo significativamente menores em áreas de bananeira afetadas pelo mal do

Panamá quando comparadas com áreas sadias, sem relação com o pH, assim como o equilíbrio entre as relações Ca/Mg e K/Mg (Furtado et al., 2009).

A supressão de doenças transmitidas pelo solo está fortemente associada à fração biológica do solo (Shen et al., 2015; Schlatter et al., 2017). Maiores índices de riqueza e diversidade foram observados em solos supressivos, assim como alguns grupos específicos de bactérias (Shen et al., 2015; Wu et al., 2018). Ao alterar as condições abióticas do solo para favorecer organismos competitivos ou antagônicos ao FOC ou melhorar a defesa da planta hospedeira, pode aumentar a supressividade do solo ao FOC (Orr e Nelson, 2018; Dignam et al., 2019).

## 2.4 CONCLUSÕES

As características biológicas, químicas e físicas dos solos, influenciam no aumento ou na diminuição de bananeiras sintomáticas a FOC.

As alterações das características biológicas, químicas e físicas dos solos, principalmente em plantios mais velhos, modula as comunidades microbianas, aumentando a supressividade da doença.

Solos com teores de P, K, Ca, Mg, além da maior capacidade de retenção de água, são mais supressivos ao FOC.

Características que aumentam a degradação do sistema radicular da bananeira, como CE, Na, H+Al, densidade do solo e de partícula, aumentam a incidência de FOC.

## REFERÊNCIAS

Acosta-Martinez, V.; Dowd, S.; Sun, Y.; Allen, V. 2008. Tag-encoded pyrosequencing analysis of bacterial diversity in a single soil type as affected by management and land use. *Soil Biology and Biochemistry* 40, 2762–2770.

Alvarez V, V. H.; Novais, R. D.; Barros, N. D.; Cantarutti, R. B.; Lopes, A. S. 1999. Interpretação dos resultados das análises de solos. *Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais*, 5, 25-32.

Akila, R.; Rajendran, L.; Harish, S.; Saveetha, K.; Raguchander, T.; Samiyappan, R. 2011. Combined application of botanical formulations and biocontrol agents for the management of *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* (Foc) causing Fusarium wilt in banana. *Biol. Contr.* 57, 175–183.

- Almeida, N. O.; Teixeira, R. A.; Carneiro, F. A.; Oliveira, C. M.; Ribeiro, V. A.; Lobo Júnior, M. 2018. Occurrence and correlations of nematodes, *Fusarium oxysporum* and edaphic factors on banana plantations. *J. Phytopathol.* 166, 1–8.
- Anderson, T.H.; Domsch, K.H. 2010. Soil microbial biomass: the eco-physiological approach. *Soil Bio. Biochem.* 42, 2039–2043.
- Arantes, A. M.; Donato, S. L. R.; Siqueira, D. L.; Coelho, E. F. 2018. Gas exchange in ‘Pome’ banana plants grown under different irrigation systems. *Engenharia Agrícola, Jaboticabal*, 38, 197-207.
- Arantes, A. M.; Donato, S. L. R.; Siqueira, D. L.; Coelho, E. F.; Silva, T. S. 2016. Gas exchange in diferente varieties of banana prata in semi-arid environment. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 38, 1-12.
- Bellows, T. S. 1999. Controlling soil-borne plant pathogens. In: Bellows TS, Fisher TW (eds) *Handbook of biological control*. Academic Press, Riverside, pp 699–712.
- Bettiol, W.; Ghini, R. Solos supressivos. 2005. Michereff, S. J., Andrade, D. E. G. T.; Menezes, M. (Eds.). *Ecologia e manejo de patógenos radiculares em solos tropicais*. 2005. Recife, UFRPE.
- Bonanomi, G.; Gaglione, S. A.; Cesarano, G.; Sarker, T. C.; Pascale, M.; Scala, F.; Zoina, A. 2017. Frequent applications of organic matter to agricultural soil increase fungistasis. *Pedosphere*, 27(1), 86-95.
- Bubici, G.; Kaushal, M.; Prigigallo, M. I.; Gómez-Lama Cabanás, C.; Mercado-Blanco, J. 2019. Biological control agents against *Fusarium* wilt of banana. *Frontiers in microbiology*, 10, 616.
- Canfield, D. E.; Glazer, A. N.; Falkowski, P. G. 2010. The evolution and future of Earth's nitrogen cycle. *Science* 330, 192–196.
- Cardoso, E. J. B. N.; Vasconcellos, R. L. F.; Bini, D.; Miyauchi, M. Y. H.; Santos, C. A.; Alves, P. R. L.; Paula, A. M.; Nakatani, A. S.; Pereira, J. M.; Nogueira, M. A. 2013. Soil health: looking for suitable indicators. What should be considered to assess the effects of use and management on soil health? *Scientia Agricola* 70:274–289.
- Cook, R. J.; Baker, K. F. 1983. *The nature and practice of biological control of plant pathogens*. American Phytopathological Society, St. Paul.
- Cruz-Paredes, C.; Tájmel, D.; Rousk, J. 2021. Can moisture affect temperature dependences of microbial growth and respiration?. *Soil Biology and Biochemistry*, 156, 108-223.
- Cunha, E. D. Q.; Stone, L. F.; Ferreira, E. P. D. B.; Didonet, A. D.; Moreira, J. A. 2012. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo sob produção orgânica impactados por sistemas de cultivo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 16, 56-63.
- Damatto Junior, E. R.; Villas Bôas, R. L.; Leonel, S.; Fernandes, D. M. 2006. Alterações em propriedades de solo adubado com doses de composto orgânico sob cultivo de bananeira. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 28, 546-549.

- Deltour, P.; França, S. C.; Pereira, O. L.; Cardoso, I.; Neve, S.; Debode, J. 2017. Disease suppressiveness to *Fusarium* wilt of banana in an agroforestry system: influence of soil characteristics and plant community. *Agric. Ecosyst. Environ.* 239, 173–181.
- Dignam, B. E. A.; O’Callaghan, M.; Condrón, L. M.; Raaijmakers, J. M.; Kowalchuk, G. A.; Wakelin, S. A. 2019. Impacts of long-term plant residue management on soil organic matter quality, *Pseudomonas* community structure and disease suppressiveness. *Soil Biology and Biochemistry* 135:396–406.
- Dijkstra, F. A.; Augustine, D. J.; Brewer, P.; von Fischer, J. C. 2012. Nitrogen cycling and water pulses in semiarid grasslands: are microbial and plant processes temporally asynchronous?. *Oecologia*, 170, 799-808.
- Dita, M.; Barquero, M.; Heck, D.; Mizubuti, E. S.; Staver, C. P. 2018. *Fusarium* wilt of banana: current knowledge on epidemiology and research needs toward sustainable disease management. *Frontiers in plant science*, 9, 1468.
- Eivazi, F.; Tabatabai, M. A. 1977. Phosphatases in soils. *Soil biology and biochemistry*, 9, 167-172.
- Eivazi, F.; Tabatabai, M. A. 1988. Glucosidases and galactosidases in soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 20, 601-606.
- FAO. Food and Agricultural Organization. Faostat. Disponível em: <<http://www.faostat.fao.org/site/567/default.aspx>>. Acesso em: 12 maio. 2022.
- Fu, L., Penton, C. R., Ruan, Y., Shen, Z., Xue, C., and Li, R. (2017). Inducing the rhizosphere microbiome by biofertilizer application to suppress banana *Fusarium* wilt disease. *Soil Biol. Biochem.* 104, 39–48.
- Furtado, E. L.; Bueno, C. J.; Oliveira, A. L.; Otávio, J.; Menten, M.; Malavolta, E. (2009). Relações entre ocorrência do Mal-de-Panama em bananeira da cv. Nanicão e nutrientes no solo e nas folhas. *Trop. Plant Pathol.* 34, 211–215.
- Giacometti, C.; Demyan, M. S.; Cavani, L.; Marzadori, C.; Ciavatta, C.; Kandeler, E. 2013. Chemical and microbiological soil quality indicators and their potential to differentiate fertilization regimes in temperate agroecosystems. *Applied Soil Ecology*, 64, 32-48.
- Haddad, F.; Rocha, L. S.; Soares, A. C. F.; Martins, I. P. S.; Teixeira, L. A. J.; Staver, C. 2018. Management of *Fusarium* wilt of bananas in Minas Gerais, Brazil. *Acta Hort.* 1196, 137–146.
- Havlin, J. L.; Tisdale, S. L.; Nelson, W. L.; Beaton, J. D. 2013. *Soil fertility and fertilizers*, 8th edn. Pearson, Upper Saddle River. Hennessy, C.; Walduck, G.; Daly, A.; Padovan, A. 2005. Weed hosts of *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* tropical race 4 in northern Australia. *Austral. Plant Pathol.* 34, 115–117.
- Hoitink, H. A. J.; Boehm, M. J. 1999. Biocontrol within the context of soil microbial communities: a substrate-dependent phenomenon. *Annu Rev Phytopathol.* 37: 427–446.

Huang, Y. H.; Wang, R. C.; Li, C. H.; Zuo, C. W.; Wei, Y. R.; Zhang, L. 2012. Control of *Fusarium* wilt in banana with Chinese leek. *Eur. J. Plant Pathol.* 134, 87–95.

Islam, K. R.; Weil, R. R. 1998. Microwave irradiation of soil for routine measurement of microbial biomass carbon. *Biol and Fert. Soils.* 27, 408-416.

Jenkins, W. R. 1964. A rapid centrifugal-flotation technique for separating nematodes from soil. *Plant disease reporter*, 48, 669-678.

Kandeler, E.; Gerber, H. 1998. Short-term assay of soil urease activity using colorimetric determination of ammonium. *Biol. Fert. Soils*, 6, 68-72.

Kaushal, M.; Swennen, R.; Mahuku, G. 2020. Unlocking the microbiome communities of banana (*Musa* spp.) under disease stressed (*Fusarium* wilt) and non-stressed conditions. *Microorganisms*, 8(3), 443.

Lee, S. B.; Lee, C. H.; Jung, K. Y.; Do Park, K.; Lee, D.; Kim, P. J. 2009. Changes of soil organic carbon and its fractions in relation to soil physical properties in a long term fertilized paddy. *Soil and Tillage Research*, 104, 227-232.

Lee, J. 2010. Effect of application methods of organic fertilizer on growth, soil chemical properties and microbial densities in organic bulb onion production. *Scientia Horticulturae*, 124, 299-305.

Li, C.; Chen, S.; Zuo, C.; Sun, Q.; Ye, Q.; Yi, G. 2011. The use of GFP-transformed isolates to study infection of banana with *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* race 4. *Eur. J. Plant Pathol.* 131, 327–340.

Li, C.; Shao, J.; Wang, Y.; Li, W.; Guo, D.; Yan, B. 2013. Analysis of banana transcriptome and global gene expression profiles in banana roots in response to infection by race 1 and tropical race 4 of *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*. *BMC Genomics* 14:851.

Lockwood, J. L. 1977. Fungistasis in Soils. *Biol Rev.* 52: 1–43.

Makoi, J. H. J. R.; Ndakidemi, P. A.; 2008. Selected soil enzymes: examples of their potential roles in the ecosystem. *Afr. J. Biotechnol.* 3, 181–191.

Makoi, J. H. J. R.; Chimphango, S. B. M.; Dakora, F. D. 2010. Elevated levels of acid and alkaline phosphatase activity in roots and rhizosphere of cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.) genotypes grown in mixed culture and at different densities with sorghum (*Sorghum bicolor* L.). *Crop & Pasture Science* 61, 279–286.

Maseko, S. T.; Dakora, F. D. 2013. Rhizosphere acid and alkaline phosphatase activity as a marker of P nutrition in nodulated *Cyclopia* and *Aspalathus* species in the Cape fynbos of South Africa. *South African journal of botany*, 89, 289-295.

Melero, S.; Madejón, E.; Ruiz, J. C.; Herencia, J. F. 2007. Chemical and biochemical properties of a clay soil under dryland agriculture system as affected by organic fertilization. *European Journal of Agronomy*, 26, 327-334.

- Mendes, R.; Kruijt, M.; Bruijn, I.; Dekkers, E.; van der Voort, M.; Schneider, J. H.; Piceno, Y. M.; DeSantis, T. Z.; Andersen, G. L.; Bakker, P. A. 2011. Deciphering the rhizosphere microbiome for disease-suppressive bacteria. *Science* 332, 1097–1100.
- Moeskops, B.; Buchan, D.; Sleutel, S.; Herawaty, L.; Husen, E.; Saraswati, R.; Neve, S. 2010. Soil microbial communities and activities under intensive organic and conventional vegetable farming in West Java, Indonesia. *Applied Soil Ecology*, 45, 112-120.
- Mohan, S.; Kiran Kumar, K.; Sutar, V.; Saha, S.; Rowe, J.; Davies, K. G. 2020. Plant root-exudates recruit hyperparasitic bacteria of phytonematodes by altered cuticle aging: Implications for biological control strategies. *Frontiers in plant science*, 11, 763.
- Morales, D.; Vargas, M. M.; Oliveira, M. P. D.; Taffe, B. L.; Comin, J.; Soares, C. R.; Lovato, P. 2015. Response of soil microbiota to nine-year application of swine manure and urea. *Ciência Rural*, 46, 260-266.
- Orr, R.; Nelson, P. N. 2018. Impacts of soil abiotic attributes on Fusarium wilt, focusing on bananas. *Applied Soil Ecology* 132:20–33.
- Panth, M.; Hassler, S. C.; Baysal-Gurel, F. 2020 Methods for management of soilborne diseases in crop production. *Agriculture* 10:1–23.
- Pattison, A. B.; Moody, P. W.; Badcock, K. A.; Smith, L. J.; Armour, J. A.; Rasiyah, V.; ... Mayer, R. 2008. Development of key soil health indicators for the Australian banana industry. *applied soil ecology*, 40, 155-164.
- Pattison, A. B.; Wright, C. L.; Kukulies, T. L.; Molina, A. B. 2014. Ground cover management alters development of Fusarium wilt symptoms in Ducasse bananas. *Australas. Plant Pathol.* 43, 465–476.
- Sampaio, D. B.; Mendes Filho, P. F.; Mascena, A. M.; Gomes, V. F. F.; Guimarães, F. V. A. 2012. Colonização micorrízica arbuscular e tolerância ao mal-do-Panamá em mudas de banana-maçã. *Revista Ciência Agronômica*, 43, 453-469.
- Sant'Ana, J. A. D. V.; Coelho, E. F.; Faria, M. A. D.; Silva, E. L. D.; Donato, S. L. R. 2012. Distribuição de raízes de bananeira'Prata-Anã' no segundo ciclo de produção sob três sistemas de irrigação. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 34, 124-133.
- Santana-Gomes, S. D. M.; Dias-Arieira, C. R. D. A.; Roldi, M.; Dadazio, T. S.; Marini, P. M.; Barizao, D. A. O. 2013. Mineral nutrition in the control of nematodes. *African Journal of Agricultural Research*, 8(21), 2413-2420.
- Schlatter, D.; Kinkel, L.; Thomashow, L.; Weller, D.; Paulitz, T. 2017. Disease suppressive soils: new insights from the soil microbiome. *Phytopathology* 107:1284–1297.
- Shen, Z.; Zhong, S.; Wang, Y.; Wang, B.; Mei, X.; Li, R.; Ruan, Y.; Shen, Q. 2013. Induced soil microbial suppression of banana fusarium wilt disease using compost and biofertilizers to improve yield and quality. *European Journal of Soil Biology* 57, 1–8.

- Shen, Z.; Ruan, Y.; Chao, X.; Zhang, J.; Li, R.; Shen, Q. 2015. Rhizosphere microbial community manipulated by 2 years of consecutive biofertilizer application associated with banana Fusarium wilt disease suppression. *Biology and Fertility of Soils* 51, 553–562.
- Shen, Z.; Xue, C.; Penton, C. R.; Thomashow, L. S.; Zhang, N.; Wang, B.; ... Shen, Q. 2019. Suppression of banana Panama disease induced by soil microbiome reconstruction through an integrated agricultural strategy. *Soil Biology and Biochemistry*, 128, 164-174.
- Silva, 2021. [https://www.arb-silva.de/no\\_cache/download/archive/qiime/](https://www.arb-silva.de/no_cache/download/archive/qiime/) (accessed jun 2021).
- Silva, A. R. 2016. Métodos de Análise Multivariada em R. 1ª Ed. Piracicaba: FEALQ. 167p.
- Sparling, G. P.; West, A. W. 1988. A direct extraction method to estimate soil microbial C: calibration in situ using microbial respiration and <sup>14</sup>C labelled cells. *Soil Biol Biochem.* 20, 337-343.
- Stover, R. H. 1962. Studies on Fusarium wilt of bananas: VIII. Differentiation of clones by cultural interaction and volatile substances. *Can. J. Bot.* 40, 1467–1471.
- Stover, R. H.; Simmonds, N. W. 1987. Bananas. 3rd Edn. London: Longmans
- Watson, A. G.; Ford, E. J. 1972. Soil fungistasis: a reappraisal. *Annu Rev Phytopathol.* 10: 327–346.
- Tedesco, M. J.; Gianello, C.; Bissani, C. A. 1995. Análises de solos, plantas e outros materiais, UFRGS, Porto Alegre, 176p.
- Teixeira, L.; Heck, D.; Nomura, E.; Vieira, H.; Dita, M. 2021. Soil attributes, plant nutrition, and Fusarium wilt of banana in São Paulo, Brazil. *Tropical Plant Pathology*, 46(4), 443-454.
- Teixeira, P. C.; Donagemma, G. K.; Fontana, A.; Teixeira, W. G. 2017. Manual de métodos de análise de solo. Brasília: Embrapa Solos, 3 ed, 573p.
- Tejada, M.; Gonzalez, J. L. 2008. Influence of two organic amendments on the soil physical properties, soil losses, sediments and runoff water quality. *Geoderma*, 145, 325-334.
- Tenuta, M.; Lazarovits, G. 2004. Soil properties associated with the variable effectiveness of meat and bone meal to kill microsporidia of *Verticillium dahliae*. *Appl Soil Ecol.* 25: 219–236.
- Topalović, O.; Vestergård, M. 2021. Can microorganisms assist the survival and parasitism of plant-parasitic nematodes?. *Trends in Parasitology*, 37, 947-958.
- Trivedi, P.; Leach, J.E.; Tringe, S.G.; Sa, T.; Singh, B. K. 2020. Plant–microbiome interactions: from community assembly to plant health. *Nature reviews microbiology* , 18, 607-621.
- Trivedi, P.; Delgado-Baquerizo, M.; Trivedi, C.; Hamonts, K.; Anderson, I. C.; Singh, B. K. 2017. Keystone microbial taxa regulate the invasion of a fungal pathogen in agro- ecosystems. *Soil Biology and Biochemistry* 111, 10–14.

Tótola, M. R.; Chaer, G. M. 2002. Microorganismos e processos microbiológicos como indicadores de qualidade dos solos. In: Alvares, V. H.; Schaefer, C. E. G. R.; Barros, N. F.; Mello, J. W. V.; Costa, L. M. (ed.). Tópicos em ciência do solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2, 195-276.

Turner, B. L.; Hopkins, D. W.; Haygarth, P. M.; Ostle, N. 2002.  $\beta$ -Glucosidase activity in pasture soils. *Applied Soil Ecology* 20, 157-162.

Wang, B.; Yuan, J.; Zhang, J.; Shen, Z.; Zhang, M.; Li, R.; Ruan, Y.; Shen, Q. 2013. Effects of novel bioorganic fertilizer produced by *Bacillus amyloliquefaciens* W19 on antagonism of *Fusarium* wilt of banana. *Biol Fert Soils* 49, 435–446.

Wang, H.; Guo, C. L.; Yang, C. F.; Lu, G. N.; Chen, M. Q.; Dang, Z. 2016. Distribution and diversity of bacterial communities and sulphate-reducing bacteria in a paddy soil irrigated with acid mine drainage. *J Appl Microbiol* 121, 196–206.

Wu, L.; Chen, J.; Xiao, Z.; Zhu, X.; Wang, J.; Wu, H.; Wu, Y.; Zhang, Z.; Lin, W. 2018. Barcoded pyrosequencing reveals a shift in the bacterial community in the rhizosphere and rhizoplane of *Rehmannia glutinosa* under consecutive monoculture. *International Journal of Molecular Sciences* 19:1–17.

Xiong, W.; Li, R.; Ren, Y.; Liu, C.; Zhao, Q.; Wu, H.; Jousset, A.; Shen, Q. 2017. Distinct roles for soil fungal and bacterial communities associated with the suppression of vanilla *Fusarium* wilt disease. *Soil Biology and Biochemistry* 107, 198–207.

Xiong, W.; Zhao, Q.; Zhao, J.; Xun, W.; Li, R.; Zhang, R.; Wu, H.; Shen, Q. 2015. Different continuous cropping spans significantly affect microbial community membership and structure in a vanilla-grown soil as revealed by deep pyrosequencing. *Microbial Ecology* 70, 209–218.

Zhang, W.; Han, D. Y.; Dick, W. A.; Davis, K. R.; Hoitink, H. A. 1998. Compost and compost water extract-induced systemic acquired resistance in cucumber and *Arabidopsis*. *Phytopathology*. 88: 450–455.

Zhou, Y.; Selvam, A.; Wong, J. 2016. Effect of Chinese medicinal herbal residues on microbial community succession and anti-pathogenic properties during co-composting with food waste. *Bioresource Technol* 217, 190–199.

Zoppas, F. M.; Bernardes, A. M.; Meneguzzi, Á. 2016. Parâmetros operacionais na remoção biológica de nitrogênio de águas por nitrificação e desnitrificação simultânea. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, 21, 29-42.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A influência maior nas alterações das características microbianas do solo, se dá principalmente com o aumento da idade de plantio, do que pela aplicação do composto orgânico líquido, porém quando há aplicação do composto orgânico sólido, pode haver um aumento da estabilidade microbiana, mesmo em plantio mais jovens.

O maior equilíbrio principalmente entre as características biológicas, químicas e físicas do solo, são mais determinantes na supressão de FOC, do que apenas algumas variáveis isoladas. E esse equilíbrio ocorre principalmente à medida que a idade do bananal avança.

É necessário a realização de estudos futuros, avaliando o efeito da aplicação do composto sólido, nas alterações das características biológicas, químicas e físicas do solo e na estabilização das comunidades microbianas do solo, assim como seu efeito supressivo contra o FOC.

