

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS E BIOLÓGICAS**  
**DEPARTAMENTO DE BIOLOGIA**  
**CURSO DE BACHARELADO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS**

**RAISSA RAZERA**

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO SOLO EM MANEJO**  
**AGROFLORESTAL UTILIZANDO A CROMATOGRAFIA CIRCULAR**  
**DE PFEIFFER E INDICADORES MICROBIOLÓGICOS**

**SOROCABA**

**2021**

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS  
CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS E BIOLÓGICAS  
DEPARTAMENTO DE BIOLOGIA  
CURSO DE BACHARELADO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

RAISSA RAZERA

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO SOLO EM MANEJO  
AGROFLORESTAL UTILIZANDO A CROMATOGRAFIA CIRCULAR  
DE PFEIFFER E INDICADORES MICROBIOLÓGICOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Bacharelado em Ciências Biológicas, da Universidade Federal de São Carlos, *campus* Sorocaba, para obtenção do título de Bacharel em Ciências Biológicas.

Orientação: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Iolanda Cristina Silveira Duarte

Co-orientação: Prof. Dr. Fernando Silveira Franco

SOROCABA

2021

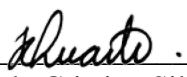
## FOLHA DE APROVAÇÃO

**Raissa Razera**

### AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO SOLO EM MANEJO AGROFLORESTAL UTILIZANDO A CROMATOGRAFIA CIRCULAR DE PFEIFFER E INDICADORES MICROBIOLÓGICOS

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao Centro de Ciências  
Humanas e Biológicas da Universidade  
Federal de São Carlos – *campus* Sorocaba  
para obtenção do título de Bacharel em  
Ciências Biológicas.

Sorocaba, 05 de abril de 2021.

Orientadora  \_\_\_\_\_  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Iolanda Cristina Silveira Duarte

Coorientador  \_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Fernando Silveira Franco

Membro 1  \_\_\_\_\_  
Msc. Igor Graciano

Membro 2  \_\_\_\_\_  
Msc. Leila Pires Bezerra

## **DEDICATÓRIA**

Aos meus progenitores, eternos  
agricultores, educadores e meus  
inspiradores.

A todos os agricultores.

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço ao Vácuo Quântico por toda intuição e força para concluir essa pesquisa. Agradeço à minha família por todo apoio emocional e financeiro. Em especial, agradeço ao meu pai, Anderson Roberto Razera, por ter contribuído no manejo do SAF e a minha irmã, Ingrid Razera, por ter ajudado na construção de um croqui da área de estudo.

Ao PET Conexões e Saberes – Agroecologia pela bolsa concedida durante todo o desenvolvimento desta pesquisa. Ao Programa de Iniciação Científica e Tecnológica sem remuneração (ICT-SR) da UFSCar ao qual o projeto é vinculado.

À professora Iolanda Cristina Silveira Duarte e ao professor Fernando Silveira Franco pela orientação acadêmica e científica e pela ótima parceria.

Ao Adriel Rodrigues Vaz e Aline Cipriano Valentim Bastos, que muito mais que amigos e ajudantes de campo e laboratório, são os coautores deste artigo, sem vocês jamais teria conseguido! Aos meus ajudantes de campo e laboratório: Gabriel Perussi e Bruna Santos Teração, a ajuda bem como incentivo foram fundamentais para estruturar esta pesquisa.

À Gabriela Fiori da Silva, por me ensinar tudo sobre as análises laboratoriais e cuidados no laboratório, seus ensinamentos foram meu norte e minha primeira vivência em laboratório de pesquisa. Ao Tiago Palladino Delforno pela ajuda e direcionamentos com as análises estatísticas. Ao professor Rogério Hartung Toppa pela ajuda e orientação na elaboração do mapeamento da área de estudo.

À UFSCar Sorocaba pelo espaço físico cedido para realização da pesquisa, principalmente ao Laboratório de Microbiologia Aplicada (LMA) e Laboratório de Indicadores de Sustentabilidade Agroflorestal (LaISA).

Ao Núcleo de Agroecologia Apetê Caapuã, que despertou dentro de mim a paixão que já existia mas só não sabia o nome, essa paixão, que na verdade é amor se chama: Agroecologia. Agradeço à todas as pessoas que compõe o Núcleo que de uma forma ou de outra me inspiraram e incentivaram para realizar essa pesquisa.

À minha turma de graduação, Bio Bach 017, por todo apoio, debate e momentos incríveis como a viagem de campo à Ilha do Cardoso que mudou o curso da minha vida. Em especial, agradeço aos meus friends, Isis Minhós Yano, João Victor Cassiel Ferraz, Isabelle Christine Corrêa de Araújo, João Victor Mendonça de Oliveira, João Victor de Oliveira Sousa, Fernanda Campos dos Santos e Barbara Silva Barbosa, por todos os conselhos, motivações e momentos inesquecíveis, que me fizeram suportar ter saído de casa com 18 aninhos, vocês foram e são minha segunda família que a UFSCar uniu.

**“Sem a natureza não existimos mais, ela  
é a base da nossa vida”**

**- Ana Maria Primavesi**

## RESUMO

A Cromatografia Circular de Pfeiffer (CCP) é um indicador qualitativo do solo, de baixo custo, acessível e tem mostrado grande potencial nos estudos em Agroecologia. Dentre os diversos tipos de manejos agroecológicos existem os Sistemas Agroflorestais (SAF), que são um conjunto de práticas agrícolas que reproduz os processos ecológicos da floresta unindo a produção de alimentos ao mesmo tempo que restaura a qualidade do solo e serviços ecossistêmicos. Para monitorar as mudanças advindas pelo manejo agroflorestal no solo podem ser utilizados indicadores da qualidade do solo, com destaque para os bioindicadores, principalmente os microrganismos, que respondem rapidamente às mudanças ambientais. À vista disto, o objetivo deste trabalho foi analisar a qualidade do solo de um Sistema Agroflorestal com dois sistemas de manejo (Controle e Manejado), durante o período de 12 meses utilizando indicadores microbiológicos e atributos químicos do solo, correlacionados com a CCP. A área de estudo localiza-se no *campus* da UFSCar Sorocaba-SP e foi dividida nas seguintes parcelas: SAF controle, SAF manejado, Área de Pousio e Fragmento de Mata Atlântica. As amostras de solo foram coletadas nas profundidades de 0-10 cm e 10-20 cm, nas estações seca e chuvosa. Analisou-se as amostras de solo utilizando a CCP e os seguintes indicadores: bactérias heterotróficas mesófilas totais, fungos totais, pH, umidade e matéria orgânica. Não foram encontradas diferenças significativas entre as profundidades de amostragem 0-10 cm e 10-20 cm para todos os indicadores em todas as parcelas amostradas. Constatou-se que não houve diferença significativa entre o SAF controle e o SAF manejado, no período estudado, para todos os indicadores analisados. A CCP, as bactérias heterotróficas mesófilas totais e os fungos totais mostraram-se sensíveis a sazonalidades entre as estações seca e chuvosa. Houve correlação positiva demonstrado pela zona central (zona de aeração) da CCP, com matéria orgânica e umidade do solo. Dessa forma, a intensidade do manejo aplicado no SAF Experimental não foi suficiente para causar mudanças significativas na qualidade do solo, durante o período avaliado.

**Palavras-Chave:** Microbiologia de solos. Sistema Agroflorestal. Qualidade do Solo.

## ABSTRACT

Pfeiffer's Circular Chromatography (PCC) is a qualitative indicator of soil, of low cost, accessible and has shown great potential in studies in Agroecology. Among the various types of agroecological management there are the Agroforestry Systems (SAF), which are a set of agricultural practices that reproduce the ecological processes of the forest together with food production while restoring soil quality and ecosystem services. To monitor the changes caused by agroforestry management in the soil, are used indicators of soil quality, with emphasis on bioindicators, mainly microorganisms, which respond quickly to environmental changes. Therefore, the objective of this work was to analyze the soil quality of an Agroforestry System with different forms of management, during the period of 12 months using microbiological indicators and chemical parameters of the soil, correlated with the PCC. The study area is located on the UFSCar Sorocaba-SP *campus* divided into the plots: SAF control, managed SAF, pasture and Atlantic Forest Fragment. Soil samples were collected at depths of 0-10 cm and 10-20 cm, in the dry and rainy seasons. Soil samples were analyzed using PCC and the indicators: total mesophilic heterotrophic bacteria, total fungi, pH, moisture and organic matter. No significant differences were found between the sampling depths 0-10 cm and 10-20 cm for all indicators in all sampled plots. It was found that there was no significant difference between the control SAF and the managed SAF, in the studied period, for all the analyzed indicators. PCC, total mesophilic heterotrophic bacteria and total fungi were sensitive to seasonality between the dry and rainy seasons. There was a positive correlation demonstrated by the central zone (aeration zone) of the PCC, with organic matter and soil moisture. Thus, the intensity of the management applied in the Experimental SAF was not sufficient to cause significant changes in the quality of the soil, during the evaluated period.

**Keywords:** Microbiology of soils. Agroforestry System. Soil Quality.



## LISTA DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| Figura 1 – Localização das parcelas na área de estudo.....                     | 19 |
| Figura 2 – Zonas interpretativas da Cromatografia de Pfeiffer.....             | 23 |
| Figura 3 – Condições climáticas da região de Sorocaba.....                     | 25 |
| Figura 4 – Boxplot: Notas dos Cromatogramas e indicadores microbiológicos..... | 27 |
| Figura 5 – Correlação de Pearson e imagens das zonas.....                      | 30 |
| Figura 6 - Análise de componentes principais (PCA).....                        | 32 |

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

CCP – Cromatografia Circular de Pfeiffer

LaISA – Laboratório de Indicadores Sustentáveis Agroflorestal

LMA – Laboratório de Microbiologia Aplicada

NZc – Nota zona central

NZe – Nota zona externa

NZi – Nota zona interna

NZinter – Nota zona intermediária

PCA – Principal Component Analysis (Análise de Componentes Principais)

SAF – Sistema Agroflorestal

TZc – Tamanho zona central

TZe – Tamanho zona externa

TZi – Tamanho zona interna

TZinter – Tamanho zona intermediária

Zc – Zona central

Ze – Zona externa

Zi – Zona interna

Zinter – Zona intermediária

## SUMÁRIO

|   |    |
|---|----|
| <b>1 INTRODUÇÃO</b> .....   | 11 |
| <b>2 OBJETIVOS</b> .....  | 15 |
| 2.1 Objetivo geral .....  | 15 |
| 2.2 Objetivos específicos .....   | 15 |
| <b>3 ARTIGO</b> .....   | 16 |
| 3.1 INTRODUÇÃO .....  | 17 |
| 3.2 METODOLOGIA .....   | 18 |
| 3.2.1 Localização e caracterização do meio físico da área de estudo .....               | 18 |
| 3.2.2 Breve histórico do SAF Primavesi .....  | 20 |
| 3.2.3 Manejos aplicados na Parcela 2 do SAF Primavesi (SAF manejado) .....              | 20 |
| 3.2.4 Coleta das amostras .....   | 20 |
| 3.2.5 Análises laboratoriais .....  | 21 |
| 3.2.6 Bactérias heterotróficas mesófilas totais e fungos totais .....                   | 21 |
| 3.2.7 Umidade, pH e Matéria Orgânica .....  | 21 |
| 3.2.8 Cromatografia Circular de Pfeiffer (CCP) .....                                    | 22 |
| 3.2.9 Interpretação dos Cromatogramas de Pfeiffer .....                                 | 22 |
| 3.2.10 Análises Estatísticas .....  | 24 |
| 3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....  | 24 |
| 3.3.1 Profundidade de coleta .....  | 24 |
| 3.3.2 Manejos agroflorestais e variação climática .....                                 | 24 |
| 3.3.3 Matéria orgânica, umidade e pH (material suplementar 1) .....                     | 25 |
| 3.3.4 Comparação dos solos sob manejos agroflorestais com as Áreas de Referência .....  | 26 |
| 3.3.5 Comparação entre o SAF controle e manejado entre as estações seca e chuvosa ..... | 28 |
| 3.3.6 Análise das zonas dos cromatogramas de Pfeiffer .....                             | 29 |
| 3.3.7 Comparação SAF controle e manejado após 12 meses .....                            | 29 |
| 3.4 CONCLUSÕES .....  | 33 |
| 3.5 AGRADECIMENTOS .....  | 33 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....  | 33 |
| <b>4 CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....   | 36 |
| <b>REFERÊNCIAS</b> .....  | 37 |
| <b>MATERIAL SUPLEMENTAR 1</b> .....   | 39 |
| <b>MATERIAL SUPLEMENTAR 2</b> .....   | 40 |
| <b>MATERIAL SUPLEMENTAR 3</b> .....   | 41 |

## 1 INTRODUÇÃO

Um Sistema Agroflorestal (SAF) pode ser definido como uma prática agrícola que imita os processos da floresta, contendo árvores em diferentes estágios sucessionais em conjunto com plantas herbáceas (BRASIL, 2009), visando a cooperação das espécies para aumentar a biodiversidade, conservar espécies nativas e produzir alimentos ao mesmo tempo que melhora a qualidade do solo (MOLINA & GUSMÁN CASADO, 2017). Para manejar um SAF é preciso compreender os processos vitais, ciclos biogeoquímicos e as relações ecológicas, identificando como potencializá-los para aumentar a fertilidade, produtividade e biodiversidade em um determinado espaço (STEENBOCK; VEZZANI, 2013).

Agroflorestas e ecossistemas florestais tem registrado maiores densidades de microrganismos e biomassa microbiana do que monoculturas e pastagens (SINGH et al., 2018; BUENO et al., 2018; MAINI; SHARMA & SHARMA, 2020). Os resultados obtidos por Bueno et al. (2018) sugerem que os microrganismos podem indicar o estágio de recuperação em áreas degradadas e servem de parâmetro para manejo do solo, evidenciando direta correlação da qualidade do solo com o tempo de implantação de sistemas agroflorestais. Resultado esse que corrobora com os de Maini, Sharma & Sharma (2020) que ressaltaram que a deposição contínua de matéria orgânica através da serapilheira no sistema agrícola, atua como fonte de energia para os microrganismos do solo, estimulando o crescimento de populações microbianas.

Para compreender as mudanças ocorridas no solo devido ao manejo agroflorestal são utilizados indicadores da qualidade do solo, que são propriedades ou processos físicos, químicos e biológicos que podem ser medidos e interpretados para monitorar as alterações no solo (HEGER; IMFELD; MITCHELL, 2012). Dentre os diversos indicadores, destaca-se os bioindicadores, principalmente os microrganismos por apresentar uma resposta rápida frente as circunstâncias ambientais (DA SILVA GOMES et al., 2015). Além disso, os indicadores microbiológicos da qualidade do solo podem demonstrar direta correlação com o tempo de implantação de Sistemas Agroflorestais (BUENO et al., 2018).

Outro indicador que expressa também, mas não só, as características biológicas do solo é a Cromatografia Circular de Pfeiffer (CCP). No cromatograma em cada zona e transição entre zonas é possível explicar com detalhes, através de reações biológicas, químicas e físicas, como está a qualidade do solo naquele momento (PFEIFFER, 1984). Cromatografia de solo de boa qualidade gera uma imagem harmônica, com todas as zonas interligadas e com colorações

específicas. A harmonia de um cromatograma pode ser alterada pela ação de pequenas quantidades de resíduos de xenobióticos e desequilíbrios minerais (PINHEIRO, 2011).

O conceito de saúde do solo parte do princípio de estudar o solo como um organismo vivo. Pfeiffer (1984) define saúde do solo como uma mistura de fertilidade e vitalidade, sendo que a fertilidade do solo é proporcional à densidade populacional e biodiversidade dos microrganismos, ou seja, sem microrganismos não há qualidade ou saúde do solo. Pfeiffer é o criador da Cromatografia Circular de Pfeiffer (CCP), uma metodologia qualitativa para análise do solo, criada para detectar aspectos relacionados ao corpo vital do solo e seus processos de vida, que as análises químicas quantitativas não são capazes.

A CCP é um método de baixo custo e de rápida execução e consiste em duas fases: a fase estacionária, formada por papel filtro circular impregnado com uma solução de nitrato de prata, e a fase móvel é constituída por uma mistura de hidróxido de sódio mais o material a ser analisado (RESTREPO & PINHEIRO, 2011). Os componentes do solo atravessam a fase estacionária por capilaridade em diferentes velocidades e se separam. Devido às características físicas e químicas, as substâncias presentes no solo distribuem-se no cromatograma sempre no mesmo lugar, sendo assim o cromatograma gera “zonas” de determinadas substâncias, através da revelação das cores visíveis resultantes da ação fotorreativa do nitrato de prata com a luz solar indireta, e é possível interpretá-las de acordo com a comparação das cores, formatos e larguras (RESTREPO & PINHEIRO, 2011; PILON; CARDOSO; MEDEIROS, 2018).

Das quatro zonas interpretáveis da CCP ressalta-se a zona central pela sua direta relação com os microrganismos do solo. A zona central é chamada de zona de oxigenação (ou zona de aeração), é indicadora de desenvolvimento das atividades fermentativas microbiológicas. Esta zona varia da coloração preta (mínimo metabolismo microbiano aeróbio e máxima fermentação anaeróbia) variando pelo branco (altas concentrações de nitrogênio), cor creme ou marrom clara (atividades microbiológicas e enzimáticas ativas), até o prata (maior plenitude no metabolismo microbiano aeróbio), entre a coloração preta e prata existe uma escala que permite tonalidades de uma centena de cores (RESTREPO, PINHEIRO, 2011; PILON, 2018). Apesar dessa direta relação dos microrganismos com a zona central, no trabalho de Burle & Figueiredo (2019) foi constatado que a formação da zona intermediária (zona da matéria orgânica) e zona externa (zona enzimática) estão relacionadas com a formação da zona central e com a atividade microbiológica do solo.

A comprovação científica bem como a correlação dos indicadores da qualidade do solo convencionais com a CCP vem sendo tema crescente de pesquisas na literatura (AGUIRRE; PIRANEQUE; DÍAZ, 2019; KOKORNACZYK et al., 2016; GRACIANO et al., 2020; MELO et al., 2019; PERUMAL, ANANTHI, ARUNUKUMAR, 2016). Na pesquisa de Kokornaczyk et al. (2016) foi constatado que as características radiais dos cromatogramas estavam relacionadas às características positivas do solo (alto teor de matéria orgânica, nitrogênio total, fósforo, bromo, areia e baixa compactação do solo), enquanto o padrão concêntrico estavam relacionados com aqueles que indicam baixa qualidade do solo (alto teor de argila, lodo, alta compactação do solo, baixo teor de matéria orgânica, nitrogênio total, fósforo e bromo).

No estudo de Graciano et al. (2020) foi encontrado correlações entre as zonas do cromatograma e análises convencionais do solo. A zona central apresentou correlação negativa com a resistência à penetração do solo abaixo de 20 e 40 cm de profundidade, ou seja, é positiva com a aeração e porosidade do solo. A zona interna apresentou correlação positiva com o conteúdo orgânico total e sensibilidade para indicar problemas estruturais relacionados à intensidade de movimentação do solo. A zona intermediária mostrou forte correlação positiva com o carbono da biomassa microbiana do solo. E a zona externa apresentou correlação positiva com as enzimas fosfatase ácida e arilsulfatase.

A partir do fato de que cromatogramas semelhantes apresentam qualidades do solo semelhantes e com o objetivo de padronizar e facilitar a interpretação, estudos vem sendo realizados para criar aplicativos e softwares que façam a análise da CCP (KHEMANI; JOSEPH; VARIGANTI, 2008; PERUMAL, ANANTHI, ARUNUKUMAR, 2016; SARITHA et al., 2007), sendo a análise computadorizada uma forma mais confiável, porém, não a única forma de se interpretar a CCP.

O presente trabalho se justifica pela necessidade de mais pesquisas científicas para validar a Cromatografia Circular de Pfeiffer como um indicador qualitativo do solo condizente com as análises e indicadores da qualidade do solo convencionais. Principalmente pelo fato da CCP ser de baixo custo, de simples execução e entregar resultados rápidos, ferramenta essa que pode vir a auxiliar agricultores em transição agroecológica (KOKORNACZYK et al., 2016; GRACIANO et al., 2020; MELO et al., 2019; PERUMAL, ANANTHI, ARUNUKUMAR, 2016).

Dessa forma, a presente pesquisa buscou analisar a qualidade do solo de um SAF experimental com dois sistemas de manejo (Controle e Manejado) por um período de 12 meses.

Os indicadores do solo como: bactérias heterotróficas mesófilas totais, fungos totais, umidade, matéria orgânica e pH foram utilizados como parâmetros convencionais. Além disso, buscou-se relacionar esses indicadores com dois métodos interpretativos da CCP (RESTREPO & PINHEIRO, 2011; SOILTECH SOLUTIONS, 2020). Sendo o SAF experimental um exemplo de transição agroecológica, espera-se contribuir estabelecendo bases para estudos futuros. Assim aumentando a veracidade e a visibilidade da CCP no meio científico.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo geral**

- Analisar a qualidade do solo de um Sistema Agroflorestral com dois sistemas de manejo (Controle e Manejado), durante o período de 12 meses utilizando indicadores microbiológicos e atributos químicos e qualitativo do solo.

### **2.2 Objetivos específicos**

- Relacionar as análises químicas, físicas e microbiológicas (pH, umidade, matéria orgânica, bactérias heterotróficas mesófilas totais e fungos totais) e cromatográficas do solo de Sistema Agroflorestral Manejado e Controle comparados com fragmento de mata Atlântica e área em pousio.
- Correlacionar os indicadores microbiológicos e atributos químicos e quantitativos do solo com dois métodos interpretativos da Cromatografia Circular de Pfeiffer, sendo um numérico e outro não numérico.



### 3 ARTIGO

Avaliação da qualidade do solo em manejo agroflorestal utilizando a Cromatografia Circular de Pfeiffer e indicadores microbiológicos

Evaluation of soil quality with agroforest management using Pfeiffer's Circular Chromatography and microbiological indicators

**Aprovado para publicação na Revista Brasileira de Agroecologia - 12/01/2021**

#### RESUMO

A Cromatografia Circular de Pfeiffer (CCP) é um indicador qualitativo do solo, de baixo custo, acessível e tem mostrado grande potencial nos estudos em Agroecologia. O objetivo foi analisar a qualidade do solo de um Sistema Agroflorestal com dois sistemas de manejo (Controle e Manejado), durante o período de 12 meses utilizando indicadores microbiológicos e atributos químicos do solo, correlacionados com a CCP. As amostras de solo, coletadas nas estações seca e chuvosa foram analisadas, utilizando a CCP e os seguintes indicadores: bactérias heterotróficas mesófilas totais, fungos totais, pH, umidade e matéria orgânica. Constatou-se que não houve diferença significativa entre o SAF controle e o SAF manejado, no período estudado, para todos os indicadores analisados. A CCP, as bactérias heterotróficas mesófilas totais e os fungos totais mostraram-se sensíveis a sazonalidades. Houve correlação positiva entre a zona de aeração da CCP, com matéria orgânica e umidade do solo. Conclui-se que a intensidade do manejo aplicado no SAF não foi suficiente para causar mudanças significativas na qualidade do solo, durante o período avaliado.

**Palavras-Chave:** Microbiologia de solos. Sistema Agroflorestal. Qualidade do Solo.

#### ABSTRACT

Pfeiffer Circular Chromatography (CCP) is a qualitative indicator of soil, low cost, accessible, and has great potential in studies in Agroecology. The objective was to analyze the soil quality of an Agroforestry System with different forms of management during 12 months using microbiological indicators and chemical parameters of the soil, correlated with a CCP. Soil samples, collected in the dry and rainy seasons, were analyzed using a CCP and the following indicators: total mesophilic heterotrophic bacteria, total fungi, pH, moisture, and organic matter. It was found no differences between the SAF control and the managed SAF control in the studied period for all impact indicators. CCP, total mesophilic heterotrophic bacteria, and total fungi are sensitive to seasonality. There is a positive correlation by the CCP aeration zone, with organic matter and soil moisture. The conclusion obtained was that the management intensity applied in the SAF was not sufficient to cause specific changes in the soil quality, during the evaluated period.

**Keywords:** Soil microbiology. Agroforestry System. Soil Quality.

### 3.1 INTRODUÇÃO

Os Sistemas Agroflorestais (SAF) representam uma prática agrícola de base ecológica que se assemelham à floresta, sendo cultivadas plantas de diferentes estratos, como árvores, arbustos e herbáceas com diferentes arranjos espaciais e temporais. As técnicas de manejo aplicadas aos SAF visam acelerar e otimizar os processos sucessionais, observando a dinâmica do ecossistema local, com o objetivo não só de produzir alimentos como também regenerar as funções ecossistêmicas e aumentar a biodiversidade (BREZOLIN et al., 2018; SCHULZ; BECKER; GÖTSCH, 1994). Como referencial teórico, a Agroecologia, diferente da agricultura convencional, busca trabalhar de acordo com as necessidades socioeconômicas locais dos agricultores e suas circunstâncias ambientais, visto que as tecnologias agroecológicas não seguem uma padronização, sendo, portanto, flexíveis e se adaptando a cada situação específica (ALTIERI & TOLEDO, 2011).

Algumas inferências podem ser feitas relacionando o tipo de manejo agrícola com a qualidade do solo. No modelo de agricultura convencional manejado com agrotóxicos, o solo permanece, frequentemente, com uma concentração significativa de princípios ativos dos mesmos, que influenciam negativamente o crescimento microbiano, bem como nas atividades enzimáticas do solo (WOLEJKO, et al., 2020). Enquanto no SAF o manejo de incorporação de matéria orgânica no solo promove o aumento da biomassa microbiana e, conseqüentemente, maior ciclagem de nutrientes (CASALINHO et al., 2007; MAINI, SHARMA & SHARMA, 2020).

Para analisar a qualidade do solo são utilizados indicadores que são propriedades, processos ou características físicas, químicas e biológicas que podem ser medidos e interpretados para monitorar padrões e mudanças no solo (HEGER; IMFELD; MITCHELL, 2012). Com a finalidade de avaliar a qualidade do solo, utiliza-se de um conjunto mínimo desses indicadores (CHERUBIN et al., 2015). Entretanto, indicadores biológicos têm demonstrado ser mais sensíveis para detectar alterações provocadas no solo pelo uso e manejo em relação aos indicadores físicos e químicos (CARDOSO et al., 2009; STÖCKER et al., 2017; ZHOU et al., 2020).

Dos diversos indicadores biológicos da qualidade do solo, vale ressaltar a importância dos microrganismos, que desempenham diversos serviços ecossistêmicos tais como a formação e estruturação dos solos (VEZZANI & MIELNICZUK, 2009), decomposição da matéria orgânica (CUNHA et al., 2012) e atuação nos ciclos biogeoquímicos (HAI et al., 2009). A

diluição seriada do solo seguida de inoculação pelo método “*spread plate*” (espalhar na superfície da placa) é um método que pode indicar o estágio de recuperação em áreas degradadas, através da quantidade de microrganismos que o solo apresenta (BUENO et al., 2018).

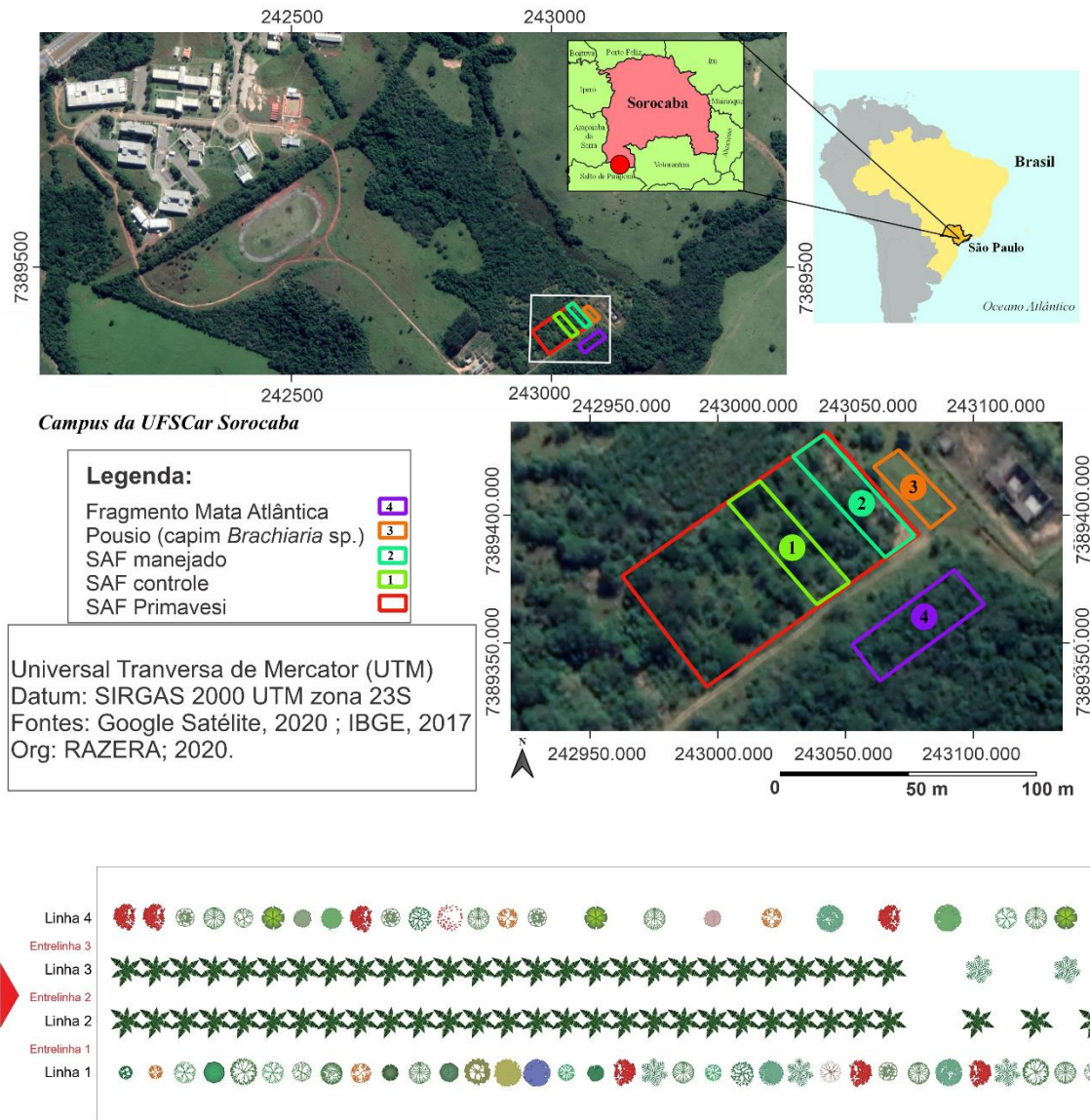
A Cromatografia Circular de Pfeiffer (CCP) é uma metodologia que pode atuar como indicador qualitativo do solo, esse indicador é expresso pela reação química do nitrato de prata e hidróxido de sódio com o solo, sendo que esta reação ocorre em papel filtro circular (PINHEIRO, 2011). Através das cores, formatos e padrões gerados por essa reação no papel filtro, é possível fazer diagnóstico sobre as condições físicas, químicas e biológicas do solo (PFEIFFER, 1984).

Pesquisas vem sendo realizadas para validar CCP aos parâmetros quantitativos convencionais indicadores da qualidade do solo (KOKORNACZYK et al., 2016; GRACIANO et al., 2020; MELO et al., 2019; PERUMAL, ANANTHI, ARUNUKUMAR, 2016). À vista disso, o objetivo deste estudo foi analisar a qualidade do solo de um SAF experimental com dois sistemas de manejo (Controle e Manejado) por um período de 12 meses. Além disso, buscou-se relacionar os indicadores microbiológicos e atributos químicos quantitativos do solo com dois métodos interpretativos da Cromatografia de Pfeiffer, sendo um numérico e outro não numérico (RESTREPO & PINHEIRO, 2011; SOILTECH SOLUTIONS, 2020).

## **3.2 METODOLOGIA**

### **3.2.1 Localização e caracterização do meio físico da área de estudo**

A área de estudo está localizada no *campus* da UFSCar Sorocaba, compreendendo o SAF Experimental Primavera (área total 5000 m<sup>2</sup>) e áreas do seu entorno. Na Figura 1, pode-se visualizar cada parcela da área de estudo (a área de cada parcela é de aproximadamente 500 m<sup>2</sup>): Parcela 1 - SAF controle, Parcela 2 - SAF manejado, Parcela 3 - Área de Pousio de capim *Brachiaria* sp., Parcela 4 - Remanescente de Floresta Estacional Semidecidual em estágio intermediário de sucessão (Fragmento de Mata), segundo Corrêa et al. (2014).



**Figura 1.** Localização das parcelas na área de estudo. Croqui representativo da distribuição espacial das árvores nativas e touceiras de bananeiras do SAF controle e manejado. Croqui fora de escala.

O município de Sorocaba possui clima tropical quente e úmido com inverno seco e verão chuvoso. Segundo a classificação climática de Köppen (1931), o clima predominante é Cwa. No verão, as médias de temperatura são superiores a 22°C e a pluviosidade média mensal é de aproximadamente 200 mm; já no inverno a temperatura média é inferior a 18°C e pluviosidade média mensal próximo a 30 mm (PINHEIRO et al., 2011).

De acordo com Villela et al. (2015) foram encontrados três tipos principais de solos no campus da UFSCar Sorocaba: Latossolo Vermelho, Cambissolo e Cambissolo progredindo para organização de horizonte Bw (latossólico), sendo este último o mais próximo da área estudada.

### 3.2.2 Breve histórico do SAF Primavesi

O SAF Primavesi foi implementado no *campus* da UFSCar Sorocaba em 2014, produto de uma compensação ambiental. Antes da implantação, a área era um pasto, com predominância do capim *Brachiaria* sp. e plantas espontâneas. O desenho agroflorestral foi pensado em linhas de árvores nativas e frutíferas intercaladas com linhas de bananeiras, com espaçamento de 2 × 2m (Figura 1). Até o ano de 2018, o SAF permaneceu com poucas intervenções de manejo, as árvores cresceram, porém, as bananeiras permaneciam muito pequenas devido à deficiência de nutrientes. Em 2018, os manejos passaram a ser realizados. Na Parcela 1 não foram feitas interferências (SAF controle) e os manejos iniciaram-se na Parcela 2 (SAF manejado) (figura 1).

### 3.2.3 Manejos aplicados na Parcela 2 do SAF Primavesi (SAF manejado)

Os manejos foram realizados uma vez ao mês durante 12 meses com roçagem feita com roçadeira lateral, cobrindo com a biomassa do capim *Brachiaria* sp. e adubação verde nas entrelinhas. O solo da entrelinha das bananeiras foi capinado e preparado com enxada e semeado a lanço, aproximadamente 0,5 kg de sementes de adubação verde das seguintes espécies: Mucuna Preta (*Mucuna aterrima*), Feijão Guandu (*Cajanus cajan*), Crotalária (*Crotalaria* sp.) e Feijão de Porco (*Canavalia ensiformis*) em Outubro/2018, após um ano essa adubação foi roçada e plantou-se nessa mesma entrelinha, 20 rizomas de Açafrão-da-Terra (*Curcuma longa*) e 20 rizomas de Inhame (*Dioscorea* sp.) com espaçamento de 0,8 m × 0,8 m. Nenhum fertilizante, adubo ou nutriente comercial foi adicionado.

### 3.2.4 Coleta das amostras

As coletas de solo foram realizadas nos meses: agosto/2019, dezembro/2019, março/2020, agosto/2020, cada área de estudo possui 20 pontos de coleta fixos, distribuídos em zigue-zague. Na primeira amostragem, foram coletadas amostras de solo dos horizontes subsuperficiais correspondentes 0-10 cm (A) e 10-20 cm (B) das Parcelas 1, 2, 3 e 4 (figura 1). As Parcelas 3 e 4 serviram de parâmetro para analisar as condições do mesmo solo submetido a manejos distintos, denominadas áreas de referência. Nas demais amostragens foram coletados solos apenas das Parcelas 1 e 2. Considerou-se estação chuvosa a segunda e terceira coleta (dez/2019-mar/2020) e estação seca a primeira e quarta coleta (ago/2019-ago/2020).

As coletas foram realizadas sempre na parte da manhã, em dias sem chuvas. Em cada área, as amostras foram retiradas com um trado-holandês, separando em cada balde de plástico

as amostras de 0-10 cm (A) e 10-20 cm (B), homogeneizou-se e retirou-se uma amostra composta representativa de cada parcela (FILIZOLA et al., 2006). As amostras compostas foram alocadas de duas maneiras, o solo que foi inoculado para contagem de fungos e bactérias foi colocado em potes de plásticos estéreis e o solo destinado às demais análises em sacos de plástico transparente. Depois de coletados, os solos permaneceram em bolsa térmica com gelo até chegar ao Laboratório de Microbiologia Aplicada (LMA).

### **3.2.5 Análises laboratoriais**

#### **3.2.6 Bactérias heterotróficas mesófilas totais e fungos totais**

Foi pesado 15g de cada amostra de solo homogeneizado transferindo-o dentro da Capela de Fluxo Laminar a um frasco contendo 135 mL de solução salina (0,85%) autoclavada. Os frascos permaneceram em uma mesa agitadora orbital com velocidade de 145 rpm durante 30 minutos (diluição  $10^{-1}$ ), a partir da qual foram preparadas diluições decimais seriadas até  $10^{-6}$ . Para as bactérias, utilizou-se a técnica *spread-plate* em meio *Plate Count Agar* (PCA), inoculou-se alíquotas de 100  $\mu$ L, em triplicata, permanecendo a 37°C por 48 horas. Para os fungos, também utilizou-se a técnica *spread-plate* no meio *Ágar Sabouraud*, com as mesmas diluições. As placas foram incubadas a 25°C por 8 dias. Os valores foram expressos em  $\text{Log}_{10}\text{UFC g}^{-1}$  de solo (BUENO et al., 2018; LIMA et al, 2014; MELZ & TIAGO, 2009).

#### **3.2.7 Umidade, pH e Matéria Orgânica**

Para as análises de umidade, pH e matéria orgânica foram seguidos os protocolos descritos no “Manual Técnico: Indicadores biológicos e bioquímicos da qualidade do solo” da EMBRAPA (MONTEIRO & FRIGHETTO, 2000). Para a umidade, pesou-se 5 g do solo úmido (passado por peneira de 2 mm de malha) em um cadinho de peso conhecido, em seguida, foram levados à estufa por 24 horas a 105°C. Após esse período, esfriou-se em dessecador e pesou-se o cadinho com o solo seco. Os resultados foram expressos em porcentagem.

O pH foi medido por potenciometria, por meio de eletrodo combinado imerso em suspensão solo: líquido, na proporção de 1:2,5. Para a matéria orgânica (M.O), pesou-se 5g de TFSA (terra fina seca ao ar) em um cadinho, levado à estufa por 24 horas a 65°C. Retirou-se da estufa, deixando em dessecador até esfriar. Amassa do solo seco foi pesada em cadinho de porcelana em balança analítica. Retornando o solo seco no cadinho de porcelana para a mufla a uma temperatura de 600 °C por 4 horas. O cadinho de porcelana foi retirado da mufla e permaneceu em dessecador até esfriar. O resíduo (solo incinerado) foi pesado no cadinho frio

de porcelana. A unidade de medida da M.O foi expressa em porcentagem (TEIXEIRA et al., 2017).

### **3.2.8 Cromatografia Circular de Pfeiffer (CCP)**

A CCP foi realizada seguindo a metodologia original (PFEIFFER, 1984), com algumas adaptações de padronização metodológicas (GRACIANO et al., 2020), tais como a utilização de 0,5 mL para impregnação de nitrato de prata e 1,3 mL para solução extratora com solo. Para cada 5 g de amostra de solo TFSA, foram adicionados 50 mL de hidróxido de sódio (NaOH) a 1% (solução extratora), que solubiliza substâncias nitrogenadas do metabolismo dos microrganismos presentes na amostra de solo (DOMINGUES et al., 2018). A solução extratora com as amostras de solos foram homogeneizadas e após 15 minutos de repouso realizou-se mais uma sequência de homogeneização, aguardando decantar por mais 60 minutos, realizou-se novamente a homogeneização, aguardando a decantação total por 6 horas.

Enquanto a solução extratora decantava, no Laboratório de Indicadores de Sustentabilidade Agroflorestal (LaISA) em uma sala escura, foi impregnada a solução de nitrato de prata a 0,5% (solução reveladora) no papel filtro circular Whatman nº 4, através de um capilar (feito com o próprio papel filtro) adicionado no centro. Para cada cromatograma foi adicionado 0,5 mL da solução reveladora, percorrendo por capilaridade até 4 cm de raio.

Os papéis de filtro já impregnados permaneceram na sala escura para secarem. Após as 6 horas de decantação total foi retirado o sobrenadante, homogeneizado e adicionado 1,3 mL para cada papel filtro, com um novo capilar, foi arrastada por capilaridade a solução extratora, atingindo a marca de 6 cm de raio em cada cromatograma. Cada amostra foi realizada em triplicata. Em seguida, os cromatogramas foram dispostos em uma caixa de madeira com vidro na parte superior para que secassem de forma padronizada, recebendo iluminação indireta do Sol dentro do laboratório. Após 10 dias, os cromatogramas foram digitalizados, com dimensões de pixels de 2550×3510 e 300 dpi.

### **3.2.9 Interpretação dos Cromatogramas de Pfeiffer**

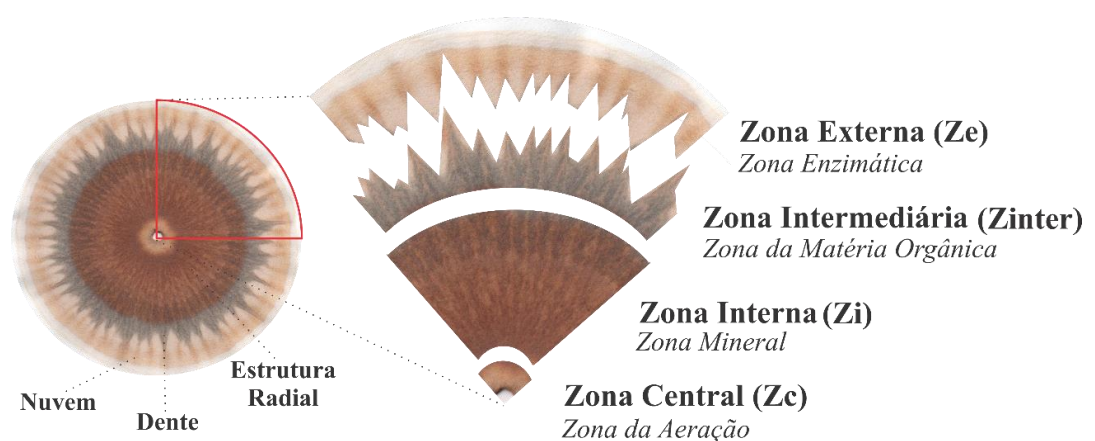
Com os cromatogramas digitalizados, analisou-se as triplicatas e escolheu-se o cromatograma mais representativo para ser interpretado. Para transformar o cromatograma em um fator numérico, utilizou-se o método interpretativo da empresa SoilTech Solutions (SOILTECH SOLUTIONS, 2020). Essa metodologia apresenta 9 categorias para avaliar o cromatograma: Tamanho da Zona Central (Tzc); Nota da Zona Central (Nzc); Nota da Zona

Interna (Nzi); Nota da Zona Intermediária (Nzinter); Zona Externa; Cor da Zona Externa; Nuvens da Zona Externa; Relação e Transição. Para cada categoria a nota varia de 1 a 10, a nota 1 é uma condição não desejável do solo e a 10 a condição mais adequada. Para compor a Nota da Zona Externa (Nze) foram consideradas as médias das categorias: Zona Externa, Cor da Zona Externa e Nuvens da Zona Externa. Não foram apresentados os resultados das categorias “Relação” e “Transição” por não apresentarem diferenças perceptíveis.

Para evitar qualquer problema na interpretação, foi feito um documento onde não continha nenhuma informação sobre a origem do cromatograma. Três voluntários (com conhecimento prévio da metodologia) avaliaram cada uma das nove categorias interpretativas, sendo o resultado de cada categoria a média das três notas.

Para análise estatística, realizou-se uma média para a nota de cada zona e foi transformado o valor final em uma escala de zero a dez. A somatória de todas as zonas compuseram a “Nota da Cromatografia” utilizada para a análise comparativa.

O tamanho das zonas interpretativas do cromatograma (Figura 2) foi medido como: zona central, zona interna, zona intermediária e zona externa (PILON; CARDOSO; MEDEIROS, 2018) utilizando o Software livre *ImageJ* (SCHNEIDER; RASBAND; ELICEIRI, 2012). Em cada zona mediu-se seu ponto máximo e mínimo e mais três pontos aleatórios, a média das cinco medidas de cada zona foram expressas em milímetros. As medidas obtidas pelo *ImageJ* foram utilizadas para a análise de correlação. Os cromatogramas foram analisados também de forma não numérica, atribuindo a cada coloração e formato a qualidade que lhe confere, sendo expressa de forma textual (RESTREPO & PINHEIRO, 2011).



**Figura 2.** Cromatograma de Pfeiffer com destaque em vermelho  $\frac{1}{4}$  do cromatograma. Destaque das zonas utilizadas para interpretação.



### 3.2.10 Análises Estatísticas

As análises estatísticas foram realizadas utilizando o Ambiente Estatístico R versão 4.0.2 (R CORE TEAM, 2020). Para realizar a análise de correlação de Pearson (nível de significância de 5%), foram considerados os dados da primeira coleta (Agosto/2019). Os testes de Bartlett e Shapiro-Wilk foram aplicados para confirmar se os dados e seus resíduos obedeciam a distribuição normal e após essa confirmação, foi aplicada a análise de variância (ANOVA) e o teste de Tukey para verificar a existência de diferenças significativas entre os tratamentos, ambos a um nível de significância de 5%.

## 3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.3.1 Profundidade de coleta

Nos solos analisados, durante o período do estudo, não foram encontradas diferenças significativas (ANOVA,  $p > 0,05$ ) entre as profundidades de amostragem 0-10 e 10-20 cm para todos os indicadores em todas as parcelas amostradas.

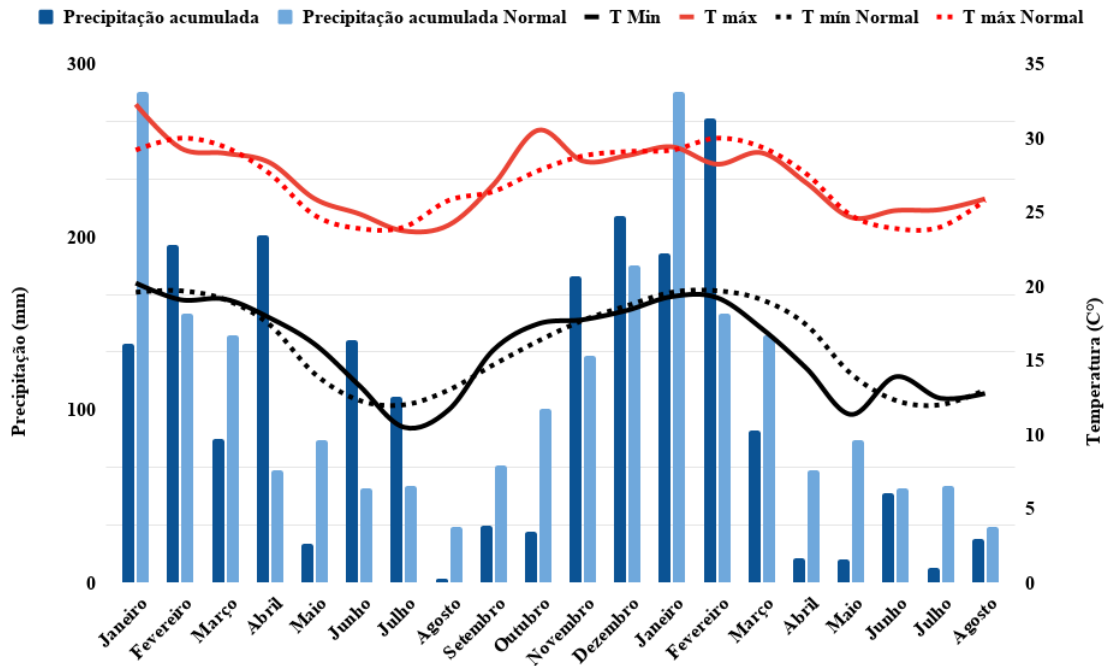
### 3.3.2 Manejos agroflorestais e variação climática

A adubação verde se estabeleceu na entrelinha das bananeiras, porém, esperou-se a frutificação para a colheita das sementes (material suplementar 3.E), o que gerou pouca biomassa para a cobertura do solo. Essa biomassa foi rapidamente decomposta, deixando o solo exposto com apenas algumas plantas espontâneas e rebrota do capim *Brachiaria* sp. A parte que mais recebeu material orgânico de cobertura foi ao redor das bananeiras, utilizando o pseudocaule e suas folhas como biomassa. As mudas de inhame e açafrão cresceram durante o período chuvoso (material suplementar 3.G), mas assim que se iniciou o inverno nenhum dos indivíduos sobreviveram, devido à escassez de chuvas (Figura 3).

Foi constatado que a biomassa gerada apenas pela rebrota do capim *Brachiaria* sp. foi insuficiente para manter todo o solo das entrelinhas da parcela do SAF manejado coberto. A quantidade de biomassa gerada pelas bananeiras era suficiente apenas para recobrir até um metro de raio entre cada touceira.

As temperaturas mínimas e máximas bem como a precipitação mensal acumulada durante o período do experimento está representada na Figura 3. Os dados foram obtidos através do banco de dados do INMET de estações próximas a área de estudo. A estação chuvosa (outubro a março) registrou precipitação acumulada de 835,5 mm, média da temperatura

mínima de 18,9°C e média da temperatura máxima de 29,2°C, respectivamente para estação seca (abril a setembro), 309,6 mm, 13,3°C e 25,2°C.



**Figura 3.** Condições climáticas da região de Sorocaba (Janeiro/2019 a Agosto/2020).

Ao comparar a normal climatológica da estação de Sorocaba com os dados de precipitação mensal acumulada durante o período do experimento (Figura 3) é possível constatar que em 2019 os meses de janeiro, março, maio, agosto, setembro e outubro tiveram quantidades de chuvas abaixo do esperado, com destaque ao mês de agosto, a primeira coleta, onde se esperava uma precipitação em torno de 32 mm e foi registrado apenas 2 mm. Em 2020 o mesmo padrão de escassez de chuvas se manteve, com exceção do mês de fevereiro, onde a precipitação foi acima do esperado (112,6 mm a mais do que a normal climatológica).

### 3.3.3 Matéria orgânica, umidade e pH (material suplementar 1)

O valor médio percentual da matéria orgânica (0-10 cm e 10-20 cm) das quatro amostragens foi de 7,36% para o SAF controle e 6,95% para o SAF manejado. Comparando o teor de matéria orgânica dos SAF com as áreas de referência (8,05% para o Fragmento de Mata e 6,02% para a área de Pousio) é possível verificar que os SAF obtiveram valores intermediários. O teor de matéria orgânica das parcelas estudadas estão abaixo dos valores encontrados para um cultivo de Citros próximo ao *campus* UFSCar Sorocaba-SP (amostragens de setembro à dezembro), onde o solo do cultivo convencional obteve teores de matéria

orgânica entre 10,03 - 19,46% e o solo do manejo orgânico de 11,88 - 26,20% (SILVA et al., 2019).

A estabilização da matéria orgânica varia de acordo com as condições climáticas e com o manejo, condição essa que impossibilita a observação de mudanças significativamente diferentes em curtos intervalos de tempo, como é o caso do presente estudo. Para que as diferenças sejam significativas, torna-se necessário um período maior de observação (SCHMIDT et al, 2011).

Em agosto/2019 o teor de umidade do solo do SAF controle e manejado (13,61% e 13,57%) estava próximo do Fragmento de Mata (13,38%), valores esses que são díspares do teor para o solo da área de Pousio (8,46%), o que é esperado, devido à falta de cobertura vegetal da área de Pousio. Observou-se que, na estação chuvosa, o SAF manejado chegou a reter 50% a mais de umidade do que o SAF controle. Isso ocorreu devido a uma das práticas do manejo, o recobrimento do solo, diminuindo a evaporação de água do solo (VEZZANI & MIELNICZUK, 2009).

Com relação ao pH, quando comparados os resultados de todas as parcelas, ocorreu uma baixa variação partindo do pH mínimo 6,00 até pH máximo 6,79. Valores próximos de pH foram encontrados por Silva et al. (2019) no cultivo de citros com manejo orgânico (pH de 5,71 a 6,52). A baixa variação no pH na área de estudo pode ser explicada pelo manejo aplicado, uma vez que a adubação orgânica está associada ao acúmulo de matéria orgânica o que reduz a perda de ânions no sistema e aumenta o consumo de  $H^+$  (THEODORO et al., 2003).

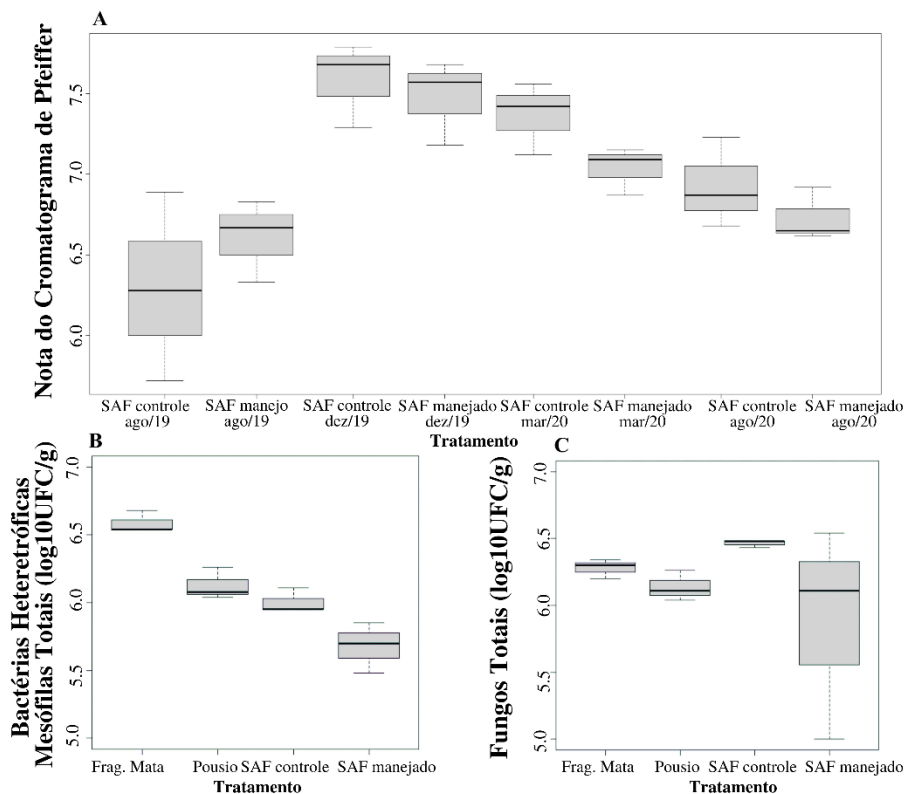
### **3.3.4 Comparação dos solos sob manejos agroflorestais com as Áreas de Referência**

Foi possível constatar nos cromatogramas uma grande similaridade entre todas as parcelas (material suplementar 2). As diferenças visuais mais notáveis entre cada tratamento se deram principalmente na  $Z_c$  (Zona Central), tanto em relação à cor, quanto ao tamanho da zona. Apesar dessas diferenças visuais não serem discrepantes para a metodologia interpretativa utilizada na presente pesquisa, podem haver diferenças através de outras metodologias.

Uma análise textual qualitativa seguindo os padrões descritos por Pfeiffer (1984) e Restrepo & Pinheiro (2011) sugere as seguintes qualidades para todas as parcelas amostradas: as colorações cinzenta e marrom escuro são indicadores de condições indesejadas no solo, essa coloração característica no presente estudo se concentra na  $Z_i$  (Zona Interna - relacionada com as condições minerais do solo) e  $Z_{inter}$  (Zona Intermediária - relacionada com a matéria

orgânica), nas parcelas amostradas o percentual de matéria orgânica variou de um mínimo 5,68% até um máximo de 8,22%. No estudo de Aguirre; Piraneque & Díaz (2019), solos com alterações nas relações catiônicas, causador de problemas de absorção de nutrientes por deficiência induzida, resultaram em cromatogramas com cores mais escuras, maior número de “dentes” na *Zinter* (Zona Intermediária) e menor integração entre as zonas.

Apesar da coloração dessas zonas apontarem para um desequilíbrio, segundo o estudo de Kokornaczyk et al. (2016), as características radiais no cromatograma estão relacionadas à características positivas do solo, enquanto o padrão concêntrico é caracterizado por indicar baixa qualidade do solo. Todos os cromatogramas das áreas de estudo apresentaram mais características radiais em relação ao padrão concêntrico, padrão esse que ocorreu inclusive no cromatograma da área em pousio. Esse comportamento pode ser explicado devido a restauração de funções ecológicas e da qualidade do solo (BREZOLIN et al. 2018), uma vez que partiu-se de uma pastagem degradada, porém, que há mais de uma década não é aplicado pesticidas nem há pastejo de gado.



**Figura 4.** A. BoxPlots das notas dos cromatogramas do SAF controle e manejado ao longo do tempo. B. Boxplots Bactérias mesófilas heterotróficas totais das Áreas de Referência em comparação com as parcelas dos SAF (ago/2019). C. Boxplots Fungos totais das Áreas de Referência em comparação com as parcelas dos SAF (ago/2019).

As médias das contagens de bactérias na área de Pousio apresentaram diferenças significativas (Tukey) quando comparado ao SAF Manejado ( $p < 0,05$ ) mas não demonstrou essa diferença do SAF controle ( $p > 0,05$ ) e o Fragmento de Mata diferiu-se de todos os demais ( $p < 0,05$ ).

Analisando os dados da Figura 4.B, pode-se verificar que a quantidade de bactérias foi menor para o SAF manejado, esse resultado pode ser explicado pelos eventos ocorridos nessa amostragem (ago/2019), o SAF manejado estava com adubação verde na entrelinha das bananeiras, para semear a adubação verde o solo foi capinado e preparado com enxada, esta quebra dos agregados do solo e exposição à altas temperaturas do período de seca (umidade do solo de 13,57%), promoveram um ambiente menos eficiente na metabolização do carbono pelos microrganismos (LOUREIRO et al., 2016). Já para as contagens de Fungos Totais, não foram encontradas diferenças significativas entre as parcelas, e a variância pode ser observada na Figura 4.C.

### **3.3.5 Comparação entre o SAF controle e manejado entre as estações seca e chuvosa**

Houve diferenças significativas entre as notas dos cromatogramas de Pfeiffer do SAF controle e do SAF manejado (Figura 4.A) em relação às datas de coleta pela ANOVA ( $p < 0,05$ ), sendo que essa diferença se encontra entre a primeira e segunda coleta (ago/2019-dez/2019,  $p < 0,05$ ) para ambas parcelas e também entre a primeira e terceira coleta para o SAF controle (ago/2019-mar/2020,  $p < 0,05$ ) e entre a segunda e quarta coleta para o SAF manejado (dez/2019-ago/2020,  $p < 0,05$ ), pelo Teste de Tukey.

Houve diferenças significativas nas contagens de bactérias nas amostras do SAF controle entre as datas de coleta ( $p < 0,05$ ), essas diferenças ocorreram entre as estações seca e chuvosa. Entre a primeira e terceira coleta a quantidade de UFC  $g^{-1}$  foi de 6,01 para 5,00 (ago/2019-mar/2020,  $p < 0,05$ ), entre primeira e última coleta de 6,01 para 5,31 UFC  $g^{-1}$  (ago/2019-ago/2020,  $p < 0,05$ ). Da mesma forma houve diferenças significativas do SAF manejado entre as datas de coleta ( $p \leq 0,001$ ). Todas as coletas variaram significativamente entre si (ago/2019 - 5,70 UFC  $g^{-1}$ , dez/2019 - 6,30 UFC  $g^{-1}$ ; mar/2020 - 6,78 UFC  $g^{-1}$  e ago/2020 - 5,00 UFC  $g^{-1}$ ). As bactérias se mostraram muito sensíveis a sazonalidade das coletas, tanto para o tratamento controle quanto para o manejo, variando significativamente entre as coletas realizadas nas estações chuvosas e secas.

Houve diferenças significativas nas UFC  $g^{-1}$  de solo dos fungos totais do SAF controle ( $p < 0,05$ ), essa diferença ocorreu entre dez/2019-mar/2020 ( $p < 0,05$ ) cujo número de UFC  $g^{-1}$  foi

de 6,74 para 5,75 e mar/2020-ago/2020 ( $p < 0,05$ ) de 5,75 UFC  $g^{-1}$  para 7,36. Já no SAF manejado a diferença ocorreu entre as coletas ago/2019-dez/2019 ( $p < 0,05$ ) de 6,21 para 7,52 UFC  $g^{-1}$ . Assim como o indicador bactérias mesófilas heterotróficas totais, os fungos totais também foram sensíveis às sazonalidades, onde é possível diferenciar os períodos chuvosos e secos.

A quantidade de UFC  $g^{-1}$  de solo dos microrganismos dos SAF controle e manejado são comparáveis a de um SAF de “recuperação intermediária”, com implementação de apenas um ano (BUENO et al., 2018). Isso demonstra o quanto o SAF Primavesi necessita de mais intervenções de manejo para restaurar a qualidade do solo.

### 3.3.6 Análise das zonas dos cromatogramas de Pfeiffer

Na análise da  $Z_c$  (Zona central) é nítida a diferença entre o Pousio e o Fragmento de Mata Atlântica (Figura 5.B), no Pousio essa zona é muito menor e escura (indica menos aeração) e no Fragmento de Mata essa zona é maior e com coloração bege (indica que as atividades enzimáticas e microbiológicas estão ativas) (RESTREPO & PINHEIRO, 2011) e as parcelas do SAF controle e manejado apresentaram características intermediárias. As  $Z_c$  dos cromatogramas do SAF controle (Figura 5.D) e SAF manejado (Figura 5.E) variaram entre cores e tamanhos muito similares ao longo das coletas, a maior distinção ocorreu entre os cromatogramas de ago/2019 e dez/2019, no qual o SAF controle apresentou uma coloração levemente mais escura e com formato um pouco mais concêntrico, mas foi uma alteração tão pequena que não foi conferido uma nota menor.

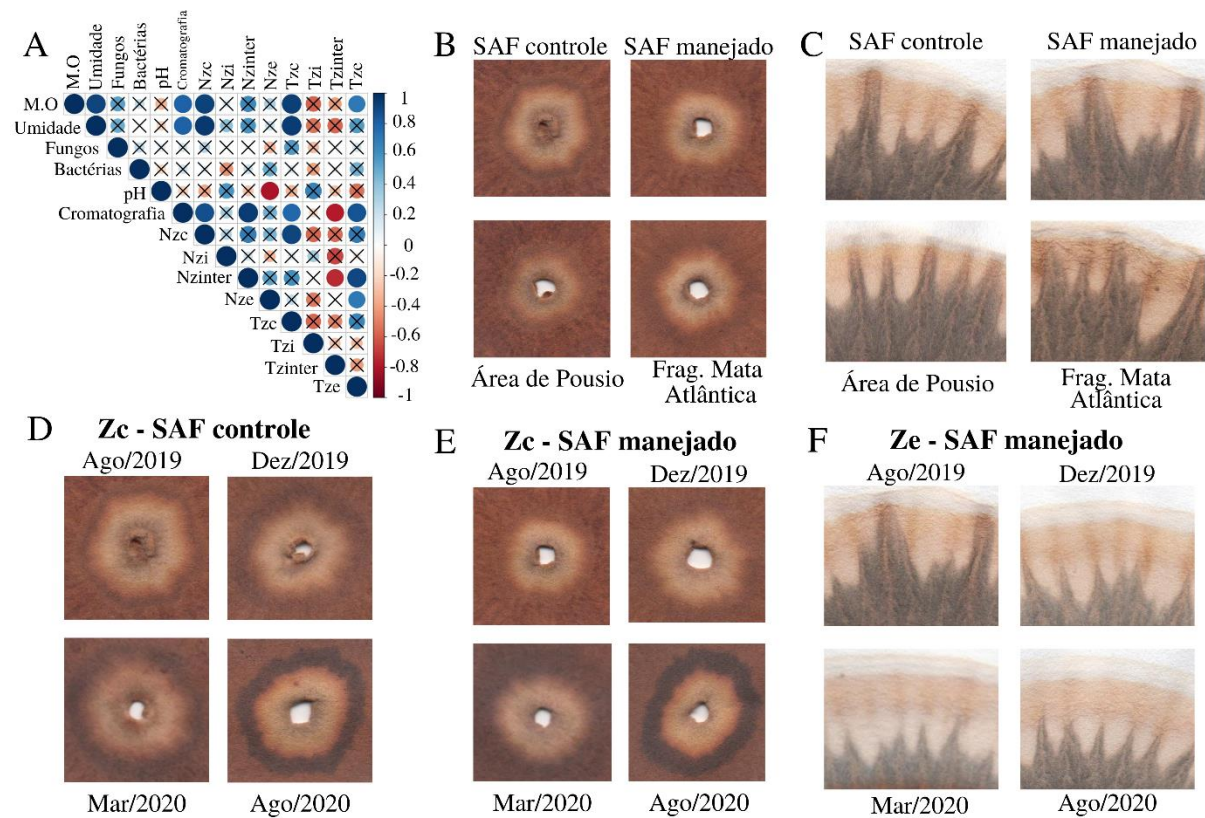
Outra zona que se diferiu entre as parcelas amostradas foi a  $Z_e$  (Zona externa) (Figura 5.C). Essa zona foi similar entre o SAF controle e manejado, no Pousio por ter os “dentes” arredondados, foi conferido a menor nota e a melhor nota foi o Fragmento de Mata, que apresentou manchas marrons (nuvens) no fim dos “dentes” da  $Z_e$  indicador de formação de húmus (PFEIFFER, 1984). Na figura 5.F é possível verificar que a  $Z_e$  do SAF manejado, ao longo do tempo, foi aumentando essa característica indica boas condições de solo, porém, o SAF controle apresentou exatamente o mesmo padrão, indicando que houve uma melhora em todo o SAF e que não foi consequência do manejo (RESTREPO & PINHEIRO, 2011).

### 3.3.7 Comparação SAF controle e manejado após 12 meses

Ao comparar todos os indicadores ao longo de 12 meses entre o SAF controle e SAF manejado, não foram encontradas diferenças significativas (ANOVA,  $p > 0,05$ ), o que pode

indicar que apenas a roçada do capim *Brachiaria* sp. e adubação verde, podas das bananeiras e árvores do SAF, uma vez por mês, não foram suficientes para causar diferenças significativas no solo do SAF analisado após 12 meses. Outra hipótese que corrobora para esse fato seria que o presente estudo amostrou poucos tratamentos não havendo sensibilidade para detectar essas mudanças no solo.

### 3.3.8 Correlação das zonas dos cromatogramas com os indicadores convencionais



**Figura 5.** A. Correlação de Pearson, os que apresentam um “X” não possuem um valor de p significativo a 5% de significância. B. Zona Central de cada parcela de Agosto/2019. C. Zona Externa de cada parcela de Agosto/2019. D. Zona central do SAF controle ao longo do tempo. E. Zona central do SAF manejado ao longo do tempo. F. Zona externa do SAF manejado ao longo do tempo. Legendas: M.O: Matéria orgânica, Nzc: Nota zona central, Nzi: Nota zona interna, Nzinter: Nota zona intermediária, Nze: Nota zona externa, Tzc: Tamanho zona central, Tzi: Tamanho zona interna, Tzinter: Tamanho zona intermediária, Tze: Tamanho zona externa.

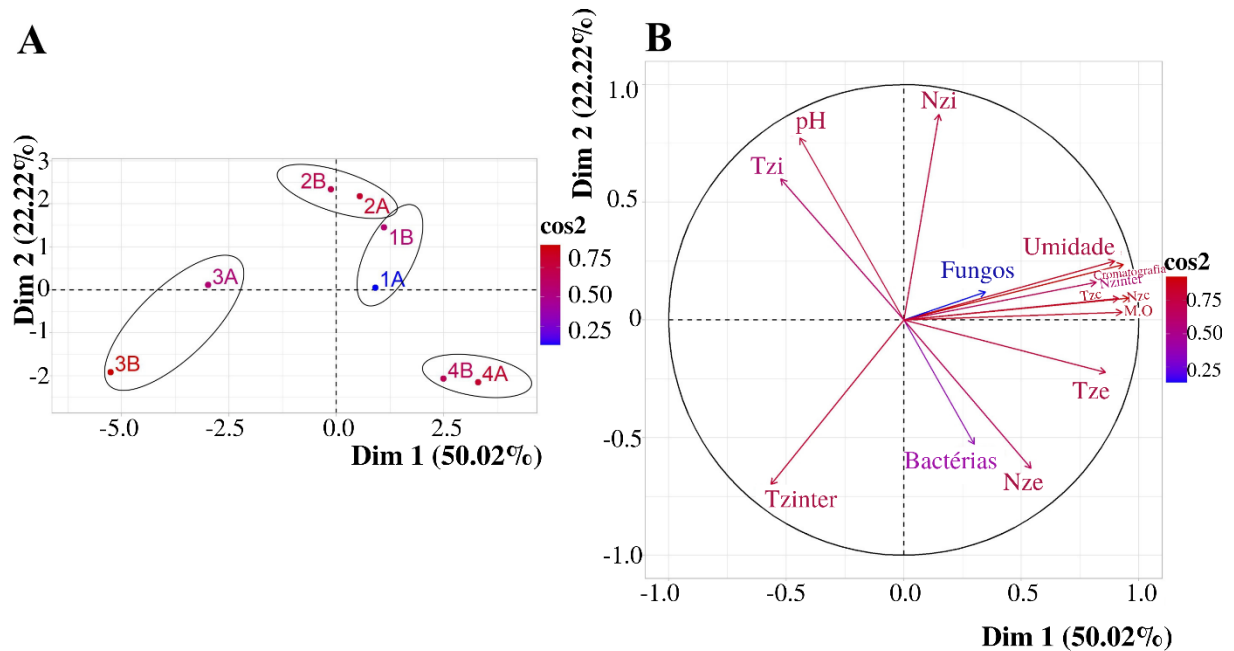
Na figura 5.A é possível visualizar todas as correlações encontradas entre os indicadores utilizados. Foi encontrada correlação positiva entre a nota e tamanho da Zc com a porcentagem de matéria orgânica ( $r=0,93$  e  $r=0,94$ ,  $p<0,001$ ) bem como com a porcentagem de umidade ( $r=0,95$  e  $r=0,95$ ,  $p<0,001$ ). No estudo de Graciano et al. (2020) a Zc apresentou correlação negativa (correlação de Spearman) com a resistência à penetração do solo. Essas duas correlações para a Zc são coerentes, visto que o acúmulo de matéria orgânica nos solos reduz a densidade relativa e aumenta a retenção de água no solo, o que torna o solo menos susceptível à compactação (BRAIDA et al., 2006).

Os níveis de matéria orgânica ainda apresentaram correlação positiva com o tamanho da *Ze* ( $r=0,71$ ,  $p<0,05$ ). No estudo de Graciano et al. (2020), o conteúdo de matéria orgânica total teve correlação positiva com a *Zi* (Zona interna). Nos solos amostrados a *Zi* ficou muito similar entre todas as parcelas, por isso não foi encontrado correlação com os demais indicadores.

No trabalho de Graciano et al. (2020), a *Zinter* mostrou forte correlação positiva com o carbono da biomassa microbiana do solo e Burle & Figueiredo (2019) indicaram que a formação da *Zinter* e *Ze* estão relacionadas com a formação da *Zc* e com a atividade microbológica. Nos solos amostrados no presente estudo, não foram encontradas correlações significativas com os indicadores microbiológicos, o que pode indicar que o método de contagem de UFC  $g^{-1}$  de solo de bactérias heterotróficas mesófilas totais e fungos totais não é o mais adequado para entender o padrão dos microrganismos expressos no cromatograma de Pfeiffer ou foram poucos tratamentos amostrados para permitir a visualização de diferenças significativas. Indicadores microbiológicos como biomassa microbiana e atividade enzimática foram mais eficazes para explicar os padrões dos microrganismos do solo nos cromatogramas de Pfeiffer como demonstrado no estudo de Graciano et al. (2020).

As proporções de matéria orgânica e umidade também apresentaram correlação positiva com a nota total dos cromatogramas ( $r=0,80$  e  $r=0,80$ ,  $p<0,05$ ), o que demonstra que os indicadores M.O e umidade foram detectados pelo cromatograma (AGUIRRE; PIRANEQUE; DÍAZ, 2019).





**Figura 6.A.** Análise de componentes principais das amostras (PCA). **B.** PCA das variáveis. Legenda: 1.SAF controle; 2. SAF manejado; 3. Área de Pousio; 4. Frag. Mata Atlântica; A (0-10 cm); B (10-20cm).

A análise dos componentes principais (PCA) apontou que 2 dimensões explicam 72,24% da variação dos dados. O autovetor bactérias se agrupou no mesmo quadrante que a nota da Ze e tamanho da Ze, o que indica uma correlação com essa zona que não foi significativa na correlação de Pearson. Todas as variáveis que tiveram correlações positivas significativas pelo coeficiente de Pearson se agruparam no mesmo quadrante e obtiveram um elevado Cos<sup>2</sup> (Figura 6.B). O Cos<sup>2</sup> indica a contribuição de um componente para a distância quadrada da observação até a origem (ABDI & WILLIAMS, 2010). Na PCA das amostras é possível inferir que as amostras de 0-10 cm e 10-20 cm de cada local amostrado foram agrupadas e a maior variação ocorreu entre as duas profundidades na área de Pousio (Figura 6.A).

Apesar dos resultados dos indicadores da qualidade do solo não terem detectado mudanças significativas do manejo realizado durante o período de 12 meses no SAF manejado, o desenvolvimento das bananeiras durante este período foi notório. No início do experimento, as bananeiras estavam com o desenvolvimento estagnado, com pseudocaules muito finos, o capim *Brachiaria* sp. inibia seu crescimento e não havia nutrientes suficientes para seu desenvolvimento. Em agosto de 2020 as bananeiras apresentaram maior vigor e começaram a dar cachos, evento raro desde a implantação do SAF em 2014. Essa resposta rápida das bananeiras ao manejo corrobora com os resultados de Zhou et al. (2020), onde foi encontrado que comunidades vegetais responderam mais às mudanças ambientais do que as comunidades

microbianas, desafiando o ponto de vista tradicional de que os microrganismos do solo são mais suscetíveis.

### 3.4 CONCLUSÕES

A CCP, as bactérias heterotróficas mesófilas totais e os fungos totais mostraram-se sensíveis a sazonalidades. Houve correlação positiva entre zona de aeração da CCP, com matéria orgânica e umidade do solo. Foi constatado que não houve diferença significativa entre a qualidade do solo do SAF controle e o SAF manejado, no período estudado, para todos os indicadores analisados. Dessa forma a intensidade do manejo aplicado no SAF não foi suficiente para causar mudanças significativas na qualidade do solo, durante o período avaliado.

### 3.5 AGRADECIMENTOS

Ao PET (Programa de Educação Tutorial) - Conexões e Saberes de Agroecologia pelo recurso financeiro concedido para a realização dessa pesquisa. E ao Programa de Iniciação Científica e Tecnológica sem remuneração (ICT-SR) da UFSCar ao qual nosso projeto é vinculado.

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABDI, H.; WILLIAMS, L. J. Principal component analysis. **Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Statistics**, v. 2, n. 4, p. 433–459, 2010.
- AGUIRRE, S. E.; PIRANEQUE, N. V.; DÍAZ, C. J. Valoración del Estado del Suelo en Zona de Bosque Seco Tropical Mediante Técnicas Analíticas y Cromatogramas. **Información tecnológica**, v. 30, n. 6, p. 337–350, 2019.
- ALTIERI, M.A.; TOLEDO, V.M. The agroecological revolution in Latin America: Rescuing nature, ensuring food sovereignty and empowering peasants. **Journal of Peasant Studies**, v. 38, n. 3, p. 587–612, 2011.
- BUENO, P.A.A. et al. Indicadores microbiológicos de qualidade do solo em recuperação de um sistema agroflorestal. **Acta Brasiliensis**, v. 2, n. 2, p. 40–44, 2018.
- BURLE, E. C.; FIGUEIREDO, R. T. Uso da Cromatografia Circular Plana em diferentes concentrações para análise de solo e de compostos orgânicos. **Cadernos de graduação: Ciências Exatas e Tecnológicas**, v. 5, n. 2, p. 19–28, 2019.
- BRAIDA, J. A. et al. Resíduos vegetais na superfície e carbono orgânico do solo e suas relações com a densidade máxima obtida no ensaio proctor. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, n. 4, p. 605–614, 2006.
- BREZOLIN, R. et al. A Agroecologia e os Serviços Ecológicos: Um Estudo De Caso nos Assentamentos do Município de Iperó/SP. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 13, n. 3, p. 101–113, 2018.

- CARDOSO, E.L. et al. Atributos biológicos indicadores da qualidade do solo em pastagem cultivada e nativa no Pantanal. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v.44, n.6, p.631-637, 2009.
- CASALINHO, H. D. et al. Qualidade do solo como indicador de sustentabilidade de agroecossistemas. **Revista Brasileira de Agrociência**, v. 13, n. 2, p. 195–203, 2007.
- CHERUBIN, M.R. et al. Qualidade física, química e biológica de um latossolo com diferentes manejos e fertilizantes. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.39, p. 615-625, 2015.
- CORRÊA, L.S et al. Estrutura, composição florística e caracterização sucessional em remanescente de floresta estacional semidecidual no sudeste do Brasil. **Revista Árvore**, v. 38, n. 5, p. 799–809, 2014.
- CUNHA, E.Q. et al. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo sob produção orgânica impactados por sistemas de cultivo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n.1, p.56-63, 2012.
- DOMINGUES, S. et al. Conhecimento agroecológico através da experimentação da Cromatografia de Pfeiffer, uma análise qualitativa dos solos. **Congrega Urcamp**, v. 15, n. 15, p. 932–940, 2018.
- FILIZOLA, H. F.; et al. **Manual de procedimentos de coleta de amostras em áreas agrícolas para análise da qualidade ambiental: solo, água e sedimentos**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente. 169 p. 2006.
- GRACIANO, I. et al. Evaluating Pfeiffer Chromatography for Its Validation as an Indicator of Soil Quality. **Journal of Agricultural Studies**, v. 8, n. 3, p. 420–446, 2020.
- HAI, B. et al. Quantification of Key Genes Steering the Microbial Nitrogen Cycle in the Rhizosphere of Sorghum Cultivars in Tropical Agroecosystems. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 75, n. 15, p. 4993–5000, 2009.
- HEGER, J.T.; IMFELD, G.; MITCHELL, E.A.D. Special issue on “Bioindication in soil ecosystems”: Editorial note. **European Journal of Soil Biology journal**, v.49, p. 1-4, 2012.
- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET)**. Disponível em: <<https://tempo.inmet.gov.br/TabelaEstacoes>> Acesso em: 20 out. 2020.
- KOKORNACZYK, M.O. et al. Analysis of soils by means of Pfeiffer’s circular chromatography test and comparison to chemical analysis results. **Biological Agriculture & Horticulture An.** v. 33, p. 143-157, 2016.
- KÖPPEN, W. **Climatologia**. México, Fundo de Cultura Econômica, 1931.
- LIMA, J.V.L. et al. Populações microbianas cultiváveis do solo e serrapilheira de uma unidade de conservação no semiárido brasileiro. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v. 10, n. 18, p. 2300-2316, 2014.
- LOUREIRO, D. et al. Influência do uso do solo sobre a conservação de carbono em sistemas orgânicos de produção. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 11, n. 1, p. 1–10, 2016.
- MAINI, A.; SHARMA, V.; SHARMA, S. Assessment of soil carbon and biochemical indicators of soil quality under rainfed land use systems in North Eastern region of Punjab, India. **Carbon Management**, v. 11, n. 2, p. 169–182, 2020.
- MELO, D.M.A. et al. Cromatografia de Pfeiffer como indicadora agroecológica da qualidade do solo em agroecossistemas. **Revista Craibeiras de Agroecologia**. v. 4, n. 1, p. e7653, 2019.

MELZ, E.M.; TIAGO, P.V. Propriedades físico-químicas e Microbiológicas do solo de um Parque em Tangará da Serra, MT, uma área de transição entre Amazônia e Cerrado. **Acta Amazônica**, v. 39, n.4, p.829-834, 2009.

MONTEIRO, R.T.R.; FRIGHETTO, R.T.S. Determinação da umidade, pH e capacidade de retenção de água do solo. In: Frighetto, R.T.S.; Valarini, P.J. (Coords.). **Indicadores biológicos e bioquímicos da qualidade do solo: manual técnico**. Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna. 198p. (Embrapa Meio Ambiente. Documento, 21). 2000.

PERUMAL, K.; ANANTHI, S.; ARUNUKUMAR, J. Innovative and simplest alternative analytical technology (AAT) for testing soil nutrients. **Journal of Soil Science Reserch**, v. 1, n.1 , p. 22-31, 2016.

PFEIFFER, E. **Chromatography applied to quality testing**. Wyoming, USA: Bio-Dynamic Farming and Gardening Association: 44 p. 1984.

PILON, L.C.; CARDOSO, J.H.; MEDEIROS, F.S. **Guia prático de cromatografia de Pfeifer**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, (Documentos / Embrapa Clima Temperado, ISSN 1516-8840, n. 455. 16 p. 2018.

PINHEIRO, R.C. et al. Ocupação e caracterização hidrológica da microbacia do córrego Ipaneminha, Sorocaba-SP. **Irriga**, v. 16, n. 3, p. 234–245, 2011.

PINHEIRO, S. **Cartilha da saúde do solo: cromatografia de Pfeiffer**. Juquirá Candiru Satyagraha, 2011.

R CORE TEAM (2020). R: A language and environment for statistical computing. **R Foundation for Statistical Computing**, Vienna, Austria. Disponível em: <<https://www.R-project.org/>> Acesso em: 29 set. 2020.

RESTREPO, J. R.; PINHEIRO, S. **Cromatografía: Imágenes de vida y destrucción del suelo**. Cali: Feriva, 2011.

SCHMIDT, M. W. I. et al. Persistence of soil organic matter as an ecosystem property. **Nature**, v. 478, n. 7367, p. 49–56, 2011.

SCHNEIDER, C. A.; RASBAND, W. S. & ELICEIRI, K. W. (2012), "NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis", **Nature methods**. v.9, n.7, p. 671-675, 2012.

SCHULZ, B.; BECKER, B.; GÖTSCH, E. Indigenous knowledge in a “modern” sustainable agroforestry system-a case study from eastern Brazil. **Agroforestry Systems**, v. 25, n. 1, p. 59–69, 1994.

SILVA, A. P. B. et al. **Influência do tipo de manejo (orgânico e convencional) na matéria orgânica de solos cultivados com citros**. Ponta Grossa, PR: Atena Editora, 2019. Disponível em: < <https://www.atenaeditora.com.br/arquivos/ebooks/influencia-do-tipo-de-manejo-organico-e-convencional-na-materia-organica-de-solos-cultivados-com-citros> > Acesso em: 26 out. 2020.

SOILTECH SOLUTIONS. **Chromabeoordeling door SOIL-TECH SOLUTIONS**. 2005-2020. Biezenmortel, Netherlands. Disponível em: <<https://www.bio-ron.com/images/stories/files/chroma-analyse.pdf>> Acesso: 12 mar. 2020.

STÖCKER, C.M. et al. Bioindicadores da qualidade do solo em sistemas agroflorestais. In: Jornada de pós-graduação e pesquisa - congrega, 14, 2017, Bagé. **Anais Eletrônicos**. Bagé,

URCAMP. 2017. Disponível em: <  
<http://revista.urcamp.tche.br/index.php/rcjggp/article/view/743/441>> Acesso em: 27 out. 2020.

TEIXEIRA, P.C. et al. **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 574 p. 2017.

THEODORO, V. C. A. et al. Alterações químicas em solo submetido a diferentes formas de manejo do cafeeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 6, p. 1039–1047, 2003.

VEZZANI, F.M; MIELNICZUK, J. Uma visão sobre qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 4, p. 743-755, 2009.

VILLELA, F.N.J. et al. Morfopedologia e zoneamento voltado à ocupação. **Revista do Departamento de Geografia - USP**, v. 30, n. 1, p. 179–192, 2015.

WOLEJKO, E. et al. Soil biological activity as an indicator of soil pollution with pesticides – A review. **Applied Soil Ecology**, v. 147, n.103356, p. 1-13, 2020.

ZHOU, F. et al. Plant communities are more sensitive than soil microbial communities to multiple environmental changes in the Eurasian steppe. **Global Ecology And Conservation**, v. 21, n. e00779, p.1-5, mar. 2020.

#### 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Assim como as bactérias heterotróficas mesófilas totais e os fungos totais, a cromatografia circular de Pfeiffer mostrou-se sensível as sazonalidades entre as estações seca e chuvosa, esse resultado pode servir de base para estudos futuros com a cromatografia, abrindo novos parâmetros de análise com a metodologia.

A correlação positiva entre a zona central (zona de aeração) da cromatografia circular de Pfeiffer, com a matéria orgânica e umidade do solo revelam o quanto esses dois parâmetros estão diretamente relacionados com a quantidade de microrganismos presente nos solos. Apesar de não ter sido detectado diferenças significativas nos indicadores do solo entre o SAF controle e manejado ao longo de 12 meses, não significa que utilizando-se de outros indicadores continue resultando em igualdade estatística.

O manejo agroflorestal é variável dependendo do conhecimento, técnica e intensidade aplicada, aplicando-se o manejo apenas uma vez ao mês não foi suficiente para detectar mudanças nos indicadores, sugere-se como futuras pesquisas uma intensidade maior de manejo e utilização de indicadores físicos do solo.

## REFERÊNCIAS

- AGUIRRE, S. E.; PIRANEQUE, N. V.; DÍAZ, C. J. Valoración del Estado del Suelo en Zona de Bosque Seco Tropical Mediante Técnicas Analíticas y Cromatogramas. **Información tecnológica**, v. 30, n. 6, p. 337–350, 2019.
- BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Instrução Normativa n. 4, de 8 de setembro de 2009**. Diário Oficial da União, 10 de setembro de 2009. 4 p.
- BUENO, P.A.A. et al. Indicadores microbiológicos de qualidade do solo em recuperação de um sistema agroflorestal. **Acta Brasiliensis**, v. 2, n. 2, p. 40–44, 2018.
- BURLE, E. C.; FIGUEIREDO, R. T. Uso da Cromatografia Circular Plana em diferentes concentrações para análise de solo e de compostos orgânicos. **Cadernos de graduação: Ciências Exatas e Tecnológicas**, v. 5, n. 2, p. 19–28, 2019.
- DA SILVA GOMES, S. et al. Bioindicadores de qualidade do solo cultivado com milho em sucessão a adubos verdes sob bases agroecológicas. **Revista de la Facultad de Agronomía**, v. 114, n. 3, p. 30–37, 2015.
- GRACIANO, I. et al. Evaluating Pfeiffer Chromatography for Its Validation as an Indicator of Soil Quality. **Journal of Agricultural Studies**, v. 8, n. 3, p. 420–446, 2020.
- HEGER, J.T.; IMFELD, G.; MITCHELL, E.A.D. Special issue on “Bioindication in soil ecosystems”: Editorial note. **European Journal of Soil Biology journal**, v.49, p. 1-4, 2012.
- KHEMANI, D.; JOSEPH, M. M.; VARIGANTI, S. Case based interpretation of soil chromatograms. Springer-Verlag, v. 5239 LNAI, p. 587–599, 2008.
- KOKORNACZYK, M.O. et al. Analysis of soils by means of Pfeiffer’s circular chromatography test and comparison to chemical analysis results. **Biological Agriculture & Horticulture An.** v. 33, p. 143-157, 2016.
- MAINI, A.; SHARMA, V.; SHARMA, S. Assessment of soil carbon and biochemical indicators of soil quality under rainfed land use systems in North Eastern region of Punjab, India. **Carbon Management**, v. 11, n. 2, p. 169–182, 2020.
- MELO, D.M.A. et al. Cromatografia de Pfeiffer como indicadora agroecológica da qualidade do solo em agroecossistemas. **Revista Craibeiras de Agroecologia**. v. 4, n. 1, p. e7653, 2019.
- MOLINA, M.G.; GUZMÁN CASADO, G.I. Agroecology and ecological intensification: A discussion from a metabolic point of view. **Sustainability**, v. 9, n. 86, p. 1–19, 2017.
- PERUMAL, K.; ANANTHI, S.; ARUNUKUMAR, J. Innovative and simplest alternative analytical technology (AAT) for testing soil nutrients. **Journal of Soil Science Reserch**, v. 1, n.1, p. 22-31, 2016.
- PFEIFFER, E. **Chromatography applied to quality testing**. Wyoming, USA: Bio-Dynamic Farming and Gardening Association: 44 p. 1984.
- PILON, L.C.; CARDOSO, J.H.; MEDEIROS, F.S. **Guia prático de cromatografia de Pfeiffer**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, (Documentos / Embrapa Clima Temperado, ISSN 1516-8840, n. 455. 16 p. 2018.

PINHEIRO, R.C. et al. Ocupação e caracterização hidrológica da microbacia do córrego Ipaneminha, Sorocaba-SP. **Irriga**, v. 16, n. 3, p. 234–245, 2011.

PINHEIRO, S. **Cartilha da saúde do solo: cromatografia de Pfeiffer**. Juquira Candiru Satyagraha, 2011.

RESTREPO, J. R.; PINHEIRO, S. **Cromatografía: Imágenes de vida y destrucción del suelo**. Cali: Feriva, 2011.

SARITHA, V. et al. Chromatogram Image Pre-Processing and Feature Extraction for Automatic Soil Analysis. **International Conference on Computing: Theory and Applications** (ICCTA'07), Kolkata, p. 726-730, 2007.

SINGH, R. et al. Soil microbial characteristics in sub-tropical agro-ecosystems of North Western Himalaya. **Current Science**, v. 115, n. 10, p. 1956–1959, 2018.

SOILTECH SOLUTIONS. **Chromabeoordeling door SOIL-TECH SOLUTIONS**. 2005-2020. Biezenmortel, Netherlands. Disponível em: <<https://www.bio-ron.com/images/stories/files/chroma-analyse.pdf>> Acesso: 16 jan. 2021.

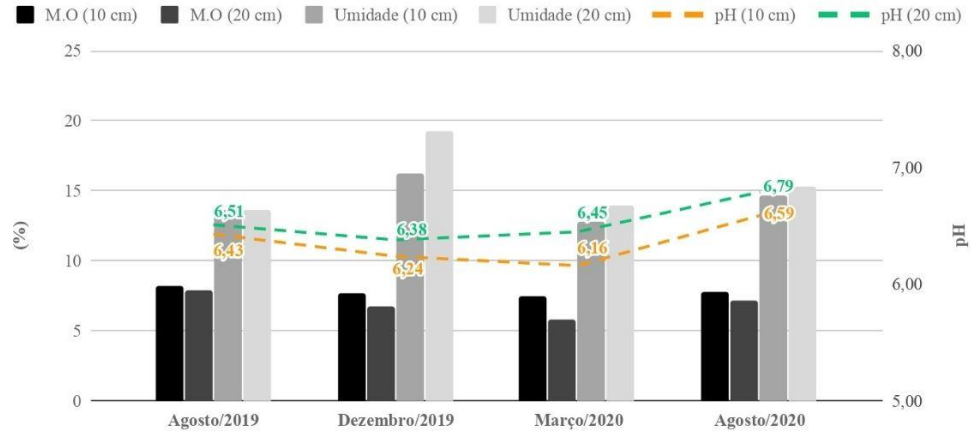
STEENBOCK, W.; VEZZANI, F. **Agrofloresta: aprendendo a produzir com a natureza**. Curitiba: BRASIL/PRINTED, 2013. 148 p.

## MATERIAL SUPLEMENTAR 1

1

## Indicadores Convencionais

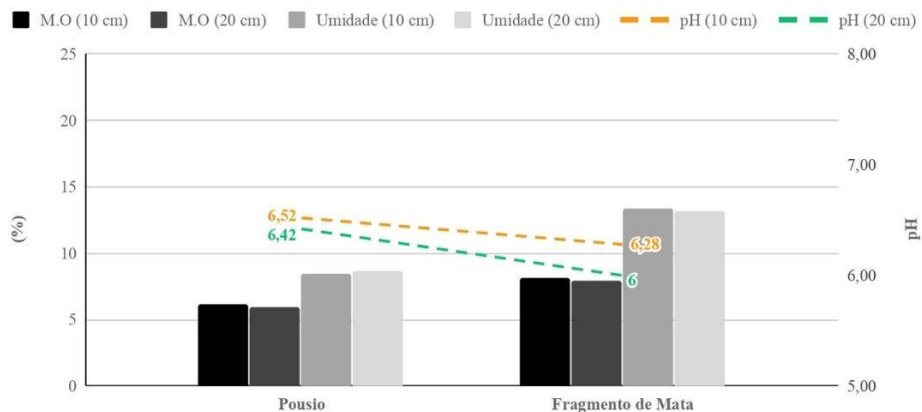
## SAF controle



## SAF manejado



## Áreas de Referência

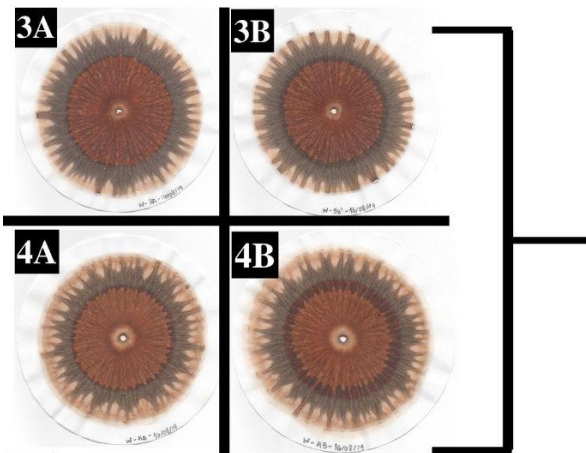
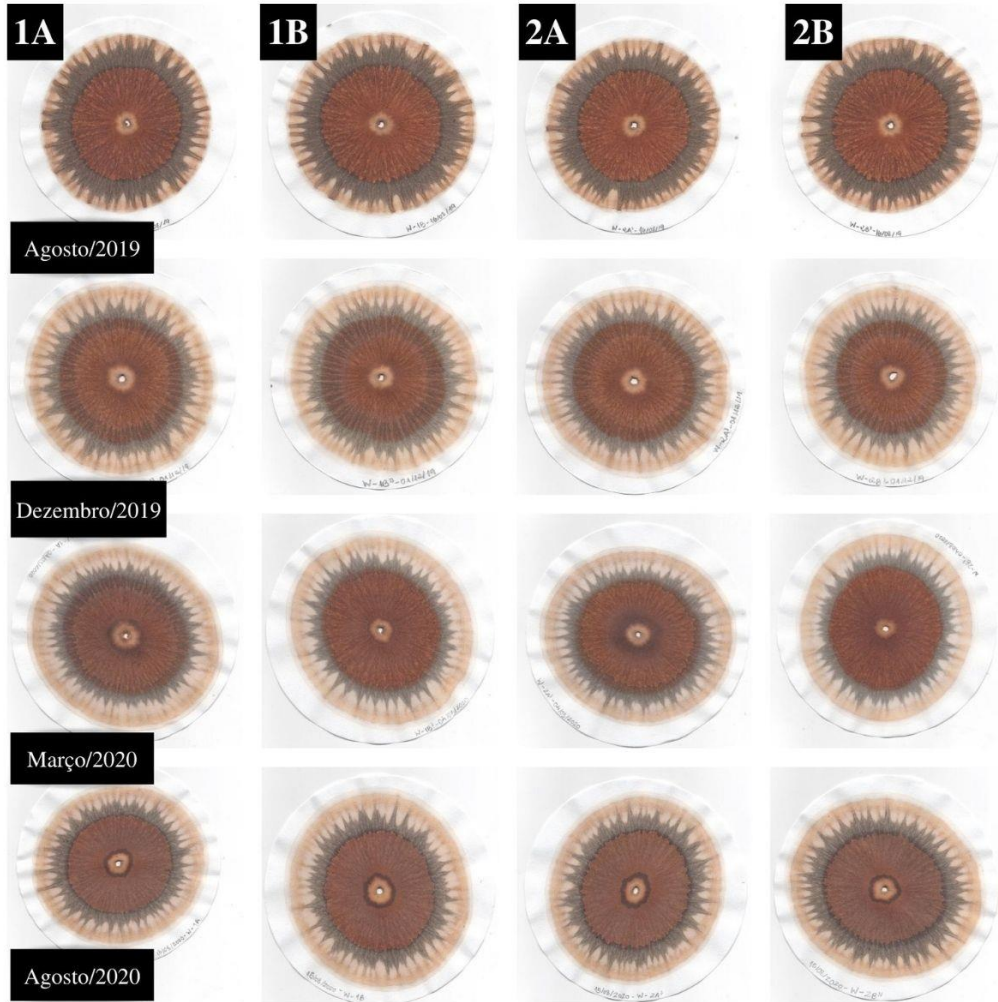




MATERIAL SUPLEMENTAR 2

2

# Cromatogramas de Pfeiffer



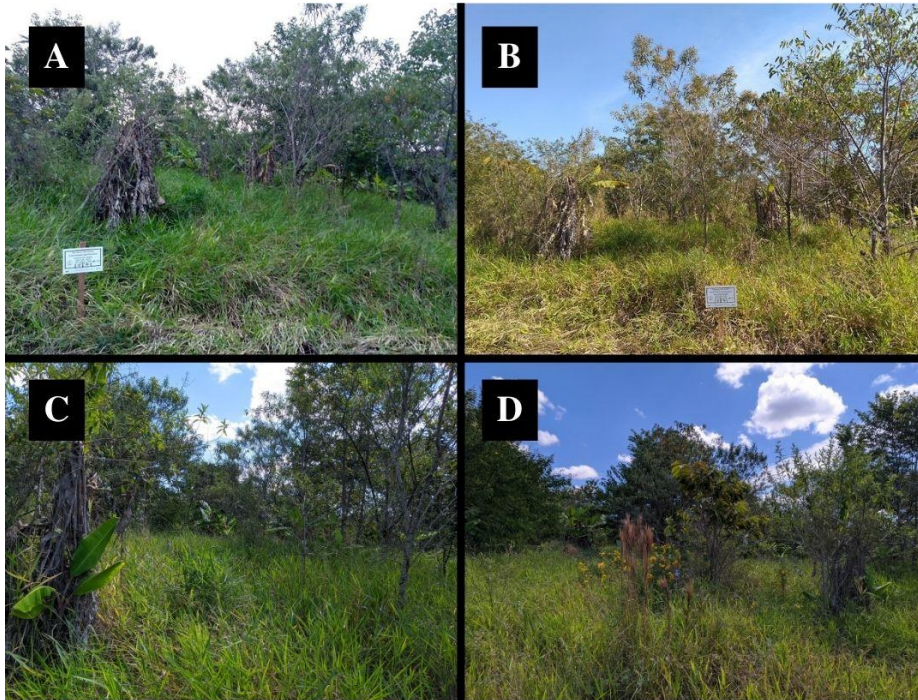
## Legenda

- 1 SAF controle
- 2 SAF manejado
- 3 Área de Pousio
- 4 Frag. Mata Atlântica (em Restauração)

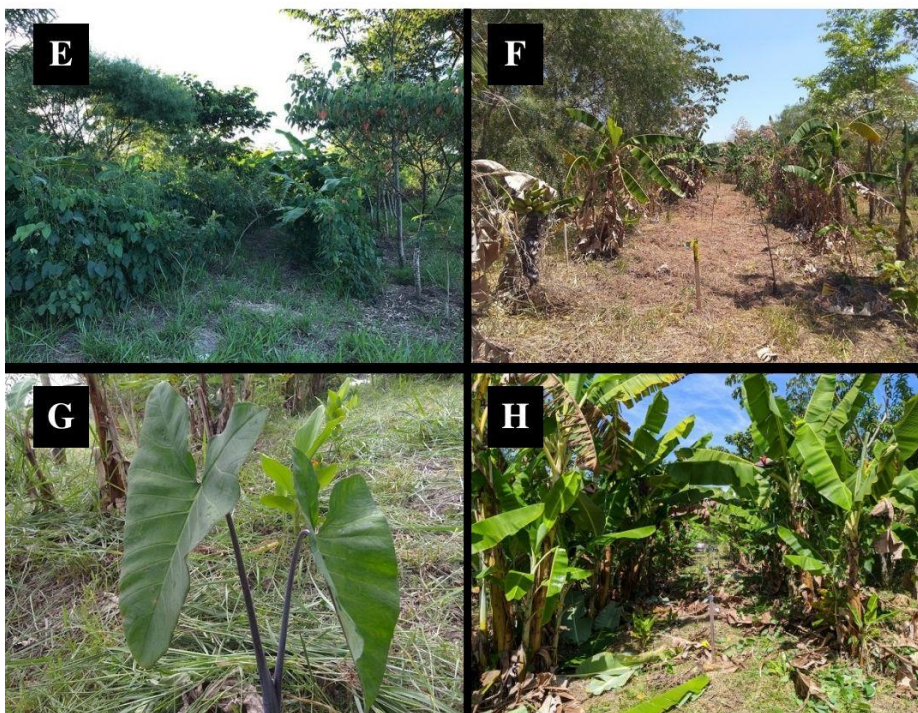
- A 0-10cm
- B 10-20cm

## MATERIAL SUPLEMENTAR 3

3

**SAF controle****Fotos do SAF Primavesi**UFSCar *campus* Sorocaba  
(-23.585622, -47.518515)**Legenda**

- A** Foto frontal (Julho/2019)
- B** Foto frontal (Agosto/2019)
- C** Foto frontal (Agosto/2020)
- D** Foto frontal (Agosto/2020)

**SAF manejado**

- E** Foto frontal (Abril/2019)
- F** Foto frontal (Outubro/2019)
- G** Inhame (*Dioscorea* sp.) e Açafraão da terra (*Curcuma longa*) na entrelinha das bananeiras (Fevereiro/2020)
- H** Entrelinha das bananeiras (Abril/2020)