

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGROECOLOGIA

IARA JAIME DE PINA

Análises química e microbiológica de solo em sistemas agroflorestais

Maringá
2016

IARA JAIME DE PINA

Análises química e microbiológica de solo em sistemas agroflorestais

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agroecologia, Mestrado Profissional, do Departamento de Agronomia, Centro de Ciências Agrárias da Universidade Estadual de Maringá, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Agroecologia.

Orientador: Prof. Dr. José Renato Stangarlin.

Coorientador: Prof. Dr. José Ozinaldo Alves de Sena.

Maringá
2016

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
(Biblioteca Campus Regional de Cianorte - UEM, Cianorte – PR, Brasil)

P645a Pina, Iara Jaime de
Análises química e microbiológica de solo em sistemas agroflorestais / Iara Jaime de Pina. -- Maringá, 2016.
79 f.: il. col. figs. tabs. mapas

Orientador: Prof. Dr. José Renato Stangarlin.
Dissertação (mestrado profissional) - Universidade Estadual de Maringá, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós Graduação em Agroecologia, 2016.

1. Sistemas agroflorestais. 2. Agroecossistemas.
3. Micro-organismos do solo. 4. Fertilidade do solo.
I. Stangarlin, José Renato, orient. II. Título.

CDD 22.ed. 634.99


MRP-003508

IARA JAIME DE PINA

ANÁLISES QUÍMICA E MICROBIOLÓGICA DE SOLO EM SISTEMAS
AGROFLORESTAIS.

Dissertação apresentada à Universidade Estadual de Maringá, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agroecologia, para obtenção do título de mestre.

APROVADA em 29 de fevereiro de 2016.



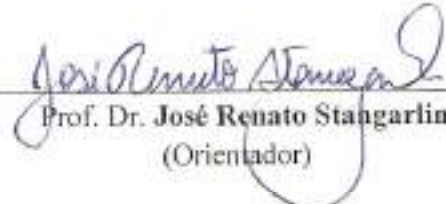
Prof. Dr. José Ozinaldo Alves de Sena



Prof. Dr. Higo Forlan Amaral



Prof. Dr. Antônio Saraiva Muniz



Prof. Dr. José Renato Stangarlin
(Orientador)

Dedico,

À vida, sob todas as suas formas, e à sua imensa capacidade de se reconstruir.

À todas as famílias sem terra que depois de anos... até conquistarem um pedacinho de chão, se desafiam em construir outra forma de fazer agricultura.

A todos os estudantes, professores e pesquisadores que, ousadamente, ainda acreditam que a ciência pode estar a serviço das demandas do povo.

Ao meu pai e minha mãe que, com muito suor, nos deram muitas oportunidades para conhecer o mundo e fazer da vida aquilo que, de fato, acreditamos.

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Prof. Dr. José Renato Stangarlin, pela orientação, paciência e simplicidade.

Ao meu coorientador, Prof. Dr. José Ozinaldo Alves de Sena, pela ousadia em construir um mestrado profissional e pelos conselhos.

Ao Prof. Dr. Higo do Amaral Forlan, pelos ensinamentos que foram determinantes para a conclusão desse trabalho.

Ao Prof. Dr. Antonio Saraiva Muniz, pelas melhores aulas de fertilidade do solo.

À Prof^a Dr^a Kátia Schwan, por sua convicção quanto à agroecologia, mesmo diante de tantos desafios.

Às famílias do assentamento Maria Lara, em especial, Anicio e Joraci, Maria Valmida e Ademir, Maria e Jurandir por acreditarem nesse trabalho e na agroecologia.

Ao Movimento dos Trabalhadores Rurais Sem Terra que ousa na luta pela Reforma Agrária popular.

Ao projeto FLORA que fez um bonito trabalho pelo Paraná, na implantação de sistemas agroflorestais.

À Cooperiguaçu que me deu muito apoio durante o mestrado.

À Jaqueline Vanelli, uma verdadeira guerreira, que com muita paciência e finais de semana de trabalho, me acompanhou nas análises laboratoriais.

A Cris, /Marta, Pablo, Nicanor e Anderson que me ajudaram nas análises, na UNIOESTE.

Ao Cesar, meu companheiro, que mesmo com chicungunha e zika vírus, me deu muito apoio e amor durante esse trabalho.

Aos amigos e amigas, em especial, Vanessa, Paula Cerruti, Ceres, Giovana, Hugo, Igã e Vivi que estiveram próximos nesse período.

Aos amigos do mestrado pelas noites de estudo, pelo apoio e parceria.

A todos os amigos que me acompanharam e acompanham nessa caminhada da construção conhecimento agroecológico, desde os tempos da graduação, da ABEEF (Associação brasileira dos estudantes de Eng. Florestal) e do grupo SAF.

A minha família que sempre me apoiou, mesmo quando os rumos apontam para caminhos distintos.

Análises química e microbiológica de solo em sistemas agroflorestais

RESUMO

Sistemas Agroflorestais (SAFs) são formas de uso do solo que consorciaram, no tempo e no espaço, a produção de espécies florestais com agrícolas e/ou animais. Diversos trabalhos atestam a potencialidade desses sistemas na melhoria da qualidade do solo. Diante disso, existe uma iniciativa em implantar SAFs no assentamento Maria Lara, localizado município de Centenário do Sul – PR. Esse trabalho objetivou avaliar o comportamento das variáveis químicas e microbiológicas do solo antes e depois do desenvolvimento de três SAFs. Para isso, cada SAF foi dividido em 04 parcelas de 7,5x10 metros cada uma, nas quais foram coletadas 02 amostras de solo (0-10 e 10-20 cm de profundidade) em novembro de 2014, fevereiro, abril, agosto e outubro de 2015. Avaliou-se a densidade populacional de fungos, incluindo fungos micorrízicos arbusculares (FMAs), bactérias, nematoides fitopatogênicos e de vida livre, carbono da biomassa microbiana (C_{mic}), pH ($CaCl_2$), H+Al, teores de matéria orgânica do solo, P, Ca, Mg, K, SB e CTC. Admitiu-se o delineamento em blocos incompletos, em esquema fatorial 3x2x5, sendo fatores: três SAFs (SAF1, SAF2 e SAF3); duas profundidades de amostragem de solo (0-10 cm e 10-20 cm) e cinco tempos (T_0 , T_1 , T_2 , T_3 e T_4), cada tratamento contou com quatro repetições. Foi feita uma abordagem multivariada de Análise de Variância Multivariada (MANOVA), com Análise de Variáveis Canônicas (AVC) dos fatores. As variáveis microbiológicas do solo responderam melhor do que as variáveis químicas frente ao manejo realizado nos SAFs. No tempo final do estudo, observou-se, nos três SAFs, aumentos para Ca, Mg, SB e CTC, além da diminuição da acidez a partir do pH. No SAF1 também se observou aumentos médios nos teores de P e K. Não houve aumentos significativos de nos teores de MOS para os SAF2 e SAF3, porém ocorreu redução dessa variável para o SAF1. Para as variáveis microbiológicas observou-se aumentos médios para nematoides de vida livre, nematoides fitopatogênicos, *Glomus macrocarpum*; *Scutellospora heterogama*; bactérias e *Penicillium* sp.; *Aspergillus* sp. e para C_{mic} .

Palavras-chave: Sistemas agroflorestais. Agroecossistemas. Micro-organismos do solo. Fertilidade do solo.

Chemical and microbiological variables soil in agroforestry

ABSTRACT

Agroforestry Systems (AFS) are forms of land use that consort, in time and space, the production of forest species with agricultural and/or animals. Several studies attest to the potential of these systems to improve soil quality. Therefore, there is an initiative in implementing these systems in the settlement Maria Lara, located in Centenário do Sul, Paraná. This study aimed to evaluate the behavior of chemical and microbiological variables of the soil before and after the development of the agroforestry systems. For this, each SAF was divided into 04 plots of 7,5x10 meters each, in which it was collected 02 soil samples (0-10 and 10-20 cm depth) in november 2014, february, april, august and october 2015. We evaluated the density of fungi, including mycorrhizal micorrízicos fungi, bacteria, pathogenic and free living nematodes, microbial biomass carbon (C_{mic}), pH ($CaCl_2$), H + Al, organic matter content soil, P, Ca, Mg, K, SB and CEC. The design was admitted in incomplete blocks, in a factorial 3x2x5, being factors: three SAF (AFS1, AFS 2 and AFS 3); two soil sampling depths (0-10 cm and 10-20 cm) and five times (T0, T1, T2, T3 and T4), each treatment had four replications. A multivariate approach by Variance Multivariate Analysis was made with Variable Analysis Canonical (AVC) of the factors. The microbiological variables soil responded better than chemical variables against the management carried out in the AFS. At the end time of the study, it was observed that, in the three AFS, increase Ca, Mg, SB and CTC and increased pH. In SAF1 also noted average increases in the levels of P and K. There were no significant increases in organic matter content for AFS2 and AFS3, but there was a reduction of this variable to the AFS1. For microbiological variables observed average increases to free-living and plant pathogenic nematodes, mycorrhizal micorrízicos fungi, *Scutellospora heterogama*, bacteria, *Penicillium* sp., *Aspergillus* sp. and C_{mic} .

Keywords: Agroforestry. Agroecosystems. Soil microorganisms. Soil fertility.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Localização do município de Centenário do Sul, dentro do Estado do Paraná e localização do assentamento de reforma agrária Maria Lara, no município de Centenário do Sul – PR.	21
Figura 2 – Mapa com a localização dos SAFs dentro do assentamento de reforma agrária Maria Lara e suas respectivas coordenadas geográficas.	22
Figura 3 – Croqui original dos três SAFs implantados.	23
Figura 4 – (a) Média mensal das temperaturas máximas, mínimas e médias em graus Celsius ($^{\circ}\text{C}$), dos meses de novembro e dezembro de 2014 e janeiro a novembro de 2015, com ênfase nos tempos de coleta das amostras de solo (T_0 = nov/2014; T_1 = fev/2015; T_2 =abr/2015; T_3 = ago/2015; T_4 = out/2015). (b) Precipitação em milímetros (mm) dos meses de novembro e dezembro de 2014 e janeiro a novembro de 2015, com ênfase nos tempos de coleta das amostras de solo (T_0 = nov/2014; T_1 = fev/2015; T_2 =abr/2015; T_3 = ago/2015; T_4 = out/2015).....	26
Figura 5 – Área do SAF com parcelas, bordaduras e esquema simplificado para amostragem de solo.....	28
Figura 6. Gráfico de dispersão baseado na Análise de Variância Multivariada (MANOVA) com Análise das Variáveis Canônicas (AVC) das características químicas e microbiológicas dos solos dos três Sistemas Agroflorestais (SAFs). As amostras de solo foram coletadas na camada de 0-10 cm e de 10-20 cm, no assentamento Maria Lara, Centenário do Sul, Paraná. Em MANOVA foram considerados os fatores SAFs, profundidades e épocas de amostragem (tempos inicial e final).....	47
Figura 7 - Autovalores da Análise de Variáveis Canônicas (AVC) do componente 1 referente às características químicas e microbiológicas dos solos dos três sistemas agroflorestais (SAFs). As amostras de solo foram coletadas nas camadas de 0-10 cm e de 10-20 cm, no assentamento Maria Lara, Centenário do Sul, Paraná.	48
Figura 8- Autovalores da Análise Variáveis Canônicas (AVC) do componente 2 referente às variáveis químicas e microbiológicas dos solos dos três sistemas agroflorestais (SAFs), no assentamento Maria Lara, Centenário do Sul, Paraná.	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Resultado da Análise Física do Solo, realizada em 2011, pelo INCRA, no Assentamento Maria Lara, Centenário do Sul, Paraná.....	27
Tabela 2 – Resultado da Análise Química do Solo, realizada em 2011, pelo INCRA, no Assentamento Maria Lara, Centenário do Sul, Paraná.....	27
Tabela 3 – p-valores encontrados a partir do teste Scott-Knott, com 5% de significância, para as médias das variáveis químicas dos solos	34
Tabela 4 – Variáveis químicas dos solos nos três SAFs, nas profundidades de 0-10 cm e 10-20 cm. Amostras coletadas antes e depois da implantação (T ₀ a T ₄). Médias de quatro repetições. Centenário do Sul, Paraná	35
Tabela 5 – p-valores encontrados a partir do teste Scott-Knott, com 5% de significância, para as médias das variáveis microbiológicas dos solos	41
Tabela 6 – Variáveis microbiológicas dos solos nos três SAFs, nas profundidades de 0-10 cm e 10-20 cm. Amostras coletadas antes e depois da implantação dos SAFs (T ₀ a T ₄). Médias de quatro repetições. Centenário do Sul, Paraná	42

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AVC	Análise de variáveis canônicas
Cfa	Clima Subtropical Úmido Mesotérmico
C _{mic}	Carbono da biomassa microbiana
CTC	Capacidade de troca catiônica
Cwa	Clima subtropical de inverno seco
EPAGRI	Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina
FMA	Fungos micorrízicos arbusculares
IAPAR	Instituto Agrônomo do Paraná
ICRAF	<i>International Center for Research in Agroforestry</i>
INCRA	Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária
LVd	Latossolo Vermelho Distrófico
MOS	Matéria orgânica do solo
NF	Nematoides fitopatogênicos
NL	Nematoides de vida livre
SAF	Sistemas agroflorestais
SB	Soma de Bases
UNIOESTE	Universidade Estadual do oeste do Paraná
V%	Saturação por Bases

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
2	OBJETIVOS	3
2.1	Objetivo Geral	3
2.2	Objetivos Específicos	3
3	REVISÃO DE LITERATURA	4
3.1	Sistemas Agroflorestais	4
3.2	Ciclagem de Nutrientes e Matéria Orgânica do Solo	7
3.2.1	Ciclagem de Nutrientes, Matéria Orgânica e a Relação com a Fertilidade do Solo ..	11
3.3	Variáveis Biológicas do Solo e sua Quantificação	13
4	MATERIAL E MÉTODOS	21
4.1	Contexto Geral e Descrição dos SAFs	21
4.2	Clima e Solo da Região	25
4.3	Amostragem de Solo e Instalação das Áreas Experimentais	27
4.4	Análise das Variáveis Químicas	29
4.5	Análise das Variáveis Microbiológicas	29
4.6	Análise Estatística	32
5	RESULTADOS	34
5.1	Análise Estatística	34
5.1.1	Fatorial para as Análises das Variáveis Químicas do Solo	34
5.1.2	Fatorial para as Análises das Variáveis Microbiológicas do Solo	39
5.2	Análise Multivariada	45
6	DISCUSSÃO	52
6.1	Variáveis químicas	52
6.2	Variáveis microbiológicas	56
6.3	Comparação entre os SAFs	62
7	CONCLUSÕES	64
	REFERÊNCIAS	65

ANEXOS	79
ANEXO 1 - Coordenadas geográficas dos pontos da amostragem de solo.....	79

1 INTRODUÇÃO

Sistemas Agroflorestais, conhecidos popularmente como SAFs, são formas de uso do solo que consorciavam, no tempo e no espaço, a produção de espécies florestais com agrícolas e/ou animais. A potencialidade dos SAFs no processo de melhoria da qualidade do solo é amplamente difundida na literatura, como nos trabalhos de Primavesi (1986), Peneireiro (1999), Porfírio-da-Silva (2001), Vega et al. (2013), Pezarico et al. (2013) e Pinto (2014).

Um dos fatores que contribuem para esse potencial é o fato do componente arbóreo atuar na translocação de nutrientes das camadas mais profundas para a superfície do solo, onde podem ficar disponíveis às raízes das plantas de menor porte. Para Vega et al. (2013), o resultado a partir do uso de SAFs é a melhoria da fertilidade superficial do solo, manutenção da cobertura e da matéria orgânica, diminuição da erosão, prevenção da infestação por ervas daninhas, melhoria na estruturação e nas propriedades biológicas do solo.

Diante dessa potencialidade, existe uma iniciativa em implantar SAFs no Assentamento Maria Lara, localizado no município de Centenário do Sul, Paraná, homologado em 2009 pelo Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA). Trata-se de uma região que se desenvolveu, historicamente, por meio da agropecuária que, a partir de 1940, permitiu a expansão da fronteira cafeeira. Isso ocasionou, primeiramente, a derrubada e a queima da mata virgem para o plantio de café e, posteriormente, a abertura de estradas e organização de patrimônios, fazendas e pequenas datas, atraindo muitos migrantes (INSTITUTO DE TERRAS, CARTOGRAFIA E FLORESTAS, 1991). Atualmente, a região é caracterizada pela monocultura de grãos e de cana-de-açúcar, praticada em grandes extensões de terra.

Esse processo histórico de uso intensivo do solo, aliado à retirada da floresta estacional semidecidual e à condição geomorfológica natural, resultou em um quadro de degradação dos solos da região que tem seus reflexos no Assentamento Maria Lara. Neste, está presente o Latossolo Vermelho Distrófico (proveniente das formações do arenito Caiuá) o qual é caracterizado pela elevada concentração de areias, pela baixa fertilidade natural, pela boa permeabilidade e drenagem excessiva (INSTITUTO DE TERRAS, CARTOGRAFIA E FLORESTAS, 1991).

Adicionalmente, o único remanescente florestal desse assentamento é a Reserva Legal, sendo que nos lotes individuais não existem nem mesmo árvores isoladas, tampouco cobertura florestal. Dessa forma, a implantação dos SAFs poderia contribuir com a arborização dos lotes, recuperação dos solos, formação de quebra-ventos, produção de

madeira e frutas para comercialização e alimentação das famílias, além de ser um potencial para promoção do fluxo gênico entre as espécies arbóreas dos SAFs e da Reserva Legal.

Diante desse contexto, o objetivo desse trabalho é avaliar o comportamento das variáveis químicas e microbiológicas dos solos, antes e depois da implantação de três sistemas agroflorestais, no assentamento Maria Lara.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Avaliar o comportamento das variáveis químicas e microbiológicas dos solos, antes e depois da implantação de três sistemas agroflorestais, no assentamento Maria Lara.

2.2 Objetivos Específicos

- Avaliar o comportamento das variáveis microbiológicas dos solos, antes e depois da implantação de três SAFs, a partir da densidade populacional de fungos, incluindo esporos de fungos micorrízicos arbusculares (FMAs), bactérias, nematoides fitopatogênicos e de vida livre, e carbono da biomassa microbiana (C_{mic}).
- Avaliar o comportamento das variáveis químicas para fins de fertilidade dos solos, antes e depois da implantação de três SAFs, a partir do pH ($CaCl_2$), acidez potencial ($H+Al$), teores de matéria orgânica do solo (MOS), fósforo (P), cálcio (Ca), magnésio (Mg), potássio (K), soma de bases (SB) e capacidade de troca catiônica (CTC).

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Sistemas Agroflorestais

Na literatura existem inúmeras definições em relação aos sistemas agroflorestais. Uma das mais utilizadas é a do *International Center for Research in Agroforestry* (ICRAF):

Agrofloresta é um sistema de uso da terra que envolve a integração socialmente e ecologicamente deliberada de árvores com culturas agrícolas e/ou animais, simultânea ou seqüencialmente, de forma a aumentar a produtividade total da propriedade, especialmente, sob condições de baixa entrada de insumos (*inputs*) e de forma compatível com as práticas de manejo da população local (NAIR, 1989, p. 14).

A Embrapa Florestas, importante centro brasileiro de pesquisa nessa área, utiliza uma definição bem semelhante:

[...] são sistemas de manejo sustentado da terra que aumentam o seu rendimento, combinando a produção de plantas florestais com cultivos agrícolas e/ou animais, simultânea ou consecutivamente, de forma deliberada, na mesma unidade de terreno, envolvendo práticas de manejo em consonância com a população local (MEDRADO, 2000, p. 270).

Sistemas Agroflorestais como “arte” são tão antigos quanto a prática da agricultura, mas sua abordagem enquanto ciência é relativamente nova (NAIR, 1989). Existem relatos que a partir da Idade Média já ocorria a prática generalizada de plantio de espécies agrícolas em consórcio com espécies florestais, na Europa. Essa mesma prática também foi observada na América tropical, Ásia e África, porém, só a partir de 1970, com os estudos de Bene¹ e outros pesquisadores que os SAFs passam a ser mais abordados no meio científico (NAIR, 1989).

De acordo com Montoya e Baggio (1992), os arranjos agroflorestais, foram tradicionalmente utilizados em muitas regiões do planeta. Para exemplificar isso, Radomski e Ribaski (2009) apontam os “faxinais” no Estado do Paraná, desenvolvidos desde 1970, os quais se baseiam na criação extensiva de animais sob áreas contínuas de floresta nativa (Floresta Ombrófila Mista ou Mata de Araucária). Nesses locais, se formaram os criadouros comunitários de suínos, bovinos, eqüinos e caprinos que se alimentavam de diferentes fontes a partir da floresta: forrageiras herbáceas e frutos nativos (guabiroba, pinhão, araticum, pitanga e canela guaicá, por exemplo). Ao redor da mata, geralmente, se cultivavam

¹ Uma obra que marca a abordagem dos SAFs no meio científico é: Bene, Beall e Cote (1977).

variedades agrícolas. Esses mesmos autores afirmam que o “sistema faxinal” é uma forma de organização social que contribui para conservar uma parcela dos atuais remanescentes de floresta com araucária, no Paraná.

O uso dos SAFs implica em uma série de benefícios amplamente difundidos na literatura e vivenciados pelos agricultores, tais como:

- Diminuição de gases de efeito estufa (JENKINS; SCHERR; INBAR, 2004; PORFÍRIO-DA-SILVA, 2005, 2006; VEGA et al., 2013).
- Atividade florestal, agrícola e/ou pecuária simultaneamente de forma a incrementar a renda e diminuir os riscos econômicos (PORFÍRIO-DA-SILVA, 2001).
- Proteção do ambiente contra temperaturas extremas, geadas e quebra-vento (PORFÍRIO-DA-SILVA, 2001, 2005; SANCHÉZ, 2001; NICODEMO et al., 2004).
- Contribuição para a formação de uma paisagem mais florestal (SANCHÉZ, 2001; VEGA et al., 2013).
- Aumento na biodiversidade da fauna e flora (KAGEYAMA, 1999; SANCHÉZ, 2001; JENKINS; SCHERR; INBAR, 2004).
- Revalorização das propriedades (SANCHÉZ, 2001).
- Melhoria da qualidade do solo a (PRIMAVESI, 1986; MARIN, 2002; VEGA et al., 2013; PINTO, 2014).

Cabe ressaltar que essas vantagens são conferidas a partir de um conjunto de práticas (planejamento, implantação e manejo) que, quando organizadas de forma adequada, permitem que cada elemento do sistema expresse seu desenvolvimento potencial.

Para Ibrahim e Camargo (2001) os SAFs têm a capacidade de armazenar C no solo por décadas e até séculos, por meio das raízes das árvores. Além disso, conservam a matéria orgânica nos solos, especialmente naqueles ácidos e pobres, que são grandes fontes de armazenamento de C.

Quanto à integração da atividade florestal, agrícola e/ou pecuária, Porfírio-da-Silva (2001) afirma que nos SAFs ocorre redução dos riscos econômicos, pelo fato de não depender de um único produto e pela minimização de fatores ambientais extremos (como geada, veranico ou estresse térmico animal). Além disso, esses sistemas de produção e as espécies utilizadas são mais voltados para mercados locais ou regionais, portanto, mais estáveis e seguros (QUEDA; KAGEYAMA; SANTOS, 2009). Vega et al. (2013) chama à atenção para

a capacidade dos SAFs em prover múltiplos produtos, como madeira, lenha, forragem, frutas e medicamentos. Além disso, Reyes e Valery (2007) destaca serviços como sombra para plantas e animais e quebra-vento, além de aumentar a biodiversidade do agroecossistema ao criar abrigo para organismos nos ramos, raízes e *litter*.

Outro aspecto relevante é que as árvores constituem uma barreira contra perdas de radiação de ondas longas durante a noite, impedindo a formação de geadas de radiação (geada branca) e os ventos gélidos e dessecantes (geada negra) (NICODEMO et al., 2004).

Porfírio-da-Silva (1994) ao estudar sistemas silvipastoris (uma modalidade de SAF na qual ocorre a integração pastagem+animais+árvores), na região noroeste do Paraná, após a ocorrência de geadas, constatou que as áreas convencionais de pastagem foram afetadas pelas geadas em 90%, contra 10% nas pastagens arborizadas.

Além disso, esses sistemas de uso do solo contribuem para diminuir a evapotranspiração das plantas herbáceas do sub-bosque e, conseqüentemente, aumentar a umidade no solo (PORFÍRIO-DA-SILVA, 2001; NICODEMO et al., 2004; DIAS-FILHO, 2005; CURADO FILHO, 2007).

OS SAFs também contribuem na proteção do ambiente contra temperaturas extremas, diminuindo as amplitudes térmicas (SANCHÉZ, 2001; NICODEMO et al., 2004; PORFÍRIO-DA-SILVA, 2005). Silva et al. (1998) registraram, nas condições do noroeste paranaense, temperaturas do ar mais elevadas em até 2 °C na posição sob as copas de renques arbóreos em noite de inverno e, durante o dia, os valores de temperatura do ar atingiram até 8 °C de diferença entre as posições sombreadas e ensolaradas.

Ainda sobre a potencialidade dos SAFs, cabe ressaltar que quando implementados em regiões onde ocorre intensa fragmentação e isolamento de remanescentes florestais naturais, permitem com que o elemento arbóreo sirva como corredor biológico, auxiliando no ligamento destes remanescentes florestais (PORFÍRIO-DA-SILVA, 2005).

Jenkins, Scherr e Inbar (2004) argumentam que os SAFs têm importante papel na conservação da biodiversidade em áreas desmatadas e com paisagens fragmentadas, provendo habitats e recursos para as espécies de plantas e animais, mantendo a conexão da paisagem e, assim, facilitando a movimentação de animais, sementes e pólen. Ou seja, tornam as condições de sobrevivência menos ásperas para as populações da floresta, reduzindo a frequência e intensidade de incêndios, reduzindo potencialmente os efeitos de da fragmentação da paisagem a partir de zonas de amortecimento.

Outro aspecto importante dos SAFs argumentado por Kageyama (1999) é a tendência a diminuir a infestação por pragas e doenças quando a diversidade de espécies existentes

nesses agroecossistemas atinge o equilíbrio ecológico.

Por fim, cabe ressaltar a potencialidade dos SAFs na recuperação dos solos, os trabalhos de Ibrahim e Camargo (2001); Jenkins, Scherr e Inbar (2004); Sánchez (2001); Veiga et al. (2001); Primavesi (2002); Porfírio-da-Silva (2006) e Vega et al. (2013) argumentam nesse sentido. O elemento arbóreo pode ajudar a preservar a qualidade do solo, pois o sistema radicular das árvores, geralmente denso e profundo, tem potencial de absorver os nutrientes nas camadas mais profundas do solo e favorecer, pela ciclagem de nutrientes, as forrageiras ou outros cultivos de enraizamento superficial, podendo diminuir a dependência de entradas externas de nutrientes (adubações) (PORFÍRIO-DA-SILVA, 2001; VEIGA et al., 2001). Os trabalhos de Dias-Filho (2005) e Curado Filho (2007) afirmam uma tendência em reduzir o uso de fertilizantes minerais em SAFs devido à diminuição das perdas de nutrientes por processos como lixiviação e erosão, desdobrando no aumento da disponibilidade dos mesmos.

Outro fator importante é uso de espécies leguminosas que possuem potencial para nodulação e promovem associações simbióticas com bactérias que, por sua vez, promovem a fixação biológica de nitrogênio que, conforme Zehr et al. (2003), contribui para melhorar a produtividade das lavouras.

Menezes et al. (2009) ressaltam que nos SAFs, o manejo utilizado aumenta a adição de fitomassa no sistema agrícola o que tende a aumentar a atividade microbiana no solo (MENEZES et al., 2009). Para Franchini et al. (2007) a atividade dos micro-organismos é mantida constante nesses sistemas, pois o uso do solo não é revolvido durante o tempo de condução e as podas do manejo das árvores preservam a fonte energética dos micro-organismos edáficos.

3.2 Ciclagem de Nutrientes e Matéria Orgânica do Solo

Em diversos trabalhos o aumento nos teores de matéria orgânica e a ciclagem de nutrientes são citados como os principais motivos da recuperação dos solos a partir do uso de sistemas agroflorestais, como abordado em Peneireiro (1999); Franke e Furtado (2001); Nicodemo et al. (2004) e May e Trovatto (2008).

Para Gliessman (2008), a ciclagem de nutrientes nos ecossistemas está relacionada ao fluxo de energia: a biomassa é transferida entre os níveis tróficos contendo tanto energia em ligações químicas quanto matéria servindo como nutrientes. Esse autor explica que uma vez que componentes bióticos e abióticos estão envolvidos nesses ciclos, eles são referidos

como ciclos biogeoquímicos. Esse mesmo autor também argumenta que para C, O e N, a atmosfera funciona como reservatório abiótico principal, de forma que é possível visualizar ciclos que assumem um caráter global. Já os elementos menos móveis são ciclados localmente, o solo é o reservatório abiótico principal, como é o caso do P, S, K, Ca e a maior parte dos micronutrientes.

Esses nutrientes são absorvidos pelas raízes das plantas, armazenados por um período de tempo como biomassa e retornados, finalmente, ao solo, dentro do mesmo ecossistema por decompositores. Nesse contexto, para dinamizar ainda mais a ciclagem de nutrientes e garantir um aporte regular de MOS, os sistemas agrofloretais adotam a poda como uma das principais práticas de manejo, principalmente, das espécies arbóreas.

Peneireiro (1999) atribuiu ao manejo da vegetação, com destaque às podas regulares, como o principal responsável pelas diferenças encontradas ao comparar quimicamente os solos de um SAF aos 12 anos de idade e uma capoeira submetida ao pousio, ambas as áreas com mesmo histórico, mesmo tipo de solo (Latosolo Amarelo Podzólico Distrófico) e mesma idade, na região de Floresta ombrófila densa sub-montana, no sul da Bahia. A autora encontrou valores sete vezes mais altos de P lábil (na profundidade de 0-5 cm) para o SAF quando comparado à capoeira. Os teores de Ca e Mg também apresentaram diferenças significativas (na profundidade de 0-5 cm). O SAF apresentou médias de 110 e 82 mmol_c/kg de Ca e Mg, respectivamente, sendo que a capoeira apresentou médias de 54,6 e 17,4 mmol_c/kg para Ca e Mg. Nesse mesmo trabalho, os valores médios relativos a V% e SB mostraram diferença estatística entre as duas áreas comparadas. Para a profundidade de 0 a 5 cm, o valor médio de V% foi de 41% e a SB foi de 73 mmol_c/kg para a área de capoeira, enquanto que para o SAF as médias foram de 83% e 195 mmol_c/kg, respectivamente. O manejo que dinamizou a ciclagem de nutrientes e garantiu grande aporte de matéria orgânica foi indicado, pela autora, como o principal responsável pela melhoria da fertilidade do solo no sistema agroflorestral.

May e Trovatto (2008), em seu relatório para avaliar a funcionalidade dos SAFs em Áreas de Preservação Permanente, no Espírito Santo, confirmaram que, em dois terços dos casos levantados, a serrapilheira e a cobertura morta também oriundas da poda das árvores forneceram matéria orgânica em volume significativo. Essa matéria orgânica do solo (MOS) apesar de estar em pequenas proporções quando comparada com a fração mineral, na ordem de 0,5% a 5,0% (SILVA; CAMARGO; CERETTA, 2012), produz efeitos substanciais nas propriedades químicas, físicas e biológicas do solo.

A MOS é um espectro de material orgânico que envolve desde compostos lábeis, que

mineralizam rapidamente até compostos recalcitrantes, que acumulam gradativamente (VEZZANI; MIELNICZUK, 2011). Para esses autores, a fração lábil consiste, principalmente, de resíduos de plantas nos estágios iniciais de decomposição e células microbianas. Para Mielniczuk (2008), essa fração lábil apresenta alta taxa de decomposição e um curto período de permanência no solo.

Já a fração recalcitrante representa, em média, dois terços da MOS do solo e é composta por substâncias húmicas (ácidos húmicos, ácidos fúlvicos e huminas) altamente polimerizadas, uma mistura de moléculas complexas e de vários tamanhos e formas (VEZZANI; MIELNICZUK, 2011). Esses autores afirmam que as substâncias húmicas são produzidas através da ação microbiana sobre os resíduos vegetais, sendo que apresentam longa persistência no solo.

Para Brady e Weil (2013), a abordagem mais útil da qualidade da MOS é aquela que reconhece as diferentes frações ou compartimentos de C orgânico de acordo com a susceptibilidade ao metabolismo microbiano. A partir disso, afirmam que a MOS total do solo é formada pela MOS ativa, MOS lenta e MOS passiva. A primeira consiste nas frações lábeis e com meia-vida de dias ou anos incluindo a matéria orgânica viva da biomassa (tecidos intactos de plantas, animais e micro-organismos); pequenos fragmentos de detritos, denominados de matéria orgânica particulada; e muitos polissacarídeos e outras substâncias não-húmicas. Este compartimento ativo pode ser aumentado com facilidade pela adição de resíduos de origem animal e vegetal; no entanto é também muito facilmente perdido quando tais adições são reduzidas. Esse compartimento raramente abrange mais de 10 a 20% da MOS total do solo. Para esses autores, a susceptibilidade do compartimento ativo à mudança rápida explica porque, mesmo alterações relativamente pequenas na MOS total do solo podem produzir transformações significativas e importantes nas propriedades do solo. Enquanto que o compartimento passivo da MOS consiste em materiais muito estáveis, inclusive protegidos fisicamente por complexos argila-húmus, permanecendo no solo por centenas ou milhares de anos e compreende 60 a 90% da MOS total. E por fim, o compartimento lento que é intermediário entre o ativo e o passivo.

A matéria orgânica, mesmo quando em pequena quantidade, afeta de forma significativa as propriedades do solo.

Sobre as propriedades físicas, Primavesi (2002) destaca que a MOS auxilia no fornecimento de substâncias agregantes do solo, tornando-o grumoso, com bioestrutura estável às chuvas. Six et al. (2004) ressalta o papel da MOS na estabilidade dos agregados, sendo que quando humificada, a MOS, juntamente com os argilominerais, são os dois agentes

cimentantes que mais contribuem para a agregação do solo além de contribuir com a retenção de água pelo solo, pois melhora a taxa de infiltração, como também a capacidade de retenção d'água.

A MOS também fornece substrato para promover os processos biológicos do solo por meio da manutenção do metabolismo energético. Isso está ligado à fixação do carbono atmosférico pela fotossíntese e à liberação de compostos orgânicos via exsudatos radiculares e decomposição/mineralização dos resíduos vegetais (SILVA; MENDONÇA, 2007). Dessa forma, uma diversidade de compostos orgânicos entra no solo, servindo de substrato para os macro e micro-organismos, podendo ser assimilados, liberados como produtos metabólicos ou respirados, como o CO₂. Esse processo é chave para a manutenção da ciclagem e preservação dos nutrientes em formas disponíveis para as plantas. Moreira e Siqueira (2006) argumentam que o solo é um grande incinerador biológico, uma máquina biotransformadora operada pelos organismos que nele se prolifera, isso torna o um importante regulador de processos globais, atuando nas trocas gasosas e fluxo de nutrientes nos sistema solo-vegetação-atmosfera, sendo que os processos de decomposição e mineralização são determinantes para essa dinâmica.

Está amplamente difundida na literatura a ideia de que quanto maior o teor de matéria orgânica no solo, maior será a capacidade do solo em resistir às mudanças em seu pH, conforme trabalhos de Primavesi (2002), Silva e Mendonça (2007), Souza, Miranda e Oliveira (2007) e Silva, Camargo e Ceretta (2012).

Franchini et al. (1999) aos testarem o efeito da incubação resíduos de nabo, soja e trigo sobre as propriedades químicas em latossolos, constataram aumentos no pH (em H₂O e CaCl₂), e diminuição de H⁺Al. Os autores alegam que a elevação de pH com a adição de resíduos vegetais, apesar de ser um resultado comum em estudos dessa natureza, ainda não existe um consenso sobre as reais causas desse resultado. Uma das possibilidades apontadas é a reação de troca entre H e Al, os principais cátions ácidos do solo, por Ca, Mg e K e presentes no resíduo vegetal, aumentando a saturação de bases. Outro fator é a complexação de Al por compostos orgânicos e a reação de troca de ligantes entre ânions orgânicos e OH terminal em óxidos de Fe e Al.

Adicionalmente, diversos trabalhos relacionam a MOS ao aumento de CTC no solo. Silva e Mendonça (2007) afirmam que a MOS contribui de 20% a 90% da CTC nas camadas superficiais dos solos minerais e, praticamente, toda a CTC de solos orgânicos. Para esses autores, em solos tropicais, com cargas predominantemente variáveis, dependentes de pH, em estágio avançado de intemperismo, com predominância em caulinita e hidróxidos de ferro e alumínio, a contribuição da matéria orgânica é maior, principalmente, em baixos teores de

argila.

Silva, Camargo e Ceretta (2012) explicam que as cargas negativas geradas na superfície da matéria orgânica são balanceadas por cátions que se encontram na solução do solo por meio de interações de natureza eletrostática relativamente fracas. Assim, diversos cátions que são essenciais à nutrição de plantas podem estar prontamente disponíveis devido à facilidade com que são liberados para a solução do solo à medida que são absorvidos.

A MOS também possui a capacidade de complexar metais pesados. De acordo com Silva, Camargo e Ceretta (2012) esses metais em solução do solo podem estabelecer uma relação estável com a matéria orgânica por uma ligação covalente de caráter mais forte. Quando essa ligação ocorre em dois ou mais pontos da molécula orgânica, se forma um complexo metálico (quelato). Para esses autores, esse processo afeta o destino desses metais no solo e nas águas, podendo se desdobrar em um efeito benéfico ou maléfico. De acordo com a mesma referência, a MOS pode também interagir com outras moléculas orgânicas, como por exemplo, herbicidas.

3.2.1 Ciclagem de Nutrientes, Matéria Orgânica e a Relação com a Fertilidade do Solo

O P é um nutriente essencial para o desenvolvimento de plantas as quais absorvem grande parte desse nutriente quando o mesmo está disponível, acumulando cerca de 0,25% do peso seco (GLIESSMAN, 2008). Porém, Lopes e Guilherme (2007) afirmam que o processo de intemperismo em regiões tropicais e subtropicais resultou na alta capacidade de adsorção de fósforo por parte do solo (que não ficará disponível às plantas), sendo que essa adsorção possui limitada reversibilidade.

Nesse contexto, Novais, Smith e Nunes (2007) levantam a seguinte questão, ao utilizar o raciocínio fonte-dreno na relação solo-planta, a planta é considerada um dreno e o solo fonte de fósforo. Porém, em solos fortemente intemperizados, essa alta capacidade de adsorção de fósforo pode tornar o solo um dreno em relação a esse nutriente. Assim, a tendência de uma floresta tropical, que é um pequeno dreno em relação ao solo, seria perder, gradualmente, o fósforo da biomassa para o solo por meio da ciclagem de nutrientes. Porém, esses autores argumentam que, praticamente, não deve ocorrer contato entre o P ciclado com a fase mineral desses solos. A planta (floresta) absorveria diretamente do que mineralizasse do substrato orgânico (“*litter*”) ou da fase orgânica sem dar chances ao substrato mineral do solo de se envolver nesse equilíbrio.

Ainda sobre esse tema, Peneireiro (1999) argumenta que apesar da pobreza de

nutrientes freqüentemente ser um fator limitante em áreas de florestas tropicais pluviais, a presença da floresta modifica este panorama. Isto acontece, pois as árvores desenvolveram mecanismos de conservação de nutrientes, que permitem a sua permanência e crescimento. Essa autora, baseada nos estudos Golley et al. (1978)² e Jordan e Herrera (1981)³, esclarece que a maioria dos mecanismos do sistema (relativos à adaptações das plantas e às interrelações entre plantas, organismos, matéria orgânica e solo) propiciam uma transferência muito eficiente de nutrientes da matéria orgânica para as raízes das árvores em desenvolvimento, através da decomposição de matéria orgânica do solo e da serapilheira. Baseada nos estudos de Jordan (1990)⁴, a autora também alega que:

[...] uma vez os nutrientes incorporados nos tecidos dos organismos da comunidade do solo não podem ser facilmente perdidos pela lixiviação, volatilização ou reação com ferro e alumínio, no caso do fósforo, sendo esta uma estratégia importante que propicia ecossistemas abundantes em vida sobre condições aparentemente de baixa fertilidade. Isso sugere que a melhor abordagem efetiva para o manejo de áreas originariamente ocupadas com florestas tropicais seria adotar sistemas que mantenham, o máximo possível, a estrutura florestal, pois a comunidade do solo depende diretamente de um “input” constante de matéria orgânica (JORDAN, 1990 apud PENEIREIRO, 1999, p. 45).

Essa é a explicação dada pela autora que em seu trabalho, já citado anteriormente, encontrou valores sete vezes mais altos de fósforo lábil (na profundidade de 0-5 cm) para o SAF (12 anos de idade) quando comparado à capoeira em regeneração, ambos localizados no mesmo tipo de solo, com o mesmo histórico e idade.

Bonato et al. (1998) também argumenta que a MOS resultante da decomposição biológica de micro-organismos, animais e, principalmente, vegetais, é responsável por fornecer de 5% a 60% do fósforo total do solo. Novais e Smyth (1999) estudaram amostras de 17 solos brasileiros os quais apresentaram valores médios de P orgânico total de 50 mg/kg, representando de 13% a 47% do P total do solo.

Brookes et al. (1984)⁵, citados por Novais, Smith e Nunes (2007), alegam que o aumento do fósforo orgânico em solos reflorestados, anteriormente com cultivos, ao longo dos anos está intimamente relacionado com o conteúdo de fósforo da biomassa de micro-

² GOLLEY, F. B.; MCGINNIS, J. T.; CLEMENTS, R. G.; CHILD, G. I.; DUEVER, M. J. **Ciclagem de minerais em ecossistema de floresta tropical úmida**. São Paulo: EPU/EDUSP, 1978. 256 p.

³ JORDAN, C. F.; HERRERA, R. Tropical rain forests: nutrients really critical? **The American Naturalist**, Arizona, v. 117, p. 167-180, 1981.

⁴ JORDAN, C. F. Nutrient cycling processes and tropical forest management. In: GÓMEZ-POMPA, A.; WHITMORE, T. C.; HADLEY, M. **Rain forest regeneration and management**. Paris: UNESCO, 1990. p. 159-180. (Man and The Biosphere Series, v. 6).

⁵ BROOKES, P. C.; POWLSON, D. S.; JENKINSON, D. S. Phosphorus in the soil microbial biomass. **Soil Biology Biochemistry**, Oxford, v. 16, p. 868-877, 1984.

organismos.

Para Novais, Smith e Nunes (2007), em termos gerais, a concentração crítica de 2 g/kg de fósforo no resíduo mantém os processos de mineralização e imobilização em equilíbrio. Acima de 0,2% ou 2 g/kg predomina a mineralização; abaixo, a imobilização.

Já o potássio (K) corresponde de 1% a 2% da matéria seca das plantas (GLIESSMAN, 2008). De acordo com Ernani, Almeida e Santos (2007), o teor de K na matéria orgânica do solo é extremamente pequeno, pois se restringe à fração orgânica viva, pois não integra nenhum composto orgânico estável. Sendo assim, esses autores argumentam que o K é lavado do material orgânico logo após a morte das células. Assim, as principais fontes naturais de potássio no solo provêm do intemperismo químico dos minerais primários, mas o intemperismo é um fator que também auxilia na lixiviação do nutriente.

3.3 Variáveis Biológicas do Solo e sua Quantificação

De acordo com Amaral (2008), um ponto-chave para a avaliação do solo são os constituintes vivos os quais são, primordialmente, responsáveis pela manutenção da qualidade nesse ambiente, pois reciclam toda a matéria morta. Ainda que algumas teorias mais recentes considerarem a mineralização da MOS dividida em dois estágios, um biótico e outro abiótico (KEMMITT et al., 2008⁶ apud AMARAL, 2008), os micro-organismos exercem papel fundamental na decomposição e ciclagem da MOS.

Wagg et al. (2014) conduziram um experimento simulando o ambiente de interface solo-planta de uma pradaria européia a fim de avaliar a influência da biodiversidade e da composição da comunidade do solo com as funções ecossistêmicas. Esses autores, utilizando um novo sistema de experimentação que altera os níveis de diversidade e composição da biota do solo (fungos, FMAs, bactérias, nematoides e biomassa microbiana) constataram que reduções na abundância e presença de organismos no solo resultaram no declínio de múltiplas funções do ecossistema. Desdobrou-se na diminuição das taxas de seqüestro de carbono, de decomposição do *litter*, de reincorporação do nitrogênio liberado do *litter* de volta para tecidos subterrâneos das plantas e, principalmente, diminuição da diversidade de plantas. Paralelamente, ocorreu o aumento das taxas de emissão de N₂O e de lixiviação de fósforo.

⁶ KEMMITT, S. J.; LANYON, C. V.; WAITE, I. S.; WEN, Q.; ADDISCOTT, T. M.; BIRD, N. R. A.; O'DONNELL, A. G.; BROOKES, P. C. Mineralization of native soil organic matter is not regulated by the size, activity or composition of the soil microbial biomass – a new perspective. **Soil Biology e Biochemistry**, Oxford, v. 40, n. 1, p. 61-73, 2008.

Também foi constatado que ocorreu um declínio na produtividade de leguminosas, com o empobrecimento na biodiversidade do solo, enquanto que a produtividade das gramíneas aumentou em solos com biodiversidade menor, totalizando até 92% da produtividade primária líquida. Assim, esses resultados reafirmam a hipótese de que a diversidade de organismos no solo pode reduzir a perda de nutrientes por lixiviação e mantê-los na ciclagem entre as comunidades acima e abaixo do solo; altera o processo de transformação do nitrogênio, resultando no aumento de emissão de N₂O (importante gás de efeito estufa) e, por fim, reafirma que alterações na comunidade e perda de biodiversidade do solo ameaçam a multifuncionalidade e sustentabilidade do ecossistema.

A biomassa microbiana é definida como a parte da MOS constituída pelos organismos vivos com volume menor do que $5 \times 10^3 \mu\text{m}^3$ e engloba, principalmente organismos de Archea, Bacteria, Fungi e Proctista, mas também alguns do reino Animalia, como os nematoides (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). Estima-se que em uma grama de solo contém um bilhão de células bacterianas e até duzentos metros de hifas fúngicas e uma vasta gama de ácaros, nematoides, minhocas e artrópodes (ROESCH et al., 2007; BARDGETT, 2005⁷ apud WAGG et al., 2014). Dentro dessa diversidade, fungos e bactérias são os micro-organismos mais estudados na literatura (MOREIRA; HUISING; BIGNEEL, 2010).

Os fungos têm função vital na produção primária, sejam eles parasitas e simbioses ou saprófitas que agem diretamente sobre a decomposição da matéria orgânica (STAMFORD et al., 2005b). Esses autores ressaltam ainda a importância desses micro-organismos na solubilização de nutrientes, na agregação do solo (estrutura) e na ação predatória, capturando parasitas, amebas e nematoides. Barron (1982⁸ apud BENTO et al., 2004), afirma que mais de 150 espécies fúngicas são conhecidas por atacarem os nematoides e seus ovos.

Os fungos são os organismos que ocorrem em maior quantidade nas camadas superficiais dos solos, em função do alto teor de matéria orgânica e onde a condição aeróbica é mais expressiva (BENTO et al., 2004). Segundo Stamford et al. (2005b), esses micro-organismos predominam na rizosfera e nos poros do solo próximos às raízes. Alexander (1977⁹ apud STAMFORD et al., 2005b), argumenta que são encontrados no solo com variação entre 10^4 a 10^6 unidades formadoras de colônias (UFC)/g de solo.

Já a micorriza é uma associação simbiótica entre fungos benéficos e específicos do

⁷ BARDGETT, R. **The biology of soil: a community and ecosystem approach**. New York: Oxford University Press, 2005. 245 p.

⁸ BARRON, G. L. Nematode destroying fungi. In: BURNS, R. G.; SLATER, J. H. (Ed.). **Experimental microbial ecology**. Oxford: Blackwell scientific publications, 1982. 533 p.

⁹ ALEXANDER, M. **Introduction to soil microbiology**. 2. ed. New York: John Wiley, 1977.

solo e raízes de plantas, que resulta na melhoria na utilização e conservação de nutrientes, além do aumento da capacidade de absorção, principalmente do fósforo (MIRANDA; MIRANDA, 1997). Para Duarte (2005) o grupo de micorrizas com maior interesse agrônomo, são os fungos micorrízicos arbusculares (FMAs). Além de serem predominantes nos ecossistemas tropicais, são capazes de formar associações simbióticas com 95% das espécies de plantas, inclusive a maioria das espécies cultivadas. Para Colozzi-Filho e Nogueira (2007) o resultado dessa associação simbiótica é a ampliação da interface de conexão entre planta e solo por meio do micélio formado externamente às raízes. Esses autores ainda alegam que os benefícios dessa relação para as plantas envolvem maior atividade fotossintética, maior atividade enzimática e de produção de substâncias reguladoras de crescimento.

Stamford et al. (2005b) afirmam que os FMAs possuem ação direta no aumento da disponibilidade de nutrientes essenciais e na resistência à seca e ao calor, bem como pela sua interação com fitopatógenos, aumentando a resistência das plantas. Colozzi-Filho e Nogueira (2007) ainda argumentam maior resistência ao ataque de pragas e a déficits nutricionais.

Siqueira e Franco (1988) alegam que plantas colonizadas por FMAs têm seus requerimentos nutricionais reduzidos à metade ou até a 1/10 quando comparadas àquelas não micorrizadas. Para Colozzi-Filho e Nogueira (2007) esses efeitos são mais acentuados para nutrientes que possuem baixa mobilidade no solo, como P, Zn e Cu, para maioria das plantas.

É importante também ressaltar a importância dos fungos na agregação dos solos, em especial, os FMAs que a partir das hifas que constituem a estrutura desses micro-organismos junto aos exsudatos liberados na rizosfera auxiliam na agregação de partículas primárias para a formação, posterior, de agregados mais estáveis que irão influenciar no ecossistema e na estabilidade e na estrutura do solo, influenciando os processos de infiltração e manutenção da água no solo, aeração, menor compactação na superfície do solo e maior resistência à erosão (GONZÁLEZ-CHÁVEZ; GUTIÉRREZ-CASTORENA; WRIGHT, 2004).

Por fim, cabe destacar um grupo de grande importância nas interações com os fungos micorrízicos que são as bactérias denominadas como Rizobactérias Promotoras de Crescimento de Plantas (PGPR), ou seja, micro-organismos como *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Rhizobium* e *Azotobacter*, entre outros, que são colonizadores das raízes, e que podem promover incremento no crescimento de plantas, ou ocasionalmente podem atuar como agentes antagonistas de micro-organismos fitopatogênicos (STAMFORD et al., 2005b).

Estima-se que o número de espécies de bactérias em um grama de solo varia entre 2

mil a 8,3 milhões (GANS et al., 2005¹⁰; SCHLOSS; HANDELSMAN, 2006¹¹ apud BENTO et al., 2004). As bactérias são responsáveis por inúmeras transformações relacionadas ao solo, como citadas por Bento et al. (2004): ciclagem de nutrientes; formação e decomposição de matéria orgânica; formação da estrutura do solo e ação antagonista contra insetos e patógenos de plantas.

Stamford et al. (2005b) ressaltam ainda a mineralização e a imobilização de nutrientes, a fixação biológica do nitrogênio atmosférico, a nitrificação e desnitrificação e a formação de compostos gasosos (metano, gás carbônico e gás sulfídrico, entre outros). Drautz e Zahner (1986¹²; SCHIPPERS et al., 1987¹³ apud STAMFORD et al., 2005b), ainda relatam as seguintes funções atribuídas a um grupo específico de bactérias, os actinomicetos: solubilização de fosfatos, fixação do nitrogênio em não leguminosas (plantas actinorrízicas), produtores de antibióticos e atuação na imunidade de plantas contra patógenos.

Stamford et al. (2005b) afirmam que, geralmente, as bactérias se concentram dentro ou próximas aos excrementos fecais da micro e mesofauna do solo, em restos da parede celular das raízes, nos pequenos espaços vazios formados entre as partículas do solo e nos agregados argila-matéria orgânica. Esses mesmos autores explicam que células bacterianas, aderidas à superfície das partículas (colóides) do solo ou agregados, estão submersas em uma esfera iônica que se desenvolve ao redor da superfície adsorvente. Esse comportamento é menos pronunciado nas hifas dos fungos. Para os autores, essa ionosfera é de fundamental importância para a sobrevivência, para o metabolismo interno desses micro-organismos e para a atividade das suas enzimas extracelulares. Esses colóides, tanto os inorgânicos quanto os orgânicos, além de interferirem nas características físico-químicas do solo, interagem diretamente com as células bacterianas, através de suas propriedades, formando flocos ou agregados argila-bactéria.

Ainda sobre os micro-organismos do solo, Miranda e Miranda (1997) afirmam que fungos e bactérias podem estabelecer relações simbióticas com plantas, aumentando assim a

¹⁰ GANS, J.; WOILINSKY, M.; DUNBAR, J. Computational improvements reveal great bacterial diversity and high metal toxicity in soil. *Science*, [S. l.], v. 309, p. 1387-1390, 2005.

¹¹ SCHLOSS, P. D.; HANDELSMAN, J. Toward a census of bacteria in soil. *PLOS Computational Biology*, California, v. 2, p. 786-793, 2006.

¹² DRAUTZ, H.; ZAHNER, H. New microbial metabolites. In: SZABO, G.; BIRO, S.; GOODFELOW, M. (Ed.). *Biological, biochemical and biomedical aspects of actinomycetes*. Budapest: Akademiai Kiadó, 1986. p. 227-234.

¹³ SCHIPPERS, B.; BAKKER, A. W.; BAKKER, H. M. Interactions of deleterious and beneficial rhizosphere microorganisms and effect of cropping practices. *Annual Review Phytopathology*, Palo Alto, v. 25, p. 339-358, 1987.

capacidade de resistência a estresses, como o déficit hídrico ou baixas concentrações de nutrientes, e ainda podem causar alterações químicas e físicas no solo.

A densidade populacional, a atividade e a sobrevivência dos diferentes grupos de micro-organismos de uma comunidade, como fungos e bactérias, dependem de diversos fatores ligados à dinâmica ecológica dessas populações, mas também a fatores ambientais. Alguns desses fatores são a composição do solo, textura, porosidade e teor de matéria orgânica.

Um micro-habitat que vale a pena ressaltar é a rizosfera. Bento et al. (2004) argumentam que a diversidade de organismos próximos à ela é geralmente superior àquela encontrada em solo livre de raízes. Isso porque na rizosfera é produzida uma séria de exsudatos pelas raízes, compostos por carboidratos assimiláveis e proteínas que aceleram a atividade e, conseqüentemente, a fixação dos nutrientes atraindo inúmeros micro-organismos, sendo que esse micro-habitat que interfere na vida dos micro-organismos também sofre influência recíproca em relação à atividade biológica dos mesmos.

Os benefícios da biota do solo no entorno das raízes estabelece e acelera processos bioquímicos afetando o crescimento e desenvolvimento da vegetação e está relacionado ao incremento de nutrientes disponíveis e à produção de substâncias que estimulam o crescimento vegetal enquanto inibe organismos parasitas e patógenos (LARA; ECHEVERRÍA, 2007)

Por fim, uma questão que está intimamente ligada à sobrevivência e atividade dos micro-organismos é a qualidade e quantidade de resíduos culturais, pois estes constituem uma importante fonte e reservatório de nutrientes, além de proporcionarem menores oscilações térmicas e hídricas do solo. Hungria et al. (1995) explicam que os sistemas de cultivo que utilizam espécies diferentes de planta alteram a quantidade e melhoram a qualidade do material vegetal incorporado ao solo. Nesse contexto, a diversificação de espécies vegetais, além de favorecer a melhor exploração do solo, pode ainda aumentar sua cobertura e contribuir para a biodiversidade microbiana, conforme os trabalhos de Parkinson e Coleman (1991) e Peneireiro (1999).

A magnitude e duração dos fatores ambientais sobre os micro-organismos do solo são difíceis de serem avaliados, mas há indícios de que os micro-organismos do solo sofrem grandemente a ação desses efeitos. Bento et al. (2004), se utilizando dos trabalhos de McLaughlin e Mineau (1995)¹⁴, argumentam que do ponto de vista dos diferentes sistemas

¹⁴ MCLAUGHLIN, A.; MINEAU, P. The impact of agricultural practices on biodiversity. **Agriculture**, 17

agrícolas, o surgimento de pragas do solo pode estar intimamente associado aos impactos negativos sobre os micro-organismos do solo e à perda dos micro-habitats, ou seja, o manejo agrícola historicamente praticado beneficiou um grupo populacional (como, por exemplo, as pragas) em detrimento de outros grupos.

Nesse contexto, mudanças quantitativas e qualitativas da população microbiana do solo refletem alterações na qualidade desse ambiente, conforme argumentado por Amaral (2008). Esse mesmo autor explica que essas variações são potencialmente úteis como indicadores dos efeitos das culturas e dos manejos do solo. Porém, esses parâmetros microbianos não demonstram precisamente a diversidade específica das populações microbianas, ferramenta útil para o aprofundamento das mudanças ocorridas nos agroecossistemas (AMARAL, 2008).

Para Fortes Neto, Fernandes e Jahnel (2007) as análises microbiológicas são úteis na avaliação da qualidade do solo, porém é necessário o uso de diversas análises ao mesmo tempo para se ter uma ideia precisa das interferências ocorridas no solo. Esses mesmos autores elencam alguns parâmetros microbiológicos do solo muito utilizados na atualidade: a biomassa microbiana (que pode ser determinada por métodos de fumigação-incubação e fumigação-extração); a respiração da microbiota; a quantificação de micro-organismos e a atividade enzimática.

Balota et al. (2004) argumenta que as variações no solo se refletem de maneira mais rápida na biomassa microbiana quando comparada às propriedades químicas do solo. Para Schloter, Dilly e Munch (2003¹⁵ apud AMARAL, 2008), essa dinamicidade se dá pelo fato da biomassa apresentar rápida ciclagem, respondendo intensamente a flutuações sazonais de umidade e temperatura, ao cultivo e ao manejo de resíduos, sendo um indicador mais sensível das mudanças nos níveis de MOS do que o teor de C orgânico.

Oliveira, Mendes e Vivaldi (2001) argumentam que as determinações do carbono da biomassa microbiana do solo (C_{mic}) são importantes para avaliação do tamanho do reservatório mais ativo e dinâmico da matéria orgânica do solo, o qual é constituído basicamente por fungos, bactérias e actinomicetos. Para isso, esses autores argumentam que os métodos mais utilizados são: clorofórmio-fumigação-incubação (CFI) (JENKINSON;

Ecosystems e Environment, Amsterdam, v. 55, p. 201-212, 1995.

¹⁵ SCHLOTER, M.; DILLY, O.; MUNCH, J. C. Indicators for evaluating soil quality. **Agriculture, Ecosystems e Environment**, Amsterdam, v. 98, p. 255-262, 2003.

POWLSON¹⁶, 1976 apud OLIVEIRA; MENDES; VIVALDI, 2001) e clorofórmio-fumigação-extração (CFE) (VANCE; BROOKES; JENKINSON, 1987). Ambos os métodos são baseados na esterilização parcial (fumigação) de amostras de solos com clorofórmio e apresentam limitações, vantagens e desvantagens.

Em relação à quantificação de micro-organismos em meios de cultura definidos (ATLAS, 1984) e a utilização de microscopia direta, Melloni (2007) afirma que são métodos que desempenham papel importante nos estudos preliminares da diversidade microbiana do solo e, normalmente, empregam técnicas acessíveis a laboratórios. Trata-se do método mais comum de se avaliar a diversidade microbiana dos solos (ATLAS, 1984).

Porém, Melloni (2007) adverte que esse método avalia uma pequena porção da comunidade total de micro-organismos. Esse autor acrescenta ainda que é um método que depende muito da habilidade operacional do pesquisador e se baseando nos estudos de Roszak e Colwell (1987)¹⁷ acrescenta a existência de micro-organismos em estado viável, mas não-cultivável.

Além dos micro-organismos, existe a microfauna que também cumpre papel importantíssimo na dinâmica do solo e no desenvolvimento das plantas, como é o caso dos nematoides. Trata-se de organismos aquáticos que não podem ser vistos apenas como causadores de danos às culturas, pois existem nematoides de vida livre, que se alimentam de bactérias e fungos, assumindo papel importantíssimo na decomposição da matéria orgânica, e, por consequência, da produtividade das culturas (FREITAS et al., 2001¹⁸ apud OLIVEIRA et al., 2012). Bento et al. (2004) ressaltam ainda a importância dos nematoides na mineralização dos nutrientes, em especial do nitrogênio, e de sua influência na agregação do solo. Também ressaltam a ação dos mesmos no controle de micro-organismos fitopatogênicos, como fungos e bactérias.

Os nematoides são encontrados em quase todos os solos, muitas vezes em número e diversidade surpreendente; das 100.000 espécies possivelmente existentes, cerca de 20.000 já foram identificadas (BRADY; WEIL, 2013).

Stamford et al. (2005b) afirmam que, depois dos protozoários, os nematoides são os organismos da microfauna mais numerosos. Segundo os mesmos, usualmente encontrados a cerca de 10 cm de profundidade e em quantidade da ordem de 10^6 indivíduos/m². Apesar

¹⁶ JENKINSON, D. S.; POWLSON, D. S. The effect of biocidal treatment on metabolism in soil. V. A method of measuring soil biomass. **Soil Biology and Biochemistry**, Amsterdam, v. 8, p. 209-213, 1976.

¹⁷ ROSZAK, D. B.; COLWELL, R. R. Survival strategies of bacteria in the natural environment. **Microbiology Reviews**, [S. l.], v. 51, p. 365-379, 1987.

dessa alta densidade observada, existem sistemas de controle dessas populações como enzimas excretadas por outros organismos e o alimento disponível na cadeia alimentar. Tihohod (2000) afirma que um dos métodos de controle de nematoides fitoparasitas é a incorporação de substâncias orgânicas ao solo.

Sayre (1980¹⁹ apud TIHOHOD, 2000) e Ferraz et al. (2010) elencam possibilidades que explicariam o efeito da adubação orgânica sobre o solo e sobre o crescimento de nematoides fitopatogênicos:

- A decomposição de substâncias orgânicas no solo libera produtos que são tóxicos aos nematoides fitopatogênicos, como compostos fenólicos, taninos, glucosinolatos, amônia e ácidos graxos.
- A partir da adição de substâncias orgânicas no solo, a população microbiana iniciaria uma sucessão de eventos favorecendo o crescimento de bactérias, nematoides e fungos predadores, além de outros antagonistas que destroem os nematoides fitopatogênicos.

Existem inúmeros métodos que levam em conta várias características dos nematoides para separá-los do substrato em que se encontram e, por fim, quantificá-los e analisá-los. Tihohod (1997) elenca esses principais métodos: exame direto das raízes; peneiramento; flutuação; decantação; centrifugação e funil de Baermann. Tihohod (1997) afirma que, na maioria das vezes, os métodos são utilizados de forma combinada, sendo que as técnicas mais utilizadas nos laboratórios brasileiros são: a flutuação centrífuga e o funil de Baermann.

Por fim, a atividade da biota do solo pode influenciar de maneira positiva ou negativa nos processos do solo e das plantas e, conseqüentemente, os processos produtivos e o funcionamento dos agroecossistemas. Assim, avaliar a influência das culturas e do manejo sobre os micro-organismos e a mesofauna do solo é uma ferramenta importante para construir sistemas de produção mais sustentáveis.

¹⁸ FREITAS, L. G.; OLIVEIRA, R. D. A.; FERRAZ, S. **Introdução à nematologia**. Viçosa: UFV, 2001. 84p.

¹⁹ SAYRE, R. M. Biocontrol: *Bacillus penetrans* and related parasites of nematodes. **Journal of Nematology**, College Park, v. 12, p.260-273, 1980.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Contexto Geral e Descrição dos SAFs

Os três SAFs analisados se localizam no assentamento de reforma agrária Maria Lara, localizado no município de Centenário do Sul, Paraná, conforme Figura 1.

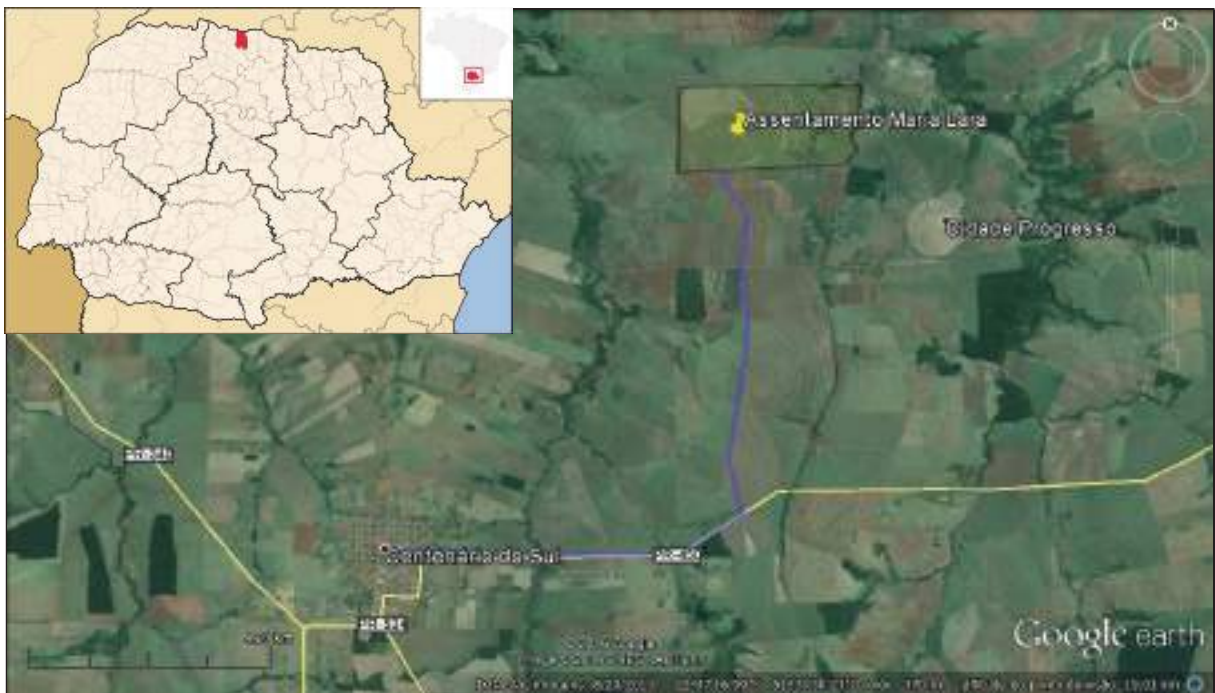


Figura 1 – Localização do município de Centenário do Sul, dentro do Estado do Paraná e localização do assentamento de reforma agrária Maria Lara, no município de Centenário do Sul – PR.

Fonte:Wikipédia (2016).

Essa região se desenvolveu, historicamente, por meio da agropecuária que, a partir de 1940, permitiu a derrubada da floresta estacional semidecidual e a expansão da fronteira cafeeira (INSTITUTO DE TERRAS, CARTOGRAFIA E FLORESTAS, 1991). Em meados de 1970, a área onde atualmente se localiza o assentamento foi ocupada por monocultivo de cana-de-açúcar que se estendeu por toda a região. De acordo com Instituto de Terras, Cartografia e Florestas (1991), esse processo histórico de uso intensivo do solo, aliado à retirada da floresta e à condição geomorfológica natural, resultou em um quadro de degradação dos solos da região.

No ano de 2009, o assentamento Maria Lara foi homologado pelo INCRA com área total de 486,64 ha. A partir disso, iniciaram-se ciclos de cultivo de soja e milho na área e no

final do ano de 2013, ocorreu a divisão do assentamento em lotes individuais (8,8 ha cada) o que possibilitou o deslocamento definitivo das famílias para seus respectivos lotes e o desenvolvimento da produção diversificada, baseada em tubérculos, grãos, frutíferas, espécies arbóreas e pecuária leiteira. Porém, um grande desafio é minimizar o quadro de degradação da paisagem caracterizado por solos compactados e com baixa quantidade de matéria orgânica, ausência de cobertura florestal nos lotes, sendo que a Reserva Legal que é o único fragmento florestal do assentamento encontra-se isolado.

Diante desse contexto, em 2014, iniciou-se o projeto Flora que implantou vinte e um sistemas agroflorestais dos quais três são abordados nesse trabalho. A implantação desses sistemas pode contribuir com a arborização dos lotes, recuperação dos solos, formação de quebra-ventos e produção de madeira e frutas para comercialização e alimentação das famílias.

O mapa com a localização dos SAFs dentro do assentamento de reforma agrária Maria Lara e suas respectivas coordenadas geográficas é apresentado na Figura 2.



Figura 2 – Mapa com a localização dos SAFs dentro do assentamento de reforma agrária Maria Lara e suas respectivas coordenadas geográficas.

Fonte: Google Earth.

Esses SAFs foram implantados no mês de dezembro de 2014, com dimensões de 36x30 metros cada um, ou seja, 1.080 m². Cada SAF é formado por cinco linhas ou canteiros, com largura de 1 metro cada linha, e cinco entrelinhas, com largura de 5 metros cada, conforme Figura 3.

Quadro 1 - Cultivos adicionais, manejo e tratos culturais de cada SAF

ATIVIDADE NOS SAFs	2015												
	2014	NOV	DEZ	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT
Coleta de amostra de solo	SAF1 SAF2 SAF3				SAF1 SAF2 SAF3		SAF1 SAF2 SAF3				SAF1 SAF2 SAF3		SAF1 SAF2 SAF3
Plantio de árvores, frutíferas e café		SAF1 SAF2 SAF3		SAF1	SAF1 SAF2 SAF3						SAF2		
Plantio de mombaça		SAF2		SAF1									
Plantio de adubação verde				SAF1 SAF2 SAF3									
Plantio de miudezas ¹				SAF1 SAF3	SAF3		SAF1 SAF2 SAF3				SAF2 SAF3		SAF1
Adubação com cama de frango (1,5kg /planta)		SAF1 SAF2 SAF3							SAF1 SAF2 SAF3				
Adubação com termofosfato (250 g/cova)				SAF1									
Input de palha para cobertura				SAF1 SAF2 SAF3		SAF1							
Corte de mombaça para cobertura						SAF2		SAF1				SAF2	SAF2
Corte da adubação verde para cobertura		SAF3				SAF3					SAF1		SAF2
Adubação foliar com supermagro ²					SAF1	SAF2						SAF1	
Adubação foliar com biofertilizante ³										SAF3	SAF2	SAF1 SAF3	SAF1 SAF3
Aplicação de caldas alternativas										SAF3	SAF1 SAF2 SAF3	SAF3	SAF1 SAF3

¹ Assim denominado pelos agricultores (abóbora, feijão, milho, ervilha, mandioca e arroz). ² Supermagro é um adubo líquido fermentado feito com esterco bovino fresco; leite; caldo de cana; sulfato de zinco; enxofre; sulfato de magnésio; molibdato de sódio; sulfato de cobalto; sulfato de ferro; sulfato de manganês; sulfato de cobre; cloreto de cálcio; ácido bórico; cobalto, ferro e milibdênio; fosfato natural e cinza. Foi aplicado a 4% nas mudas do SAF. ³ Esse biofertilizante é um adubo líquido fermentado à base de esterco bovino fresco, leite, caldo de cana e fosfato natural. Foi aplicado a 25% nas mudas do SAF.

Fonte: A autora.

A partir do Quadro 1 e das demais informações observadas a campo, foi possível estabelecer os seguintes pontos que destacam e diferenciam a composição e o manejo de cada SAF estudado.

- SAF1: Foi o sistema onde, inicialmente, houve maior *input* de palha. A partir do desenvolvimento da mombaça, cultivada em duas entrelinhas, a cobertura sobre o solo foi baseada no corte e deposição desse capim. Foi também a única área onde se utilizou o termofosfato na adubação de plantio. Destaca-se também, junto com o SAF2, o uso da adubação foliar com biofertilizante.
- SAF2: Foi o sistema que se destacou pelo manejo sistemático de corte e deposição da mombaça para formação da cobertura sobre o solo. Porém, apesar desse manejo rigoroso, apenas uma entrelinha foi cultivada com mombaça, logo o volume desse capim, quando cortado, foi inferior ao do SAF1.
- SAF3: Não foi cultivado o capim mombaça nas entrelinhas para priorizar o cultivo de miudezas de forma periódica. Assim, regularmente, o solo das entrelinhas foi preparado manualmente para o cultivo de espécies agrícolas o que se desdobrou em menor acúmulo de cobertura sobre o solo nas entrelinhas.

4.2 Clima e Solo da Região

Segundo a classificação de Köppen o clima da região é do tipo Cfa, ou seja, Subtropical Úmido Mesotérmico, com verões quentes, geadas pouco frequentes e concentração de chuvas no verão (MOREIRA et al., 2001). Porém, com o desaparecimento da mata pluvial da região, se aproxima da zona Cwa, clima subtropical de inverno seco, que é caracterizada por período bem seco no inverno (INSTITUTO DE TERRAS, CARTOGRAFIA E FLORESTAS, 1991).

Os dados médios de temperatura do ar (média, máxima e mínima) foram coletados na estação meteorológica no IAPAR, localizada em Bela Vista do Paraíso, Paraná, e são apresentados na Figura 4.

Os dados médios mensais de precipitação foram coletados na estação de monitoramento de informações hidrológicas do Instituto Águas Paraná, localizada em Centenário do Sul e são apresentados na Figura 4.

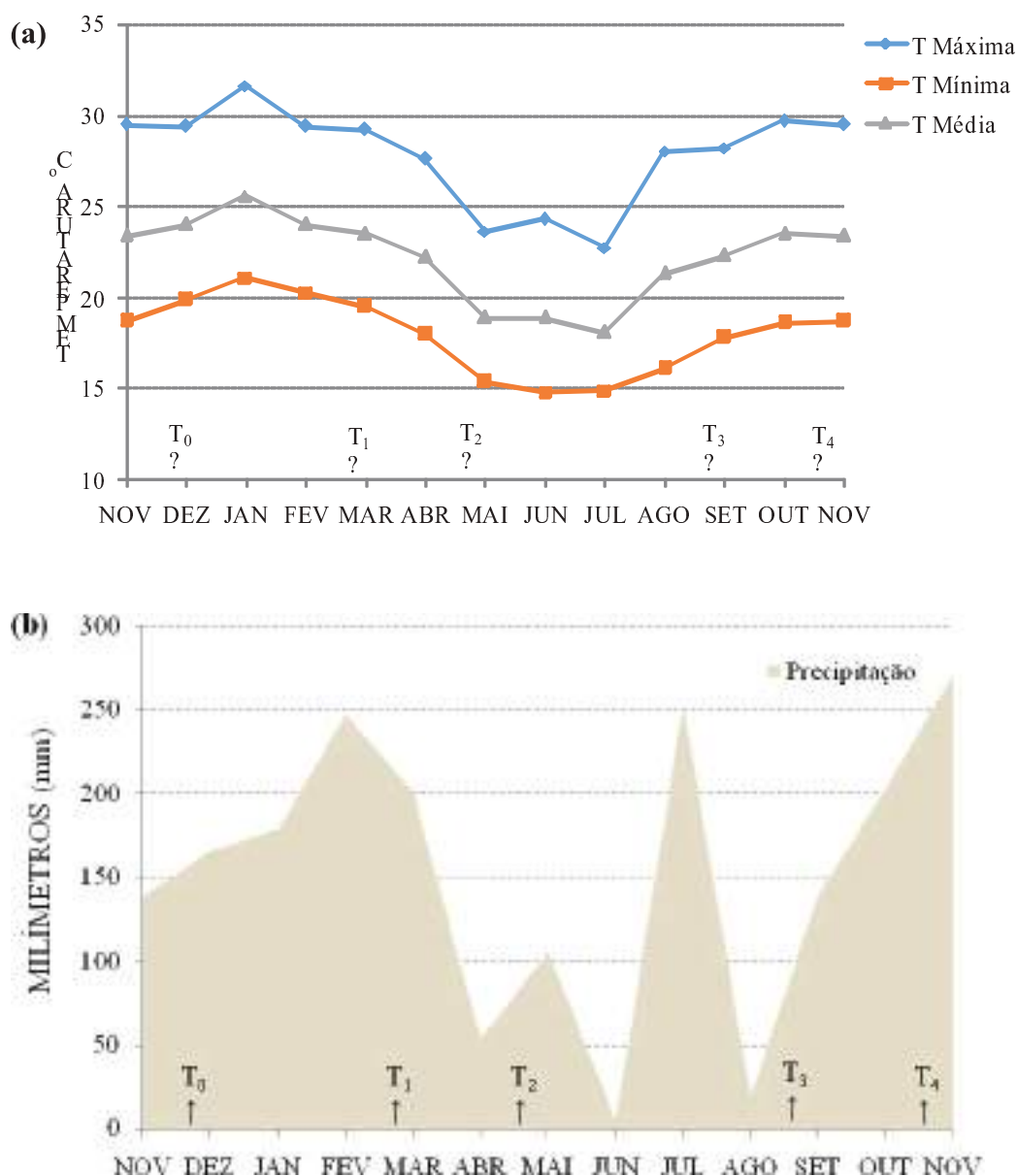


Figura 4 – (a) Média mensal das temperaturas máximas, mínimas e médias em graus Celsius (°C), dos meses de novembro e dezembro de 2014 e janeiro a novembro de 2015, com ênfase nos tempos de coleta das amostras de solo (T_0 = nov/2014; T_1 = fev/2015; T_2 =abr/2015; T_3 = ago/2015; T_4 = out/2015). (b) Precipitação em milímetros (mm) dos meses de novembro e dezembro de 2014 e janeiro a novembro de 2015, com ênfase nos tempos de coleta das amostras de solo (T_0 = nov/2014; T_1 = fev/2015; T_2 =abr/2015; T_3 = ago/2015; T_4 = out/2015).
 Fonte: A autora.

O solo predominante no assentamento, inclusive nas três áreas estudadas, é classificado como Latossolo Vermelho Distrófico (LVd), proveniente das formações do arenito Caiuá.

As análises físicas e químicas do solo, realizadas em 2011, pelo INCRA (Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária) podem ser observadas nas Tabelas 1 e 2.

Tabela 1 – Resultado da Análise Física do Solo, realizada em 2011, pelo INCRA, no Assentamento Maria Lara, Centenário do Sul, Paraná.

Horizontes	Profundidade (cm)	Argila(g/kg)	Silte (g/kg)	Areia (g/kg)
A	0-40	214	49	737
AB	40-64	341	37	622

Fonte: INCRA (2011).

Tabela 2 – Resultado da Análise Química do Solo, realizada em 2011, pelo INCRA, no Assentamento Maria Lara, Centenário do Sul, Paraná.

Horizonte	P	C	pH	Al	H+Al	Ca	Mg	K	SB	T	V	m
	mg/dm ³	g/dm ³		-----cmol _c /dm ³ de solo-----							-----%-----	
A	6,60	8,70	5,00	0,00	3,18	1,45	1,00	0,10	2,55	5,73	44,50	0,00
A-B	2,10	4,50	5,00	0,00	3,18	1,80	0,55	0,04	2,39	5,57	42,90	0,00

Fonte: INCRA (2011).

O solo do assentamento Maria Lara é profundo a muito profundo e homogêneo, altamente intemperizado, bem drenado, apresentando no perfil uma seqüência de horizontes A-AB-Bw-C (Bw é do tipo B Latossólico) (INCRA, 2011). Esse solo tem pouco incremento de argila e apresenta uma transição difusa ou gradual entre os horizontes, por isso mostra um perfil muito homogêneo. Devido à elevada concentração de areia é mais susceptível à erosão em relação ao latossolo argiloso.

É caracterizado pela elevada concentração de areias, pela baixa fertilidade natural, pela boa permeabilidade e drenagem excessiva (INSTITUTO DE TERRAS, CARTOGRAFIA E FLORESTAS, 1991). Apresenta baixa CTC, baixa V% e, conseqüentemente, baixa disponibilidade de nutrientes, conforme tabelas acima.

Quanto ao relevo, 85,75% da área do assentamento é classificado como plano (0-5% de declividade) (INCRA, 2011) o que também se aplica aos SAFs estudados.

4.3 Amostragem de Solo e Instalação das Áreas Experimentais

Foram coletadas amostras de solo em cinco momentos diferentes. A primeira coleta ocorreu antes da implantação dos SAFs e as demais coletas ocorreram após a implantação desses sistemas.

- 1ª Coleta, realizada em 26/11/2014 (nov/2014), T₀ (tempo zero) ou tempo inicial;
- 2ª Coleta, realizada em 22/02/2015 (fev/2015), T₁;
- 3ª Coleta, realizada em 26/04/2015 (abr/2015), T₂;

- 4ª Coleta, realizada em 21/08/2015 (ago/2015), T₃;
- 5ª Coleta, realizada em 18/10/2015 (out/2015), T₄ ou tempo final;

Para a amostragem de solo foram descartadas as seguintes bordaduras: 6 m de comprimento (sendo 3 m de cada extremidade) e 12 m de largura (6 m de cada lado, ou seja, foram descartados uma linha + uma entrelinha de cada lado). Assim, da área inicial com dimensões de 36 x 30 m restou uma área de 30 x 18 m que foi dividida em quatro parcelas de 7,5 x 10 m (Figura 5).

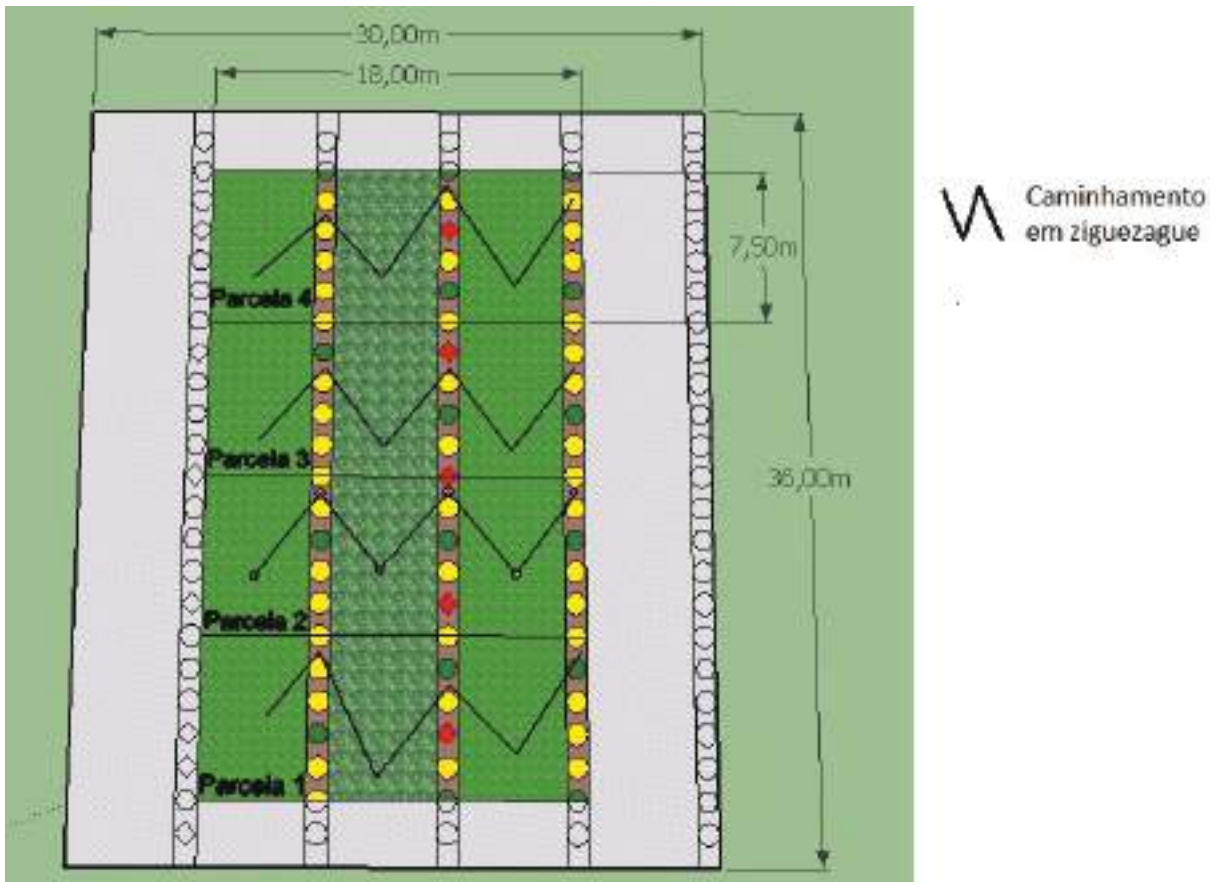


Figura 5 – Área do SAF com parcelas, bordaduras e esquema simplificado para amostragem de solo.

Fote: A autora.

Em cada parcela foram coletadas seis subamostras de solo para cada profundidade (0-10 cm e 10-20 cm), por meio do caminhamento em ziguezague (três subamostras em linhas de plantio e três subamostras em entrelinhas para cada profundidade considerada). Na primeira amostragem, foram marcados com estacas de madeira os pontos de coleta para orientar as demais amostragens. As coordenadas geográficas de cada ponto de coleta de solo seguem em Anexo 1.

Em síntese, foram coletadas duas amostras compostas em cada parcela, uma amostra composta formada por seis subamostras na profundidade de 0-10 cm e outra amostra composta formada por seis subamostras na profundidade de 10-20 cm. Após a coleta, as amostras foram armazenadas geladeira (cerca de 6 °C) para a posterior análise em laboratório.

4.4 Análise das Variáveis Químicas

Quanto às variáveis químicas para fins de fertilidade foram avaliados: pH (CaCl₂), acidez potencial (H+Al), teor de matéria orgânica (MOS) estimando-o a partir do carbono orgânico, fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), soma de bases (SB) e capacidade de troca catiônica (CTC). Para análise dessas variáveis, as amostras foram encaminhadas ao Laboratório de Química Ambiental da UNIOESTE, *campus* Marechal Cândido Rondon.

Para a determinação do pH foi utilizada uma solução de CaCl₂ (0,01 mol/L); acidez potencial foi por SMP (pH 7,5); a MOS foi quantificada por Walkley-Black, com oxidação ácida em dicromato-sulfúrico; Ca e Mg foram extraídos com solução de KCl (1 mol/L) e determinados por espectrofotometria de absorção atômica, modalidade chama; K e P foram extraídos com Mehlich-1, sendo que K foi determinado por fotometria de chama e P por colorimetria com azul de molibdato.

Mais detalhes sobre os procedimentos analíticos dessas análises químicas foram publicados por Pavan et al. (1992).

4.5 Análise das Variáveis Microbiológicas

Para a determinação do carbono da biomassa microbiana (C_{mic}) as amostras refrigeradas (0-10 cm e 10-20 cm de profundidade) foram peneiradas em malha de 2 mm. O C_{mic} foi avaliado pelo método fumigação-extração, originalmente proposto por Vance, Brookes e Jenkinson (1987)²⁰ e modificado por Silva, Azevedo e De-Polli (2007). Esses autores estabeleceram a relação solo-extrator de 1:2,5, baseados no trabalho de Tate et al. (1988)²¹. As amostras foram analisadas em triplicata. Assim, em cada amostra de solo (20

²⁰ VANCE, E. D.; BROOKES, P. C.; JENKINSON, D. S. An extraction method for measuring soil microbial biomass - C. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v. 19, n. 6, p. 703-707, 1987.

²¹ TATE, K. R.; ROSS, D. J.; FELTHAM, C. W. A direct extraction method to estimate soil microbial - C – effects of experimental variables and some different calibration procedures. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v. 20, n. 3, p. 329-335, 1988.

gramas) foi realizada a fumigação com adição de 1 ml de clorofórmio diretamente nas amostras fumegadas (BROOKES; POWLSON; JENKINSON, 1982²²; WITT et al., 2000²³), mantendo-as em local escuro por 24 horas. Posteriormente, ocorreu a extração e quantificação do C_{mic} nas amostras previamente fumegadas e não fumegadas pelo método originalmente proposto por Walkley e Black (1934)²⁴ e modificado por Tedesco et al. (1995)²⁵, sem aquecimento de chapa. O C_{mic} foi extraído pela adição de 50 ml de uma solução de sulfato de potássio (K_2SO_4), a 0,5 mol/L, posteriormente essas amostras foram submetidas à agitação horizontal (220 rpm por 30 minutos), decantadas por 30 minutos e o sobrenadante foi filtrado. Para a quantificação do C_{mic} , 8 ml desse filtrado foi transferido para um erlenmeyer de 250ml onde foi adicionado 2ml de uma solução de dicromato de potássio ($K_2Cr_2O_7$), a 0,066 mol/L. Em seguida, foi adicionado, 10 ml de ácido sulfúrico (H_2SO_4) e 5ml de ácido ortofosfórico. Após esfriamento, ocorreu a adição de 70 ml de água deionizada e após esfriar novamente, quatro gotas de difenilamina (1%, m/v, em H_2SO_4). Por fim, foi feita a titulação com uma solução 0,033 mol/L de sulfato ferroso amoniacal $[(NH_4)_2Fe(SO_4)_2 \cdot 6H_2O]$.

O C_{mic} foi calculado pela diferença entre o carbono extraído das amostras de solo fumegadas e não fumegadas, foi utilizado o fator de correção (K_{ec}) de 0,33 (SPARLING; WEST, 1988²⁶ apud SILVA; AZEVEDO; DE-POLLI, 2007).

Mais detalhes sobre os procedimentos analíticos utilizados para determinação do C_{mic} estão publicados no trabalho de Silva, Azevedo e De-Polli (2007).

Para determinar a densidade populacional de fungos e bactérias no solo foi utilizado o método de diluição em placa (ALFENAS; MAFIA, 2007). Após a autoclavagem de toda a vidraria, em um erlenmeyer de 250 ml, contendo 90 ml de água destilada, foram adicionados 10 gramas de solo seco ao ar e mantido sob agitação por 30 minutos (210 rpm). Após a agitação, foi realizado o plaqueamento transferindo 1 ml desta suspensão para tubos de ensaio com 9 ml de água destilada, sendo o mesmo procedimento realizado até a diluição de 10^{-6} . Dessas diluições realizadas, transferiu-se 1 ml para a superfície do meio de cultura

²² BROOKES, P. C.; POWLSON, D. S.; JENKINSON, D. S. Measurement of microbial biomass phosphorus in soil. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v. 14, n. 4, p. 319-329, 1982.

²³ WITT, C.; GAUNT, J. L.; GALICIA, C. C.; OTTOW, J. C. G.; NEUE, H. U. A rapid chloroform-fumigation extraction method for measuring soil microbial biomass carbon and nitrogen in flooded rice soils. **Biology & Biochemistry**, Oxford, v. 30, n. 5-6, p. 510-519, 2000.

²⁴ WALKLEY, A.; BLACK, I. A. An examination of the degtjareff method for determining soil organic matter and proposed modification of the chromic acid titration method. **Soil Science**, Baltimore, v. 37, p. 29-38, 1934.

²⁵ TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; VLKWEISS, S. J. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2. ed. Porto Alegre: UFRGS, 1995. 174 p.

²⁶ SPARLING, G. P.; WEST, A. W. A direct extraction method to estimate soil microbial - C – calibration *in situ* using microbial respiration and ^{14}C -labeled cells. **Soil & Biochemistry**, Oxford, v. 20, n. 3, p. 337-343, 1988.

solidificado.

Para análise dos fungos foi utilizada a diluição 10^{-1} e o BDA como meio de cultura. Para as bactérias foi utilizada a diluição de 10^{-6} e o ágar nutritivo. As placas foram armazenadas em uma incubadora BOD, com temperatura entre 26 °C a 28 °C, durante 10 dias para os fungos e cinco dias para as bactérias.

A densidade populacional de fungos e bactérias foi determinada pelas unidades formadoras de colônias (UFC). Para a quantificação dos micro-organismos foram multiplicados os números médios de colônias pelo fator de diluição.

Na primeira avaliação de fungos foram feitas lâminas para identificação microscópica dos mesmos quanto ao gênero, através da morfologia de colônias e esporos, segundo a classificação descrita por Barnett e Barry (1998). Já para as bactérias foi realizada a contagem total de UFC.

O número de esporos de fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) no solo e a densidade populacional de nematoides foram avaliados pelo método de decantação e peneiramento úmido associado ao método da flotação centrífuga em solução de sacarose (JENKINS, 1964). Foram utilizadas amostras de 100 cm³ de solo, nas profundidades de 0-10 cm e 10-20 cm.

Essas amostras foram colocadas em um balde com aproximadamente 2 L de água, homogeneizadas com as mãos, seguido de decantação. A suspensão foi vertida sobre peneiras de 400 Mesh, 48 Mesh e 20 Mesh sobrepostas nessa seqüência. Com o auxílio de jatos d'água, o material retido na peneira de 400 Mesh foi transferido para tubos de Falcon e levados para centrifugar (3.000 rpm por 5 minutos). Posteriormente, o líquido sobrenadante foi descartado e realizado a adição aos tubos de sacarose a 50%. O material sedimentado foi suspenso novamente com o auxílio de uma espátula e centrifugado (2.000 rpm por 1 minuto). O sobrenadante foi vertido na peneira de 400 Mesh lavando abundantemente com água e, por fim, recolhido em um pote para avaliação.

Após a extração, foi realizada a contagem e a identificação dos esporos de fungos micorrízicos e nematoides em câmaras de Peters (SIQUEIRA; FRANCO, 1988). A classificação dos fungos micorrízicos por espécie foi segundo Siqueira e Franco (1988).

De acordo com Ferraz e Monteiro (1995) as formas parasitas de nematoides de plantas são providas de estiletos bucais. Assim, foi realizada a contagem dos nematoides e a partir da presença de estiletos bucais foram classificados como de vida livre ou fitopatogênicos.

4.6 Análise Estatística

O modelo estatístico utilizado foi determinado por três conglomerados, seguindo o que Morettin (2010) descreveu como grupos, o que nesse caso são as áreas, com pequena variabilidade entre si a qual se assumiu como variabilidade normalmente encontrada nos solos. Como foi descrito por Gomes (2009), admitiu-se o delineamento em blocos incompletos equilibrados em esquema fatorial 3x2x5, justificando as possíveis variações edafoclimáticas e de manejo ao longo do período desse estudo.

Para que fosse possível o estudo e análise dos SAFs como fator, seguiu-se o indicado por Gomes (2009) para análise de grupos de experimentos ou análise conjunta de experimentos. Dessa forma, foi utilizado um esquema fatorial 3x2x5, com quatro repetições, com a combinação dos seguintes fatores: três SAFs (SAF1, SAF2 e SAF3); duas profundidades de amostragem de solo (0-10 cm e 10-20 cm) e cinco tempos (T_0 , T_1 , T_2 , T_3 e T_4). No total se formaram 30 tratamentos: SAF1PROF₀₋₁₀ T_0 ; SAF1PROF₀₋₁₀ T_1 ; SAF1PROF₀₋₁₀ T_2 ; SAF1PROF₀₋₁₀ T_3 ; SAF1PROF₀₋₁₀ T_4 ; SAF1PROF₁₀₋₂₀ T_0 ; SAF1PROF₁₀₋₂₀ T_1 ; SAF1PROF₁₀₋₂₀ T_2 ; SAF1PROF₁₀₋₂₀ T_3 ; SAF1PROF₁₀₋₂₀ T_4 ; SAF2PROF₀₋₁₀ T_0 ; SAF2PROF₀₋₁₀ T_1 ; SAF2PROF₀₋₁₀ T_2 ; SAF2PROF₀₋₁₀ T_3 ; SAF2PROF₀₋₁₀ T_4 ; SAF2PROF₁₀₋₂₀ T_0 ; SAF2PROF₁₀₋₂₀ T_1 ; SAF2PROF₁₀₋₂₀ T_2 ; SAF2PROF₁₀₋₂₀ T_3 ; SAF2PROF₁₀₋₂₀ T_4 ; SAF3PROF₀₋₁₀ T_0 ; SAF3PROF₀₋₁₀ T_1 ; SAF3PROF₀₋₁₀ T_2 ; SAF3PROF₀₋₁₀ T_3 ; SAF3PROF₀₋₁₀ T_4 ; SAF3PROF₁₀₋₂₀ T_0 ; SAF3PROF₁₀₋₂₀ T_1 ; SAF3PROF₁₀₋₂₀ T_2 ; SAF3PROF₁₀₋₂₀ T_3 ; SAF3PROF₁₀₋₂₀ T_4 .

As variáveis resposta analisadas foram: pH (CaCl_2), H+Al, teores de MOS, P, Ca, Mg, K, SB, CTC, população de fungos e bactérias, densidade populacional de nematoides fitopatogênicos e de vida livre; número de esporos de FMAs no solo e Cmic. Entre essas variáveis, as que não apresentaram normalidade foram transformadas por $\log(x+1)$, assumindo o teste F da análise de variância (ANOVA) com nível de significância (p-valor) de 0,05, ou 5%, com teste de agrupamento de Scott-Knott (BORGES; FERREIRA, 2003). O software utilizado foi ASSISTAT, versão 7.7 beta (SILVA; AZEVEDO, 2002, 2006).

Para aprofundar a investigação científica em torno da hipótese levantada, optou-se por investigar o conjunto de variáveis pela abordagem multivariada de Análise de Variância Multivariada (MANOVA), com Análise de Variáveis Canônicas (AVC) dos fatores SAF, profundidade e tempo, considerando apenas o tempo inicial (T_0) e final (T_4). Para Hair Junior et al. (2005), a MANOVA é uma extensão da análise de variância (ANOVA) que estuda, simultaneamente, mais de uma variável dependente e dessa forma, avalia as diferenças entre

as médias de grupos. É uma técnica de dependência que mede as diferenças para duas ou mais variáveis dependentes numéricas, com base em um conjunto de variáveis categóricas (não-métricas) que resultaram em variáveis independentes. Na prática, a MANOVA serviu como extensão da ANOVA, possibilitando avaliar as diferenças entre médias de grupos. A MANOVA combinada com AVC gerou um gráfico ao longo dos dois primeiros eixos canônicos, produzindo a separação máxima e segunda máxima entre todos os grupos (análise de discriminantes para grupos múltiplos). Os eixos são combinações lineares das variáveis originais como na análise de componentes principais, e seus autovalores (*eigenvalues*) indicaram a quantidade de variação que é explicada pelos eixos. Gerou-se também dois gráficos auxiliares, que complementam este tipo de abordagem, com o valor expressivo de cada variável em cada autovalor (ou *eigenvalue*). As análises de MANOVA/AVC foram realizadas pelo software PAST 3.x (HAMMER, 2013; HAMMER; HARPER; RYAN, 2001).

5 RESULTADOS

5.1 Análise Estatística

5.1.1 Fatorial para as Análises Químicas do Solo

A partir de Scott-Knott (p-valor = 0,05) foi possível observar a significância da interação dos fatores, SAF, profundidade, tempo nos tratamentos (Tabela 3).

Tabela 3 – p-valores encontrados a partir do teste Scott-Knott, com 5% de significância, para as médias das variáveis químicas dos solos

Níveis de Fatores e Interações								
	SAF	PROF	T	SAF*PROF	SAF*T	PROF*T	SAF*PROF*T	CV (%)
P	0,0004*	0,0001*	0,0490*	0,1318 ^{ns}	0,0001*	0,0039*	0,6323 ^{ns}	10,82
MOS	0,4400 ^{ns}	<0,0001*	0,0297*	<0,0001*	<0,0001*	0,5485 ^{ns}	0,5484 ^{ns}	11,47
pH	<0,0001*	<0,0001*	0,0495*	0,4480 ^{ns}	0,7114 ^{ns}	0,3664 ^{ns}	0,4943 ^{ns}	5,48
H+Al	0,0010*	0,8199 ^{ns}	0,0455*	0,8110 ^{ns}	0,5224 ^{ns}	0,8941 ^{ns}	0,3034 ^{ns}	15,09
K	0,0482*	0,0391*	0,0451*	<0,0001*	0,0045*	0,0061*	0,0210*	15,47
Ca	0,0382*	0,0471*	0,0492*	<0,0001*	0,0001*	0,0091*	0,0102*	6,56
Mg	<0,0001*	<0,0001*	0,0340*	0,1617 ^{ns}	0,0198*	0,0509 ^{ns}	0,0348*	12,53
SB	<0,0001*	<0,0001*	0,0306*	<0,0001*	<0,0001*	0,1317 ^{ns}	0,1503 ^{ns}	10,57
CTC	<0,0001*	<0,0001*	0,0056*	<0,0001*	0,0036*	0,3709 ^{ns}	0,4069 ^{ns}	5,06

SAF: considerando os SAFs 1, SAFs 2 e SAFs 3; PROF: considerando as profundidades de amostragem de solo, 0-10 cm e 10-20 cm. T: considerando os tempos T₀=nov/2014; T₁=fev/2015; T₂=abr/2015; T₃=ago/2015; T₄=nov/2015. CV (%) considerando os coeficientes de variação. Valores seguidos de (*) significativo em 5% de nível de probabilidade (p ≤ 0,05).

Fonte: A autora.

As médias das variáveis químicas das amostras dos solos dos três SAFs, nas profundidades de 0-10 cm e 10-20 cm, coletadas antes (T₀) e durante (T₁, T₂, T₃, T₄) o desenvolvimento dos SAFs, são apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4 – Variáveis químicas dos solos nos três SAFs, nas profundidades de 0-10 cm e 10-20 cm. Amostras coletadas antes e depois da implantação (T₀ a T₄). Médias de quatro repetições. Centenário do Sul, Paraná

Variável Química	T ₀		T ₁		T ₂		T ₃		T ₄		
	0-10 cm	10-20 cm	0-10 cm	10-20 cm	0-10 cm	10-20 cm	0-10 cm	10-20 cm	0-10 cm	10-20 cm	
SAF 1	P (mg/dm ³)	30,76	14,84	35,36	18,47	29,07	22,72	30,39	26,65	86,76	26,95
	MOS (g/dm ³)	12,99	10,26	12,31	6,15	7,86	6,16	17,77	9,57	10,25	8,55
	pH	5,51	5,23	5,57	5,24	5,73	5,46	5,94	5,56	6,02	5,56
	H+Al (cmol _c /dm ³)	2,89	2,83	3,18	2,83	2,33	2,40	2,95	2,21	2,66	2,92
	K (cmol _c /dm ³)	0,52	0,27	0,64	0,30	0,43	0,28	0,50	0,35	0,74	0,44
	Ca (cmol _c /dm ³)	1,38	1,15	2,65	2,41	1,94	1,54	2,84	2,17	2,89	2,45
	Mg (cmol _c /dm ³)	0,96	0,72	1,02	0,8	1,29	0,91	1,33	1,01	1,44	1,01
	SB (cmol _c /dm ³)	3,18	2,10	4,38	3,51	3,65	2,72	4,72	3,50	5,07	3,90
	CTC (cmol _c /dm ³)	6,07	4,93	7,56	6,34	5,99	5,12	7,67	5,71	7,73	6,81
	V%	51,82	42,57	57,95	56,53	61,01	53,08	63,52	61,22	65,56	57,43
	m%	0,00	0,67	0,00	0,38	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SAF 2	P	29,49	19,04	21,84	10,53	40,43	24,40	22,12	17,65	30,06	15,02
	MOS	10,60	9,91	12,65	9,91	4,44	4,10	18,11	16,40	10,59	8,20
	pH	4,74	4,60	4,48	4,74	5,08	4,67	5,12	4,57	5,13	4,85
	H+Al	3,30	2,98	3,39	3,15	2,69	2,85	2,49	2,70	3,62	4,01
	K	0,35	0,26	0,38	0,19	0,45	0,29	0,30	0,25	0,35	0,32
	Ca	1,06	0,73	1,94	2,79	1,26	1,31	1,91	1,67	1,84	1,29
	Mg	0,57	0,41	0,65	0,81	0,86	0,65	0,91	0,58	0,91	0,59
	SB	1,97	2,07	2,84	3,98	2,52	2,22	3,04	2,14	3,20	2,44
	CTC	5,27	5,05	6,23	7,13	5,21	5,07	5,53	4,84	6,81	6,44
	V%	37,13	38,51	45,63	55,84	48,45	43,75	54,39	43,37	47,17	37,63
	m%	6,85	11,15	3,78	2,46	1,53	5,08	2,91	9,80	2,82	6,39
SAF 3	P	30,91	26,51	24,59	13,02	24,34	10,59	22,83	21,52	37,45	14,61
	MOS	11,28	8,54	10,26	9,57	4,10	3,42	16,75	14,70	10,59	9,91
	pH	5,08	4,80	5,27	4,93	5,27	4,73	5,43	5,19	5,61	5,23
	H+Al	2,99	3,15	3,04	3,66	2,34	2,57	2,27	2,49	3,36	2,89
	K	0,43	0,48	0,44	0,36	0,29	0,14	0,30	0,24	0,37	0,29
	Ca	0,79	0,73	3,23	2,44	1,38	0,98	1,94	1,48	2,19	1,57
	Mg	0,56	0,54	1,01	0,78	0,94	0,59	0,90	0,84	1,00	0,90
	SB	2,15	2,04	4,65	4,10	2,60	1,73	3,00	2,76	3,56	2,96
	CTC	5,14	5,18	7,69	7,76	4,94	4,30	5,28	5,25	6,92	5,84
	V%	40,55	38,82	60,46	53,09	52,75	40,38	56,65	51,87	51,56	49,85
	m%	3,55	8,65	0,51	2,87	0,43	6,78	0,00	0,56	0,00	4,22

Amostras coletadas em: T₀= nov/2014; T₁= fev/2015; T₂=abr/2015; T₃= ago/2015; T₄= out/2015.

Fonte: A autora.

• Fósforo (P)

O P variou, significativamente, em função dos seguintes níveis de fatorial: SAF, PROF e T. Também variou em função das interações: SAF*T e PROF*T. Dentro do fator SAF, as maiores médias foram observadas em SAF1; já ao avaliar o fator PROF, notou-se maiores médias na camada de 0-10 cm quando comparadas à camada de 10-20 cm e baseando-se no fator T, não se observou diferença significativa entre as médias em T₀, T₂, T₃ e T₄, porém essas foram maiores do que em T₁.

A partir da interação SAF*T, em T₀, notou-se que não houve diferença significativa nos teores de P entre os três SAFs. As médias de P oscilaram ao longo dos tempos, sendo que em T₁ ocorreu redução nos SAFs 2 e 3, porém esses valores se restabeleceram a partir do T₂. Já no SAF1, os teores de P se mantiveram semelhantes entre T₀ até T₃, e somente em T₄ ocorreu aumento significativo, fazendo com que no SAF1*T₄ o teor de P fosse maior do que no SAF2/SAF3*T₄.

• Matéria orgânica do solo (MOS)

A MOS variou, significativamente, em função de PROF, T, SAF*PROF e SAF*T. A partir do fator PROF, observou-se maiores médias de MOS na camada de 0-10 cm quando comparadas à camada de 10-20 cm; a partir de do fator T, constatou-se a maior média em T₃, apesar de que não houve diferença significativa entre as médias em T₀ e T₄.

A partir da interação SAF*PROF, no SAF1, na profundidade de 0-10 cm, observou-se as maiores médias de MOS quando comparadas aos demais SAFs, na mesma profundidade. Já na camada de 10-20 cm, não se notou diferença entre as médias.

Pela interação SAF*T, observou-se que as maiores médias de MOS ocorreram no T₃ para os três SAFs. No SAF2*T₃ foi possível constatar o maior teor de MOS do conjunto de médias obtidas nessa interação, quatro vezes maior do que o menor teor verificado que foi em SAF3*T₂. Nos três SAFs, notou-se que os teores de MOS oscilaram entre os tempos, sendo que o maior aumento ocorreu entre T₂ e T₃. Apesar desse aumento, no SAF2 e no SAF3 não foi constatada diferença significativa entre as médias de MOS do tempo inicial e as médias do tempo final. Já para o SAF1 observou-se que as médias de MOS do T₄ foram menores do que do T₀. Ao avaliar somente o tempo final, não houve diferença entre os as médias dos três SAFs.

- **pH (CaCl₂)**

O pH variou em função de SAF, PROF e T. No SAF1, averiguou-se as maiores médias quando comparadas às médias dos demais SAFs, enquanto que no SAF2 constatou-se as menores; a partir do fator PROF e T, notou-se as maiores médias, respectivamente, na camada de 0-10 cm e em T₃ e T₄.

- **Acidez potencial (H+Al)**

A acidez potencial variou, significativamente, em função de SAF e T. A maior média dessa variável foi observada em SAF2, sendo que não se observou diferenças significativas entre SAF1 e SAF3. Também não se notou diferenças nas médias entre T₀, T₁ e T₄, porém em T₂ e T₃ observaram-se as maiores.

- **Potássio (K)**

Os teores de K variaram, significativamente, em função dos seguintes fatores e interações: SAF, PROF, T, SAF*PROF, SAF*T, PROF*T e SAF*PROF*T. A partir do fator SAF, observou-se as maiores médias de K para o SAF; considerando o fator PROF, constatou-se as maiores médias na camada de 0-10 cm e para o fator T, não notou-se diferença significativa entre as médias de T₀, T₁ e T₂, porém em T₃ e T₄ constatou-se os maiores teores de K.

Considerando a interação SAF*PROF*T, no tempo inicial, observou-se que os teores de K, na camada de 0-10 cm, foram maiores para o SAF1, seguido do SAF3 e SAF2. Na camada de 10-20 cm de profundidade, a maior média de K foi atribuída ao SAF3. As maiores médias da interação SAF*PROF*T foram observadas para SAF1P₀₋₁₀T₁, SAF1P₀₋₁₀T₄ e SAF3P₁₀₋₂₀T₀. Comparando T₀ e T₄, verificou-se aumento nos teores de K somente para o SAF1, em ambas as camadas. Para o SAF2 não se observou diferença nas médias entre os tempos final e inicial, nas duas camadas e para o SAF3, os teores reduziram em ambas as camadas. No tempo final, o maior teor desse nutriente foi atribuído ao SAF1, tanto na camada de 0-10 cm quanto na de 10-20 cm.

- **Cálcio (Ca)**

Os teores de Ca variaram, significativamente, em função dos seguintes fatores e interações: SAF, PROF, T, SAF*PROF, SAF*T, PROF*T e SAF*PROF*T. A partir do fator SAF, observou-se as maiores médias Ca para o SAF1; já para o fator PROF, constatou-se as

maiores médias na camada de 0-10 cm e para o fator T, observou-se a menor média em T₀ e a maior em T₁.

Na interação SAF*PROF*T, no tempo inicial, observou-se que os teores de Ca, nas duas camadas amostradas, foram maiores para o SAF1, sendo que a maior média da interação foi observada para SAF3P₀₋₁₀T₁. Comparando T₀ e T₄, verificou-se aumento nos teores de Ca para os três SAFs, em ambas as camadas. No tempo final, o maior teor desse nutriente foi atribuído ao SAF1, tanto na camada de 0-10 cm quanto na de 10-20 cm. Os maiores aumentos no teor de Ca foram observados entre T₀ e T₁.

• Magnésio (Mg)

Os teores de Mg variaram, significativamente, em função do SAF, PROF, T, SAF*T e SAF*PROF*T. Dentro do fator SAF, observou-se as maiores médias para o SAF1 e a menor pra o SAF2; já para o fator PROF, constatou-se as maiores médias na camada de 0-10 cm e para o fator T, observou-se a menor média em T₀ e a maior em T₃ e T₄.

Por fim, para a interação SAF*PROF*T, no tempo inicial, observou-se que os teores de Mg, na duas camadas amostradas, foram maiores para o SAF1 em relação aos demais SAFs. As maiores médias da interação SAF*PROF*T também foram observadas no SAF 1, nos tempos T₂, T₃ e T₄, de 0-10 cm de profundidade. Comparando T₀ e T₄, constatou-se aumento nos teores de Mg para os três SAFs, na camada de 0-10 cm, porém na camada mais profunda só se verificou incrementos significativos no SAF3. No tempo final, para a camada de 0-10 cm de profundidade, o maior teor de Mg foi atribuído ao SAF1 e na camada de 10-20 cm foi atribuído aos SAF1 e SAF3. Os maiores aumentos no teor de Mg, na camada de 0-10 cm, foram observados entre T₁ e T₂ para o SAF1 e SAF2, e entre T₀ e T₁ para o SAF3.

• Soma de bases (SB)

As médias de SB variaram, significativamente, em função de: SAF, PROF, T, SAF*PROF e SAF*T. Para o fator SAF, a maior média foi observada em SAF1 e a menor em SAF2; a partir do fator PROF, na camada de 0-10 cm observou-se as maiores médias em comparação à camada de 10-20 cm e em relação ao fator T, maior média em T₁ e a menor, em T₂.

Pela interação SAF*PROF, no SAF1, em ambas as camadas, notou-se as maiores médias quando comparadas aos demais SAFs, na mesma profundidade.

A partir de SAF*T, no tempo inicial e final, observou-se a maior média em SAF1,

sendo que houve aumento na SB, nos três SAFs, entre esses tempos, com ênfase nos aumentos entre T_0 e T_1 .

• Capacidade de troca catiônica (CTC)

As médias de CTC variaram, significativamente, em função dos seguintes fatores e interações: SAF, PROF, T, SAF*PROF e SAF*T. Considerando o fator SAF, PROF e T, observou-se as maiores médias, respectivamente, em SAF 1, na camada de 0-10 cm e em T_1 e T_4 , sendo que a menor média foi em T_0 e T_2 .

Pela interação SAF*PROF, no SAF1, na profundidade de 0-10 cm, notou-se as maiores médias quando comparadas aos demais SAFs, na mesma profundidade.

No tempo inicial, não foi constatada diferença nas médias entre os três SAFs e houve aumentos na CTC, nos três SAFs, entre o tempo inicial e final, sendo que os maiores aumentos ocorreram entre T_0 e T_1 . No tempo final, as maiores médias foram atribuídas ao SAF1.

5.1.2 Fatorial para as Análises Microbiológicas do Solo

Foram identificados dois gêneros de fungos nas amostras de solo, *Penicillium* sp. e *Aspergillus* sp., ambos pertencentes à família *Trichocomaceae* (HOUBRAKEN; SAMSON, 2011). De forma geral, são considerados patógenos oportunistas e são responsáveis por doenças em plantas e produtos vegetais (PALLU, 2010). No solo, estão entre os gêneros mais predominantes em regiões tropicais e subtropicais e atuam na decomposição de substâncias recalcitrantes, como celulose e lignina (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

Algumas espécies do gênero *Penicillium* podem ser utilizadas no biocontrole e no micoparasitismo (PALLU, 2010), pois apresentam valor particular na produção de um antibiótico, a penicilina, sendo que a espécie mais que mais se destaca nesse aspecto é *Penicillium notatum* (CHAVEZ; BULL; EYZAGUIRRE, 2006).

Algumas espécies de *Penicillium* e *Aspergillus* também atuam no controle de fitopatógenos. Zizzerini e Tosi (1985) abordam algumas espécies de *Penicillium* como agentes de biocontrole para outras espécies, como o controle de *Sclerotinia sclerotiorum*.

Leoni e Ghini (2003) ao estudar o efeito do lodo de esgoto na indução de supressividade *in vitro* a *Phytophthora nicotianae* em bioensaio com plantas de alfafa, destacaram os isolados de algumas espécies de *Aspergillus* com ação por hiperparasitismo.

Foram identificadas duas espécies de fungos micorrízicos arbusculares,

Scutellospora heteromaga e *Glomus macrocarpum*.

Balota et al. (1999), ao estudarem a ocorrência de FMAs na cultura da mandioca no Brasil, constataram a predominância das seguintes espécies no Paraná, *Acaulospora scrobiculata*, *Scutellospora heterogama*, *Scutellospora pellucida* e *Glomus deserticola*.

Santos e Carrenho (2011), ao avaliarem a diversidade de FMAs na borda de um remanescente florestal impactado, em um Latossolo Vermelho Escuro, em Maringá, Paraná, constataram que *Glomus macrocarpum* representou 58,46% da frequência relativa de FMAs identificados no solo.

A partir de Scott-Knott (p-valor = 0,05) foi possível observar a interação dos fatores, SAF, profundidade e tempo em alguns tratamentos (Tabela 5).

As médias das variáveis microbiológicas das amostras coletadas antes (T_0) e durante (T_1 , T_2 , T_3 , T_4) o desenvolvimento dos SAFs, são apresentadas na Tabela 6.

Tabela 5 – p-valores encontrados a partir do teste Scott-Knott, com 5% de significância, para as médias das variáveis microbiológicas dos solos

Variável microbiológica	Níveis de fatores e interações							
	SAF	PROF	T	SAF*PROF	SAF*T	PROF*T	SAF*PROF*T	CV (%)
Nemat. VL	0,0021*	0,0001*	0,0001*	0,7040 ^{ns}	0,0026*	0,0042*	0,0024*	8,03
Nemat. FP	0,0048*	0,0028*	0,0001*	0,0021*	0,0035*	0,0029*	0,0047*	10,31
<i>G. macrocarpum</i>	0,0091*	0,0032*	0,0056*	0,0129*	0,5600 ^{ns}	0,0029*	0,2800 ^{ns}	17,75
<i>S. heterogama</i>	0,0042*	0,0089*	0,0073*	0,0381*	0,027*	0,5610 ^{ns}	0,4610 ^{ns}	6,49
Bactéria 10 ⁻⁶	0,0021*	0,0034*	0,00101*	0,0450*	0,0093*	0,3100 ^{ns}	0,4700 ^{ns}	19,94
<i>Penicillium</i> sp. 10 ⁻¹	0,0028*	0,0001*	0,0001*	0,0035*	0,0041*	0,0002*	0,0035*	4,76
<i>Aspergillus</i> sp. 10 ⁻¹	0,7520 ^{ns}	0,0098*	0,0032*	0,8210 ^{ns}	0,0078*	0,1780 ^{ns}	0,2720 ^{ns}	13,74
C _{mic}	0,0330*	0,0010*	0,0420*	0,1000 ^{ns}	0,0047*	0,0924 ^{ns}	0,0097*	5,65

SAF considerando os SAFs 1, SAFs 2 e SAFs 3. PROF considerando as profundidades de amostragem de solo, 0-10 cm e 10-20 cm. T considerando os tempos T₀=nov/2014; T₁=fev/2015; T₂=abr/2015; T₃=ago/2015; T₄= nov/2015. CV (%) considerando os coeficientes de variação. Valores seguidos de (*) significativo em 5% de nível de probabilidade (p ≤ 0,05) . Nemat. VL e Nemat. FP: nematoides de vida livre e fitoparasitas, respectivamente.
 Fonte: A autora.

Tabela 6 – Variáveis microbiológicas dos solos nos três SAFs, nas profundidades de 0-10 cm e 10-20 cm. Amostras coletadas antes e depois da implantação dos SAFs (T₀ a T₄). Médias de quatro repetições. Centenário do Sul, Paraná

Variável Microbiológica	T ₀		T ₁		T ₂		T ₃		T ₄	
	0-10 cm	10-20 cm	0-10 cm	10-20 cm	0-10 cm	10-20 cm	0-10 cm	10-20 cm	0-10 cm	10-20 cm
Nemat. VL (ind./100 cm ³ solo)	109	58	264	203	239	101	200	100	212	130
Nemat. FP (ind./100 cm ³ solo)	7	2	74	75	42	19	47	51	24	3
<i>G. macrocarpum</i> (und./100 cm ³ solo)	36	15	92	89	67	36	66	38	116	37
<i>S. heterogama</i> (und./100 cm ³ solo)	90	88	211	188	225	153	158	152	166	145
Bactéria ¹ (UFC/g solo) - 10 ⁻⁶	5,25	3,25	21,75	17,75	24,75	9,50	22,00	8,25	28,00	24,75
<i>Penicillium</i> sp. (UFC/g solo) - 10 ⁻¹	2	2	46	11	17	10	19	13	20	14
<i>Aspergillus</i> sp. (UFC/g solo) - 10 ⁻¹	3	2	13	7	9	6	9	8	13	13
C _{mic} ² (µg/g solo)	155,10	116,75	183,58	166,69	-	-	-	-	225,38	178,98
Nemat. VL	41	34	113	83	222	77	209	75	256	162
Nemat. FP	14	6	29	13	18	12	133	30	31	25
<i>G. macrocarpum</i>	18	15	54	54	51	33	53	42	79	44
<i>S. heterogama</i>	106	98	127	125	127	120	110	120	134	122
Bactéria ¹	2,50	2,15	7,52	7,06	6,75	6,12	7,00	6,25	33,00	31,00
<i>Penicillium</i> sp.	3	3	41	23	17	12	17	17	22	16
<i>Aspergillus</i> sp.	3	2	13	15	7	7	8	7	15	10
C _{mic} ²	153,63	124,28	173,94	146,00	-	-	-	-	202,25	162,20
Nemat. VL	78	46	110	90	165	74	145	72	233	104
Nemat. FP	4	6	22	22	15	16	115	38	17	21
<i>G. macrocarpum</i>	23	21	65	106	48	33	47	31	56	59
<i>S. heterogama</i>	96	99	128	134	147	137	136	136	142	141
Bactéria ¹	6,25	5,37	7,25	7,25	7,75	7,50	7,75	7,12	28,00	24,25
<i>Penicillium</i> sp.	3	3	42	36	13	11	14	14	20	20
<i>Aspergillus</i> sp.	2	2	7	7	6	6	8	8	13	15
C _{mic} ²	148,34	117,85	162,00	159,85	-	-	-	-	211,00	171,48

Amostras coletadas em: T₀= nov/2014; T₁= fev/2015; T₂=abr/2015; T₃= ago/2015; T₄= out/2015. ¹ 10⁵ UFC/g solo. ² Para C_{mic} foram considerados apenas T₀, T₁, T₃, Nemat. VL e Nemat. FP: nematoides de vida livre e fitoparasitas, respectivamente.

Fonte:A autora.

- **Densidade populacional de nematoides de vida livre e fitopatogênicos**

A densidade populacional de nematoides de vida livre variou, significativamente, em função dos seguintes fatores e interações: SAF, PROF, T, SAF*T, PROF*T e SAF*PROF*T. Já densidade populacional de nematoides fitopatogênicos variou, significativamente, em função dos seguintes fatores e interações: SAF, PROF, T, SAF*PROF, SAF*T, PROF*T e SAF*PROF*T. Ao avaliar o nível de fator SAF, observou-se as maiores médias de nematóide de vida livre e nematoides fitopatogênicos para o SAF1 e as menores para o SAF3; a partir do fator PROF, para ambas as variáveis resposta, na camada de 0-10 cm foram observadas as maiores médias quando comparadas às camadas de 10-20 cm e em relação a T, para nematóide de vida livre as maiores médias foram observadas em T₄ e as menores em T₀. Já para nematoides fitopatogênicos observou-se as maiores médias de T₃ e as menores em T₂ e T₄.

Por fim, para a interação SAF*PROF*T, do conjunto de médias de nematoides de vida livre, avaliou-se que as maiores, para a camada mais superficial, foram em SAF1*P₀₋₁₀*T₁, SAF1*P₀₋₁₀*T₂, SAF2*P₀₋₁₀*T₄ e SAF3*P₀₋₁₀*T₄. Porém, na camada de 10-20 cm, observou-se que as maiores médias foram em SAF1*P₁₀₋₂₀*T₁, SAF2*P₁₀₋₂₀*T₄. Houve aumentos nas médias de nematoides de vida livre, para os três SAFs, entre T₀ e T₄, nas duas camadas amostradas. O maior aumento observado nesse estudo para as três áreas foi entre T₀ e T₁, em ambas as camadas amostradas. Já para o conjunto de médias de nematoides fitopatogênicos na interação SAF*PROF*T, observou-se que as maiores ocorreram em SAF1*P₀₋₁₀*T₁ e SAF1*P₁₀₋₂₀*T₁. Entre o tempo inicial e o tempo final, observou-se incremento nas médias para os três SAFs, em ambas as camadas com exceção do SAF1P₀₋₁₀ no qual não se constatou diferença nas médias entre esses tempos. Para o SAF1, os maiores aumentos ocorreram entre o T₀ e T₁, nas duas camadas de profundidade; para o SAF2, entre T₂ e T₃, também em ambas as camadas; para o SAF3 entre T₂ e T₃, na camada de 0-10 cm e entre T₀ e T₁ para a camada de 10-20 cm.

- **Número de esporos de fungos micorrízicos arbusculares (*G. macrocarpum* e *S. heterogama*)**

O número de esporos de *G. macrocarpum* variou, significativamente, em função de SAF, PROF, T, SAF*PROF e PROF*T. Já para *S. heterogama*, o número de esporos variou, significativamente, em função de SAF, PROF, T, SAF*PROF e SAF*T. Em relação ao nível de fatorial SAF, para ambas as variáveis resposta as maiores médias foram observadas em SAF1 e considerando o fator PROF, na camada de 0-10 cm. Em relação ao nível de fatorial T,

para *G. macrocarpum* as maiores médias foram observadas em T₁ enquanto que para *S. heterogama* foram observadas em T₁ e T₂.

De acordo com a interação SAF*PROF, no SAF1, na camada de 0-10 cm, observou-se as maiores médias de *G. macrocarpum*, sendo que na camada de 10-20 cm, entre os três SAFs, não ocorreu diferença significativas para essa variável resposta. Enquanto que para *S. heterogama* no SAF1, em ambas as profundidades, constatou-se as maiores densidades.

Para *G. macrocarpum*, a partir da interação PROF*T, do conjunto de médias obtidas, observou-se que as maiores foram em P₀₋₁₀*T₁, P₀₋₁₀*T₄ e P₁₀₋₂₀*T₄. O maior aumento dessa variável ocorreu entre T₀ e T₁ nas duas camadas de profundidade.

Para *S. heterogama*, na interação SAF*T, do conjunto de médias obtidas observou-se as maiores em SAF1*T₁ e SAF1*T₂. Entre os três SAFs não houve diferença significativa no tempo inicial. Comparando entre T₀ e T₄, nos três SAFs houve aumento na média de *S. heterogama*, sendo que o maior aumento avaliado nesse estudo ocorreu entre T₀ e T₁. No tempo final, a média do SAF1 foi a maior e não foi verificada diferença entre SAF2*T₄ e SAF3*T₄.

• Densidade populacional de bactérias

A densidade populacional de bactérias a partir do número de UFC (unidades formadoras de colônias) variou, significativamente, em função dos fatores e interações: SAF, PROF, T, SAF*PROF e SAF*T. Considerando o nível de fator SAF, notou-se as maiores médias para SAF1, sendo que a partir de PROF, na camada de 0-10 cm observou-se que as médias da densidade populacional de bactérias foram maiores do que na camada de 10-20 cm e considerando T, verificou-se as maiores médias em T₄ e as menores em T₀.

A partir da interação SAF*PROF, no SAF1, na camada de 0-10 cm, observou-se as maiores médias e na camada de 10-20 cm, não ocorreu diferença significativas entre as médias dos três SAFs.

Por fim, a partir da interação, SAF*T, observou-se as maiores médias no SAF1 e no SAF3, no tempo inicial. Comparando entre T₀ e T₄, houve aumento para os três SAFs. Em T₄ não houve diferença entre as médias dos três SAFs.

• Densidade populacional de fungos (*Penicillium* sp. e *Aspergillus* sp.)

A densidade populacional de fungos a partir do número de UFC (unidades formadoras de colônias) de *Penicillium* sp. variou, significativamente, em de SAF, PROF, T,

SAF*PROF, SAF*T, PROF*T e SAF*PROF*T. Enquanto que o número de UFC (unidades formadoras de colônias) de *Aspergillus* sp. variou, significativamente, em função de PROF, T e SAF*T. Considerando o fator SAF, observou-se as maiores médias de *Penicillium* sp. para os SAF2 e SAF3; a partir de PROF, para ambas as variáveis respostas averiguou-se maiores médias na camada de 0-10 cm e considerando T, para *Penicillium* sp. as maiores médias foram constatadas em T₁ e as menores em T₀, enquanto que para *Aspergillus* sp., as maiores forem em T₄ e as menores em T₀.

Em relação a interação SAF*T, tanto no tempo inicial como no final, não se observou diferenças significativas entre as médias dos SAFs para ambas as variáveis. Comparando T₀ e T₄, houve aumento para esses dois gêneros de fungos.

Por fim, considerando o conjunto de médias de *Penicillium* sp. na interação SAF*PROF*T, notou-se que, na camada de 0-10 cm, as maiores foram em SAF1*P₀₋₁₀*T₁, SAF2*P₀₋₁₀*T₁, SAF3*P₀₋₁₀*T₁. Ao considerar somente a camada de 10-20 cm, a maior média foi em SAF3*P₁₀₋₂₀*T₁. Os maiores aumentos ocorreram para os três SAFs, nas duas profundidades, entre o T₀ e T₁.

•Carbono da biomassa microbiana (C_{mic})

O C_{mic} variou, significativamente, em função dos seguintes níveis de fatorial: SAF, PROF e T. Também variou em função das interações: SAF*T e SAF*PROF*T. Para o nível de fatorial SAF, observou-se as maiores médias em SAF1; para o fator PROF notou-se a maior média na camada de 0-10cm e considerando T, notou-se médias maiores no tempo final (T₄).

Na interação tripla, no tempo inicial, em ambas as camadas, avaliou-se que não houve diferença entre as médias dos três SAFs. Comparando T₀ e T₄, nas duas profundidades, o teor de C_{mic} aumentou significativamente. A média de SAF1*P₀₋₁₀*T₄ foi maior do que SAF2*P₀₋₁₀*T₄ e SAF3*P₀₋₁₀*T₄ enquanto que na camada de 10-20 cm não se constatou diferença entre as médias dos três SAFs em T₄.

5.2 Análise Multivariada

Na análise de variância multivariada (MANOVA) foram considerados apenas os tempos inicial e final (T₀ e T₄), já que o objetivo é avaliar o efeito dos tratamentos no início e no final do estudo. Nessa análise, cada tratamento, formado pelos fatores SAF, profundidade e tempo, está alocado de forma bidimensional no gráfico (Figura 4).

Já a análise de variáveis canônicas (AVC) está representada pelas variáveis resposta

e sua influência unidimensional em cada eixo (x, y) que demonstra os autovalores do componente 1 (eixo x) da AVC (Figura 5) e do componente 2 (eixo y) da AVC (Figura 6), ou seja, a influência de cada variável no eixo.

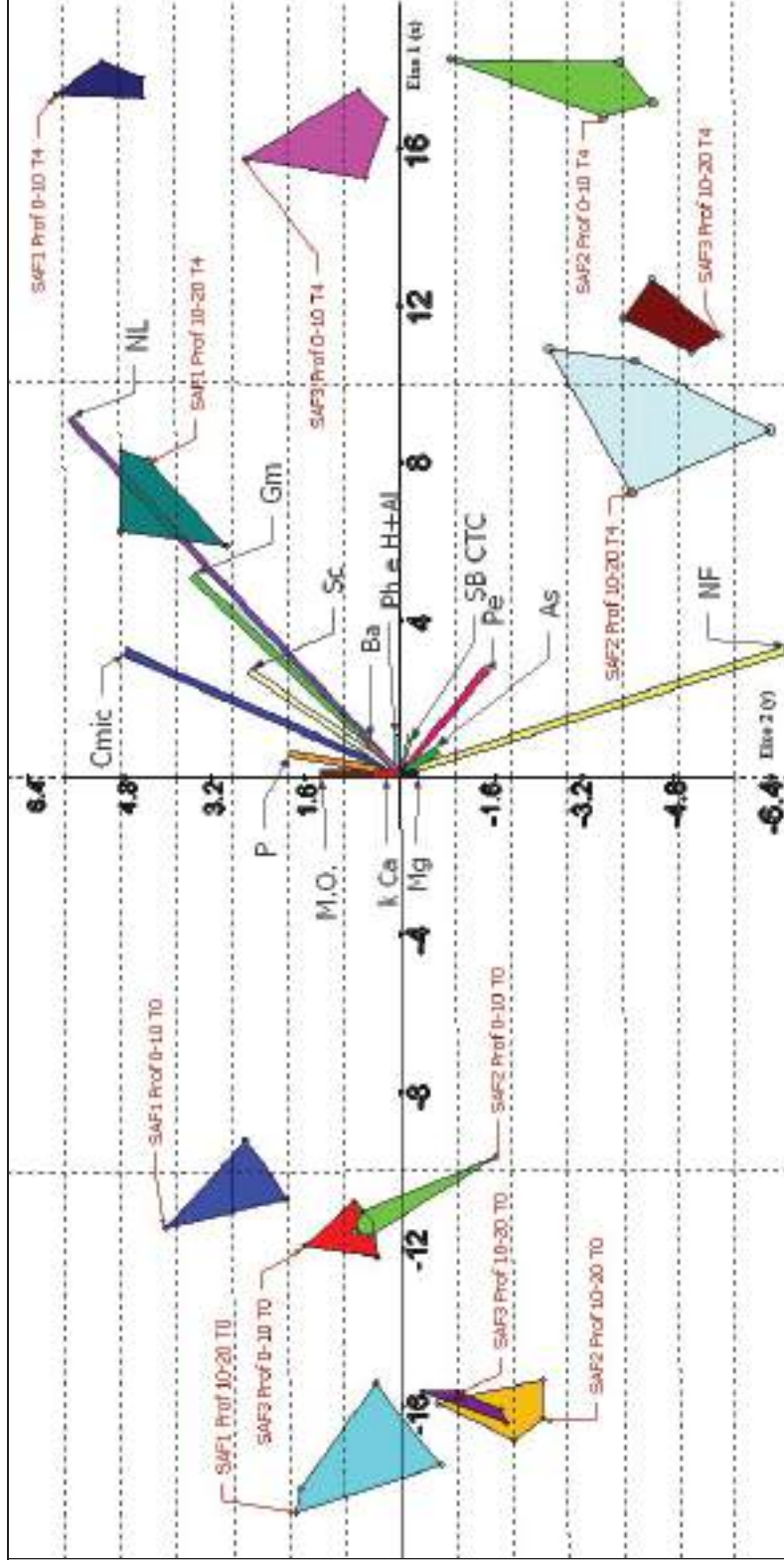


Figura 6. Gráfico de dispersão baseado na Análise de Variância Multivariada (MANOVA) com Análise das Variáveis Canônicas (AVC) das características químicas e microbiológicas dos solos dos três Sistemas Agroflorestais (SAFs). As amostras de solo foram coletadas na camada de 0-10 cm e de 10-20 cm, no assentamento Maria Lara, Centenário do Sul, Paraná. Em MANOVA foram considerados os fatores SAFs, profundidades e épocas de amostragem (tempos inicial e final).

Cada figura no gráfico representa um tratamento (com quatro repetições) composto pelos fatores na seguinte ordem SAF (1,2,3), profundidade (0-10 cm e 10-20 cm) e os tempos (T₀ e T₄). Sendo: P = fósforo, MO = matéria orgânica, pH = potencial hidrogeniônico, H+Al = acidez potencial, K = potássio, Ca = cálcio, Mg = magnésio, SB = soma de base, CTC = capacidade de troca catiônica, NL = nematoídes de vida livre, NF = nematoídes fitopatogênicos, Gm = *Glomus macrocarpum*., Sc = *Scutellospora heterogama*, Ba = bactérias, Pe = *Penicillium* sp., As = *Aspergillus* sp., Cmic = carbono da biomassa microbiana.

Fonte: A autora.

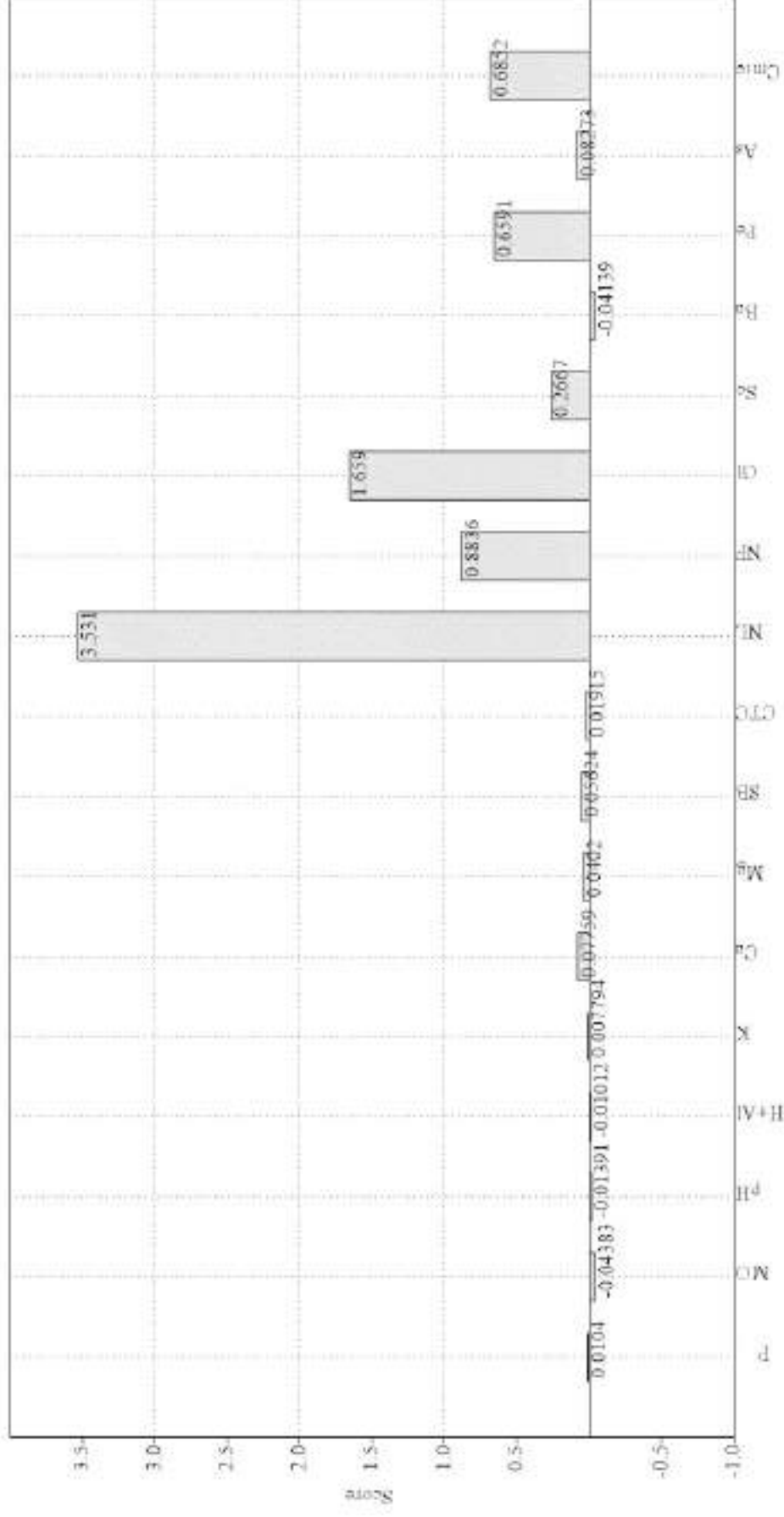


Figura 7 - Autovalores da Análise de Variáveis Canônicas (AVC) do componente 1 referente às características químicas e microbiológicas dos solos dos três sistemas agroflorestais (SAFs). As amostras de solo foram coletadas nas camadas de 0-10 cm e de 10-20 cm, no assentamento Maria Lara, Centenário do Sul, Paraná.

Sendo: P = fósforo, MO = matéria orgânica, pH = potencial hidrogeniônico, H+Al = acidez potencial, K = potássio, Ca = cálcio, Mg = magnésio, SB = soma de base, CTC = capacidade de troca catiônica, NL = nematóides de vida livre, NF = nematóides fitopatogênicos, Gl = *Glomus macrocarpum*, Sc = *Scutellospora heterogama*, Ba = bactérias, Pe = *Penicillium* sp., As = *Aspergillus* sp., Cmic = carbono da biomassa microbiana.

Fonte: A autora.

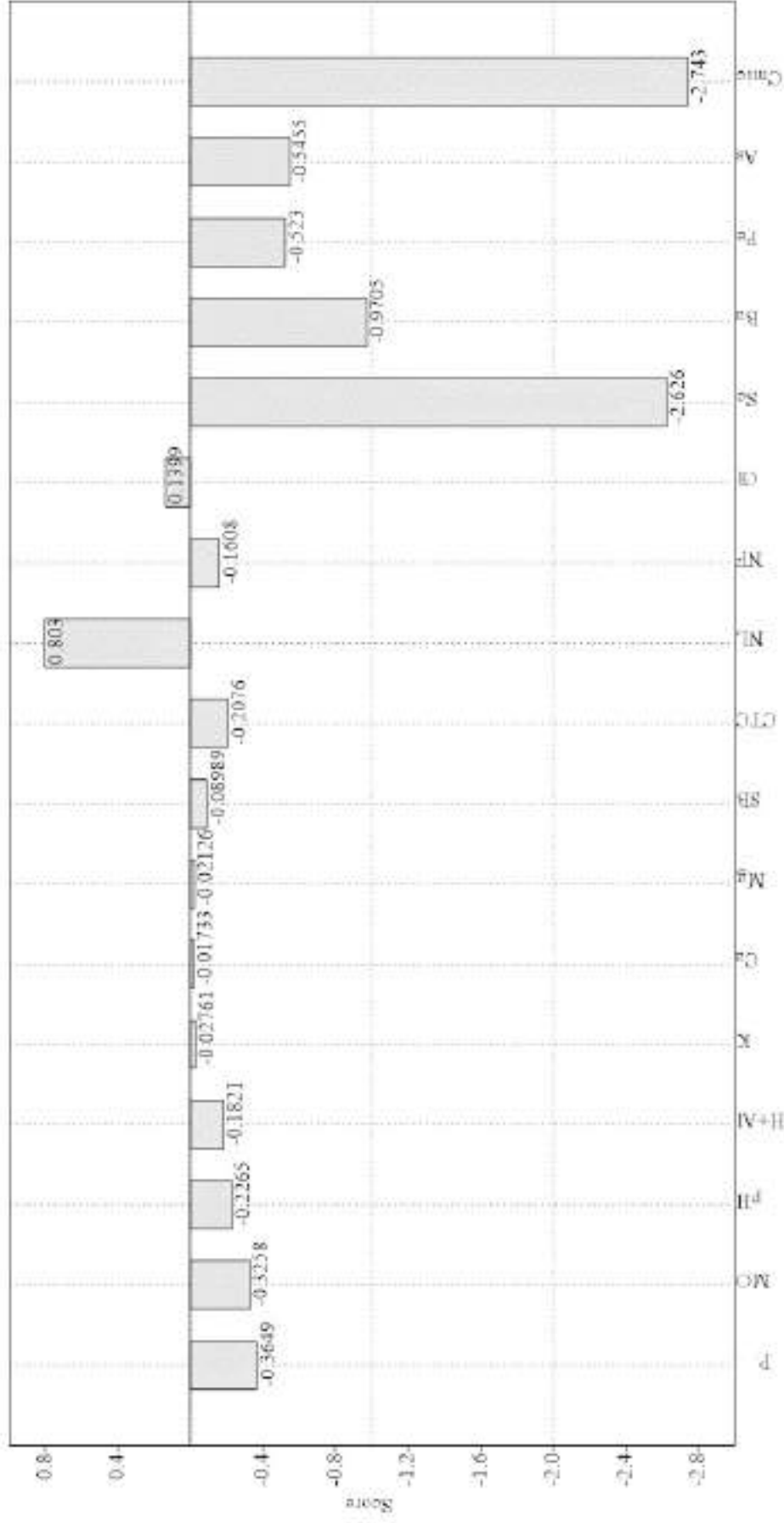


Figura 8- Autovalores da Análise Variáveis Canônicas (AVC) do componente 2 referente às variáveis químicas e microbiológicas dos solos dos três sistemas agroflorestais (SAFs), no assentamento Maria Lara, Centenário do Sul, Paraná.

Sendo: P = fósforo, MO = matéria orgânica, pH = potencial hidrogeniônico, H+Al = acidez potencial, K = potássio, Ca = cálcio, Mg = magnésio, SB = soma de base, CTC = capacidade de troca catiônica, NL = nematoides de vida livre, NF = nematoides fitopatogênicos, Gl = *Glomus macrocarpum*., Sc = *Scutellospora heterogama*, Ba = bactérias, Pe = *Penicillium* sp., As = *Aspergillus* sp., Cmic = carbono da biomassa microbiana.

Fonte: A autora.

O componente 1 (eixo x) da AVC correspondeu a 99% da variância estudada, ou seja, este é o eixo que mais contribuiu no posicionamento de cada tratamento. Dessas variáveis que mais colaboraram, positivamente no componente 1, em ordem decrescente de importância, foram: nematoides de vida livre, *G. macrocarpum*, nematoides fitopatogênicos, C_{mic} , *Penicillium* sp. e *S. heterogama* (Figura 7). Ou seja, essas variáveis foram as mais significativas para o eixo x. O componente 2 (eixo y) da AVC correspondeu com apenas 1% da variância estudada, sendo que a variável resposta que mais colaborou, positivamente no componente 2 foi nematoides de vida livre. Já as que mais contribuíram, negativamente, em ordem decrescente de importância, foram: C_{mic} , *S. heterogama*, bactérias, *Aspergillus* sp. e *Penicillium* sp. (Figura 8).

É interessante constatar que todas as variáveis contribuíram no agrupamento dos tratamentos, porém em intensidades diferentes. De maneira geral, as variáveis químicas tiveram menor influência no posicionamento dos tratamentos quando comparadas às variáveis microbiológicas, conforme demonstrado por AVC (Figura 7 e 8).

Os tratamentos do tempo inicial estão relativamente próximos uns aos outros, haja vista que são áreas com condições climáticas e pedológicas bem semelhantes, presença de Latossolo Vermelho Distrófico, com mesmo histórico de uso, cana-de-açúcar seguido do cultivo de grãos e pousio, sendo que ambas as lavouras com intenso preparo e revolvimento do solo, com pouca cobertura e alto uso de fertilizantes sintetizados e agrotóxicos. Durante o pousio, que durou cerca de oito meses, não ocorreu nenhuma intervenção nas áreas, somente o crescimento de plantas espontâneas, sendo que em julho de 2014 ocorreu o preparo mecânico da área (gradagem) e aplicação, em área total, de 1 t de cama de frango e 100 kg de calcário calcítico. Em dezembro de 2014, ocorreu a implantação dos SAFs. Nesse momento não houve revolvimento do solo, a abertura das covas foi feita manualmente. Para mais detalhes sobre a implantação e manejo das áreas, ver Quadro 1.

Nesse contexto, apesar da similaridade entre as áreas no tempo inicial, existe um posicionamento distinto quanto aos tratamentos formados pela profundidade de 0-10 cm e de 10-20 cm, o que é esperado tendo em vista que nas camadas mais superficiais se encontram as maiores concentrações de nutrientes e micro-organismos (RAIJ, 2011; MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). Sendo que o SAF1P₀₋₁₀T₀ se discriminou, levemente, dos demais tratamentos do mesmo tempo e profundidade, o que é explicado a partir das médias de K, Ca, Mg, SB e principalmente de nematoides de vida livre que foram maiores do que no SAF2P₀₋₁₀T₀ e SAF3P₀₋₁₀T₀.

Os tratamentos do tempo final estão posicionados de forma oposta os tratamentos do

tempo inicial, isso se deu a partir dos incrementos observados nas variáveis, pH, Ca, Mg, SB, CTC, nematóide de vida livre e fitopatogênicos, *S. heterogama*, *G. macrocarpum*, bactérias, *Penicillium* sp., *Aspergillus* sp. e C_{mic} para todos os três SAFs, sendo que também se analisou incrementos em P e K, somente para o SAF1. Essas alterações deslocaram os tratamentos do tempo inicial, localizados no quadrante III (-/-) e IV (-/+) para o quadrante I (+/+) ou II (+/-) onde se encontram os tratamentos do tempo final (Figura 6). Todas essas variáveis citadas contribuíram para esse distanciamento entre os tratamentos de T_0 e T_4 , porém as que mais contribuíram, em ordem decrescente de importância, foram: nematoides de vida livre, *G. macrocarpum*, nematoides fitopatogênicos, C_{mic} , *Penicillium* sp. e *S. heterogama*.

Os tratamentos localizados no quadrante II (+/-), SAF2P₀₋₁₀T₄, SAF2P₁₀₋₂₀T₄ e SAF₃PROF₁₀₋₂₀T₄ correlacionaram predominantemente com as variáveis, nematoides de vida livre, *Penicillium* sp. e *Aspergillus* sp., o que pode se desdobrar em problemas fitossanitários para essas áreas, tendo em vista que se tratam de patógenos responsáveis por doenças em plantas (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006; FERRAZ et al., 2010). Esses riscos fitossanitários são ainda mais relevantes para SAF₃PROF₁₀₋₂₀T₄, pois nele se observou a maior média de *Penicillium* sp. e que juntamente com o SAF2P₁₀₋₂₀T₄ verificou-se a maior densidade populacional de nematoides fitopatogênicos, fato esse que torna esses dois tratamentos próximos entre si. Já o SAF₂PROF₀₋₁₀T₄ se discriminou em relação aos demais tratamentos do quadrante II, pois juntamente com o SAF₃PROF₀₋₁₀T₄ avaliou-se a maior média de nematoides de vida livre, fato esse que aproxima esses tratamentos entre si.

Já os tratamentos localizados no quadrante I (+/+), SAF1PROF₀₋₁₀T₄, SAF1PROF₁₀₋₂₀T₄ e SAF₃PROF₀₋₁₀T₄ correlacionaram predominantemente com as variáveis: nematoides de vida livre, C_{mic} , *G. macrocarpum*, *S. heterogama*. O SAF1P₁₀₋₂₀T₄ se destaca dos outros tratamentos do mesmo tempo e da mesma profundidade pelo fato de apresentar a menor média de nematoides fitopatogênicos, a maior quantidade de esporos de *S. heterogama* junto com o SAF₃P₁₀₋₂₀T₄ e uma densidade populacional de nematoides de vida livre intermediária entre os dois tratamentos do mesmo tempo e profundidade. Já SAF1P₀₋₁₀T₄ se discriminou em relação a todos os outros tratamentos justamente por apresentar os maiores valores de C_{mic} , *G. macrocarpum* e *S. heterogama*. Ao passo que as densidades populacionais de nematoides fitopatogênicos observadas em SAF1P₀₋₁₀T₄ e SAF2P₀₋₁₀T₄ são as maiores, fato esse que aproxima esses tratamentos.

6 DISCUSSÃO

De forma geral, as variáveis microbiológicas tiveram maior influência sobre o comportamento dos tratamentos quando comparadas às variáveis químicas. De acordo com Peixoto (2005), o uso de indicadores biológicos para a qualidade dos solos é vantajoso em relação aos indicadores químicos e físicos, pois são mais sensíveis e respondem rapidamente às pressões sofridas pelo ecossistema. Mesmo assim, o uso combinado dessas variáveis auxilia na compreensão mais abrangente dos processos pedológicos.

Ao comparar o tempo inicial ao tempo final é possível constatar modificações nas variáveis químicas, mesmo que de forma mais sutil do que nas microbiológicas.

6.1 Variáveis químicas

- **Fósforo (P)**

Para P, considerando T_0 e T_4 ocorreu aumento somente para o SAF1, enquanto que, para as demais áreas, os teores de P se mantiveram, apesar de que em T_1 observou-se redução significativa nas médias desse elemento para SAF2 e SAF3.

Anteriormente à implantação dos SAFs, as três áreas estavam em pousio, com o crescimento somente de plantas espontâneas. Essa redução no teor de P, nos SAF2 e SAF3, detectada no T_1 , momento posterior à implantação, possivelmente, está relacionada à absorção por parte das plantas cultivadas nos SAFs, de forma bem adensada.

A partir disso, com o uso contínuo de cama de frango e de resíduos vegetais como cobertura, os teores de P se restabeleceram a partir de T_3 , no SAF2 e no SAF3. A massa seca de 1 kg de cama de frango contém, em média, 311g de C, 31g de N, 18g de P, 16g de K, 51g de Ca e 11g de Mg (RAIJ et al., 1997). Essa redução inicial não se verificou no SAF1 devido à aplicação de termofosfato nas covas de plantio o que se desdobrou na manutenção dos níveis desse nutriente e que, juntamente com o uso, sucessivas vezes, da cama de frango e de resíduos vegetais ocasionou o incremento nos teores de P em T_4 .

Outro fator importante a ser considerado ao discutir as oscilações nos teores de P nos três SAFs foi o aumento significativo de MOS ocorrido em T_3 , já que esse material tende a reduzir a adsorção de P pelo solo devido à liberação de ácidos orgânicos os quais podem competir pelos sítios de adsorção de P, além de formar compostos com o P na solução do solo ou, ainda, complexar o ferro e alumínio que adsorvem esse elemento (SILVA; CAMARGO; CERETTA, 2012).

- **pH (CaCl₂) e acidez potencial (H+Al)**

Sobre o pH, entre os tempos inicial e final, observou-se aumento nos valores dessa variável. Considerando os três SAFs, não se observou diferença ao avaliar as médias entre T₀, T₁ e T₂, porém, em T₃, ocorreu aumento do pH. Em relação à H+Al, não se averiguou diferença entre T₀ e T₄, porém em T₃ ocorreu diminuição nos três SAFs. Essas oscilações em pH e H+Al estão relacionadas aos aumentos de MOS, Ca, SB e CTC em T₃ que, a partir da complexação de H⁺ e Al³⁺ com compostos orgânicos aniônicos dos resíduos, da MOS e do aumento da saturação da CTC do solo pelo Ca, contribuiu para reduzir a acidez potencial e aumentar o pH.

As reações de troca de ligantes entre ânions orgânicos e os grupos OH⁻ terminais dos óxidos de Fe e Al têm sido propostas como causas da elevação do valor de pH do solo após a adição dos resíduos, sendo que a magnitude das alterações químicas de solos ácidos com resíduos vegetais é determinada pelo teor total de cátions e carbono na fração hidrossolúvel de resíduos vegetais (FRANCHINI et al., 1999).

Pavinato e Rosolem (2008) discorrem que elevações no pH do solo a partir da adição de resíduos vegetais é um resultado decorrente da complexação de H⁺ e Al³⁺ livres com compostos orgânicos aniônicos dos resíduos e também decorrente do aumento da saturação da CTC do solo por conta do Ca, Mg e K adicionados via resíduo vegetal, o que reduziria a acidez potencial. As reações de troca de ligantes entre ânions orgânicos e os grupos OH⁻ terminais dos óxidos de Fe e Al têm sido propostas como causas da elevação do valor de pH do solo após a adição dos resíduos.

- **Potássio (K)**

Para K, entre T₀ e T₄, se observou diferentes comportamentos para os três SAFs. Para SAF1, notou-se aumentos de 51% para a camada de 0-10 cm e de 62 % para a camada de 10-20 cm; para SAF2 não se observou diferenças significativas para ambas as camadas e para o SAF3 ocorreu a redução em 13% de 0-10 cm e de 39% de 10-20 cm. O K se encontra somente na fração orgânica viva, sendo facilmente lavado logo após a morte das células (ERNANI; ALMEIDA; SANTOS, 2007). Assim discutir sobre os reais motivos pelos quais esse elemento se comportou de forma diferente nos três SAFs é uma tarefa bem complexa devido à sua mobilidade iônica, porém existem algumas possibilidades. Uma delas é a que o SAF3 foi o sistema que se caracterizou pelo plantio mais freqüente de miudezas o que se desdobra em maior exportação de nutrientes do solo a partir das colheitas. Nesse sentido, no SAF3, a maior redução de K ocorreu entre T₁ e T₂, momento em que ocorreu o plantio de feijão, cultura que

conforme Epagri (2012) é exigente em macro e micronutrientes.

- **Cálcio (Ca)**

No que diz respeito ao Ca, entre T_0 e T_4 , ocorreu aumento para os três SAFs em ambas as camadas amostradas. Em SAF1 o aumento foi de 109% e 113%; para o SAF2 o aumento foi de 73% e 76% e para o SAF3 foi de 177% e 115% para as camadas de 0-10 e de 10-20 cm, respectivamente. Porém, ao longo dos tempos, os maiores aumentos nos teores de Ca ocorreram entre T_0 e T_1 , seguido do aumento em T_3 .

- **Magnésio (Mg)**

Para Mg, entre T_0 e T_4 , ocorreram aumentos apenas na camada de 0-10 cm, sendo que somente para o SAF3 se verificou incrementos na camada de 10-20 cm. Assim, considerando a camada mais superficial amostrada, os aumentos foram de 50%, 59% e 78% para SAF1, SAF2 e SAF3, respectivamente. Para o SAF3, na camada de 10-20 cm, o aumento foi de 66% entre os tempos inicial e final. Os principais aumentos de Mg para SAF3 ocorreram entre T_0 e T_1 ; para SAF1 e SAF2 o maior aumento foi entre T_1 e T_2 .

- **Capacidade de troca catiônica (CTC) e Soma de bases (SB)**

Como conseqüência dos acréscimos de cátions trocáveis também se observou aumentos na CTC e SB, nos três SAFs, entre o tempo inicial e final. Considerando SB, para o SAF1 esse aumento foi de 59% e 85%; para o SAF2 foi de 62% e 17% e para SAF3 foi de 65% e 45%, para as camadas de 0-10 cm e de 10-20 cm, respectivamente. Já para a CTC, para o SAF1 esse incremento foi de 27% e 38%; para o SAF2 foi de 29% e 27% e para SAF3 foi de 34% e 12%, para as camadas de 0-10 cm e de 10-20 cm, respectivamente. Para as duas variáveis, os maiores aumentos ocorreram entre T_0 e T_1 . Ao final da avaliação, as maiores médias de SB e CTC foram atribuídas ao SAF1.

De forma geral, os aumentos observados em Ca, Mg, SB e CTC estão associados a três momentos nos quais o manejo foi determinante. Entre T_0 e T_1 houve a implantação dos SAFs com o uso considerável de cama de frango e cobertura do solo com resíduos vegetais. Nesse momento foi utilizado o maior volume desses materiais o que, possivelmente, contribuiu para que os maiores aumentos de Ca, Mg, SB e CTC tenham acontecido nesse período. Já entre T_1 e T_2 , nos três SAFs, ocorreu a manutenção da cobertura do solo com resíduos vegetais, no SAF1 foi utilizada cobertura de capim napier, no SAF2 ocorreu a roçada e deposição da mombaça e no SAF3 roçada do feijão de porco e feijão guandu para cobertura.

Isto contribuiu para o incremento nos teores de Mg, além da cobertura que já estava sobre o solo anteriormente à essas ações. E por fim entre T₂ e T₃, observou-se acréscimo no teor de MOS que contribuiu para o aumento nas médias, Ca, SB e CTC.

Franchini et al. (1999), ao testarem o efeito da incubação resíduos de nabo, soja e trigo sobre as propriedades químicas em latossolos, constataram aumentos no pH (em H₂O e CaCl₂), Ca, Mg e K imediatamente após a aplicação dos resíduos. Para os autores, a composição orgânica e inorgânica da fração hidrossolúvel de resíduos vegetais demonstrou ser a principal responsável pelas alterações químicas observadas nas amostras de solos ácidos. Para Pavinato e Rosolem (2008), esses resultados obtidos demonstram que os teores de Ca, Mg e K trocáveis aumentam nas camadas superficiais, uma provável resposta à quantidade presente no resíduo e não ao aumento da disponibilidade do nutriente preexistente no solo.

Resultados semelhantes foram obtidos por Diehl, Miyazawa e Takashi (2008) ao avaliarem o efeito de compostos orgânicos hidrossolúveis de extratos de resíduos vegetais de nabo forrageiro, aveia preta, palha de trigo, milho e soja em latossolo vermelho distrófico. Os resultados evidenciaram aumento do pH do solo, dos teores de Ca, Mg e K trocável e diminuição de H⁺Al.

Vieira et al. (2015) comparam os resultados das amostras de solo, coletadas em linha e entrelinha, de uma área SAF (formado por espécies arbóreas nativas, frutíferas, café e adubação verde) antes e após a implantação, na camada de 0-20 cm. Os teores de P, K e de MO aumentaram substancialmente após a implantação em ambos os locais amostrados, sendo que esse aumento foi maior na linha do que na entrelinha, devido ao manejo na entrelinha onde foi cultivada a adubação verde que constantemente foi roçada e a biomassa acumulada na linha.

Pinto (2014), ao avaliar as características químicas dos solos de uma área de mata nativa (cerradão), uma monocultura de soja, um SAF (aléias formadas por árvores nativas e cultivos anuais) e uma área com manejo de corte/queima (milho, feijão e mandioca), constatou que as médias de MOS, SB e CTC foram as maiores no SAF, seguido do sistema corte/queima. Para P, os maiores teores foram avaliados no SAF e na soja. O menor valor de pH foi o do cerrado, seguido da pastagem, SAF, corte/queima e soja. Para acidez potencial os maiores valores foram observados no sistema corte e queima e depois no SAF.

- **Matéria orgânica do solo (MOS)**

Quanto aos teores de MOS, comparando o tempo inicial e final não se verificou aumentos significativos para SAF2 e SAF3, porém, para o SAF1 houve redução. Mas, em T₃,

a partir da interação SAF*T, observou-se incrementos na ordem de 95%, 289% e 318% para SAF1, SAF2 e SAF3, respectivamente, o que pode estar relacionado às condições ambientais mais favoráveis ao acúmulo desse material. Entre T₂ e T₃ ocorreu a combinação de temperaturas mais amenas (média próxima de 18 °C) juntamente com um período de estiagem de abril a junho. Posteriormente, no mês de julho, houve um aumento abrupto na precipitação (Figura 3) que, aliado ao uso da cama de frango (Quadro 1) e a conseqüente redução da relação C/N da cobertura sobre o solo, favoreceu a decomposição da palhada, aumentando o carbono orgânico o que refletiu na MOS. Ainda no início de agosto (antes da coleta da quarta amostra de solo) ocorreu um decréscimo na precipitação, porém com a cobertura morta sobre o solo, possivelmente se manteve a umidade até o restabelecimento dos altos índices de precipitação, antes da quarta amostragem de solo. De acordo com Brady e Weil (2013), estresses, como episódios de seca severa seguido de períodos chuvosos, tendem a acelerar a decomposição e até a mineralização da MOS, ao passo que ocorre uma explosão da atividade microbiana.

Além disso, outro fator importante ao analisar as oscilações é que o compartimento ativo da MOS pode ser aumentado com facilidade pela adição de resíduos de origem animal e vegetal. No entanto, é também muito facilmente perdido quando tais adições são reduzidas. Esse compartimento raramente abrange mais de 10% a 20% da MOS total do solo (BRADY; WEIL, 2013). Para esses autores, a suscetibilidade desse compartimento à mudança rápida explica porque mesmo alterações relativamente pequenas na MOS total do solo podem produzir transformações significativas e importantes nas propriedades do solo. Isso ocorre porque um compartimento relativamente pequeno de MOS ativa pode vir a ter um grande aumento ou diminuição percentual, sem alterar um grande percentual de um compartimento muito maior que é a MOS total. Se uma mudança favorável das condições ambientais ou do sistema de manejo ocorrer, os resíduos das plantas e o compartimento ativo da MOS também serão os primeiros a responderem positivamente (BRADY; WEIL, 2013).

6.2 Variáveis microbiológicas

- **Carbono da biomassa microbiana (C_{mic})**

Mesmo sem averiguar aumentos significativos de MOS entre os tempos inicial e final, observou-se aumentos significativos nos teores de C_{mic} para os três SAFs, em ambas as profundidades de amostragem. Na camada de 0-10 cm, houve aumentos de 45%, 31% e 30% para SAF1, SAF2 e SAF3, respectivamente.

Esse estímulo aos micro-organismos mediado pela matéria orgânica pode ser visto como um efeito *priming* no solo. Com isso há um predomínio inicial de micro-organismos r-estrategistas ou oportunistas (assim chamados por sua rápida taxa “r” de crescimento e reprodução), os quais são atraídos por compostos facilmente decomponíveis e geralmente solúveis em água, como açúcares, amidos e aminoácidos (FONTAINE; MARIOTTE; ABBADIE, 2003). Nessa fase, a biomassa microbiana aumenta junto à liberação de CO₂, sendo que a atividade microbiana chega a ser tão intensa que pode até estimular a quebra de alguma matéria orgânica mais resistente, em um fenômeno ativador conhecido como efeito *priming* (KUZYAKOV, 2010). No entanto, essa matéria orgânica mais resistente tende a restaurar seus níveis à medida que os compostos facilmente decomponíveis são exauridos e a atividade microbiana diminui. Porém, mesmo sem a adição de volumes considerados de resíduos vegetais frescos sobre o solo, a atividade microbiana se mantém, por meio dos micro-organismos denominados de k-estrategistas que produzem enzimas com constantes (k) de alta afinidade para determinados materiais resistentes à decomposição. Estes com sua ação lenta vão gradativamente digerindo os compostos mais resistentes enquanto os r-estrategistas entram em comparativa quiescência (FONTAINE; MARIOTTI; ABBADIE, 2003).

Entre T₀ e T₁ ocorreu aumento nos teores de C_{mic} em média de 28%, 15% e 20% para SAF1, SAF2 e SAF3, respectivamente, sendo que entre T₁ e T₄ as médias de C_{mic} continuaram a crescer, porém em menores proporções, 15%, 13% e 18% para SAF1, SAF2 e SAF3, respectivamente, o que evidencia esse efeito *priming* e a ação abrupta desses micro-organismos oportunistas nos tempos iniciais desse estudo. Assim, esse efeito pode aumentar a biomassa microbiana a partir da ação dos micro-organismos r-estrategistas e causar decréscimos pontuais de alguma matéria orgânica mais resistente, por exemplo, o húmus (BRADY; WEIL, 2013), o que possivelmente ocorreu no SAF1 com a redução no teor de MOS entre T₀ e T₄.

Para Moreira e Siqueira (2006), uma vez que a atividade microbiana se torna drenada de nutrientes, há o acúmulo destes em suas células até o momento em que estes se tornam escassos no solo ou menos acessíveis à ação microbiana, resultando em menor atividade dos micro-organismos. Como a biomassa microbiana possui uma rápida ciclagem, em pouco tempo começa a ocorrer morte e lise de células microbianas e liberação de compostos lábeis o que resulta em um novo aumento da atividade desses organismos. Santos (2014) também constatou o efeito *priming* ao testar a adição de substâncias húmicas em cultivos de trigo em solos tropicais distintos (um de textura arenosa e outro de textura argilosa) e constatou perdas consideráveis de C a partir da mineralização do elemento pelos micro-organismos.

Pinto (2014), ao avaliar os solos de uma área de mata nativa (cerradão), uma monocultura de soja, um SAF (aléias formadas por árvores nativas e cultivos anuais) e uma área com manejo de corte/queima (milho, feijão e mandioca), encontrou as maiores médias de C_{mic} para o SAF e mata nativa (não houve diferença entre essas duas áreas), seguido da pastagem, corte e queima e soja. Para a autora, a adoção de práticas agroflorestais com baixa intensidade no revolvimento do solo e com alta adição de resíduos vegetais influencia a atividade e a biomassa microbiana.

Pezarico et al. (2013) comparam alguns parâmetros microbiológicos, entre eles, a biomassa microbiana de dois sistemas agroflorestais, SAF A (formado por linhas de árvores e entrelinhas com feijão guandu) e SAF B (formado por linhas de árvores sem as entrelinhas com feijão guandu), um sistema silvicultural (erva-mate), uma lavoura convencional (soja no verão seguindo de milho safrinha) e uma área com mata (Floresta estacional semidecidual), todos localizados no Mato Grosso do Sul, considerando as camadas de 0-10 cm e de 10-20 cm. Na camada mais superficial, não foram observadas diferenças entre os dois SAFs e os demais tratamentos, porém a mata apresentou maior C_{mic} em relação à lavoura convencional. Na camada de 10-20 cm, o valor encontrado na mata foi maior em relação aos demais, com exceção do sistema silvicultural no qual não se observou diferença entre as médias. Porém, ao fazer uma correlação entre C_{mic} e MOS, na camada de 0-10 cm, concluíram que essas correlações indicaram a aproximação do SAF A com a mata já que tiveram maiores teores de MOs em relação ao SAF B, ao sistema silvicultural e a lavoura. Nesse sentido, o SAF B apresentou valores que melhor se correlacionaram com a Lavoura e o sistema silvicultural diferiu apenas da mata. Nesse estudo, os valores de C_{mic} também foram maiores na camada de 0-10 cm quando comparada à camada de 10-20 cm.

- **Densidade populacional de nematoides de vida livre e fitopatogênicos**

Para nematoides de vida livre, ao comparar o tempo inicial ao tempo final, foi possível observar que houve aumento nas médias. Para o SAF1, esse aumento foi na ordem de 90% e 120%; para o SAF2 foi de 500% e 300% e para o SAF3 foi de 200% e 100% para as camadas de 0-10 cm e de 10-20 cm, respectivamente.

A densidade populacional de nematoides fitopatogênicos no tempo final também foi maior do que no tempo inicial, com exceção do SAF1P₁₀₋₂₀. Porém, para a camada de 0-10 cm houve aumento na ordem de 200%; para o SAF2 o incremento foi de 100% e 300% e para o SAF3 de 300% e 100% considerando de 0-10 cm e de 10-20 cm, respectivamente. Ou seja, para SAF1P₀₋₁₀, SAF3P₀₋₁₀ e SAF3P₁₀₋₂₀, houve maior multiplicação de nematoides

fitopatogênicos do que de vida livre. Em T₄, na camada mais superficial, as maiores médias foram para SAF1 e SAF2 e na camada de 10-20 cm, foram para SAF2 e SAF3.

Para nematoides de vida livre e fitopatogênicos, os maiores aumentos, ao longo desse estudo, foram observados entre T₀ e T₁, para os três SAFs. Esse aumento, possivelmente, está relacionado ao fato de que a área onde atualmente se localiza o assentamento foi, durante anos, cultivada com cana-de-açúcar e grãos, culturas hospedeiras de nematoides, conforme Ferraz et al. (2010). A partir do momento em que cessaram essas lavouras e a terra permaneceu em pousio, os nematoides presentes no solo, provavelmente, assumiram duas estratégias: desenvolver e multiplicar a partir de plantas espontâneas ou entrar em estado de quiescência temporária. Lordello, Loedello e Deuber (1998) alegam que as plantas espontâneas, conhecidas também como plantas daninhas, atuam como hospedeiras alternativas do patógeno e garantem a sobrevivência do mesmo na ausência da cultura hospedeira. Além disso, o nematoide pode sobreviver a condições prolongadas de falta de alimento e a estresse ambiental por diferentes mecanismos. Essa longevidade pode ser garantida devido à redução do seu metabolismo e, em algumas condições, por meio de armazenamento de lipídeos ou glicose (RITZINGER; FANCELLI; RITZINGER, 2010). Assim, com o fim do pousio e a partir da implantação dos SAFs que propiciaram condições ambientais mais favoráveis, os nematoides retomaram seu estado metabólico e seus mecanismos de reprodução. Adicionalmente, na implantação dos SAFs houve grande *input* de resíduos vegetais utilizados, sendo que esses resíduos foram oriundos da área do próprio lote e que, provavelmente, já apresentavam alta densidade desses organismos os quais no SAF tiveram melhores condições para o seu desenvolvimento.

Apesar do aumento no teor de MOS em T₃, não se verificou redução no número de nematoides fitopatogênicos nesse tempo, conforme argumentado por diversos trabalhos, como por exemplo, Tihohod (2000) e Ferraz et al. (2010). Porém, Ritzinger e Fancelli (2006) explicam que esse mecanismo de ação da MOS sobre a população de fitonematoides depende de inúmeros fatores, como a relação C/N do material utilizado, do favorecimento ao crescimento e desenvolvimento de espécies antagônicas no solo, tipo de solo e espécies de nematoides. Nesse contexto, é possível inferir que as alterações nas variáveis químicas e microbiológicas dos solos dos SAFs são novas e incipientes. Os reflexos disso são as explosões populacionais, porém, com pouca diversidade, o que limita a auto-regulação das populações microbianas de forma a garantir um ambiente equilibrado.

- **Densidade populacional de bactérias e fungos (*Penicillium* sp. e *Aspergillus* sp.)**

Entre os tempos inicial e final também se observou o aumento de bactérias no SAF1 e no SAF2, enquanto que para o SAF3 não houve diferença significativa. Esse aumento foi na ordem de 400% e 600% para o SAF1, de 1.000% e 1.000% para o SAF2 e de 300% e 300% para o SAF3, nas camadas de 0-10 cm e de 10-20 cm, respectivamente. No tempo final, a maior média foi atribuída ao SAF1.

Considerando *Penicillium* sp. e *Aspergillus* sp. observou-se aumento no número de UFC entre o tempo inicial e o tempo final. Para *Penicillium* sp. os aumentos para o SAF1 foram na ordem de 900% e 600%; para o SAF2 foram na ordem de 600% e 400% e para o SAF3, 500% e 500%, nas camadas de 0-10 cm e de 10-20 cm, respectivamente. Para *Penicillium* sp., no tempo final, na camada de 0-10 cm não se observou diferença entre os três SAFs, porém, de 10-20 cm, se verificou que o SAF3 apresentou a maior média em comparação com os demais tratamentos. Para *Aspergillus* sp., os aumentos foram para o SAF1 na ordem de 300% e 500%; para o SAF2 400% e 400% e para o SAF3 500% e 600%, nas camadas de 0-10 cm e de 10-20 cm, respectivamente. Para *Aspergillus* sp., no tempo final não se averiguou diferenças entre as três áreas independente da profundidade.

Nesse estudo, os maiores aumentos observados para UFC de *Penicillium* sp., *Aspergillus* sp. e bactérias ocorreu entre T₀ e T₁, possivelmente, ligado ao efeito *priming* e pela ação dos micro-organismos r-estrategistas os quais são estimulados pelas condições mais favoráveis a partir da implantação dos SAFs, como amenização de extremos climáticos, manutenção da umidade no solo, uso de cama de frango e presença de compostos para decomposição.

Bettiol et al. (2002), avaliando organismos do solo em sistemas de cultivo orgânico e convencional nas culturas de tomate e milho, também observaram incrementos da população de fungos e bactérias, com resultados maiores para o sistema de cultivo orgânico, atribuído ao maior acúmulo de cobertura vegetal sobre o solo e melhores condições climáticas.

Rech et al. (2013), ao avaliarem o impacto de diferentes formas de manejo agrícola na produção de videiras sobre a microbiota de um argissolo, constataram que o solo sob vegetação nativa apresentou a maior densidade de fungos filamentosos e a menor densidade bacteriana quando comparado aos vinhedos. Os autores explicaram que o resultado foi influenciado pelo baixo pH na vegetação nativa devido à ausência de calagem, o que desfavoreceu as bactérias. O solo do vinhedo agroecológico apresentou maior densidade bacteriana e de fungos filamentosos quando comparado ao manejo convencional do vinhedo, indicando que as áreas sob manejo menos intensivo, com o uso de adubação verde e cobertura

sobre o solo favorecem o desenvolvimento da comunidade microbiana do solo quando comparado ao manejo convencional que, geralmente, implica em revolvimento do solo, uso de agrotóxicos e retirada da cobertura sobre o solo.

De acordo com Moreira e Siqueira (2006) a presença de matéria orgânica, de material pouco alterado nas camadas superficiais do solo (o que pode ser extrapolado também para o uso da cama de frango nos SAFs) favorece a maior aeração e disponibilidade de nutrientes, o que estimula o aumento da população de fungos e bactérias.

Souto et al. (2008) avaliaram aumento na população de fungos e bactérias com o aumento da umidade do solo, que foi favorecida pela maior disponibilidade de resíduos orgânicos sobre o solo e pela maior oferta de nutrientes. A densidade populacional microbiana é reflexo do suprimento de nutrientes, mas também das condições de umidade, aeração, temperatura e pH (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

Apesar do crescimento substancial no número de UFC de bactérias nesse estudo, é importante considerar que essas bactérias não foram identificadas. Logo, muitas estão envolvidas na dinâmica dos nutrientes, na decomposição de MOS e na promoção do crescimento vegetal, porém outras, possivelmente, possuem caráter fitopatogênico. Assim é necessário manter o acompanhamento dessas áreas e, futuramente, identificar esses organismos a fim de entender os processos da microbiota no solo

- **Número de esporos de fungos micorrízicos arbusculares - FMAs (*Glomus macrocarpum* e *Scutellospora heterogama*)**

Para *G. macrocarpum* e *S. heterogama* se observou aumentos nas médias entre os tempos inicial e final para as duas profundidades avaliadas. Para *G. macrocarpum* no SAF1 houve aumentos na ordem de 200% e 150%; para o SAF2 de 300% e 200% e para o SAF3 de 150% e 200%, nas profundidades de 0-10 cm e de 10-20 cm, respectivamente. Para *S. heterogama*, considerando o fatorial SAF*T, no tempo final o SAF1 apresentou a maior quantidade de esporos em relação aos demais SAFs.

A formação e ocorrência de FMAs é influenciada por diversos fatores, como pH, disponibilidade de nutrientes, temperatura e umidade do solo, além de características ligadas ao histórico e manejo da área (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006) o que torna complexa a tarefa de correlacionar características gerais do solo com a ocorrência de espécies e número de esporos. Para esses autores, geralmente os FMAs são inibidos em condições de elevada fertilidade e favorecidos pela baixa fertilidade, onde a colonização e esporulação tendem a ser altas. Balota et al. (1999), ao estudarem a ocorrência de bactérias diazotróficas e FMAs na

cultura da mandioca no Brasil, observaram os menores valores de colonização micorrízica nos solos de maior fertilidade, porém a densidade de esporos no solo não seguiu esse padrão de comportamento.

Bomfim et al. (2007) estudaram a densidade de esporos de FMAs, de 0 – 20 cm, em cafeeiros cultivados em SAFs e a pleno sol, em duas épocas do ano, verão e inverno, na Bahia, e observaram que nas duas épocas foram constatados maiores quantidades de esporos de FMAs nos SAFs.

Por outro lado, Silva Júnior e Cardoso (2006) ao avaliarem a densidade total de esporos no solo sob o cultivo de pupunha e cupuaçu em monoculturas ou em SAFs com espécies arbóreas, em diferentes estações, constataram que a densidade total dos esporos de fungos micorrízicos arbusculares sob o cupuaçu não é alterada pelo sistema de manejo (SAF ou monocultura) ou pela época do ano, enquanto para a pupunha houve maior densidade total de esporos no sistema agroflorestal durante a estação seca.

Oehl et al. (2004), ao investigarem a densidade e diversidade de fungos micorrízicos arbusculares (FMA) em sistemas de cultivo orgânico e convencional, verificaram que a abundância e diversidade dos FMA foram significativamente maiores nos sistemas orgânicos em comparação aos convencionais.

6.3 Comparação entre os SAFs

Em relação aos tratamentos, é possível constatar que o SAF1, desde o tempo inicial, possuía algumas características significativamente maiores do que os demais SAFs, como os teores de Ca, Mg, nas duas camadas avaliadas, e de K, SB e, principalmente, de nematoides de vida livre, na camada de 0-10 cm. Porém no tempo final apresentou as maiores médias de P, K, Ca, SB e CTC, nas duas profundidades avaliadas, e as maiores médias de Mg, *S. heterogama*, *G.* e *macrocarpum*, C_{mic} , na camada de 0-10 cm, resultado esse que se de desdobra na posição distinta desse tratamento em relação aos demais. Porém, nos SAF2 e SAF3 também houve aumento das mesmas variáveis analisadas incrementadas no SAF1, com exceção de P, K e bactérias (não se verificou incremento significativo no SAF3). Em contrapartida, nos SAF2 e SAF3 não foi observado redução no teor de MOS.

Em relação ao SAF3P₁₀₋₂₀T₄ que apresentou a maior média de UFC de *Penicillium* sp. cabe ressaltar que algumas espécies pertencentes a esse gênero atuam no biocontrole, seja pelo antagonismo a micro-organismos fitopatogênicos, mas também em relação a outros que podem ser importantes no processo de decomposição de MOS e na dinâmica de nutrientes no solo. Santamarina et al. (2002), ao estudarem a atividade antagonista de alguns isolados de

hifas de fungos, avaliaram que os extratos de *Trichoderma harzianum* e *Penicillium oxalicum* mostraram os melhores resultados no controle de fungos, bactérias e insetos. Assim, essa explosão populacional de *Penicillium* sp. pode ter implicações no desenvolvimento e reprodução de outros micro-organismos no solo.

Outra variável microbiológica que também apresentou abrupto crescimento em todos os tratamentos, em especial em SAF2P₁₀₋₂₀T₄, SAF3P₁₀₋₂₀T₄, SAF1P₀₋₁₀T₄ e SAF2P₀₋₁₀T₄, foram os nematoides fitopatogênicos, o que implica em apontar possíveis práticas no sentido de reduzir o crescimento dessas populações. A partir disso, Ritzinger e Fancelli (2006) elencam algumas ações do manejo integrado de nematoides, como o incremento de MOS no solo e de resíduos orgânicos em cobertura; práticas culturais que diminuam o estresse nas plantas, como adubação, rotação de culturas e pousio (com eliminação total das plantas infectadas e de plantas invasoras); adubação nitrogenada, fosfatada e potássica que segundo os autores têm demonstrado respostas na regulação de *Meloidogyne* spp. e outros gênero; bem como aumento no uso de plantas antagônicas, como *Crotalaria spectabilis* e *Crotalaria paulinea*. Existem também algumas plantas com propriedades nematicidas, como *Azadirachta indica* (nim), *Chondrilla juncea* (leituga-branca), *Hannoa klaineana*, *Hannoa undulata*, *Pinus radiata*, *Ricinus communis* (mamona) e *Shorea robusta* (Shala) (STIRLING, 1991; RITZINGER; McSORLEY, 1998).

Contudo, cabe ressaltar que a existência de elevadas populações de nematoides fitopatogênicos, *Penicillium* sp. e *Aspergillus* sp. não é um indicativo de perdas na produção. Plantas sem estresse e bem nutridas podem tolerar a presença de fitoparasitas sem que haja prejuízos consideráveis em seu metabolismo (CHABOUSSOU, 1995).

Assim, o primeiro passo para um possível processo de melhoria da fertilidade e de recuperação da microbiota demonstrou a capacidade de resiliência do ambiente, mas que implica no desafio de incrementar ainda mais as variáveis químicas do solo e estabilizar o crescimento e a reprodução desses micro-organismos, bem como diversificar a comunidade microbiana no sentido da complexidade biológica do sistema.

Uma elevada complexidade biológica garante relações diversas, as quais limitam a explosão populacional, gerando assim, condições de equilíbrio biológico no sistema solo.

7 CONCLUSÕES

As variáveis microbiológicas do solo foram mais influenciadas do que as variáveis químicas frente ao manejo realizado nos SAFs.

Considerando o tempo inicial (nov/2014) e o tempo final do estudo (out/2015) observou-se, nos solos dos três SAFs, aumentos médios de 109% para Ca, 57% para Mg, 56% para SB e 28% para CTC, além da diminuição da acidez a partir do pH. No SAF1 também se observou aumentos médios nos teores de P em 149% e K em 49%.

Não houve diferença significativa de nos teores de MOS para os SAF2 e SAF3, porém ocorreu diminuição significativa dessa variável para o SAF1.

Para as variáveis microbiológicas observaram-se aumentos médios na ordem de 200% para nematoides de vida livre, nematoides fitopatogênicos e esporos de *Glomus macrocarpum*; 50% para *Scutellospora heterogama*; 600% para UFC de bactérias e UFC de *Penicillium* sp.; 400% para UFC de *Aspergillus* sp. e 41% para C_{mic}.

No tempo final, no SAF1 observou-se as maiores médias de P, K, Ca, SB e CTC, nas duas profundidades avaliadas e as maiores médias de Mg, *S. heterogama*, *G. macrocarpum* e C_{mic}, na camada de 0-10 cm.

REFERÊNCIAS

- ABREU, C. A.; LOPES, A. S.; SANTOS, G. C. G. Micronutrientes. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 645-736.
- ALEXANDER, M. **Introduction to soil microbiology**. 2. ed. New York: John Wiley, 1977.
- ALFENAS, A. C.; MAFIA, R. G. (Ed.). **Métodos em fitopatologia**. Viçosa: Editora Universidade Federal de Viçosa, 2007. 382 p.
- AMARAL, H. F. **Indicadores químicos e microbiológicos de qualidade de solo sob cultivo orgânico e convencional de videira (*Vitis labrusca* L.)**. 2008. 117 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2008.
- ANDERSON, M. J. A new method for non-parametric multivariate analysis of variance. **Austral Ecology**, Carlton, v. 26, n. 1, p. 32-46, 2001.
- ANDRADE, D. S.; COLOZZI-FILHO, A.; BALOTA, E. L.; HUNGRIA, M. Interação entre microrganismos do solo e feijão e milho em monocultura ou consórcio. In: REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA EM FEIJÃO, 4., 1993, Londrina. **Resumos...** Londrina: IAPAR, 1993. 129p.
- ANDRADE, D. S.; COLOZZI-FILHO, A.; PAVAN, M. A.; BALOTA, E. L.; CHAVES, J. C. D. Atividade microbiana em função da calagem em um solo cultivado com cafeeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 19, p. 191-196, 1995.
- ARAÚJO, F. F.; HENNING, A. A.; HUNGRIA, M. Caracterização do potencial anti-fúngico de *Bacillus* spp. isolados do solo do Paraná. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 3., 1994, Londrina. **Resumos...** Londrina: IAPAR/EMBRAPA-CNPSO/UDEL, 1994. p. 118-126.
- ATLAS, R. M. Use of microbial diversity measurements to assess environmental stresses. In: KLUG, M. J.; REDDY, C. A. **Current perspectives in microbial ecology**. Washington: American society for microbiology, 1984. p. 540-545.
- BALOTA, E. L.; ANDRADE, D. S.; COLOZZI-FILHO, A. Avaliações microbiológicas em sistemas de preparo do solo e sucessão de culturas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANTIO DIRETO PARA UMA AGRICULTURA SUSTENTÁVEL, 1., 1995, Ponta Grossa. **Anais...** Ponta Grossa: IAPAR, 1995. p. 9-11.
- BALOTA, E. L.; COLOZZI FILHO, A.; ANDRADE, D. S.; DICK, R. P. Long-term tillage and crop rotation effects on microbial biomass and C and N mineralization in a Brazil Oxisol. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 77, n. 2, p. 137-145, 2004.
- BALOTA, E. L.; LOPES, E. S.; HUNGRIA, M.; DOBEREINER, J. Ocorrência de bactérias diazotróficas e fungos micorrízicos arbusculares na cultura da mandioca. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, p. 1265-1276, 1999.
- BALOTA, E. L.; YADA, I. F. U.; AMARAL, H. F. A.; NAKATANI, S. A.; HUNGRIA, M.; DICK, R. P.; COYNE, S. Soil quality in relation to Forest conversion to perennial or annual

cropping in southern Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, n. 39, p. 1003-1014, 2015.

BARDGETT, R. **The biology of soil: a community and ecosystem approach**. New York: Oxford University Press, 2005. 245 p.

BARNETT, H. L.; BARRY, B. H. **Illustrated genera of imperfect fungi**. 4. ed. Saint Paul: Burgess Publishing Company, 1998. 218p.

BARRON, G. L. Nematode destroying fungi. In: BURNS, R. G.; SLATER, J. H. (Ed.). **Experimental microbial ecology**. Oxford: Blackwell scientific publications, 1982. 533 p.

BENE, J. G.; BEALL, H. W.; COTE, A. **Trees, food and people: land management in the tropics**. Ottawa: International Development Research Center, 1977.

BENTO, J. M. S.; PARRA, J. R. P.; MUCHOVEJ, R. M. C.; ARAUJO, M. S.; DELLA LUCIA, T. M. C. Interação entre microrganismos edáficos e pragas de solo. In: SALVADORI, J. R.; ÁVILA, C. J.; SILVA, M. T. B. **Pragas de solo no Brasil**. Passo Fundo: EMBRAPA Trigo; Dourados: EMBRAPA Agropecuária Oeste; Cruz Alta: Fundacep Fecotrigo, 2004. p. 99-129.

BETTIOL, W.; GHINI, R.; GALVÃO, J. A. H.; LIGO, M. A. V.; MINEIRO, J. L. C. Soil organisms in organic and conventional cropping systems. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 59, n. 3, p. 565-572, 2002.

BOMFIN, J. A.; MATSUMOTO, S. N.; SANTOS, M. A. F.; ARAÚJO, G. S. Determinação da densidade de esporos de fungos micorrízicos arbusculares em sistemas cafeeiros cultivados em sistema agroflorestal a plena sol, no município de Vitória da Conquista, Bahia. **Revista Brasileira de Agroecologia**, Pelotas, v. 2, n. 2, p. 54-p.59, 2007.

BONATO, C. M.; RUBIIN FILHO, C. J.; MELGES, E.; SANTOS, V. D. **Nutrição mineral de plantas**. Maringá: Universidade Estadual de Maringá, 1998. 60 p.

BORGES, L. V.; FERREIRA, D. F. Poder e taxas de erro tipo i dos testes Scott-Knott, Tukey e Student-Newan-Keuls sob distribuições normal e não normais dos resíduos. **Revista de Matemática e Estatística**, São Paulo, v. 21, n. 1, p. 67-83, jul. 2003.

BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **Elementos da natureza e propriedades do solo**. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

BROOKES, P. C.; POWLSON, D. S.; JENKINSON, D. S. Measurement of microbial biomass phosphorus in soil. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v. 14, n. 4, p. 319-329, 1982.

BROOKES, P. C.; POWLSON, D. S.; JENKINSON, D. S. Phosphorus in the soil microbial biomass. **Soil Biology Biochemistry**, Oxford, v. 16, p. 868-877, 1984.

CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V.; V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 375-470.

CHABOUSSOU, F. **Plantas doentes pelo uso de agrotóxicos: a teoria da trofobiose**. 2. ed. Porto Alegre: L & PM, 1995.

CHAVEZ, R.; BULL, P.; EYZAGUIRRE, J. The xylanolytic enzyme system from the genus *Penicillium*. **Journal of Biotechnology**, Amsterdam, v. 123, p. 413-433, 2006.

COLOZZI-FILHO, A.; NOGUEIRA, M. A. Micorrizas arbusculares em plantas tropicais: café, mandioca e cana-de-açúcar. In: SILVEIRA, A. P. D.; FREITAS, S. S. **Microbiota do solo e qualidade ambiental**. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 2007. p. 39-56.

CURADO FILHO, A. U. **Prospecção de produtos naturais na proteção de mudas arbóreas em pastagem sob pastejo contínuo**. 2007. 52 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 2007. Disponível em: <<http://www.mca.ufms.br/producao/dissertacoes/2007/arthur.pdf>>. Acesso em: 8 mar. 2015.

DIAS-FILHO, M. B. **Degradação de pastagens: processos, causas e estratégias de recuperação**. 2. ed. Belém: EMBRAPA Amazônica Oriental, 2005. 173 p.

DIEHL, R. C.; MIYAZAWA, M.; TAKAHASHI, H. W. Compostos orgânicos hidrossolúveis de resíduos vegetais e seus efeitos nos atributos químicos do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, n. 32, p. 2653-2659, 2008.

DRAUTZ, H.; ZAHNER, H. New microbial metabolites. In: SZABO, G.; BIRO, S.; GOODFELLOW, M. (Ed.). **Biological, biochemical and biomedical aspects of actinomycetes**. Budapest: Akademiai Kiadó, 1986. p. 227-234.

DUARTE, M. L. R. **Sistema de produção de pimenta-do-reino**. Belém: EMBRAPA Amazônia Oriental, 2005. (Sistemas de produção, 1). Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Pimenta/PimenteiradoReino/index.htm>>. Acesso em: 8 nov. 2015.

EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA E EXTENSÃO RURAL DE SANTA CATARINA (EPAGRI), COMISSÃO TÉCNICA SUL-BRASILEIRA DE FEIJÃO. **Informações técnicas para o cultivo de feijão na Região Sul brasileira**. 2.ed. Florianópolis: Epagri, 2012. 157p.

ERNANI, P. R.; ALMEIDA, J. A.; SANTOS, F. C. Potássio: In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 551-594.

FERRAZ, L. C. C. B.; MONTEIRO, A. R. Nematóides. In: BERGAMIN FILHO, A.; KIMATI, H.; AMARIM, A. (Ed.). **Manual de fitopatologia: princípios e conceitos**. São Paulo: Ceres, 1995. p. 168-201.

FERRAZ, S.; FREITAS, L. G.; LOPES, E. A.; DIAS-ARIEIRA, C. **Manejo sustentável de fitonematoides**. Viçosa: Ed. UFV, 2010.

FERREIRA, D. F. **SISVAR: manual do sistema SISVAR para análises estatísticas**. Lavras: UFLA, 2000.

FONTAINE, S.; MARIOTTE, A.; ABBADIE, L. The priming effect of organic matter: a question of microbial competition? **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v. 35, p.837-843, 2003.

FORTES NETO, P.; FERNANDES, S. A. P.; JAHNEL, M. C. Microbiota do solo como indicadora da poluição do solo e do meio ambiente. In: SILVEIRA, A. P. D.; FREITAS, S. S. (Ed.). **Microbiologia do solo e qualidade ambiental**. Campinas: Instituto Agronômico de Campinas, 2007. p. 259-274.

FRANCHINI, J. C.; CRISPINO, R. A.; SOUZA, R. A.; TORREES, E.; HUNGRIA, M. Microbiological parameters and indicators of soil quality under various soil management and crop rotation systems in southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, n. 32, p. 18-29, 2007.

FRANCHINI, J. C.; MALAVOLTA, E.; MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A. Alterações químicas em solos ácidos após a aplicação de resíduos vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, p. 533-542, 1999.

FRANCO, A. A.; CAMPELLO, E. F. C.; DIAS, L. E.; FARIA, S. M. **Uso de leguminosas associadas a microrganismos na revegetação de áreas de mineração de bauxita em Porto Trombetas - PA**. Itaguaí: EMBRAPA-CNPBA, 1996. 69p. (Documentos, 27).

FRANKE, I. L.; FURTADO, S. C. **Sistemas silvipastoris: fundamentos e aplicabilidade**. Rio Branco: EMBRAPA Acre, 2001. 74 p. (Documentos, 74).

FREITAS, L. G.; OLIVEIRA, R. D. A.; FERRAZ, S. **Introdução à nematologia**. Viçosa: UFV, 2001. 84 p.

GANS, J.; WOILINSKY, M.; DUNBAR, J. Computational improvements reveal great bacterial diversity and high metal toxicity in soil. **Science**, [S. l.], v. 309, p. 1387-1390, 2005.

GLIESSMAN, S. R. **Agroecologia: processos ecológicos em agricultura sustentável**. 4. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2008. 656 p.

GOLLEY, F. B.; MCGINNIS, J. T.; CLEMENTS, R. G.; CHILD, G. I.; DUEVER, M. J. **Ciclagem de minerais em ecossistema de floresta tropical úmida**. São Paulo: EPU/EDUSP, 1978. 256p.

GOMES, F. P. **Curso de estatística experimental**. 15. ed. São Paulo: FEALQ, 2009.

GONZÁLEZ-CHÁVEZ, M. C. A.; GUTIÉRREZ-CASTORENA, M.; WRIGHT, S. Hongos micorrízicos arbusculares em la agregación del suelo e su estabilidad. **Terra Latinoamericana**, Chapingo, n. 22, p. 507-514, 2004.

HAIR JUNIOR, J. F.; BLACK, W. C.; BABIN, B. J.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L. **Análise multivariada de dados**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.

HAMMER, Ø. **Past 3.x: the past of the future**. 2013. Disponível em: <<http://folk.uio.no/ohammer/past/>>. Acesso em: 2 jan. 2016.

HAMMER, Ø.; HARPER, D. A. T.; RYAN, P. D. Past: paleontological statistics software package for education and data analysis. **Palaeontologia Electronica**, [S. l.], v. 1, n. 4, p. 1-9,

jun. 2001. Disponível em: <http://palaeo-electronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm>. Acesso em: 13 jan. 2016.

HOUBRAKEN, J.; SAMSON, R. A. Phylogeny of penicillium and the segregation of trichocomaceae into three families. **Studies in Mycology**. The Netherlands, v. 70, p. 1-51, 2011.

HUNGRIA, M.; ANDRADE, D. S.; COLOZZI-FILHO, A.; BALOTA, E. L.; SANTOS, J. C. Ecologia microbiana em solos sob cultivo na região sul do Brasil. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 3., 1995, Londrina. **Resumos...** Londrina: IAPAR/EMBRAPA-CNPSO/UDEL, 1995. p. 234-271.

IBRAHIM, M.; CAMARGO, J. C. Produtividade e serviços ambientais de sistemas silvipastoris: experiências do Catie. In: SISTEMAS agroflorestais pecuários: opções de sustentabilidade para áreas tropicais e subtropicais. Juiz de Fora: EMBRAPA Gado de Leite; Brasília: FAO, 2001. p. 331-259.

INCRA. **Laudo preliminar de vistoria do PA Maria Lara**. Curitiba, 2011. 345p.

INSTITUTO DE TERRAS, CARTOGRAFIA E FLORESTAS - ITCF. **Plano de manejo do parque florestal do Ibicatu**. Curitiba, 1991. Disponível em: <http://www.uc.pr.gov.br/arquivos/File/Plano_de_Manejo/PF_Ibicatu/Plano_Manejo_Ibicatu.pdf>. Acesso em: 23 out. 2014.

JENKINS, M.; SCHERR, S. J.; INBAR, M. Markets for biodiversity services: potential roles and challenges. **Environment**, Washington, n. 46, p. 32-42, 2004.

JENKINS, W. R. A rapid centrifugal-flotation technique for separating nematodes from soil. **Plant Disease Reporter**, Washington, v. 48, p. 692-698, 1964.

JENKINSON, D. S.; POWLSON, D. S. The effect of biocidal treatment on metabolism in soil. V. A method of measuring soil biomass. **Soil Biology and Biochemistry**, Amsterdam, v. 8, p. 209-213, 1976.

JORDAN, C. F. Nutrient cycling processes and tropical forest management. In: GÓMEZ-POMPA, A.; WHITMORE, T.C.; HADLEY, M. **Rain forest regeneration and management**. Paris: UNESCO, 1990. p. 159-180. (Man and The Biosphere Series, v. 6).

JORDAN, C. F.; HERRERA, R. Tropical rain forests: nutrients really critical? **The American Naturalist**, Arizona, v. 117, p. 167-180, 1981.

KAGEYAMA, P. Y. A biodiversidade e sistemas agroflorestais. In: WORKSHOP SOBRE AGROECOLOGIA E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL, 1., 1999, Campinas. **Resumos...** Campinas: Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Biologia, 1999. p. 26-32.

KEMMIT, S. J.; LANYON, C. V.; WAITE, I. S.; WEN, Q.; ADDISCOTT, T. M.; BIRD, N. R. A.; O'DONNELL, A. G.; BROOKES, P. C. Mineralization of native soil organic matter is not regulated by the size, activity or composition of the soil microbial biomass – a new perspective. **Soil Biology e Biochemistry**, Oxford, v. 40, n. 1, p. 61-73, 2008.

- KUZYAKOV, Y. Priming effects: interactions between living and dead organic matter. *Soil Biology & Biochemistry*, Oxford, v. 42, p. 1363-1371, 2010.
- LARA, A.; ECHEVERRÍA, C. Conclusiones del Congreso Internacional de los Servicios Ecosistémicos em los neotrópicos: estado del arte ya desafios futuros. *Bosque*, Valdivia, v. 28, n. 1, p. 10-12, 2007.
- LEGENDRE, P.; LEGENDRE, L. **Numerical ecology**. 2nd. Pensilvânia: Elsevier, 1998.
- LEONI, C.; GHINI, R. Efeito do lodo de esgoto na indução de supressividade in vitro a *Phytophthora nicotianae*. *Fitopatologia Brasileira*, Brasília, v. 28. n. 4, p. 14-37, 2003.
- LOPES, A. S.; GUILHERME, L. R. G. Fertilidade do solo e produtividade agrícola. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V. V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 1-64.
- LORDELLO, R. R. A.; LORDELLO, A. I. L.; DEUBER, R. Reprodução de *meloidogyne* incógnita em plantas daninhas. *Nematologia Brasileira*, Campinas, v. 22, n. 2, p. 13-14, 1998.
- MARIN, A. M. P. **Impactos de um sistema agroflorestal com café na qualidade do solo**. 2002. 194 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2002.
- MAY, P. H.; TROVATTO, C. M. M. **Manual agroflorestal para a mata atlântica**. Brasília: MDA/SAF, 2008. 196 p.
- MAZZARINO, M. J.; SZOTT, L.; JIMENEZ, M. Dynamics of soil total C and N, microbial biomass, and water-soluble C in tropical agroecosystems. *Soil Biology and Biochemistry*, Amsterdam, v. 25, p. 205-214, 1993.
- MCLAUGHLIN, A.; MINEAU, P. The impact of agricultural practices on biodiversity. *Agriculture, Ecosystems e Environment*, Amsterdam, v. 55, p. 201-212, 1995.
- MEDRADO, M. J. S. Sistemas agroflorestais: aspectos básicos e indicações. In: GALVÃO, A. P. M. (Org.). **Reflorestamento de propriedades rurais para fins produtivos e ambientais**: um guia para ações municipais e regionais. Brasília: EMBRAPA Comunicação para Transferência de Tecnologia; Colombo: EMBRAPA Florestas, 2000. p. 269-312.
- MELLONI, R. Quantificação microbiana da qualidade do solo. In: SILVEIRA, A. P. D.; FREITAS, S. S. (Ed.). **Microbiologia do solo e qualidade ambiental**. Campinas: Instituto Agrônômico de Campinas, 2007. p. 193-218.
- MENEZES M.; SILVA-HANLIN, D. M. W. **Guia prático para fungos fitopatogênicos**. Recife: Imprensa Universitária da UFRPE, 1997. 106 p.
- MENZES, C. E. G.; CORREIA, M. E. F.; PEREIRA, M. G.; BATISTA, I.; RODRIGUES, K. M.; COUTRO, W. H.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, I. P. Macrofauna edáfica em estádios sucessionais de floresta estacional semidecidual e pastagem mista em Pinheiral. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, n. 33, p. 1647-1656, 2009.

- MEURER, E. J. **Fundamentos de química do solo**. 5. ed. Porto Alegre: Evangraf, 2012. 280 p.
- MIELNICZUK, J. Matéria orgânica e sustentabilidade de sistemas agrícolas. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo**. Porto Alegre: Metrópole, 2008. p. 1-5.
- MIRANDA, J. C. C.; MIRANDA, L. N. Micorriza arbuscular. In: VARGAS, M. A. T.; HUNGRIA, M. **Biologia dos solos do cerrado**. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1997. p. 69-123.
- MONTOYA, L. J.; BAGGIO, A. J. Estudo econômico da introdução de mudas altas para o sombreamento de pastagens. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE ECONOMIA E PLANEJAMENTO FLORESTAL, 2., 1992, Curitiba. **Anais...** Colombo: EMBRAPA-CNPQ, 1992. p. 171-191.
- MONTOYA, L. J.; MEDRADO, M. J. S.; MASCHIO, L. M. A. **Aspectos de arborização de pastagens e de viabilidade técnica-econômica da alternativa silvipastoril**. Curitiba: EMBRAPA/CNPQ, 1994. 15 p. (Documentos, 26).
- MOREIRA, F. B.; CECATO, U.; PRADO, I. N.; WADA, F. Y.; REGO, F. C. A.; NASCIMENTO, W. G. Avaliação de aveia preta cv Iapar 61 submetida a níveis crescentes de nitrogênio em área proveniente de cultura de soja. **Revista Acta Scientiarum**, Maringá, v. 23, n. 4, p. 815-821, 2001. Disponível em: <<http://eduem.uem.br/ojs/index.php/ActaSciAnimSci/article/view/2608/2151>>. Acesso em: 20 out. 2014.
- MOREIRA, F. M. S.; HUISING, E. J.; BIGNELL, D. E. **Manual de biologia dos solos tropicais: amostragem e caracterização da biodiversidade**. Lavras: UFLA, 2010.
- MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. 2. ed. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2006.
- MORETTIN, L. G. **Estatística básica: probabilidade e inferência**, volume único. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2010.
- MOROTE, C. G. B.; VIDOR, C.; MENDES, N. G. Alterações na temperatura do solo pela cobertura morta e irrigação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 14, p. 81-84, 1990.
- NAIR, P. K. R. Agroforestry defined. In: NAIR, P. K. R. (Ed.). **Agroforestry systems in the tropics**. Boston: Kluwer Academic Publishers in co-operation with ICRAF, 1989. p. 13-21.
- NICODEMO, M. L. F.; PORFÍRIO-DA-SILVA, V.; THIAGO, L. R. L. S.; GONTIJO NETO, M. M.; LAURA, V. A. **Sistemas silvipastoris: introdução de árvores na pecuária do centro-oeste brasileiro**. Campo Grande: EMBRAPA Gado de Corte, 2004. 37 p. (Documentos, 147). Disponível em: <<http://saf.cnpqg.embrapa.br/publicacoes/doc146.pdf>>. Acesso em: 7 mar. 2015.
- NOVAIS, R. F.; SMYTH, J. T. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Solos, 1999. 399 p.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J.; NUNES, N. F. Fósforo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V.; V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 471-550.

OEHL, F.; SIEVERDING, E.; MÄDER, P.; DUBOIS, D.; INEICHEN, K.; BOLLER, T.; WIEMKEN, A. Impact of long-term conventional and organic farming on the diversity of arbuscular mycorrhizal fungi. **Oecologia**, Berlin, v. 138, n. 4, p. 574-583, 2004.

OLIVEIRA, J. R. A.; MENDES, I. C.; VIVALDI, L. Carbono da biomassa microbiana em solos de cerrado sob vegetação nativa e sob cultivo: avaliação dos métodos fumigação-incubação e fumigação-extração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n. 4, p. 863-871, 2001.

OLIVEIRA, L. C. **Adubações orgânicas e manejo de adubo verde nos atributos químicos e biológicos do solo e na cultura da alface em sistema de cultivo orgânico**. 2009. 108 f. Dissertação (Mestrado)-Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Marechal Candido Rondon, 2009.

OLIVEIRA, L. C.; STANGARLIN, J. R.; LANA, M. C., SIMON, D. N.; ZIMMERMANN, A. Influência de adubações e manejo de adubo verde nos atributos biológicos do solo cultivado com alface (*Lactuca sativa* L.) em sistema de cultivo orgânico. **Arquivo Instituto Biológico**, São Paulo, v. 79, n. 4, p. 557-565, 2012.

PALLU, A. P. S. **Potencial biotecnológico de fungos do gênero e interação com cana-de-açúcar**. 2010. 129 f. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2010.

PARKINSON, D.; COLEMAN, D.C. Microbial communities, activity and biomass. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 34, p. 3-33, 1991.

PAVAN, M. A.; BLOCH, M. F.; ZEMPULSKI, H. C.; MIYAZAWA, M.; ZOCOLER, D. C. **Manual de análise química do solo e controle de qualidade**. Londrina: Instituto Agrônômico do Paraná, 1992. (Circular, 76).

PAVINATO, P. S.; ROSOLEM, C. A. Disponibilidade de nutrientes no solo: decomposição e liberação de compostos orgânicos de resíduos vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 3, p. 911-920, 2008.

PEIXOTO, R. S. **Seleção e monitoramento polifásico de bactérias antagonistas a ralstonia solanacearum na rizosfera do tomateiro**. 2005. 173 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

PENEIREIRO, F. M. **Sistemas agroflorestais dirigidos pela sucessão natural: um estudo de caso**. 1999. 136 f. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1999.

PEZARICO, C. R.; VITORINO, A. C. T.; MERCANTE, F. M.; DANIEL, O. Indicadores de qualidade do solo em sistemas agroflorestais. **Revista de Ciências Agrárias**, Belém, v. 56, n. 1, p. 40-47, 2013.

PINTO, C. R. O. **Efeito do uso do solo sobre seus atributos na microrregião de Chapadinha – MA**. 2014. 98 f. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2014.

PORFÍRIO-DA-SILVA, V. Arborização de pastagens como prática de manejo ambiental e estratégia para o desenvolvimento sustentável do Paraná. In: CARVALHO, M. M.; ALVIM, M. J.; CARNEIRO, J. C. (Ed.). **Sistemas agroflorestais pecuários: opções de sustentabilidade para áreas tropicais e subtropicais**. Juiz de Fora: EMBRAPA Gado de Leite; Brasília: FAO, 2001. p. 235-251.

PORFÍRIO-DA-SILVA, V. Arborização de pastagens como prática de manejo ambiental e estratégia para o desenvolvimento sustentável do Brasil - pecuário. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE RAÇAS ZEBUÍNAS, 6., 2005, Uberaba. **Anais...** Uberaba: Universidade Federal de Uberaba, 2005. p. 59-70.

PORFÍRIO-DA-SILVA, V. **Arborização de pastagens I: procedimentos para introdução de árvores em pastagens convencionais**. Colombo: EMBRAPA Florestas, 2006. (Comunicado Técnico, 155). Disponível em: http://www.cnpf.embrapa.br/publica/comuntec/edicoes/com_tec155.pdf. Acesso em: 7 mar. 2015.

PORFÍRIO-DA-SILVA, V. Sistema silvipastoril (grevílea + pastagem): uma proposição para o aumento da produção do arenito do caiúá. In: CONGRESSO BRASILEIRO SOBRE SISTEMAS AGROFLORESTAIS, 1.; ENCONTRO SOBRE SISTEMAS AGROFLORESTAIS NOS PAÍSES DO MERCOSUL, 1., 1994, Porto Velho. **Anais...** Colombo: EMBRAPA-CNPF, 1994. p. 291-298.

PRIMAVESI, A. **Manejo ecológico de pastagens: em regiões tropicais e subtropicais**. 2. ed. São Paulo: Nobel, 1986. 184 p.

PRIMAVESI, A. **Manejo ecológico do solo: a agricultura em regiões tropicais**. 4. ed. São Paulo: Nobel 2002. 549 p.

QUEDA, O.; KAGEYAMA, P. Y.; SANTOS, J. D. Assentamentos rurais: alternativas para o agronegócio. In: SEMINÁRIO ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA REFORMA AGRÁRIA, 2009, Brasília. **Resumos...** Brasília: ABRA, 2009. 17 p.

RADOMSKI, M. I.; RIBASKI, J. **Sistemas silvipastoris: aspectos de pesquisa com eucalipto e grevílea nas regiões sul e sudeste do Brasil**. Colombo: EMBRAPA Florestas, 2009. 40 p. (Documentos, 191).

RAIJ, B. V. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. Piracicaba: International Plant Nutrition, 2011.

RAIJ, B. V.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: Instituto Agrônomo & Fundação IAC, 1997. (Boletim Técnico, 100).

RECH, M.; PANSERA, M. R.; SARTORI, V. C.; RIBEIRO, R. T. S. Microbiota do solo em vinhedos agroecológicos e convencional e sob vegetação nativa em Caxias do Sul – RS. **Revista Brasileira de Agroecologia**, Pelotas, v. 8, n. 3, p. 141-151, 2013.

REYES, I.; VALERY, A. Efecto de la fertilidad del suelo sobre la microbiota ya la promoción del crecimiento del maíz (*Zea mays* L.) com *Azobacter* spp. **Bioagro**, Barquisimeto, v. 19, n. 3, p. 117-126, 2007.

REYES, I.; VALERY, A.; VALDUZ, Z. Phosphate-solubilization and colonization of maize rhizosphere by wild and genetically modified strains of *penicillium rugulosum*. **Microbiology Ecology**, New York, n. 44, p. 39-48, 2006.

RITZINGER, C. H. S. P.; FANCELLI, M. Manejo integrado de nematoides na cultura da bananeira. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal. v. 28, n. 2, p. 331-338, 2006.

RITZINGER, C. H. S. P.; FANCELLI, M.; RITZINGER, R. Nematoides: bioindicadores de sustentabilidade e mudanças edafoclimáticas. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 32, n. 4, p. 110-118, 2010.

RITZINGER, C. H. S. P.; McSORLEY, R. Effect of castor and velvetbean organic amendments on *Meloidogyne arenaria* in greenhouse experiments. **Journal of Nematology**, Lakeland, v. 30, p. 624-631. 1998.

ROESCH, L. F. W.; FULTHORPE, R. R.; RIVA, A.; CASELLA, G.; HADWIN, A. K. M.; KENT, A. D.; DAROUB, S. H.; CAMARGO, F. A. O.; FARMERIE, W. G.; TRIPLETT, E. W. Pyrosequencing enumerates and contrasts soil microbial diversity. **International Society for Microbial Ecology Journal**, London, v. 1, n. 4, p. 283-290, 2007.

ROLIM, G. S.; SENTELHAS, P. C. **Balanço hídrico normal por Thornthwaite & Mather (1955)**: Centenário do Sul. Piracicaba: ESALQ/USP, 2003. Disponível em: <<http://www.lce.esalq.usp.br/bhbrasil/Parana/>>. Acesso em: 23 out. 2014.

RONQUIM, C.C. **Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para regiões tropicais**. Campinas: EMBRAPA Monitoramento por satélite, 2010, 26p. (Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 8).

ROSZAK, D. B.; COLWELL, R. R. Survival strategies of bacteria in the natural environment. **Microbiology Reviews**, [S. l.], v. 51, p. 365-379, 1987.

SANCHÉZ, M. D. Panorama dos sistemas agrofloretais pecuários na América Latina. In: CARVALHO, M. M.; ALVIM, M. J.; CARNEIRO, J. C. (Ed.). **Sistemas agrofloretais pecuários: opções de sustentabilidade para áreas tropicais e subtropicais**. Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite; Brasília: FAO, 2001. p. 9-7.

SANTAMARINA, M. P.; ROSELLÓ, J.; LLACER, R.; SANCHIS, V. Antagonistic activity of *penicillium oxalicum* corrie an throm, *penicillium decumbens* thom and *trichoderma harzianum* rifai isolates against fungi, bacteria and insects in vitro. **Revista Iberoamericana Micología**, Bilbao, n. 19, p. 99-103, 2002.

SANTOS, C. A. **Substância húmica e seu efeito em atributos químicos e biológicos do solo e na produção vegetal**. 2014. 92 f. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2014.

SANTOS, F. E. F.; CARRENHO, R. Diversidade de fungos micorrízicos arbusculares em remanescente florestal impactado (Parque Cinquentenário – Maringá, Paraná, Brasil). **Acta Botanica Brasilica**, Porto Alegre, v. 25, n. 2, p. 508-516, 2011.

SAYRE, R. M. Biocontrol: *Bacillus penetrans* and related parasites of nematodes. **Journal of Nematology**, College Park, v. 12, p.260-273, 1980.

- SCHIPPERS, B.; BAKKER, A. W.; BAKKER, H. M. Interactions of deleterious and beneficial rhizosphere microorganisms and effect of cropping practices. **Annual Review Phytopathology**, Palo Alto, v. 25, p. 339-358, 1987.
- SCHLOSS, P. D.; HANDELSMAN, J. Toward a census of bacteria in soil. **PLOS Computational Biology**, California, v. 2, p. 786-793, 2006.
- SCHLOTTER, M.; DILLY, O.; MUNCH, J. C. Indicators for evaluating soil quality. **Agriculture, Ecosystems e Environment**, Amsterdam, v. 98, p. 255-262, 2003.
- SHUMAN, L. M. Chemical forms of micronutrients in soil. In: MORTVEDT, J. J.; COX, F. R.; SHUMAN, L. M.; WELCH, R. M. (Ed.). **Micronutrients in agriculture**. 2. ed. Madison: Soil Science Society of America, 1991. p. 113-144.
- SILVA JUNIOR, J. P.; CARDOSO, E. J. B. N. Micorriza arbuscular em cupuaçu e pupunha cultivados em sistema agroflorestral e em monocultivo na Amazônia Central. **Revista Brasileira de Pesquisa Agropecuária**, Brasília, v. 41, n. 5, p. 819-825, 2006.
- SILVA, D. C.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; OLIVEIRA, A. H.; SOUZA, F. S.; MARTINS, S. G.; MACEDO, R. L. G. Atributos do solo em sistemas agroflorestrais, cultivo convencional e floresta nativa. **Revista de Estudos Ambientais**, Blumenau, v. 13, n. 1, p. 78-86, 2011.
- SILVA, E. E.; AZEVEDO, P. H. S.; DE-POLLI, H. **Determinação de carbono da biomassa microbiana (BMS-C)**. Seropédica: EMBRAPA Agrobiologia, 2007. 6 p. (Comunicado técnico, 98).
- SILVA, F. A. S. E.; AZEVEDO, C. A. V. A new version of the ASSISTAT-Statistical Assistance Software. In: WORLD CONGRESS ON COMPUTERS IN AGRICULTURE, 4., 2006, Orlando. **Anais...** Orlando: American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2006. p. 393-396.
- SILVA, F. A. S. E.; AZEVEDO, C. A. V. ASSISTAT: versão do programa computacional assistat para o sistema operacional windows. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 4, n. 1, p. 71-78, 2002.
- SILVA, I. R.; MENDONÇA, E. S. Matéria orgânica do solo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 275-374.
- SILVA, L. S.; CAMARGO, F. A. O.; CERETTA, C. A. Composição da fase sólida do solo. In: MEURER, E. D. (Ed.). **Fundamentos de química do solo**. 5. ed. Porto Alegre: Evangraf, 2012. p. 61-86.
- SILVA, V. P.; VIEIRA, A. R. R.; CARAMORI, P. H.; BAGGIO, A. J. Sombras e ventos em sistema silvipastoril no noroeste do Estado do Paraná. In: CONGRESSO BRASILEIRO EM SISTEMAS AGROFLORESTAIS, 2., 1998, Belém. **Resumos...** Belém: EMBRAPA-CPATU, 1998. p. 215-218.
- SILVEIRA, R. B.; MELLONI, R.; MELLONI, E. G. P. Atributos microbiológicos e bioquímicos como indicadores da recuperação de áreas degradadas, em Itajubá/MG. **Revista Cerne**, Lavras, v. 12, n. 1, p. 48-55, 2006.

SIQUEIRA, J. O.; FRANCO, A. A. **Biotecnologia do solo: fundamentos e perspectivas**. Lavras: ESAL/FAEPE, 1988. 236 p.

SIQUEIRA, J. S.; MOREIRA, F. M. S.; GRISI, B. M.; HUNGRIA, M; ARAUJO, R. S. (Ed.). **Microrganismos e processos biológicos do solo: perspectiva ambiental**. Brasília: EMBRAPA-SPI, 1994. 142 p.

SIX, J.; BOSSUYT, H.; DEGRYZE, S.; DENEFF, K. A history of research on the link between (micro) aggregates, soil biota and a organic matter dynamics. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 79, p. 7-31, 2004.

SOUTO, P. C.; SOUTO, J. S.; MIRANDA, J. R. P.; SANTOS, R. V.; ALVES, A. R. Comunidade microbiana e mesofauna edáficas em solo sob caatinga no semi-árido da Paraíba. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 1, p. 151-160, 2008.

SOUZA, D. M. G.; MIRANDA, L. N.; OLIVEIRA, S. A. Acidez do solo e sua correção. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 205-274.

SOUZA, F. A.; SILVA, E. R. Micorrizas arbusculares na revegetação de áreas degradadas. In: SIQUEIRA, J. O. (Ed.). **Avanços em fundamentos e aplicação de micorrizas**. Lavras: Universidade Federal de Lavras. 1996. p. 255-290.

SOUZA, L. M. **Atributos químicos, físicos e biológicos, estrutura de comunidades bacterianas e qualidade de solos de cerrado sob plantio direto e preparo convencional**. 2011. 183 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade de Brasília, Brasília, 2011. Disponível em: <http://repositorio.unb.br/bitstream/10482/9290/1/2011_LeandroMoraesdeSouza.pdf>. Acesso em: 18 out. 2015.

SPARLING, G. P.; WEST, A. W. A direct extraction method to estimate soil microbial - C – calibration in situ using microbial respiration and ¹⁴C-labeled cells. **Soil & Biochemistry**, Oxford, v. 20, n. 3, p. 337-343, 1988.

STAMFORD, N. P.; RODRIGUES, J. J. V.; HECK, R. J.; ANDRADE, D. E. G. T. Propriedades físicas e químicas do solo. In: MICHEREFF, S.; ANDRADE, D. E. G. T.; MENEZES, M. **Ecologia e manejo de patógenos radiculares em solos tropicais**. Recife: UFRPE, 2005a. p. 41-60.

STAMFORD, N. P.; STAMFORD, T. L. M.; ANDRADE, D. E. G. T.; MICHEREFF, S. Microbiota dos solos tropicais. In: MICHEREFF, S.; ANDRADE, D. E. G. T.; MENEZES, M. **Ecologia e manejo de patógenos radiculares em solos tropicais**. Recife: UFRPE, 2005b. p. 61-93.

STEVENSON, F. J.; ARDAKANI, M. S. Organic matter reactions involving micronutrients in soils. In: MORTVEDT, J. J.; GIORDANO, P. M.; LINSDSAY, W. L. (Ed.) **Micronutrients in agriculture**. Madison: Soil Science of America, 1972. p. 79-114.

STIRLING, G. R. **Biological control of plant-parasitic nematodes**. Wallingford: CAB International, 1991.

TATE, K. R.; ROSS, D. J.; FELTHAM, C. W. A direct extraction method to estimate soil microbial - C – effects of experimental variables and some different calibration procedures. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v. 20, n. 3, p. 329-335, 1988.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; VLKWEISS, S. J. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2. ed. Porto Alegre: UFRGS, 1995. 174 p.

THIELE-BRUHN, S. Linking soil biodiversity and agricultural soil management. **Current Opinion In Environmental Sustainability: Terrestrial Systems**, [S. l.], v. 4, n. 5, p.523-528, Nov. 2012.

TIHOHOD, D. **Guia prático para identificação de fitonematóides**. Jaboticabal: FCAV, FAPESP, 1997. 246p.

TIHOHOD, D. **Nematologia agrícola aplicada**. 2. ed. Jaboticabal: FUNEP/UNESP, 2000. 473p.

VALE, D. W.; SOUSA, J. I.; PRADO, R. M. **Manejo da fertilidade do solo e nutrição de plantas**. Jaboticabal: FCAV, 2010.

VANCE, E. D.; BROOKES, P. C.; JENKINSON, D. S. An extraction method for measuring soil microbial biomass - C. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v. 19, n. 6, p. 703-707, 1987.

VANCE, E. D.; BROOKES, P. C.; JENKINSON, D. S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. **Soil Biology & Biochemistry**, Amsterdam, v. 19, n. 6, p. 703-707, 1987.

VEGA, H. B.; VICTORIA, D. E.; DOMÍNGUEZ, J. M. S.; MÉNDEZ, E. G. The soil biota: importance in agroforestry and agricultural systems. **Tropical and Subtropical Agroecosystems**, Yucatán, v. 16, p. 445-453, 2013.

VEIGA, J. B.; ALVES, C. P.; MARQUES, L. C. T.; VEIGA, D. Sistemas silvipastoris na Amazônia oriental. In: CARVALHO, M. M.; ALVIM, M. J.; CARNEIRO, J. C. (Ed.). **Sistemas agrofloreais pecuários: opções de sustentabilidade para áreas tropicais e subtropicais**. Juiz de Fora: EMBRAPA Gado de Leite; Brasília: FAO, 2001, p. 41-76.

VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. (Ed.). **O solo como sistema**. Curitiba: Ed. dos Autores, 2011. 104 p.

VIEIRA, M. V. M.; GIUNT, O. D.; GRIS, C. F.; SILVA, A. V. Indicadores de sustentabilidade e influência de sistema agrofloreais e sistema convencional sobre a qualidade do solo e do café arábica em Piumhi – MG. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Pombal, v. 10, n. 2, p. 229-238, 2015.

WAGG, C.; BENDER, S. F.; WIDMER, F.; VAN DER HEIJDEN, M. G. A. Soil biodiversity and soil community composition determine ecosystem multifunctionality. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 111, n. 14, p. 5266-5270, 2014.

WALKLEY, A.; BLACK, I. A. An examination of the degtjareff method for determining soil organic matter and proposed modification of the chromic acid titration method. **Soil Science**, Baltimore, v. 37, p. 29-38, 1934.

WIKIPÉDIA. **Localização de Centenário do Sul**. Disponível em: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/6/6f/Parana_Municip_CentenariodoSul.svg/280px-Parana_Municip_CentenariodoSul.svg.png>. Acesso em: 5 fev. 2016.

WITT, C.; GAUNT, J. L.; GALICIA, C. C.; OTTOW, J. C. G.; NEUE, H. U. A rapid chloroform-fumigation extraction method for measuring soil microbial biomass carbon and nitrogen in flooded rice soils. **Biology & Biochemistry**, Oxford, v. 30, n. 5-6, p. 510-519, 2000.

ZAZZERINI, A.; TOSI, L. Antagonistic activity of fungi isolated from sclerotia of sclerotinia sclerotiorum. **Plant Pathology**, Oxford, v. 34, p. 415-421, 1985.

ZEHR, J. P.; JENKINS, B. D.; SHORT, S. M.; STEWARD, G. F. Nitrogenase gene diversity and microbial community structure: a cross-system comparison. **Enviromental Microbiology**, Oxford, v. 5, n. 7, p. 539-554. 2003.

ANEXOS

ANEXO 1 - Coordenadas geográficas dos pontos da amostragem de solo

SAF 01			SAF 2			SAF 03		
Parcela 01			Parcela 01			Parcela 01		
Latitude	Longitude	Ponto	Latitude	Longitude	Ponto	Latitude	Longitude	Ponto
22°44'55,5" S	51°32'23,2" O	P1	22°45'13,2" S	51°32'13,6" O	P1	22°45'11,1" S	51°31'57,5" O	P1
22°44'55,3" S	51°32'23,3" O	P2	22°45'13,1" S	51°32'13,6" O	P2	22°45'11,5" S	51°31'57,7" O	P2
22°44'55,4" S	51°32'23,4" O	P3	22°45'13,2" S	51°32'13,7" O	P3	22°45'11,0" S	51°31'57,8" O	P3
22°44'55,4" S	51°32'23,5" O	P4	22°45'13,1" S	51°32'13,8" O	P4	22°45'11,1" S	51°31'58,0" O	P4
22°44'55,4" S	51°32'23,6" O	P5	22°45'13,2" S	51°32'13,9" O	P5	22°45'11,0" S	51°31'58,1" O	P5
22°44'55,7" S	51°32'23,7" O	P6	22°45'13,2" S	51°32'13,9" O	P6	22°45'11,1" S	51°31'58,1" O	P6
Parcela 02			Parcela 02			Parcela 02		
Latitude	Longitude	Ponto	Latitude	Longitude	Ponto	Latitude	Longitude	Ponto
22°44'55,2" S	51°32'23,2" O	P1	22°45'13,4" S	51°32'13,5" O	P1	22°45'10,8" S	51°31'57,5" O	P1
22°44'55,0" S	51°32'23,4" O	P2	22°45'13,4" S	51°32'13,6" O	P2	22°45'11,8" S	51°31'57,7" O	P2
22°44'55,3" S	51°32'23,5" O	P3	22°45'13,3" S	51°32'13,7" O	P3	22°45'10,9" S	51°31'57,8" O	P3
22°44'55,1" S	51°32'23,6" O	P4	22°45'13,4" S	51°32'13,8" O	P4	22°45'10,6" S	51°31'57,9" O	P4
22°44'55,2" S	51°32'23,6" O	P5	22°45'13,4" S	51°32'14,0" O	P5	22°45'10,7" S	51°31'58,0" O	P5
22°44'55,1" S	51°32'23,7" O	P6	22°45'13,5" S	51°32'14,0" O	P6	22°45'10,7" S	51°31'58,7" O	P6
Parcela 03			Parcela 03			Parcela 03		
Latitude	Longitude	Ponto	Latitude	Longitude	Ponto	Latitude	Longitude	Ponto
22°44'54,9" S	51°32'23,2" O	P1	22°45'13,8" S	51°32'13,6" O	P1	22°45'10,5" S	51°31'57,6" O	P1
22°44'54,9" S	51°32'23,3" O	P2	22°45'13,7" S	51°32'13,6" O	P2	22°45'10,4" S	51°31'57,8" O	P2
22°44'54,8" S	51°32'23,5" O	P3	22°45'13,8" S	51°32'13,7" O	P3	22°45'10,6" S	51°31'57,8" O	P3
22°44'55,0" S	51°32'23,5" O	P4	22°45'13,8" S	51°32'13,8" O	P4	22°45'10,5" S	51°31'57,9" O	P4
22°44'54,9" S	51°32'23,6" O	P5	22°45'13,8" S	51°32'14,0" O	P5	22°45'10,5" S	51°31'58,1" O	P5
22°44'55,0" S	51°32'23,7" O	P6	22°45'13,8" S	51°32'14,0" O	P6	22°45'10,5" S	51°31'58,2" O	P6
Parcela 04			Parcela 04			Parcela 04		
Latitude	Longitude	Ponto	Latitude	Longitude	Ponto	Latitude	Longitude	Ponto
22°44'54,7" S	51°32'23,2" O	P1	22°45'14,2" S	51°32'13,6" O	P1	22°45'10,1" S	51°31'57,7" O	P1
22°44'54,6" S	51°32'23,3" O	P2	22°45'14,0" S	51°32'13,6" O	P2	22°45'10,3" S	51°31'57,8" O	P2
22°44'54,5" S	51°32'23,4" O	P3	22°45'14,2" S	51°32'13,8" O	P3	22°45'10,2" S	51°31'57,8" O	P3
22°44'54,6" S	51°32'23,6" O	P4	22°45'14,1" S	51°32'13,9" O	P4	22°45'10,3" S	51°31'58,0" O	P4
22°44'54,5" S	51°32'23,6" O	P5	22°45'14,2" S	51°32'14,0" O	P5	22°45'10,2" S	51°31'58,0" O	P5
22°44'54,6" S	51°32'23,7" O	P6	22°45'14,1" S	51°32'14,1" O	P6	22°45'10,3" S	51°31'58,1" O	P6