

UFRRJ
INSTITUTO DE AGRONOMIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
CIÊNCIA DO SOLO

DISSERTAÇÃO

**Indicadores de Qualidade do Solo em
Sistemas Agroflorestais em Paraty, RJ.**

Miguel Seabra Corrêa da Silva

2006



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE AGRONOMIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
CIÊNCIA DO SOLO**

**INDICADORES DE QUALIDADE DO SOLO EM
SISTEMAS AGROFLORESTAIS EM PARATY, RJ.**

MIGUEL SEABRA CORRÊA DA SILVA

Sob a Orientação da Professora

Eliane Maria Ribeiro da Silva

e Co-Orientação do Professor

John Edmund Lewis Maddock

Dissertação a ser submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciências** em Agronomia, Área de Concentração em Ciência do Solo.

Seropédica, RJ

Fevereiro de 2006

631.451

S586i

T

Silva, Miguel Seabra Corrêa da,
1979-

Indicadores de qualidade do solo
em sistemas agroflorestais em
Paraty, RJ / Miguel Seabra Corrêa
da Silva. - 2006.

54f. : il.

Orientador: Eliane Maria Ribeiro
da Silva.

Dissertação (mestrado) -
Universidade Federal Rural do Rio
de Janeiro, Instituto de Agronomia.

Bibliografia: f. 47-54.

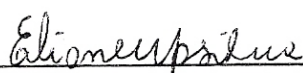
1. Solos - Manejo - Paraty(RJ) -
Teses. 2. Biologia do solo - Teses.
3. Solos florestais - Paraty(RJ) -
Teses. 4. Cultivo consorciado -
Paraty(RJ) - Teses. 5. Matéria
orgânica - Teses. I. Silva, Eliane
Maria Ribeiro da. II. Universidade
Federal Rural do Rio de Janeiro.
Instituto de Agronomia. III.
Título.

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE AGRONOMIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA – CIÊNCIA DO SOLO**

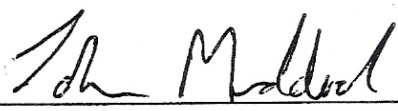
MIGUEL SEABRA CORRÊA DA SILVA

Dissertação submetida ao Curso de Pós-Graduação em Agronomia, área de
Concentração em Ciência do Solo, como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Ciências em Agronomia.

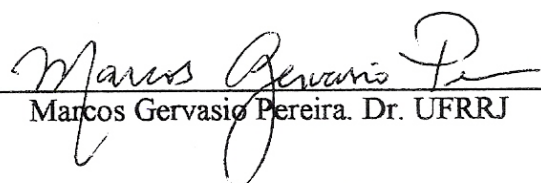
TESE APROVADA EM 21/02/2006



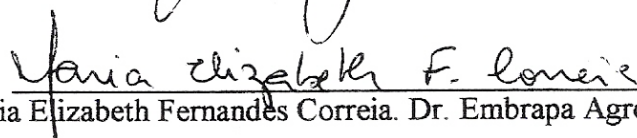
Eliane Maria Ribeiro da Silva. Dr. Embrapa Agrobiologia
(Orientadora)



John Edmund Lewis Maddock. Ph.D. UFF
(Co-orientador)



Marcos Gervasio Pereira. Dr. UFRRJ



Maria Elizabeth Fernandes Correia. Dr. Embrapa Agrobiologia

DEDICATÓRIA

Dedico esse trabalho a todo o ambiente que me cerca,
que faz parte de mim e do qual faço parte.

Aos elementos que compõem o planeta terra,
os quais a natureza biológica compartilha a milhares de anos,
e a energia divina que inspirou a origem da vida,
e se espalhou em diversas formas de vida,
e que esperamos perpetuar em nossos descendentes.

Dedico a todos que me cercam e espelham minha existência.
Que esse trabalho ajude no movimento de religião da humanidade com a natureza.

Dessa forma, que seja compreendido e respeitado
o trabalho que os 5 reinos exercem no planeta.
E que sejam respeitadas as entidades que regem essa harmonia,
seres de luz cultivados pelas mais diversas culturas do planeta,
para que possam continuar conduzindo humanidade a evolução.

Então, ao Tao, dedico.

AGRADECIMENTOS

Agradeço imensamente à minha orientadora Eliane Maria Ribeiro da Silva por ter possibilitado a realização do trabalho, confiando no meu potencial desde o começo, e pela amizade e o apoio durante esses dois anos de convívio.

Aos pesquisadores da Embrapa Agrobiologia Orivaldo José Saggin Júnior e Maria Elizabeth Fernandes Correia pela contribuição e pelo suporte que me deram na realização do trabalho.

Ao meu co-orientador John Edmund Lewis Maddock, pela contribuição no trabalho e pela amizade criada nos dias de campo.

Aos amigos do quilombo Campinho da Independência, Sr. Domingos proprietário e zelador da área de estudo, Sr. Álvaro, também zelador da terra, Vaguinho da associação de moradores e Cláudio da pousada, pela amizade e pela receptividade nas visitas à Paraty.

À coordenadora do Curso de Pós-Graduação, Professora Lúcia Helena Cunha dos Anjos, assim como à secretária do curso, Luciene e Roberto e ao Marcos da biblioteca, pelo apoio.

Aos técnicos Itamar Garcia, pela força nos dias de campo, ao Telmo e Altiberto, pelas análises de solo, e ao Jachinto pela força nas triagens de fauna do solo.

Aos amigos que deram suporte nos dias de campo, Fábio Nasser e Ramon, e em todos os outros dias, Fábio, Luz, Rafael, Khalil e Dione.

Aos companheiros do Grupo de Agricultura Ecológica, Suyá, Igor, Victor, Fábio, Elisa, Aline, Dani, Ana Martha entre muitos outros com quem aprendi um pouco de Agroecologia.

Aos companheiros Grupo de Capoeira Angolinha, Fábio, Piá, Dudu, Veralú, Elisa, entre outros liderados por Mestre Angolinha, pela capoeiragem adquirida e pela descontração nas horas livres.

Ao CPGA-CS, UFRRJ e Embrapa Agrobiologia, pelo apoio.

À CAPES pela bolsa de estudo, e ao PRODETAB pelo suporte financeiro.

À minha família, minha mãe Maria de Guadalupe, meus irmãos Alexandre e Nicolau, pelo incentivo e o companheirismo em casa.

E à Karina, que participou intensamente da minha vida em 2005, deixando a lembrança de dias felizes.

BIOGRAFIA

Miguel Seabra Corrêa da Silva nasceu na cidade de Salvador-BA em 24 de dezembro de 1979. Filho de pais cariocas, retornou ao Rio de Janeiro ainda criança. Aos 14 anos foi morar junto com o pai em Hamburgo na Alemanha por dois anos. Ao retornar, cursou o 2º grau no Colégio Pedro II. Em 1999, ingressou no curso de Ciências Biológicas da Universidade Federal do Rio de Janeiro, onde concluiu o bacharelado em Ecologia em 2003. No ano de 2004, iniciou o Mestrado “*Strictu Sensu*” no Curso de Pós-Graduação em Agronomia – Ciência do solo da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, submetendo-se a defesa de dissertação em fevereiro de 2006.

SUMÁRIO

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 1. | INTRODUÇÃO | 1 |
| 2. | REVISÃO DE LITERATURA | 2 |
| 2.1 | Sistemas Agroflorestais | 2 |
| 2.2 | Matéria Orgânica e Fertilidade dos Solos Tropicais | 3 |
| 2.3 | A Decomposição da Matéria Orgânica do Solo | 4 |
| 2.4 | Respiração do Solo e Atividade Microbiana | 5 |
| 2.5 | A Fauna Edáfica e a Incorporação da Matéria Orgânica no Solo | 6 |
| 2.6 | Os Estoques de Carbono em Ecossistemas Terrestres | 7 |
| 2.7 | Agroecologia e a Situação Sócio-Ambiental de Paraty | 8 |
| 3. | MATERIAL E MÉTODOS | 10 |
| 3.1 | Descrição da Área de Estudo | 10 |
| 3.1.1 | Localização | 10 |
| 3.1.2 | Composição florística dos sistemas agroflorestais | 11 |
| 3.2 | Avaliação do Manejo de Poda dos Sistemas Agroflorestais | 13 |
| 3.3 | Avaliação das Características Químicas e da Densidade de Raízes do Solo | 14 |
| 3.4 | Biomassa Microbiana | 14 |
| 3.5 | Respiração do Solo | 15 |
| 3.5.1 | Incubação do solo em laboratório | 15 |
| 3.5.2 | Respiração do solo em campo | 15 |
| 3.6 | Fauna do Solo | 16 |
| 3.6.1 | Amostragem e extração da fauna do solo | 16 |
| 3.6.2 | Identificação dos grupos taxonômicos e classificação de grupos funcionais | 17 |
| 3.6.3 | Índices de diversidade | 17 |
| 3.7 | Análise Estatística | 17 |
| 4. | RESULTADOS E DISCUSSÃO | 19 |
| 4.1 | Deposição e Teores de Nutrientes na Serapilheira durante o Manejo Agroflorestal | 19 |
| 4.2 | Serapilheira e Matéria Orgânica do Solo | 22 |
| 4.3 | Características Químicas do Solo | 24 |
| 4.4 | Indicadores Microbiológicos do Solo | 26 |
| 4.5 | Componentes da Respiração do Solo em Campo | 27 |
| 4.5.1 | Emissão de CO ₂ e densidade de raízes do solo | 27 |
| 4.5.2 | Contribuição das raízes para a respiração total do solo | 29 |
| 4.6 | Fauna do Solo | 32 |
| 4.6.1 | Abundância e distribuição vertical da comunidade de fauna do solo | 32 |
| 4.6.2 | Composição da comunidade de fauna do solo | 33 |
| 4.6.3 | Índices de diversidade da comunidade de fauna do solo | 35 |
| 4.6.4 | Grupos funcionais da comunidade de fauna do solo | 36 |
| 4.7 | Análise Multivariada | 39 |
| 4.7.1 | Análise de componentes principais | 39 |
| 4.7.2 | Análise de redundância direta | 42 |
| 5. | CONCLUSÕES | 45 |
| 6. | CONSIDERAÇÕES FINAIS | 46 |
| 7. | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 47 |

ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 1.** Localização da comunidade quilombola do Campinho da Independência (seta), no município de Paraty, RJ. Imagem de satélite obtida com o software GoogleEarth. _____10
- Figura 2.** Croqui da área de estudo situada no quilombo do Campinho da Independência, em Paraty, RJ. _____11
- Figura 3.** Tratamentos em estudo. A – SAF 1 inverno, B – SAF 2 inverno (agosto de 2004); C – SAF 1 verão, D – SAF 2 verão (fevereiro 2005); E – mandiocal inverno; F – mata inverno. _____13
- Figura 4.** Câmara de medição de fluxo de CO₂ do solo, com seringa acoplada. _____15
- Figura 5.** Funis extratores de Berlese-Tullgren. A – Esquema do geral do equipamento; B – visualização do equipamento utilizado neste trabalho. _____16
- Figura 6.** Estoques de matéria orgânica na serapilheira dos SAF's 1 e 2, antes e depois do manejo, assim como do mandiocal e da mata. Letras iguais indicam que não há diferença entre as médias pelo teste t de Bonferroni. _____19
- Figura 7.** Estoques de matéria orgânica na serapilheira dos sistemas agroflorestais 1 e 2, do mandiocal e da mata nas estações de inverno e de verão. Letras iguais indicam que não há diferença entre as médias dos tratamentos numa mesma estação, enquanto asterisco representa diferença estatística da média de cada tratamento em relação à estação anterior, sendo asterisco positivo um aumento (*+) e asterisco negativo uma diminuição (*-) significativa segundo teste t de Bonferroni. ____22
- Figura 8.** Teores de matéria orgânica no solo dos sistemas agroflorestais 1 e 2, do mandiocal e da mata nas estações de inverno e de verão. Letras iguais indicam que não há diferença entre as médias dos tratamentos numa mesma estação, enquanto asterisco representa diferença estatística da média de cada tratamento em relação à estação anterior, sendo asterisco positivo um aumento (*+) e asterisco negativo uma diminuição (*-) significativa segundo teste t de Bonferroni. ____23
- Figura 9.** Contribuição das raízes para a respiração total do solo estimada pelo método de regressão de Kucera & Kirkham (1971). _____31
- Figura 10.** Abundância de indivíduos por metro quadrado na serapilheira e no solo dos tratamentos em estudo. Letras iguais representam igualdade estatística entre as médias dos tratamentos segundo o teste t com correção de Bonferroni ($p < 0,05$). _____32
- Figura 11.** Abundância de indivíduos por metro quadrado na serapilheira e no solo dos tratamentos em estudo. Letras iguais indicam que não há diferença entre as médias dos tratamentos numa mesma estação, enquanto asterisco representa diferença estatística da média de cada tratamento em relação à estação anterior, sendo asterisco positivo um aumento (*+) e asterisco negativo uma diminuição (*-) significativa segundo teste t de Bonferroni. _____33

| | |
|--|----|
| Figura 12. Abundância relativa dos principais grupos taxonômicos da fauna do solo coletados sob diferentes coberturas vegetais na estação de inverno. _____ | 34 |
| Figura 13. Abundância relativa dos principais grupos taxonômicos da fauna do solo coletados sob diferentes coberturas vegetais na estação de verão. _____ | 35 |
| Figura 14. Análise de componentes principais relacionando dados de fauna com os tratamentos em estudo no inverno. _____ | 40 |
| Figura 15. Análise de componentes principais relacionando dados de fauna com os tratamentos em estudo no verão. _____ | 41 |
| Figura 16. Curvas de respostas principais dos tratamentos em função dos grupos de fauna do solo, comparando com a mata (controle). _____ | 41 |
| Figura 17. Análise de redundância direta mostrando a ordenação canônica das amostras de fauna do solo em relação as variáveis ambientais no inverno. _____ | 42 |
| Figura 18. Análise de redundância direta mostrando a ordenação canônica das amostras de fauna do solo em relação as variáveis ambientais no verão. _____ | 44 |

ÍNDICE DE TABELAS

- Tabela 1.** Composição florísticas dos SAF's 1 e 2 localizados na comunidade quilombola Campinho da Independência, Paraty/RJ. _____ 12
- Tabela 2.** Teores de nutrientes na serapilheira sobre os solos dos SAF's antes e depois do manejo, do mandiocal e da mata secundária. _____ 21
- Tabela 3.** Características químicas de amostras de solo sob dois sistemas agroflorestais (SAF's 1 e 2), um mandiocal e mata secundária. _____ 25
- Tabela 4.** Carbono da biomassa microbiana (C-BMS), respiração basal do solo e os quocientes microbianos (Cmic) e metabólico (qCO_2) dos solos sob dois sistemas agroflorestais (SAF's 1 e 2), o mandiocal e a mata secundária. _____ 27
- Tabela 5.** Respiração do solo em campo e as variáveis associadas: raízes finas, grossas e totais do solo na profundidade 0-10 cm sob a câmara e umidade do solo nas amostras dos tratamentos em estudo. _____ 28
- Tabela 6.** Regressão múltipla das variáveis explicativas raiz fina, raiz grossa, raiz total, serapilheira, umidade e carbono da biomassa microbiana com a variável de resposta respiração do solo em campo. ($y = ax + b$) equação da reta, onde o coeficiente angular representa a intensidade com que as variáveis estão correlacionadas (a). _____ 30
- Tabela 7.** Índice de diversidade de Shannon-Wiener, riqueza de espécies e índice de equitabilidade de Pielou associados a comunidade de fauna do solo dos tratamentos em estudo. _____ 36
- Tabela 8.** Número e percentagem de indivíduos coletados para cada grupo funcional e relação dos grupos taxonômicos pertencentes aos respectivos grupos funcionais. _____ 37
- Tabela 9.** Número de indivíduos por metro quadrado dos 9 grupos funcionais coletados em solos sob as diferentes coberturas vegetais em estudo. _____ 38

RESUMO

CORRÊA DA SILVA, Miguel Seabra. **Indicadores de qualidade do solo em sistemas agroflorestais em Paraty, RJ**. Seropédica: UFRRJ, 2006. 54p. (Dissertação, Mestrado em Agronomia, Ciência do Solo).

Sistemas agroflorestais (SAF's) são consórcios de culturas agrícolas com espécies arbóreas que procuram incrementar a entrada de matéria orgânica no solo, promovendo a ciclagem de nutrientes, intensificando a atividade microbiana e sustentando uma comunidade de fauna do solo mais abundante e diversificada. O presente estudo teve como objetivo avaliar o reflexo de dois manejos agroflorestais sobre os estoques de serapilheira, as características químicas do solo, os indicadores microbiológicos, a respiração do solo e a estrutura da comunidade de macro e mesofauna do solo, comparando a um mandiocal e uma mata secundária no município de Paraty, RJ. O manejo de poda dos SAF's proporcionou um aumento significativo no estoque de serapilheira do SAF 2 mas não do SAF 1, que apresentou queda nos estoques de serapilheira do inverno para o verão. Em relação às características químicas do solo, a mata e o SAF 1 apresentaram teores de matéria orgânica, carbono e nitrogênio maiores que o SAF 2 no inverno. No verão houve um aumento significativo nos teores de matéria orgânica e carbono nos solos de todos os tratamentos menos no SAF 1. No verão houve uma acidificação significativa em todos os tratamentos menos no SAF 2. Entre os indicadores microbiológicos, o quociente microbiano foi superior no SAF-2 em relação ao mandiocal no inverno, indicando elevada biomassa microbiana no solo com menores teores de matéria orgânica. No verão, as concentrações de C-BMS, a respiração basal do solo e a contribuição de raízes para a respiração total foram superiores na mata em relação a todos os outros tratamentos. Foram identificados 24 grupos taxonômicos da comunidade de meso e macrofauna do solo. No inverno, o SAF 2 apresentou a maior abundância de micrôfagos, saprôfagos e indivíduos totais que todos os outros tratamentos, apresentando situação mais favorável que a mata nas análises multivariadas. Do inverno para o verão, o SAF 1 e a mata apresentaram aumento na abundância de formigas e fitófagos, permanecendo próximas nas curvas de respostas principais. No SAF 2, houve uma diminuição na abundância de micrôfagos do inverno para o verão, resultando no aumento da equitabilidade e do índice de diversidade. O mandiocal apresentou menor riqueza e menor número de indivíduos por metro quadrado na maioria das comparações, indicando que essa prática não é capaz de sustentar uma comunidade de fauna do solo da magnitude dos outros tratamentos. Os resultados mostraram que os indicadores biológicos são capazes de apresentar resposta ao manejo agroflorestal mais rapidamente que as características químicas do solo. O SAF 1 apresentou muitas semelhanças com a mata provavelmente devido ao efeito de borda. O SAF 2 foi mais beneficiado pelo manejo, apresentando respostas nos atributos biológicos no inverno e nos atributos de fertilidade no verão. A avaliação da estrutura da comunidade de fauna edáfica demonstrou que os sistemas agroflorestais estão em processo de regeneração além do efeito da sazonalidade, aumentando a semelhança com a situação da mata onde os processos ecológicos são considerados eficientes.

Palavras chave: Sistemas agroflorestais, matéria orgânica, indicadores microbiológicos, fauna do solo.

ABSTRACT

CORRÊA DA SILVA, Miguel Seabra. **Soil quality indicators in agroforestry systems in Paraty, RJ**. Seropédica: UFRRJ, 2006. 54p. (Dissertation, Master Science in Agronomy, Soil Science).

Agroforestry systems (AFS's) are associations of agricultural cultivation with arboreal plants that increase organic matter deposition on soil, promoting nutrient cycling, intensifying microbial activity and sustaining an abundant and diversified soil biota. The present study aims to evaluate the influence of two agroforestry managements on litter storage, soil organic matter content, microbial indicators, soil respiration and soil fauna community structure, comparing with a cassava plantation and a secondary forest in Paraty, RJ. The cutting management of AFS's increased litter stock on SAF 2, but on AFS 1 didn't, were litter stocks declined from winter to summer. Among soil chemical properties, the forest and AFS 1 presented higher soil organic matter, carbon and nitrogen levels than AFS 2 in winter. On summer, soil organic matter increased in all treatments, except on AFS 1. On summer, all treatments presented soil acidification, except AFS 2. Among microbial indicators, AFS 2 presents higher microbial quotient comparing to cassava plantation, indicating high microbial biomass in soils with low soil organic matter levels. On summer, microbial biomass carbon, soil respiration and root contribution to total soil respiration were higher on forest comparing to another treatments. There were 24 taxonomic groups of soil meso and macrofauna identified. On winter, AFS 2 presented higher microphagous, saprophagous and total faunal densities than all another treatments, presenting a better status comparing to forest on multivariate analysis. From winter to summer, AFS 1 and the forest presented an increase on ants and phytofagous functional groups densities, standing together on principal response curves. On AFS 2, microphagous density decreases, resulting in increasing equitability and diversity index. The cassava plantation presented smaller richness and less abundance of individuals per meter square on most comparison, indicating that this practice can't support a soil fauna community from the magnitude of another treatments. The results showed that biological indicators are able to present response to agroforestry managements more quickly than soil chemical properties. The AFS 1 presented many similarities with the forest, probably because of border effect. The AFS 2 became more benefit from agroforestry management, presenting biological responses on winter and soil chemical properties response on summer. The evaluation of fauna community structure demonstrate that AFS's 1 and 2 are in a regeneration process, further on the sazonality observed on cassava plantation and the forest, increasing the similarity with forest conditions were ecological processes are considerate effective.

Key words: Agroforestry systems, soil organic matter, microbial indicators, soil fauna

1. INTRODUÇÃO

Sistemas agroflorestais são consórcios de culturas agrícolas com espécies arbóreas, que recuperam aspectos dos ecossistemas florestais como a estrutura da cobertura vegetal e a biodiversidade, reestabelecendo funções ecológicas como a ciclagem de nutrientes e a proteção do solo (MACDICKEN & VERGARA, 1990). A inclusão de componentes arbóreos aparece como uma estratégia para incrementar a entrada de matéria orgânica no solo, que promove a ciclagem de nutrientes, aumenta a capacidade de troca de cátions e de retenção de água do solo, e estimula a atividade da comunidade microbiológica e da fauna edáfica, que atuam como agentes de controle biológico e condicionadores do solo (YOUNG, 1994). A utilização de espécies leguminosas como adubos verdes traz grandes benefícios ao agroecossistema devido à associação simbiótica entre plantas dessa família e bactérias diazotróficas que promovem a fixação biológica de nitrogênio atmosférico (DE-POLLI et al., 1996). Devido à capacidade de regeneração de atributos do solo, sistemas agroflorestais são indicados para a recuperação de áreas degradadas e para a preservação da área de entorno de reservas ambientais.

O município de Paraty conta com uma população de 29.544 habitantes, dos quais 52% estão localizados em estabelecimentos rurais menores do que 50 hectares (PREFEITURA MUNICIPAL DE PARATY, 2000), conferindo à agricultura do município um caráter familiar. O município apresenta 5 unidades de conservação da mata atlântica e a maioria das propriedades rurais se localiza dentro ou na área de entorno destas unidades, tornando o desenvolvimento agrícola na região uma ameaça à conservação dessas áreas de preservação. Diante desse quadro foi elaborado o projeto PRODETAB-PARATY de desenvolvimento de sistemas alternativos para a recuperação de áreas degradadas e geração de renda em comunidades tradicionais do entorno de unidades de conservação da mata atlântica, realizado através da parceria entre a Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, a Embrapa Agrobiologia e o Instituto de Desenvolvimento e Ação Comunitária - IDACO. Entre as práticas empregadas destaca-se a implantação de sistemas agroflorestais por mutirões compostos principalmente por moradores da comunidade visitada, membros do Grupo de Agricultura Ecológica da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (GAE-UFRRJ), e por segmentos da comunidade representados pelo Conselho Municipal das Associações de Moradores de Paraty (COMAMP). A comunidade quilombola do Campinho da Independência se localiza na parte central da Área de Proteção Ambiental do Cairuçu e foi uma das comunidades rurais beneficiadas pelo projeto com a implantação de 4 unidades demonstrativas de sistemas agroflorestais.

O presente estudo teve como objetivo avaliar o reflexo do manejo agroflorestral de duas unidades demonstrativas na regeneração de atributos do solo como as características químicas, a atividade microbiana e a estrutura da comunidade de macro e mesofauna do solo, comparando com um mandiocal e um fragmento de mata secundária natural no município de Paraty, RJ.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Sistemas Agroflorestais

Sistemas agroflorestais são consórcios de culturas agrícolas com espécies arbóreas que recuperam aspectos dos ecossistemas florestais como a estrutura da cobertura vegetal e a biodiversidade, reestabelecendo funções ecológicas como a ciclagem de nutrientes e a proteção do solo (MACDICKEN & VERGARA, 1990). A inclusão de componentes arbóreos aparece como uma estratégia para incrementar a entrada de matéria orgânica no solo que beneficia as características físicas, químicas e biológicas do solo, conduzindo o sistema para uma situação mais sustentável. O aumento da diversidade vegetal contribui para uma maior diversidade comunidade microbiológica e da fauna do solo que atuam como agentes de controle biológico e condicionadores de solo (YOUNG, 1994). A utilização de espécies leguminosas como adubos verdes traz grandes benefícios ao agroecossistema devido à associação simbiótica entre plantas dessa família e bactérias diazotróficas que promovem a fixação biológica de nitrogênio atmosférico (DE-POLLI et al., 1996). A utilização de leguminosas arbóreas junto com culturas perenes como o café e o cacau é comum nos trópicos, promovendo o sombreamento, diminuição da evapotranspiração, além de controlar a erosão e estimular a ciclagem de nutrientes (BEER, 1987; SZOTT et al. 1991). MUSCHLER (2001) menciona que o sombreamento em cafeeiros é benéfico em situações ambientais extremas, de altas temperaturas, estações secas e baixa fertilidade, quando o excesso de irradiação solar pode causar diminuição na eficiência fotossintética e conseqüentemente, na produtividade.

Os sistemas agroflorestais podem ser classificados em relação à distribuição dos seus componentes no espaço e no tempo. A distribuição espacial das espécies pode ser regular, com as espécies bem misturadas (SAF's azonais), ou em faixas como num cultivo em aléias, onde a produção agrícola e o componente arbóreo são intercalados em linhas acompanhando às curvas de nível (SAF's zonais). A distribuição dos componentes no tempo permite distinguir SAF's sequenciais, onde a área de cultivo é deixada por um período de descanso após a produção, permitindo a regeneração da capoeira que pode ser melhorada ou não. Nos SAF's simultâneos, os componentes agrícola e arbóreo ocorrem juntos de forma permanente, ou podem intercalar com o sistema silvipastoril, composto pelos componentes arbóreo e animal (DUBOIS, 1996). Os Sistemas Agroflorestais Regenerativos e Análogos são consórcios de culturas que levam em consideração o estágio sucessional que as espécies ocorrem (VAZ, 2001). Identificando espécies com funções, nichos ecológicos distintos, a competição interespecífica por recursos do ambiente é minimizada, permitindo um menor espaçamento entre as espécies e uma maior biodiversidade (GOTSCH, 1995).

Além do caráter conservacionista esses sistemas visam uma produção contínua e diversificada, aumentando a produção e a renda do agricultor, além de reduzir o risco de prejuízo na perda de uma cultura (MACDICKEN & VERGARA, 1990). Os sistemas agroflorestais são uma prática indicada para a agricultura familiar devido à grande demanda de mão de obra. A diversificação da produção, junto com o cuidado de manter o manejo orgânico é um importante passo para a segurança e a soberania alimentar no meio rural.

Devido aos benefícios promovidos por sistemas agroflorestais no solo, essa prática é indicada para a recuperação de áreas degradadas e para a preservação de áreas

de entorno de reservas ambientais (REINERT, 1998; MENDONÇA et al., 2001). Além da recuperação de funções ecológicas que garantem a sustentabilidade do agroecossistema, os sistemas agroflorestas apresentam grande potencial para o sequestro de carbono atmosférico em tecido vegetal ou matéria orgânica no solo, apesar da necessidade de se estudar a emissão de outros gases de efeito estufa para determinar o benefício líquido do sistema à composição química da atmosfera (ALBRECHT & KANDJI, 2003). Apesar de todos os benefícios descritos na literatura, poucos estudos relatam a melhoria da qualidade do solo ou o aumento da produtividade promovidos por sistemas agroflorestais, comparando com sistemas convencionais de produção (MACDICKEN & VERGARA, 1990).

2.2 Matéria Orgânica e Fertilidade dos Solos Tropicais

A ciclagem de nutrientes em ecossistemas naturais refere-se ao processo de absorção de nutrientes minerais pelas plantas, incorporação e acúmulo dos elementos na biomassa vegetal, assim como em organismos consumidores e decompositores e, finalmente, decomposição da matéria orgânica e mineralização dos elementos que retornam para o solo, hidrosfera e atmosfera tornando-se disponíveis para serem reabsorvidos e incorporados numa nova fixação biológica. Dessa forma, a queda de resíduos vegetais e animais sobre o solo tem papel fundamental no ciclo garantindo o aporte de nutrientes necessários para a manutenção da fertilidade do solo (WOOMER, et al., 1994).

A matéria orgânica do solo contribui de forma benéfica para o estabelecimento vegetal afetando propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (STEVENSON, 1982). Em relação à estrutura do solo, a matéria orgânica contribui para o aumento da estabilidade de agregados do solo, conseqüentemente melhorando a aeração, a drenagem e a capacidade de retenção da solução do solo. Entre os atributos químicos do solo, a matéria orgânica representa um estoque de nutrientes disponível para mineralização, além de aumentar a capacidade de troca catiônica do solo. A matéria orgânica do solo sustenta a comunidade microbiana e da fauna do solo, que promovem o processo de mineralização da matéria orgânica, a formação de agregados e a incorporação da matéria orgânica no solo (LAVELLE, 1997).

A decomposição da matéria orgânica do solo é regulada por três fatores: a composição da comunidade biológica do solo, a qualidade do material orgânico depositado e as condições físicas e químicas do ambiente, que dependem do clima e das características edáficas do local (SWIFT et al., 1979). Em escala global, esses fatores estão intimamente relacionados, sendo o índice de evapotranspiração a variável que melhor se correlaciona com as taxas de decomposição, e o clima o fator determinante do processo de decomposição (AERTS, 1997). OLSON (1963) observou que a produção de serapilheira apresenta correlação negativa com o acúmulo de matéria orgânica mostrando que florestas tropicais tem alta produção e baixo acúmulo de matéria orgânica no solo, em contraste com florestas de coníferas que possuem baixa produção de serapilheira e alto acúmulo de matéria orgânica no solo. Comparações entre os estoques totais de matéria orgânica entre florestas tropicais e temperadas mostraram quantidades semelhantes de carbono orgânico total nesses ecossistemas, sendo que, em florestas de clima temperado, mais da metade do estoque de carbono está na serapilheira e no solo, enquanto em florestas tropicais, mais de três quartos desse estoque está incorporado na biomassa vegetal (ODUM, 1988). Em florestas tropicais, altas taxas de aporte de serapilheira e pequenos estoques de carbono no solo sugerem intensa atividade dos microrganismos e da fauna do solo e elevadas taxas de decomposição.

O saldo de carbono orgânico do solo depende do aporte de serapilheira sobre o solo e da atividade de microrganismos e fauna edáfica sobre esse material num determinado período. SCHLESINGER & ANDREWS (2000) estimaram que metade do carbono fixado pelos vegetais chega ao solo pela serapilheira e resíduos de raízes, e apenas 0,7% da produção primária é transformada em material orgânico estável. Com o distúrbio do ecossistema os solos têm a tendência de se transformar em fonte de CO₂, devido ao aumento da taxa de decomposição e a interrupção da entrada de matéria orgânica (ANDERSON & DOMSCH, 1985; RESCK et al., 2000). E, tendo em vista os benefícios que a matéria orgânica traz ao solo, a perda de carbono orgânico total do solo é uma medida de degradação do ecossistema, podendo ser considerada como critério para a avaliação da sustentabilidade do solo (LAL et al., 1995).

2.3 A Decomposição da Matéria Orgânica do Solo

O saldo de energia e matéria orgânica estocada no solo de um ecossistema é igual diferença entre as taxas de entrada de matéria orgânica, relativa à produção de serapilheira e a perda de matéria orgânica no processo de decomposição. As taxas de decomposição podem ser expressas pela constante k que é a razão entre a produção anual de serapilheira e o estoque médio de carbono do solo durante o ano (OLSON, 1963). As taxas de decomposição de resíduos vegetais, sob mesmas condições edáfoclimáticas, podem diferir de acordo com a composição do tecido vegetal, como teores de lignina, polifenóis, carbono, nitrogênio, fósforo e enxofre entre outros componentes (SWIFT et al., 1979). Foram descritas na literatura correlação negativa entre taxas de decomposição e a relação C/N da matéria orgânica (TAYLOR et al., 1989), relação lignina/N (MELLILO et al., 1982) e a relação lignina + polifenóis/N (KACHAKA et al., 1979). A concentração de lignina nos tecidos vegetais tem sido considerada um dos fatores que mais influencia a velocidade de decomposição (ENTRY & BACKMAN, 1995), o que faz dos parâmetros associados a ele bons indicadores do processo. A relação C/N é deficiente em prever o processo de decomposição por não levar em consideração a qualidade do carbono (CORTEZ et al., 1996).

O processo de decomposição da serapilheira pode ser dividido em duas fases de degradação: na primeira ocorre a lixiviação de compostos solúveis e colonização de microrganismos, em seguida ocorre o ataque de compostos estruturais pela fragmentação promovida pela fauna do solo e pela atividade microbiana, resultando nas substâncias húmicas e nutrientes minerais (GONZALEZ & GALLARDO, 1982). Durante esse processo ocorre a rápida degradação de compostos hidrossolúveis e polissacarídeos, a diminuição lenta de hidrossolúveis fenólicos e hemiceluloses e o aumento relativo do conteúdo de ligninas e proteínas (WASKMAN, 1952). Esses diferentes compostos são degradados por grupos especializados da comunidade de microrganismos cuja composição é alterada durante a degradação do material (ALEXANDER, 1977).

A liberação de nutrientes ocorre de forma distinta nas duas fases da decomposição. Na primeira fase da decomposição, nutrientes catiônicos como K, Mg, Na e Ca são lixiviados, enquanto na segunda etapa ocorre a liberação de nutrientes ligados a estruturas orgânicas, como N, P e S, durante o processo de mineralização. Micronutrientes metálicos como Mn, Cu, Fe e Zn se encontram complexados a estruturas orgânicas que são solúveis no solo e desempenham papel fundamental na mobilidade desses elementos no solo (ZECH et al., 1997).

ANDRADE (1997) estudou a liberação de N, P, K, Ca e Mg durante a decomposição de resíduos vegetais de espécies leguminosas e determinou o valor k para

cada elemento e observou a seguinte ordem de liberação dos elementos: $K > Mg > P > N > Ca$. STEVENSON (1986) observou tendências da relação C/N/P/S em diversos solos e mostrou que a relação é semelhante em ambientes naturais de pastagens e florestas, onde se observa a razão C/N/S próxima de 200:10:1, e solos transformados em área agrícola tendem a razão C/N/P/S 140:10:1,3:1,3. O resultado indica que a mineralização do carbono é mais intensa que a do nitrogênio e do enxofre, e ainda, que a liberação de nitrogênio é maior do que do enxofre.

Em ecossistemas naturais, a matéria orgânica do solo está em equilíbrio dinâmico entre as taxas de entrada de serapilheira e as taxas de decomposição, promovendo liberação constante de todos os nutrientes, oriundos de resíduos em diferentes estágios de decomposição. O sincronismo entre o ciclo de nutrientes e o crescimento vegetal é quebrado na agricultura convencional, onde a mineralização de nutrientes em períodos sem cultivo leva à perda de nutrientes por lixiviação e volatilização (MYERS, et al. 1994). A separação no tempo da oferta e demanda de nutrientes no solo leva à redução na eficiência do uso dos nutrientes na plantação. O nitrogênio é o nutriente perdido com mais intensidade na interrupção do sincronismo, visto que seu excesso no solo é perdido por lixiviação, denitrificação ou volatilização da amônia. Plantas anuais têm menor capacidade de recuperar nutrientes do solo do que plantas perenes, que possuem sistema radicular mais desenvolvido. Os sistemas agroflorestais evitam a interrupção do sincronismo mantendo culturas perenes chamadas de renovadoras de fertilidade, que recuperam os nutrientes de horizontes profundos e sofrem podas antes do próximo plantio agrícola, disponibilizando matéria orgânica para mineralização e beneficiando a cultura agrícola anual.

2.4 Respiração do Solo e Atividade Microbiana

A respiração do solo representa a soma total da atividade metabólica do solo e os processos biológicos responsáveis por esse fenômeno são a respiração microbiana, a respiração da fauna do solo e a respiração das raízes do solo (LUNDEGARTH, 1927). Da totalidade de carbono fixado pelas plantas, a emissão de CO₂ do solo é o principal fluxo de carbono de volta para a atmosfera, por isso as modificações na magnitude desse fluxo, provocadas pelo uso da terra, podem acarretar grandes alterações nas concentrações de CO₂ atmosférico (SCHLESINGER & ANDREWS, 2000).

O gás carbônico que evolui do solo possui duas origens distintas: a respiração de fotossintatos pelas raízes e pelos microrganismos da rizosfera, e a respiração associada à decomposição da matéria orgânica do solo, promovida por microrganismos decompositores e pela fauna edáfica (HORWATH et al., 1994). Além disso, a liberação de exsudatos pelas raízes pode causar efeitos na decomposição da matéria orgânica do solo, proporcionando um efeito promotor (“priming effect”), por isso, a contribuição das raízes para a respiração total do solo deve ser considerada como respiração mediada pelas raízes (KUZUYAKOV, 2001).

A contribuição das raízes para a respiração total do solo varia de 10% a 90% dependendo da estação do ano e da vegetação, e estudos de longa duração indicam as contribuições médias de 45% e 60% em áreas florestadas e abertas respectivamente (HANSON et al., 2000).

Os microrganismos do solo são os principais componentes do sistema de decomposição de matéria orgânica, sendo os principais contribuintes para a respiração basal do solo, atuando como reguladores do ciclo de nutrientes, e conseqüentemente, da produção primária e do fluxo de energia. A biomassa microbiana do solo (BMS) consiste numa estimativa da parte viva da matéria orgânica menor que 5.000µm³,

composta por bactérias, actinomicetos, fungos, algas e toda a microfauna (JENKINSON & LADD, 1981). A biomassa microbiana é determinada através da quantificação do carbono orgânico solúvel em amostras fumigadas com clorofórmio, onde o material celular está disponível para extração, subtraído de amostras não fumigadas (VANCE et al., 1987). Esses organismos atuam como agentes finais da decomposição da matéria orgânica e a estimativa da BMS, ao contrário do carbono orgânico total do solo (COT), foi sugerida como um parâmetro sensível às mudanças iniciais no processo de transformação de matéria orgânica do solo sendo um indicador útil para avaliar alterações em ecossistema com interferência antrópica (JENKINSON & RAINER, 1977; POWLSON et al., 1987). INSAM & DOMSCH (1987) sugerem que a razão C-BMS / COT é um índice apropriado para a comparação de diferentes ambientes.

Para a compreensão da participação dos microrganismos do solo na mineralização da matéria orgânica se fazem necessárias informações sobre a atividade microbiana do solo. ANDERSON & DOMSCH (1985) propuseram o coeficiente metabólico microbiano (qCO_2), que é a razão entre a respiração basal do solo, obtida a partir da incubação do solo em laboratório, e o C-BMS, como um indicador das mudanças da atividade microbiana após um distúrbio. De acordo com a teoria da sucessão ecológica de ODUM (1969; 1985), o qCO_2 decai durante a sucessão ou durante a regeneração de um distúrbio, visto que no estado de equilíbrio dinâmico do clímax sucessional a comunidade microbiana do solo se tornaria mais eficiente em conservar carbono. Estudos foram publicados mostrando a elevação do qCO_2 como indicador de distúrbios como inundações, aplicação de herbicidas, acidificação e adição de substrato. Por outro lado, a redução do índice foi demonstrada em sucessões primárias de mais de 1000 anos, durante regeneração de florestas após um distúrbio e durante a adaptação de um solo ao cultivo (WARDLE & GHANI, 1995). WARDLE (1992) observou que o qCO_2 se eleva em estados tardios da decomposição da serapilheira e criou a hipótese de que o estresse, em oposição ao distúrbio, se eleva em estádios tardios da sucessão ecológica e por isso os microrganismos se tornam menos eficientes.

2.5 A Fauna Edáfica e a Incorporação da Matéria Orgânica no Solo

A fauna edáfica compreende animais que realizam seu ciclo de vida inteiro, ou parte dele, no solo. Esses organismos estão ligados à ciclagem de nutrientes de forma direta, fragmentando e se alimentando da matéria orgânica do solo, ou de forma indireta, regulando as populações de microrganismos no processo de decomposição. Os animais que realmente habitam o solo não apresentam asas e possuem visão reduzida, órgãos tácteis desenvolvidos e baixa resistência dessecação (LAVELLE, 1997). A fauna do solo desempenha diversos papéis dentro do ecossistema, tais como: fragmentação dos resíduos orgânicos, misturas destes com a fração mineral, ou ainda a regulação de populações de fungos e bactérias através do consumo e dispersão de esporos destes organismos (RABATIN & STINER, 1988). Em ecossistemas tropicais, a fauna do solo exerce papel fundamental na ciclagem de nutrientes e na estruturação do solo (OADES, 1993; BLANCHART et al., 1997)

A microfauna vive associada ao filme d'água do solo, inclui protozoários, rotíferos, copépodos, tardígrados, nematóides e outros organismos cujo diâmetro corporal varie entre 4 μm e 100 μm (SWIFT et al., 1979), e atua de forma indireta na decomposição da matéria orgânica através da predação de fungos e bactérias. A mesofauna do solo é composta por artrópodes do solo com diâmetro corporal entre 100 μm e 2 mm. Esse grupo de organismos atua na fragmentação da matéria orgânica e

consome a microflora e microfauna. Animais com diâmetro corporal entre 2 mm e 20 mm são chamados de macrofauna, e aqueles que passam dos 20 mm são chamados de megafauna. Esses dois grupos atuam na fragmentação da serapilheira, na predação de outros invertebrados do solo, e na modificação da estrutura do solo pela escavação e produção de coprólitos (CORREIA e ANDRADE, 1999).

Os invertebrados do solo possuem uma baixa capacidade de digestão enzimática e se alimentam de proteínas, lipídeos e glicídeos simples. O processo de alimentação da fauna do solo é beneficiado pela atuação de microrganismos sobre a matéria orgânica, seja pela ingestão simultânea, onde a fauna se beneficia da degradação promovida pelos microrganismos e também do tecido destes, ou em interações mutualistas, onde os organismos vivem em simbiose. Os microrganismos são beneficiados pela atividade da fauna que contribui para a dispersão de populações microbianas e intensificam o processo de decomposição através da fragmentação dos resíduos vegetais. Esse processo otimiza a utilização das frações mais lábeis da matéria orgânica e favorece o acúmulo de matéria orgânica recalcitrante em coprólitos e agregados.

A biomassa produzida pelos microrganismos e pela fauna do solo é uma fonte secundária para a síntese de substâncias húmicas e representam material orgânico mais complexo do que fontes primárias, mas a contribuição dessa via tem pouca importância quantitativa (SWIFT et al., 1979). Por outro lado, a atividade de fragmentação contribui para o processo de humificação. Apesar de não promover grandes modificações químicas na serapilheira ingerida, a fauna do solo altera profundamente as qualidades físicas do material orgânico, reduzindo o tamanho dos fragmentos, e conseqüentemente aumentando a superfície de contato e a hidratação. Dessa forma, a passagem da matéria orgânica pelo tubo digestivo estimula a atividade microbiana que se estende nas fezes, promovendo a liberação de nutrientes poucos dias após sua deposição (CORREIA & ANDRADE, 1999). Nas pelotas fecais, a atividade microbiana promove a quebra de substâncias complexas em substratos simples, disponíveis para a própria fauna numa reingestão (WARDLE & LAVELLE, 1997). Esse processo é fundamental em ambientes com serapilheira de baixa qualidade, onde a fauna do solo privada da ingestão das fezes apresenta altas mortalidades (SWIFT et al., 1979).

O monitoramento da fauna edáfica permite avaliar a qualidade do solo e o funcionamento dos sistemas de produção, uma vez que essa fauna encontra-se intimamente associada aos processos de decomposição e a ciclagem de nutrientes, na interface solo-planta (CORREIA & OLIVEIRA, 2000). A estrutura e a abundância da fauna do solo são bastante sensíveis à mudanças na cobertura do solo (LAVELLE, 1992). Alguns estudos relatam que a perda de biodiversidade na fauna edáfica pode contribuir para a degradação do ambiente, como acontece quando certos grupos de minhocas dominam a comunidade do solo (CHAUVEL et al., 1999). Na conversão de ecossistemas naturais para sistemas de produção, a estrutura da comunidade da fauna do solo é menos alterada quando a estrutura da cobertura vegetal é semelhante, isto é, pastos em áreas de campo, e sistemas agrossilvopastoris em áreas originalmente de floresta (DECAENS et al., 1994; FRAGOSO et al., 1997; BARROS, 1999; BARROS et al., 2003). Isso reforça o fato de sistemas agroflorestais serem indicados para a recuperação de atributos do solo.

2.6 Os Estoques de Carbono em Ecossistemas Terrestres

Em ecossistemas terrestres a biomassa, somatório de toda massa viva do ecossistema, e a necromassa, matéria orgânica morta estocada nos solos e nos tecidos lenhosos da vegetação, representam expressivos reservatórios de carbono, nutrientes e

energia (SCHLESINGER & ANDREWS, 2000). O balanço de carbono ou de energia acumulada num ecossistema depende da relação entre a produção primária e o consumo pelos organismos heterotróficos da rede trófica, por final os decompositores. Ecossistemas onde a respiração total excede a assimilação pelos produtores primários são considerados fontes de carbono para a atmosfera, já em ecossistemas onde a produção de matéria orgânica supera a atividade dos decompositores ocorre o acúmulo de material orgânico no solo e o ecossistema é considerado um depósito de carbono ou sequestrador de CO₂ atmosférico (OLSON, 1963).

Os solos representam o maior reservatório terrestre de carbono, comportando 1,5 trilhões de toneladas de carbono ($1,5 \times 10^{18}$ gC), seguido do estoque de carbono contido na vegetação, cerca de $5,6 \times 10^{17}$ gC (SCHLESINGER & ANDREWS, 2000). A estimativa mais recente do fluxo global de respiração do solo resultou em $7,7 \times 10^{16}$ g C/ano, enquanto a produção primária líquida e a produção global de serapilheira foram estimadas entre 5 e 6×10^{16} gC/ano (revisado em SCHLESINGER & ANDREWS, 2000). Essa diferença não corresponde necessariamente à perda líquida de carbono porque a respiração das raízes não foi excluída da estimativa. Porém, a interferência antrópica, incluindo a mudança do uso do solo para a agricultura, influencia diretamente a dinâmica da matéria orgânica favorecendo a decomposição, a perda de nutrientes por lixiviação e a perda de carbono para a atmosfera. Devido a grande magnitude dos fluxos do ciclo do carbono, pequenas modificações nas taxas de respiração do solo podem alterar as concentrações de CO₂ na atmosfera.

Os sistemas agroflorestais são considerados uma estratégia capaz de sequestrar e armazenar grandes quantidades de carbono atmosférico, sendo capaz de compensar as emissões de gases de efeito estufa. ALBRECHT & KANDJI (2003) estimaram o potencial dos sistemas agroflorestais em sequestrar carbono e obtiveram uma média de 95 Mg.ha⁻¹. Para estimar o potencial dos solos, florestais ou em cultivo, para sequestrar C assimilado na produção primária é necessário compreender os mecanismos de entrada, decomposição e estabilização da matéria orgânica do solo.

2.7 Agroecologia e a Situação Sócio-Ambiental de Paraty

O município de Paraty conta com uma população de 29.544 habitantes, dos quais 52% estão localizados em estabelecimentos rurais menores do que 50 hectares (PREFEITURA MUNICIPAL DE PARATY, 2000), conferindo à agricultura do município um caráter familiar. A prática agrícola predominante é o sistema tradicional caiçara, onde a área florestada a ser cultivada é derrubada, queimada e culturas anuais são plantadas. O município apresenta 5 unidades de conservação da Mata Atlântica e a maioria das propriedades rurais se localiza dentro ou na área de entorno destas unidades, tornando o desenvolvimento agrícola na região uma ameaça à conservação dessas unidades. O caráter conservacionista dos sistemas agroflorestais associado à grande demanda de mão de obra para o manejo do sistema tornam essa prática indicada para a situação de Paraty, onde predomina a agricultura familiar no entorno ou interior de áreas de proteção ambiental.

Com o objetivo de contornar esse quadro foi elaborado o Programa de Incentivo à Produção Agroecológica (PIPA), que visa, através de práticas agroecológicas, incrementar e manter a produtividade dos agroecossistemas da região aproveitando e mantendo o potencial turístico da região para viabilizar a comercialização dos produtos agrícolas. Entre as práticas empregadas destaca-se a implantação de Sistemas Agroflorestais Regenerativos e Análogos (VAZ, 2001) em regime de mutirão composto principalmente por membros do Grupo de Agricultura Ecológica da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (GAE-UFRRJ), e por segmentos da comunidade

representados pelo Conselho Municipal das Associações de Moradores de Paraty (COMAMP). No ano 2000 foram implementadas 5 unidades demonstrativas de SAFRA's nas comunidades rurais. Em março de 2001, foi realizada uma excursão envolvendo os agricultores, técnicos e integrantes do GAE visando experiências avançadas e manejo agroflorestal. A excursão despertou o interesse de agricultores envolvidos que organizaram mutirões e implementaram mais de 20 áreas de SAFRA's nas comunidades rurais do município (MATTOS et al., 2001).

Acredita-se que através do processo de extensão rural participativa, com o resgate da sabedoria popular e do trabalho conjunto de membros da comunidade e de instituições externas, pode-se potencializar a produção do agricultor promovendo a conservação do ambiente através da difusão das práticas agroflorestais. Para isso, é necessário que essas práticas sejam sustentadas cientificamente para consolidar futuros projetos que envolvam o uso de sistemas agroflorestais. Embora esses sistemas apresentem diversas vantagens sobre o monocultivo, poucos trabalhos científicos evidenciam isso na literatura.

Para a validação das práticas agroflorestais adotadas pelos agricultores de Paraty, um estudo sobre as características químicas e os componentes biológicos, comparando sistemas agroflorestais com monocultivos e com áreas de vegetação natural, se faz justificado.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Descrição da Área de Estudo:

3.1.1 Localização

O estudo foi realizado na comunidade quilombola do Campinho da Independência, localizada no distrito de Paraty-Mirim, 2º distrito do município de Paraty (RJ) nas coordenadas geográficas 44°42' oeste e 23°17' sul, e altitude de 60m acima do nível do mar. O clima da região é do tipo CWa segundo a classificação de Köppen, com temperaturas moderadas e verão quente e chuvoso. A precipitação anual média de 1947,7 mm numa série de 34 anos e a temperatura anual média numa série de 24 anos é de 22,3°C variando entre 25,6°C em fevereiro e 17,5°C em julho (ELETRONUCLEAR). As vegetações nativas remanescentes são florestas de encosta do tipo ombrófila densa submontana (RADAM, 1983).



Figura 1. Localização da comunidade quilombola do Campinho da Independência (seta), no município de Paraty, RJ. Imagem de satélite obtida com o software GoogleEarth.

Segundo o levantamento de aptidão agrícola das terras do estado do Rio de Janeiro (RADAM, 1983) apenas 10% da área do município de Paraty são recomendadas para a lavoura ou pastagem, nos 90% do território restantes seriam indicados o manejo agroflorestal, o reflorestamento e áreas de preservação permanente. A comunidade está localizada na parte central da Área de Preservação Ambiental (APA) do Cairuçu e às margens do rio Paraty-Mirim e da BR 101.

O tempo de existência da comunidade do Campinho foi estimado em cerca de 200 anos, iniciando quando três mulheres negras receberam terras da fazenda de seu senhor e reuniram nelas escravos libertos pelas fazendas da adjacência (GUSMÃO, 1995). Em março de 1999, foram tituladas as terras do Campinho cujo perímetro foi definido como o somatório de 13 posses que totalizam 287,9 ha (FRANÇA, 2001).

3.1.2 Composição florística dos sistemas agroflorestais

O estudo foi desenvolvido numa área a margem esquerda do rio Paraty-Mirim de solo argiloso, onde ocorrem as seguintes coberturas vegetais em estudo: dois diferentes sistemas agroflorestais (SAF's 1 e 2), uma área de floresta secundária e um mandiocal (Figuras 2 e 3).

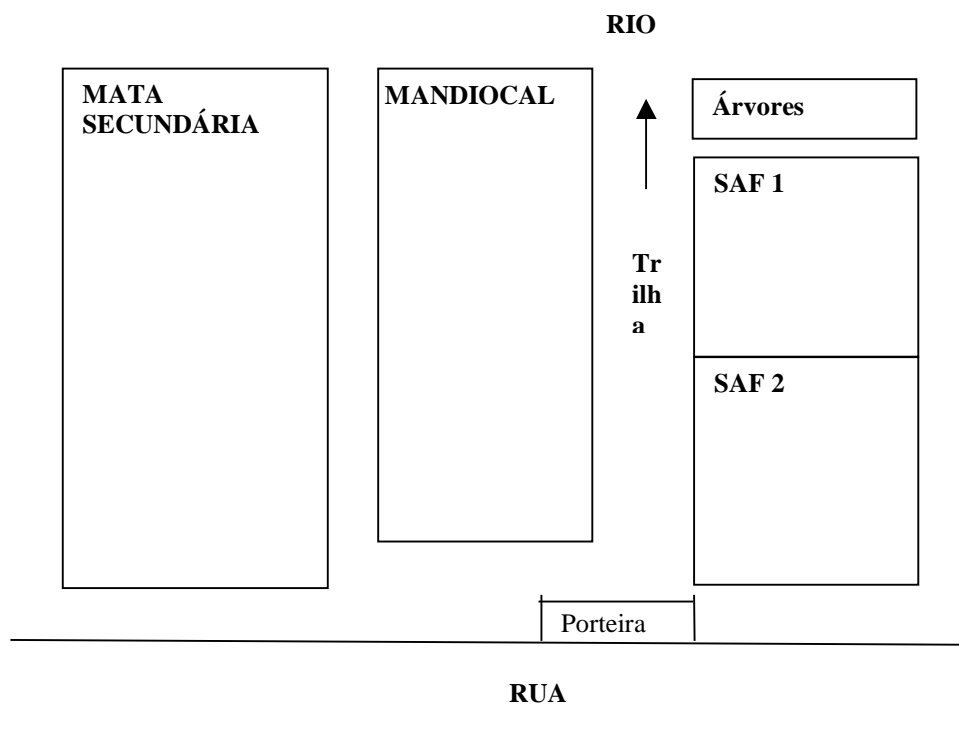


Figura 2. Croqui da área de estudo situada no quilombo do Campinho da Independência, em Paraty, RJ.

Os sistemas agroflorestais foram implantados na propriedade do senhor Domingos Ferreira nos dias 15 e 16/02/2003. A área era utilizada para produção de mandioca e banana. As duas parcelas de SAF's possuem 400m² cada, sendo que a cultura de principal interesse econômico em ambos os sistemas é o palmito de pupunheira (*Bactris gasipaes* Kunth.), introduzido na região como uma alternativa para a diminuição da pressão extrativista sobre o palmito nativo jussara (*Euterpe edulis* Mart.). A composição florística dos SAF's 1 e 2 estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Composição florística dos SAF's 1 e 2 localizados na comunidade quilombola Campinho da Independência, Paraty/RJ.

| | |
|--|--|
| Espécie de interesse econômico: palmito de pupunheira (<i>Bactris gasipaes</i> Kuhnt.) | |
| Espécies frutíferas de ciclo curto: banana variedade ouro (<i>Musa sp.</i>) e mamão papaya (<i>Carica papaya</i> L.) | |
| Espécies alimentares: feijão preto (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.), milho (<i>Zea mays</i> L.) e mandioca (<i>Manihot esculenta</i> L.) | |
| Espécies de adubação verde: feijão de porco (<i>Canavalia ensiformes</i> (L.) DC.), feijão guandu (<i>Cajanus cajan</i> (L.) Millsp.) e crotalária (<i>Crotalaria juncea</i> L.) | |
| SAF 1 | SAF 2 |
| Espécies renovadoras de fertilidade | |
| ingá (<i>Inga sp.</i>) embira de sapo (<i>Lochocarpus guilleminianus</i> (Tull.) Malme) | urucum (<i>Bixa orellana</i> L.) pau viola (<i>Cytharexylum Myrianthum</i> Cham.) |
| Espécies frutíferas de ciclo longo | |
| abiu (<i>Pouteria caimito</i> Radkl.) jaca (<i>Artocarpus heterophyllus</i> Lam.) | graviola (<i>Anona muricata</i> L.) carambola (<i>Arroha carambola</i> L.) |
| Espécies de uso potencial de sementes, óleos e madeira de lei | |
| guapuruvu (<i>Schizolobium parahyba</i> (Vell.) Blake) araribá (<i>Centrolobium tomentosum</i> Guill. Ex Benth.) jatobá (<i>Hymenaea courbaril</i> L.) copaíba (<i>Copaiba langsdorfii</i> Desf.) | cedro (<i>Cedrela fissilis</i> Vell.) canela (<i>Nectandra lanceolata</i> Nees et Mart. ex Nees) jequitibá (<i>Cariniana legalis</i> (Mart.) Kuntze) bicuiba (<i>Virola bicuhyba</i> (Schott) Warb.). |

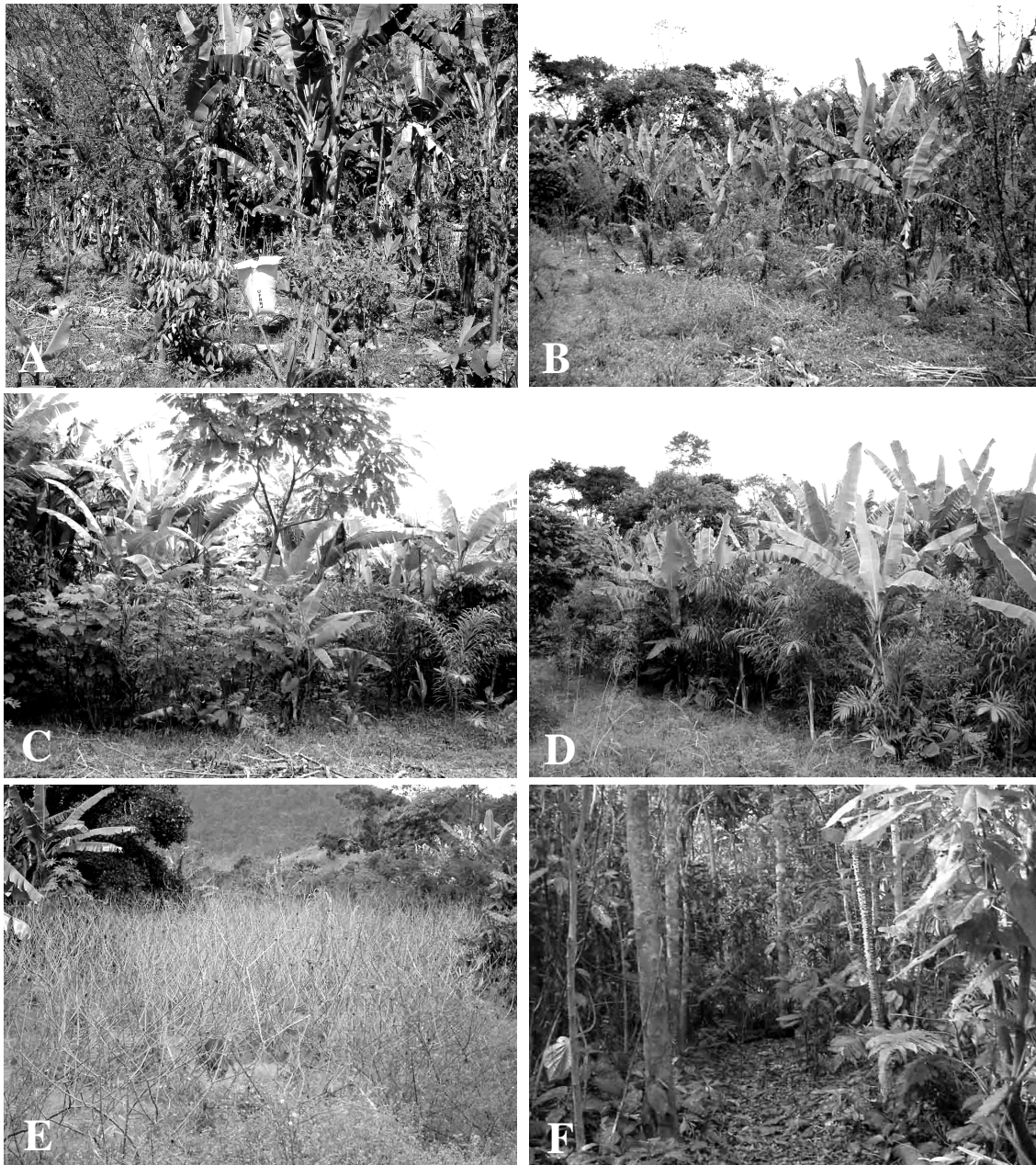


Figura 3. Tratamentos em estudo. A – SAF 1 inverno, B – SAF 2 inverno (agosto de 2004); C – SAF 1 verão, D – SAF 2 verão (fevereiro 2005); E – mandiocal inverno; F – mata inverno.

3.2 Avaliação do Manejo de Poda dos Sistemas Agroflorestais

Para a avaliação do incremento de matéria orgânica e nutrientes proporcionado pelo manejo agroflorestal, foram realizadas análises quantitativas e de composição química das camadas de serapilheira. A quantidade de serapilheira acumulada sobre a superfície do solo foi estimada sobre uma moldura de 0,5 x 0,5 m, a partir de 5 repetições ao acaso por tratamento. As amostras foram realizadas nos SAF's antes e depois do manejo agroflorestal de poda de espécies de adubação verde e renovadoras de fertilidade, que ocorreu dia 30 de maio de 2004. Os estoques de serapilheira do mandiocal e da mata também foram estimados. As amostras foram secas em estufa à 65°C até o peso constante para determinação da biomassa seca e, em seguida, o material

foi triturado para a análise dos teores de nitrogênio, fósforo, potássio, sódio e magnésio no tecido vegetal (MALAVOLTA et al., 1997). Com o estoque de matéria orgânica e os teores de nutrientes de cada tratamento foi possível estimar os estoques de nutrientes na serapilheira de cada tratamento.

3.3 Avaliação das Características Químicas e da Densidade de Raízes do Solo

Para a determinação das características químicas e microbiológicas do solo foram realizadas 5 amostras de solo 0-5 cm de profundidade sob as câmaras de medição gasosa dispostas aleatoriamente nos quatro tratamentos em estudo. A amostragem de verão foi feita dia 17 de agosto de 2004, e a de inverno no dia 22 de fevereiro de 2005. O solo coletado foi peneirado e seco ao ar, as raízes foram separadas e as amostras de solo foram divididas subamostras para determinação do pH do solo em água e dos teores de matéria orgânica, carbono orgânico total, nitrogênio total, alumínio, cálcio, magnésio, fósforo e potássio segundo EMBRAPA (1997). Subamostras para a determinação do carbono da biomassa microbiana e a respiração basal do solo também foram separadas nas duas estações.

A densidade de raízes foi estimada através do peneiramento e catação manual de amostras de solo 0-10 cm de profundidade coletadas sob as câmaras de medição gasosa que possuem 30 cm de diâmetro. As raízes foram classificadas em raízes finas, menores que 1 mm e raízes grossas, maiores que 1 mm. Após a separação, as raízes foram lavadas em água corrente e secas em estufa de 60°C para determinação do peso seco.

3.4 Biomassa Microbiana

O método utilizado para a quantificação do carbono da biomassa microbiana (C-BMS) do solo foi o da fumigação-extração, proposto por VANCE et al. (1987), associado ao método de determinação de carbono por colorimetria (BARTLETT & ROSS, 1988). O método de colorimetria utiliza o permanganato de potássio com agente oxidante, que possui um maior poder oxidante maior que o dicromato de potássio utilizado no método titrimétrico, conferindo maior precisão na quantificação de pequenas quantidades de carbono extraídas com sulfato de potássio. Além disso, o método colorimétrico elimina o problema do ponto de viragem do método titrimétrico, tornando a comparação de resultados de diferentes autores mais confiável.

Para cada amostra foram separadas 7 subamostras em frascos contendo 20g de solo. Dos sete frascos, três foram fumigados com clorofórmio, três foram processados imediatamente e um foi seco a 105°C para a determinação da umidade. A fumigação do solo com vapores de clorofórmio (CHCl₄) que faz com que a parede celular dos microrganismos seja rompida e o material celular seja liberado. Em seguida, se extrai o carbono lábil das subamostras fumigadas e não fumigadas com 50ml de solução de sulfato de potássio 0,25 mol.l⁻¹, pH 6,5-6,8 em agitador orbital por 30 minutos. Então, o carbono foi quantificado pelo método colorimétrico (BARTLETT & ROSS, 1988), diluindo 2ml da amostra com 3ml de água deionizada em frascos de vidro e adicionando, em ordem, 2,5ml da solução de trabalho (ST) e 2,5ml de ácido sulfúrico concentrado. As leituras de absorvância das amostras e da curva padrão foram feitas em espectrofotômetro calibrado no comprimento de onda de 495nm. A concentração de carbono nas subamostras foi calculada utilizando a equação da reta encontrada na curva padrão. O cálculo do carbono da biomassa microbiana se dá pela diferença da concentração carbono (g C g⁻¹ de solo) nas amostras fumigadas e não fumigadas, respectivamente, e o resultado é dividido pelo fator de correção K_c = 0,33 (SPARLING & WEST, 1988).

Para uma melhor compreensão dos teores de C-BMS, foi sugerido o quociente microbiano (C_{mic}) por INSAM & DOMSCH (1987), que é a razão entre o C-BMS e o carbono orgânico total do solo (COT). O quociente microbiano indica a qualidade da matéria orgânica em relação aos microrganismos, um alto índice representa a matéria orgânica capaz de sustentar uma biomassa microbiana abundante.

3.5 Respiração do Solo

3.5.1 Incubação do solo em laboratório

Para a determinação da respiração relativa à biomassa microbiana do solo foram incubadas amostras de 50g de solo fresco em recipientes de 100ml de vidro vedados. As amostras da atmosfera no interior do frasco foram retiradas com seringas em intervalos de 30 min. As concentrações de CO_2 nas amostras foram estimadas por cromatografia gasosa no GC-17A da Shimadzu, equipado com uma coluna megabore GS-Q, detector de condutividade térmica (TCD) e gás de arraste hélio. A calibração do aparelho foi feita usando padrão de $900 \text{ mg.kg}^{-1} CO_2$ em nitrogênio, fornecido pela White Martins S.A.

Com a biomassa e respiração microbiana do solo é possível calcular o coeficiente metabólico microbiano (qCO_2) que é a razão entre a respiração e a biomassa microbiana. O coeficiente qCO_2 foi proposto por ANDERSON & DOMSCH (1985) e indica se a biomassa microbiana está sendo eficiente ($<qCO_2$) na utilização dos recursos, incorporando carbono em sua biomassa, ou se o carbono está sendo perdido rapidamente na forma de CO_2 ($>qCO_2$). Dessa forma, perturbações levam ao aumento do qCO_2 e o “desenvolvimento bioenergético do ecossistema” (segundo modelo de sucessão ecológica de ODUM, 1969) levaria ao aumento na eficiência e redução do qCO_2 .

3.5.2 Respiração do solo em campo

Para a determinação da contribuição relativa de raízes e da serapilheira para a respiração total do solo, medições de emissão de CO_2 foram realizadas em campo usando câmaras de medição de fluxo. Em cada tratamento, 5 câmaras circulares de 30 cm de diâmetro foram sobrepostas ao solo e amostras do ar retido no interior das câmaras foram retiradas com seringas em intervalos de 5 minutos (Figura 4). As concentrações de CO_2 foram determinadas pelo método da cromatografia gasosa descrito anteriormente e as taxas de emissão foram estimadas para cada câmara a partir da equação da reta formada. Sob cada câmara foram quantificadas a serapilheira e as raízes na profundidade de 0-10 cm para correlacionar com a emissão total de CO_2 , de acordo com técnica de regressão proposta por KUCERA & KIRKHAM (1971).



Figura 4. Câmara de medição de fluxo de CO_2 do solo, com seringa acoplada.

3.6 Fauna do Solo

3.6.1 Amostragem e extração da fauna do solo

Para a amostragem da fauna do solo foram realizadas 5 amostras ao acaso por tratamento em cada estação. Um quadrado metálico de 25 cm de lado foi utilizado para a amostragem, sendo que cada amostra foi subdividida em serapilheira e solo de 0-5 cm de profundidade.

Para a extração da fauna do solo as amostras foram utilizados funis extratores do tipo Berlese-Tullgren, segundo GARAY (1989) com modificações (Figura 7). O método de extração se baseia na resposta da comunidade de fauna do solo a uma fonte de luz e calor, que induz os organismos a migrar em busca de umidade e temperaturas mais amenas.

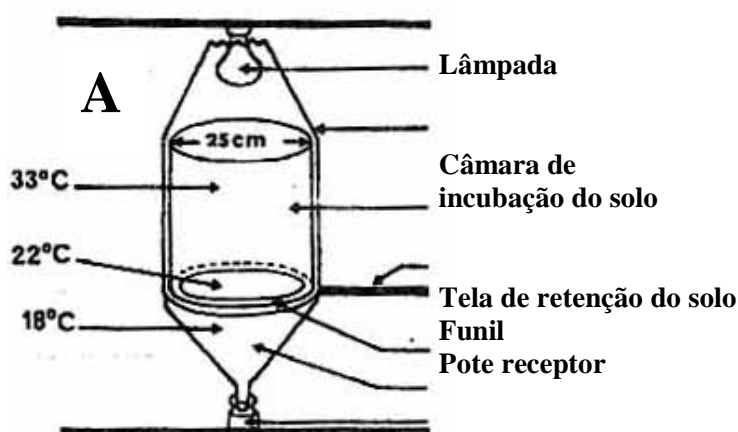


Figura 5. Funis extratores de Berlese-Tullgren. A – Esquema geral do equipamento; B – visualização do equipamento utilizado neste trabalho.

As amostras de solo foram colocadas em uma câmara de incubação, e submetidas à irradiação de lâmpadas de 60W por 15 dias (Figura 5, A). Durante a extração, ocorre a migração vertical da fauna do solo que tende a cair no funil que leva a um recipiente com etanol 50%. A tela de retenção do solo utilizada foi uma malha metálica com 2 cm de abertura, junto a uma malha plástica de 2 mm na qual foram

feitos orifícios de 2 cm, permitindo dessa forma a passagem da meso e macrofauna do solo. Sobre a câmara de retenção do solo foi esticado um tecido para impedir a entrada ou saída de organismos nas amostras (Figura 5, B). Após o período de extração, o recipiente foi recolhido para a triagem e identificação dos grupos taxonômicos e funcionais.

3.6.2 Identificação dos grupos taxonômicos e classificação de funcionais

Os organismos obtidos na extração foram classificados em grandes grupos taxonômicos. Os artrópodes das classes Arachnida e Insecta foram classificados até ordem. Dentro de Insecta foram feitas distinções entre larvas e adultos holometábolos, devido a diferenças funcionais exercidas por esses organismos nesses dois estágios de vida (DANGERFIELD, 1990). As formigas foram classificadas como Formicidae, separado dos demais Hymenopteras, visto que as formigas são um importante grupo indicador da qualidade do solo (LAVELLE, 1997; ARMBRECHT & ULLOA-CHACÓN, 1997). A classificação dos grupos taxonômicos em grupos funcionais levou em consideração o hábito alimentar, o recurso alimentar e o uso do habitat, e foi feita segundo os critérios propostos por COSTA (2002).

3.6.3 Índices de diversidade

Para uma avaliação da estrutura da comunidade de fauna do solo, foram determinados os índices de diversidade de Shannon-Weaver e de equitabilidade de Pielou. O índice Shannon-Weaver (H') apresenta a seguinte fórmula: $H' = - \sum p_i \times \ln p_i$; onde: $p_i = n_i/N$; N = número total de indivíduos amostrados; n_i = número de indivíduos amostrados do grupo taxonômico i ; \ln = logaritmo neperiano (SHANNON & WEAVER, 1964). Este índice leva em consideração a riqueza de grupos taxonômicos e a intensidade de dominância, resultando maiores índices em comunidades com muitos grupos, igualmente abundantes. A equitabilidade expressa a uniformidade na abundância dos grupos taxonômicos dentro de uma comunidade, resultando em baixos índices em situações de intensa dominância de poucos grupos taxonômicos. O índice de Pielou é utilizado para quantificar a equitabilidade, calculada através da seguinte fórmula: $J = H' / \ln S$; onde: H' = índice de diversidade de Shannon; S = Número total de grupos taxonômicos amostrados (PIELOU, 1975)

3.7 Análise Estatística

Os sistemas agroflorestais em estudo foram implantados como unidades demonstrativas no quilombo do Campinho e em outras comunidades em Paraty, e por isso não apresentam delineamento experimental com blocos de repetições distribuídas ao acaso. Dessa forma, uma análise de variância se torna inadequada e se faz necessária a comparação de médias dois a dois pelo teste t . A correção de Bonferroni foi utilizada para aumentar a rigorosidade da análise univariada, dividindo o nível de significância (0,05) pelo número de comparações possíveis entre tratamentos ($i(i-1)/2$). As análises univariadas foram feitas com o auxílio do programa Sisvar versão 4.6 (FERREIRA, 2003).

Análises multivariadas foram feitas com o programa Canoco versão 4.5 (TER BRAAK & SIMILAUER, 2002) para observar padrões encontrados nos dados de fauna edáfica. A análise de componentes principais foi utilizada para determinar relações entre a estrutura da comunidade da fauna edáfica e os respectivos tratamentos, determinando os grupos taxonômicos que melhor diferenciam os tratamentos em cada uma das estações. Em seguida é possível fazer uma curva de resposta principal que ordena os

tratamentos, em função da fauna, em apenas um eixo e permite a comparação dos tratamentos com o controle, no caso a mata, ao longo do estudo.

Por fim, foram realizadas análises de redundância direta, que são utilizadas para observar relações entre a variável de resposta, a comunidade de fauna do solo, e variáveis explicativas, que no presente estudo foram as características químicas e os indicadores microbiológicos do solo, todas em conjunto. Dessa forma é possível observar quais variáveis ambientais influenciaram a estrutura da comunidade de fauna do solo.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO:

4.1 Deposição e Teores de Nutrientes na Serapilheira durante o Manejo Agroflorestal

Os sistemas agroflorestais (SAF's) foram avaliados antes e um dia depois do manejo em mutirão para a poda das leguminosas de adubação verde e das espécies renovadoras de fertilidade realizado em maio de 2004, 15 meses após a implantação. Antes do manejo das agroflorestas, a mata secundária apresentou o maior estoque de matéria orgânica na serapilheira entre os tratamentos, com o estoque médio de 6,9 toneladas de matéria seca por hectare (Figura 6). Seu valor médio foi superior àqueles detectados no mandiocal e do SAF-2, mas não do SAF-1. Após a poda, o SAF-2 apresentou um incremento significativo no estoque de matéria orgânica na serapilheira alcançando um estoque de 8,4 t.ha⁻¹, enquanto o SAF-1 não apresentou um aumento significativo. Ao final do manejo, os estoques de serapilheira dos SAF's 1 e 2 foram estatisticamente iguais ao da mata e superiores ao mandiocal.

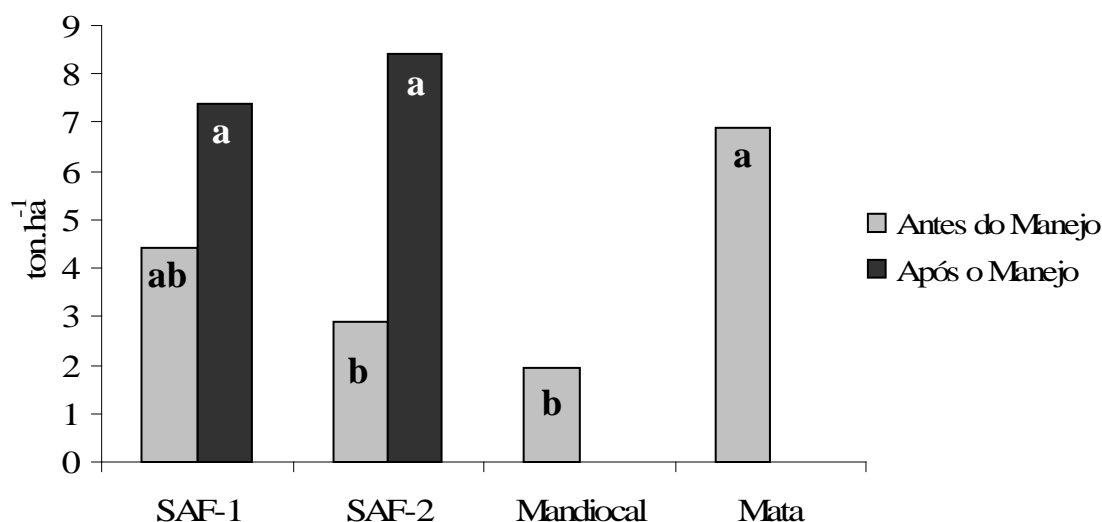


Figura 6. Estoques de matéria orgânica na serapilheira dos SAF's 1 e 2, antes e depois do manejo, assim como do mandiocal e da mata. Letras iguais indicam que não há diferença entre as médias pelo teste t de Bonferroni.

A serapilheira constitui um importante compartimento de nutrientes e é o principal mecanismo de reciclagem de minerais nas áreas de florestas onde alcançam estoque de até 12,6 t.ha⁻¹ (VITOUSEK, 1984). MAFRA et al. (1998) mostraram que o cultivo em aléias com leucena no cerrado produz a mesma quantidade de serapilheira que a vegetação nativa (2,4 e 2,2 t.ha⁻¹ respectivamente), sendo que com a poda e a incorporação de restos das culturas de centeio, aveia, milho e feijão o sistema agroflorestal apresentou um conteúdo de 11 t.ha⁻¹ de serapilheira. Em sistemas agroflorestais com café no sudeste da Guatemala, o desenvolvimento das copas das árvores de ingá e eritrina resultou no aumento médio de 46,8 % dos estoques de serapilheira no período de seis meses, proporcionando um estoque de 27,9 t.ha⁻¹ de serapilheira (ALFARO VILLATORO, 2004). Na mata atlântica, PENEREIRO (1999) avaliou sistemas agroflorestais de 12 anos na Bahia e obteve estoques de serapilheira de

14,4 t.ha⁻¹ no SAF e de 15,1 t.ha⁻¹ na capoeira. SILVEIRA (2003) avaliou os estoques de serapilheira de sistemas agroflorestais no município de Paraty 15 meses após a implantação e observou que os sistemas agroflorestais acumularam estoques de até 32,4 t.ha⁻¹ de serapilheira enquanto o bananal e a capoeira apresentaram estoques de 13,5 e 12,3 t.ha⁻¹ de serapilheira respectivamente. Os estoques de serapilheira obtidos por SILVEIRA (2003) em sistemas agroflorestais foram cerca de três vezes maiores àqueles obtidos no presente estudo, enquanto o estoque de serapilheira da capoeira foi cerca de duas vezes maior.

Quanto aos estoques de nitrogênio na serapilheira, a mata apresentou um estoque de 157,4 kg N.ha⁻¹, superior a todos os tratamentos antes do manejo dos SAF's (Tabela 2). O manejo proporcionou um aumento significativo no estoque de nitrogênio na serapilheira de ambos os SAF's, que apresentaram estoques semelhantes à mata e superiores ao mandiocal após o manejo. O SAF 2 apresentou também um aumento no teor de nitrogênio resultando em um estoque de 195,8 Kg N.ha⁻¹, superior ao estoque de 130,5 Kg N.ha⁻¹ obtido no SAF 1 após o manejo. No cultivo em aléias no cerrado, foi estimado um aporte de 149 KgN.ha⁻¹ano⁻¹, comparados com apenas 27,8 Kg N.ha⁻¹. no cerrado (MAFRA et al., 1998). Já nos sistemas agroflorestais na mata Atlântica, foram relatados estoques de 233,28 Kg N.ha⁻¹ na Bahia onde a capoeira apresentou um estoque de 191,68 kg N.ha⁻¹ (PENEREIRO, 1999). Em Paraty, os elevados estoques de serapilheira encontrados proporcionaram estoques entre 238,3 e 462,88 Kg N.ha⁻¹ nos sistemas agroflorestais, 174,77 kg N.ha⁻¹ na capoeira e 218,14 kg N.ha⁻¹ no bananal (SILVEIRA, 2003).

Os teores e estoques de fósforo na serapilheira não apresentaram diferença estatística entre os tratamentos antes do manejo, porém, os teores dos SAF's 1 e 2 foram quase o dobro do encontrado na mata e quase o triplo do mandiocal. Após o manejo de poda, essa diferença foi salientada estatisticamente, tanto nos teores quanto nos estoques de fósforo dos SAF's 1 e 2, que formaram um grupo com valores superiores aos outros tratamentos. Os teores e estoques de potássio na serapilheira tiveram um comportamento muito semelhante ao do fósforo, não apresentando diferença estatística entre si antes da poda, porém com o manejo, os sistemas agroflorestais apresentaram teores e estoques de potássio elevados formando um grupo distinto no teste estatístico. Além disso, os teores de potássio do SAF-1 foram superiores àqueles encontrados no SAF-2 depois do manejo.

O estoque de cálcio na serapilheira da mata foi significativamente maior que o mandiocal, enquanto os SAF's apresentaram valores intermediários antes e depois do manejo. Já os estoques de magnésio apresentaram um aumento significativo nos SAF's 1 e 2 após o manejo, sendo superiores ao mandiocal e semelhantes à mata.

Os estoques de serapilheira indicaram que a mata possui o maior acúmulo de matéria orgânica sobre o solo, sendo o controle positivo do processo de ciclagem de nutrientes, enquanto o mandiocal apresenta os menores estoques de matéria orgânica na serapilheira, indicando baixa ciclagem de nutrientes e concordando com estudos de BORGES e KIEHL (1996), que relataram que o monocultivo de mandioca não proporciona ganhos de matéria orgânica no solo suficientes para compensar as perdas pela decomposição. No presente estudo, a deposição de matéria orgânica proporcionada pela poda das espécies de adubação verde e renovadoras de fertilidade proporcionou um incremento significativo nos estoques de nitrogênio, fósforo, potássio e magnésio na serapilheira levando à condição de semelhança aos estoques da mata e de superioridade em relação aos estoques do mandiocal. Os estoques de serapilheira são indicadores da ciclagem de nutrientes pois representam um estoque de nutrientes para futura

Tabela 2. Teores de nutrientes na serapilheira sobre os solos dos SAF's antes e depois do manejo, do mandiocal e da mata secundária.

| Tratamentos | g kg ⁻¹ ----- | | | | kg ha ⁻¹ ----- | | | | |
|------------------------|--------------------------|--------|--------|---------|---------------------------|----------|--------|--------|---------|
| | N | P | K | Mg | Ca | N | P | K | Mg |
| Antes do manejo | | | | | | | | | |
| SAF-1 | 13,3 c | 0,98 b | 0,19 c | 1,81 ab | 8,36 a | 56,1 c | 4,3 b | 0,8 b | 8 b |
| SAF-2 | 15,7 bc | 0,86 b | 0,2 c | 1,91 ab | 10,47 a | 43,9 c | 2,5 b | 0,6 b | 5,5 b |
| Mandiocal | 15,1 c | 0,31 b | 0,02 c | 0,93 b | 5,07 a | 28,3 c | 0,6 b | 0,04 b | 1,8 b |
| Mata | 22,9 ab | 0,48 b | 0,06 c | 1,64 ab | 11,33 a | 157,4 ab | 3,3 b | 0,4 b | 11,3 ab |
| Após o manejo | | | | | | | | | |
| SAF-1 | 19,1 abc | 1,91 a | 6,1 a | 2,65 a | 8,83 a | 130,5 b | 14,2 a | 45,1 a | 19,6 a |
| SAF-2 | 23,5 a | 1,71 a | 2,95 b | 2,31 ab | 8,03 a | 195,8 a | 14,4 a | 24,9 a | 19,5 a |

Letras iguais na mesma coluna indicam que não há diferença entre as médias pelo teste t de Bonferroni.

mineralização. Estudos com sistemas agroflorestais mostram que esses sistemas são capazes de manter estoques de matéria orgânica e nutrientes na serapilheira superiores ao ecossistema local (MAFRA, 1998; PENEREIRO, 1999; SILVEIRA, 2003). Em solos tropicais esse estoque é extremamente importante para compensar as perdas de matéria orgânica do solo e fornecer proteção contra a erosão e por isso o manejo agroflorestal se faz importante (NAIR, 1999).

4.2 Serapilheira e Matéria Orgânica do Solo

Os estoques de matéria orgânica na serapilheira e no solo foram avaliados nas coletas de inverno, em agosto de 2004, e de verão, em fevereiro de 2005. Em relação aos estoques de serapilheira, não houve diferença estatística entre os tratamentos no inverno, apesar dos SAF's apresentarem médias numericamente superiores à mata e ao mandiocal (Figura 7). Este resultado está de acordo com o observado após o manejo de poda dos SAF's, quando o SAF 2 também apresentava o maior estoque de serapilheira. Do inverno para o verão, houve uma queda significativa nos estoques de serapilheira no SAF 1, que foi inferior à mata nessa estação assim como o mandiocal. Já o SAF 2 não apresentou uma queda tão acentuada nos estoques de serapilheira, permanecendo semelhante à mata, que apresentou aumento significativo nesse estoque do inverno para o verão. Os estoques de serapilheira observados no presente estudos foram inferiores àqueles obtidos por outros autores em sistemas agroflorestais e em fragmentos florestais na mata atlântica (PENEREIRO, 1999; SILVEIRA, 2003).

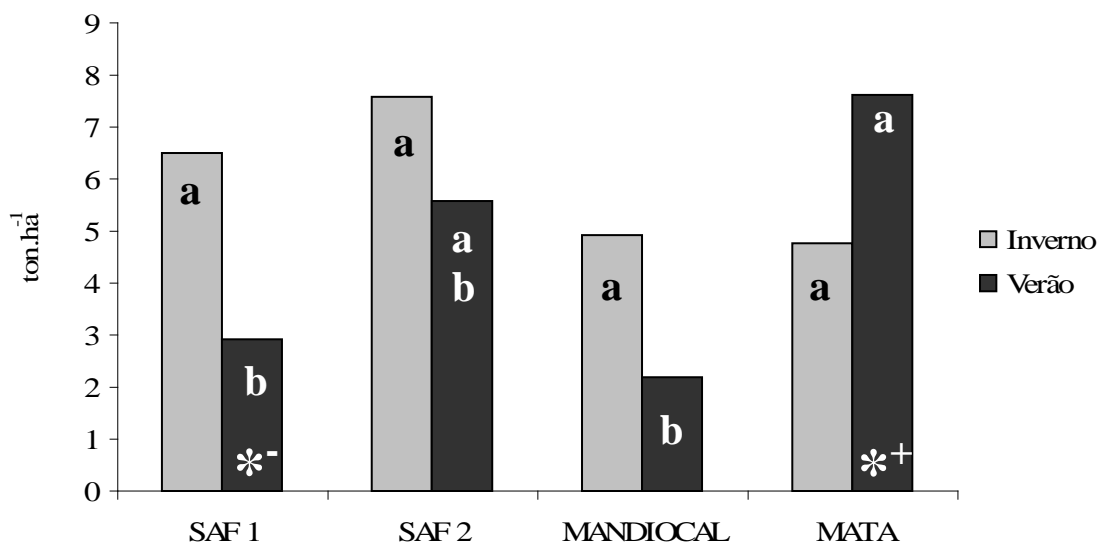


Figura 7. Estoques de matéria orgânica na serapilheira dos sistemas agroflorestais 1 e 2, do mandiocal e da mata nas estações de inverno e de verão. Letras iguais indicam que não há diferença entre as médias dos tratamentos numa mesma estação, enquanto asterisco representa diferença estatística da média de cada tratamento em relação à estação anterior, sendo asterisco positivo um aumento (*+) e asterisco negativo uma diminuição (*-) significativa segundo teste t de Bonferroni.

Na avaliação dos teores de matéria orgânica do solo, a mata e o SAF 1 apresentaram teores de matéria orgânica significativamente maiores que o SAF 2 no inverno, enquanto o mandiocal apresentou um teor médio superior ao SAF 1 mas não apresentou diferença estatística dos demais tratamentos (Figura 8). Do inverno para o verão, houve um aumento significativo nos teores de matéria orgânica e carbono no solo de todos os tratamentos, exceto o SAF 1, que manteve o teor de matéria orgânica do solo

semelhante ao inverno. A mata apresentou um teor de $75,8 \text{ g.kg}^{-1}$ no verão e foi superior aos outros tratamentos nessa estação.

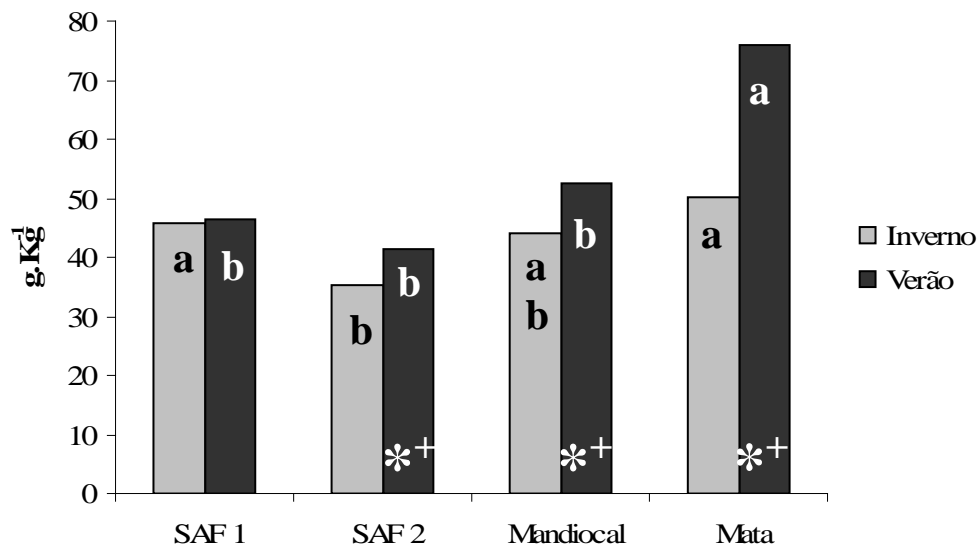


Figura 8. Teores de matéria orgânica no solo dos sistemas agroflorestais 1 e 2, do mandiocal e da mata nas estações de inverno e de verão. Letras iguais indicam que não há diferença entre as médias dos tratamentos numa mesma estação, enquanto asterisco representa diferença estatística da média de cada tratamento em relação à estação anterior, sendo asterisco positivo um aumento (*+) e asterisco negativo uma diminuição (*-) significativa segundo teste t de Bonferroni.

Os teores de matéria orgânica do solo dos tratamentos no inverno estão de acordo com os estoques de serapilheira encontrados antes do manejo, quando o SAF 2 foi inferior à mata e o SAF 1 não (Figura 6). Essa semelhança provavelmente está associada ao histórico da área e à influência do fragmento florestal adjacente ao SAF 1, que pode estar provocando sintomas do efeito de borda como aporte de serapilheira e sombreamento. O efeito de borda são alterações nos fluxos energético, biológico e de materiais, comumente estudados nas áreas mais externas de fragmentos florestais adjacentes à matrizes degradadas (WIENS et al., 1993; MURCIA, 1995). Esses estudos mostram que essas áreas recebem mais luz e estão mais expostas à perturbações do que o interior do fragmento, dessa forma a borda do fragmento apresenta maior diversidade de espécies vegetais, maior abundância de indivíduos e maior produtividade primária, decorrente da sobreposição de espécies do interior do fragmento florestal e da matriz degradada adjacente (DIDHAN & LAWTON, 1999). No caso do presente estudo, os SAF's foram implantados na matriz adjacente ao fragmento florestal, e o efeito de borda esperado seria um aumento de matéria orgânica por influência do fragmento. Isso se observa no SAF 1, tanto nos estoques de serapilheira do antes do manejo quanto nos teores de matéria orgânica do solo no inverno.

Porém, os resultados indicam que o SAF 2 obteve maior benefício com o manejo agroflorestal, recebendo um aporte significativo de matéria orgânica durante o manejo, o que refletiu na manutenção de estoques de serapilheira equivalentes à mata nas duas estações, e no aumento significativo dos teores de matéria orgânica do solo do inverno para o verão. Enquanto o SAF 1, que antes do manejo apresentava um estoque semelhante à mata, não apresentou um incremento significativo nos estoques de serapilheira durante o manejo, resultando numa queda acentuada nos estoques de serapilheira do inverno para o verão, quando apresentou situação semelhante ao mandiocal e inferior à mata. No verão, os

teores de matéria orgânica do solo do SAF 1 permaneceram semelhantes ao inverno, enquanto a mata apresentou um aumento no teor médio, que foi superior a todos os tratamentos no verão. A menor produtividade observada no SAF 1 provavelmente está associada ao sombreamento proporcionado pelo fragmento florestal adjacente, que deve ter afetado o crescimento das espécies de adubação verde e renovadoras de fertilidade comprometendo a reposição de matéria orgânica do manejo agroflorestal.

4.3 Características Químicas do Solo

Nas análises das características químicas dos solos amostrados, os teores de carbono do solo foram um reflexo dos teores de matéria orgânica (Tabela 3). No inverno o menor teor de carbono orgânico foi o do SAF 2, $20,5 \text{ gC.kg}^{-1}$, que foi estatisticamente inferior ao da mata, com $29,1 \text{ gC.kg}^{-1}$, e ao SAF 1, com $26,5 \text{ gC.kg}^{-1}$. Assim como o observado nos teores de matéria orgânica, todos os tratamentos proporcionaram um aumento nos teores de carbono do inverno para o verão, exceto o SAF 1, que permaneceu com teores semelhantes. No verão, a mata apresentou o teor médio de 44 gC.kg^{-1} , que foi superior aos outros tratamentos no teste estatístico. Os teores de carbono orgânico encontrados em uma capoeira, um bananal e numa área de plantio no município de Paraty foram em geral inferiores ao presente estudo, e variaram entre 14 gC.kg^{-1} e $21,4 \text{ gC.kg}^{-1}$ (SILVEIRA, 2003). Já num estudo realizado em Ubatuba-SP, a floresta e o bananal apresentaram teores superiores a 30 gC.kg^{-1} nas estações de inverno e verão, a capoeira apresentou uma queda de $30,9 \text{ gC.kg}^{-1}$ para 27 gC.kg^{-1} , e o mandiocal apresentou teores em torno de 26 gC.kg^{-1} nas duas estações (SILVA, 2005). Estes resultados mostram que apenas a floresta foi capaz de manter elevados teores de carbono, enquanto no presente estudo todos os tratamentos, exceto o SAF 1, apresentaram um aumento nos teores de carbono no solo do inverno para o verão.

Em relação aos teores de nitrogênio do solo, a mata apresentou um valor médio de $3,8 \text{ gN.kg}^{-1}$, superior ao SAF 2, que apresentou $2,4 \text{ gN.kg}^{-1}$, mas não em relação ao SAF 1, que apresentou $3,3 \text{ gN.kg}^{-1}$ no inverno. Apenas a mata e o mandiocal apresentaram aumento nos teores de nitrogênio do inverno para o verão. Os SAF's 1 e 2 apresentaram teores de nitrogênio menores que a mata no verão, que apresentou $5,9 \text{ gN.kg}^{-1}$, sendo que o SAF 2 foi inferior ao mandiocal também. A relação C/N variou entre 8,9 no SAF 2 e 7,4 na mata, sendo que as diferenças não foram significativas.

Os SAF's 1 e 2 apresentaram solos menos ácidos que a mata nas duas estações. A solubilidade do alumínio está associada à acidez do solo, de forma que os teores de alumínio encontrados na mata e no mandiocal foram superiores aos SAF's 1 e 2 no inverno. Do inverno para o verão, houve um aumento na acidez dos solos do SAF-1, do mandiocal e da mata, enquanto no SAF 2 não. Os teores de alumínio se elevaram no SAF 1 nesse período, mas não houve diferença entre os tratamentos no verão.

Os teores de cálcio, magnésio, e fósforo nos solos dos tratamentos em estudo foram estatisticamente semelhantes no inverno, apesar do SAF 1 ter apresentado o dobro do teor de cálcio dos outros tratamentos e um elevado teor de fósforo de 11 mg.dm^{-3} , quase o dobro do SAF 2. O SAF 1 também apresentou um elevado teor de potássio, 267 mg.dm^{-3} , sendo superior aos outros tratamentos no inverno. No verão, houve uma queda nos teores de fósforo e potássio no SAF 1, enquanto no SAF 2 apenas o teor de potássio reduziu significativamente. A mata apresentou um aumento no teor de fósforo, que foi superior aos SAF's 1 e 2 no verão, quando o teor de cálcio foi superior ao mandiocal, e teor de magnésio superior à todos os tratamentos. Em relação ao potássio, o mandiocal apresentou o maior valor médio no verão e foi superior estatisticamente ao SAF 2.

Tabela 3. Características químicas de amostras de solo sob dois sistemas agroflorestais (SAF's 1 e 2), um mandiocal e uma mata secundária.

| Tratamentos | C | N | C/N | pH | Al | Ca | Mg | P | K |
|--------------------|--------------------------------|----------|----------|----------|--|-----------|----------|-------------------------------|-----------|
| | ----- g kg ⁻¹ ----- | ----- | | | ----- cmol _c dm ⁻³ ----- | | | ---- mg dm ⁻³ ---- | |
| SAF 1 – Inverno | 26,5 a,A | 3,3 ab,A | 8,04 a,A | 5,6 a,A | 0,07 b,B | 3,7 a,A | 1,53 a,A | 11,0 a,A | 267 a,A |
| SAF 1 – Verão | 26,9 b,A | 3,3 bc,A | 8,09 a,A | 5 a,B | 0,48 a,A | 2,7 ab,A | 1,04 b,A | 7 b,B | 51 ab,B |
| SAF 2 – Inverno | 20,5 b,B | 2,4 b,A | 8,62 a,A | 5,4 a,A | 0,33 b,A | 1,8 a,A | 1,3 a,A | 6,3 a,A | 73 b,A |
| SAF 2 – Verão | 24,1 b,A | 2,7 c,A | 8,9 a,A | 5,1 a,A | 0,44 a,A | 2,24 ab,A | 1,14 b,A | 7 b,A | 42,6 b,B |
| Mandioca – Inverno | 25,5 ab,B | 3,2 ab,B | 7,94 a,A | 5,2 ab,A | 1,03 a,A | 1,7 a,A | 1,43 a,A | 7,6 a,A | 88 b,A |
| Mandioca – Verão | 30,6 b,A | 3,7 b,A | 8,29 a,A | 4,8 a,B | 0,96 a,A | 1,76 b,A | 1,04 b,A | 11 ab,A | 151,8 a,A |
| Mata – Inverno | 29,1 a,B | 3,8 a,B | 7,64 a,A | 4,9 b,A | 1,6 a,A | 1,7 a,A | 1,17 a,A | 8,3 a,B | 110 b,A |
| Mata – Verão | 44 a,A | 5,9 a,A | 7,41 a,A | 4,5 b,B | 1,02 a,A | 3,24 a,A | 1,72 a,A | 15 a,A | 91,4 ab,A |

Letras minúsculas iguais numa mesma coluna representam igualdade estatística entre os tratamentos na mesma estação, enquanto letras maiúsculas iguais numa mesma coluna representam igualdade estatística entre as estações no mesmo tratamento segundo o teste t com correção de Bonferroni ($p < 0,05$).

Os elevados teores de nutrientes observados no SAF 1 no inverno reforça a hipótese desse tratamento apresentar melhores condições iniciais, o que pode estar relacionado ao histórico da área e ao efeito de borda. Do inverno para o verão, o SAF 1 apresentou uma acidificação e uma perda de nutrientes no solo mais intensas se comparadas ao SAF 2, concordando com os resultados de serapilheira e matéria orgânica do solo, que indicam que o SAF 2 obteve maior benefício com o manejo agroflorestal. Os solos em áreas estudadas em Ubatuba, foram relativamente mais ácidos no inverno, resultando em teores de alumínio mais elevados do que os observados no presente estudo (SILVA, 2005). No verão, a floresta em Ubatuba apresentou pH semelhante à mata no presente estudo, porém o teor de alumínio foi mais de duas vezes maior. Nos sistemas agroflorestais com café na Guatemala, os teores de carbono em solos argilosos foram superiores a 30 gC.kg^{-1} , e os teores de nitrogênio foram superiores a $2,5 \text{ gN.kg}^{-1}$, resultando em valores de relação C/N maiores que 10 (ALFARO-VILLATORO, 2004). O presente estudo apresentou, de forma geral, menores estoques de carbono e maiores teores de nitrogênio resultando em menores relações C/N em comparação ao estudo na Guatemala.

4.4 Indicadores Microbiológicos do Solo

No inverno, as concentrações de carbono da biomassa microbiana variaram entre $232,64 \text{ } \mu\text{gC-BMS.g}^{-1}$ no mandiocal e $357,39 \text{ } \mu\text{gC-BMS.g}^{-1}$ na mata, e a respiração basal do solo variou entre $0,47 \text{ } \mu\text{gC-CO}_2.\text{g}^{-1}.\text{h}^{-1}$ no mandiocal e $1,15 \text{ } \mu\text{gC-CO}_2.\text{g}^{-1}.\text{h}^{-1}$ na mata, mas não houve diferença estatística entre os tratamentos nessa estação (Tabela 4). O SAF 2 apresentou o maior quociente microbiano no inverno, 1,5 %, superior estatisticamente apenas em relação ao mandiocal. O quociente microbiano expressa a relação entre o carbono da biomassa microbiana e o carbono orgânico total do solo e altos valores indicam que a matéria orgânica é de fácil assimilação pelos microrganismos (INSAM & DOMSCH, 1987). O SAF 2 apresentou o segundo maior teor médio de C-BMS, $307 \text{ } \mu\text{gC-BMS.g}^{-1}$, e foi o tratamento com os menores teores de matéria orgânica, carbono e nitrogênio no solo, resultando no elevado quociente microbiano. Na época da amostragem de inverno, o solo estava sob influência do material depositado durante o manejo agroflorestal a cerca de 4 meses. Esse resultado concorda com os resultados de MURAGE (2000), e mostra que a biomassa microbiana apresenta resposta mais rápida ao manejo da serapilheira do que os teores de carbono e matéria orgânica do solo. Do inverno para o verão houve uma redução significativa do quociente metabólico do SAF-2 e do mandiocal, resultando na superioridade da mata em relação ao mandiocal no verão. Isso ocorreu devido à diminuição nos teores de C-BMS, junto ao aumento de carbono orgânico do solo observados nesses tratamentos durante o estudo.

No verão, as concentrações C-BMS e a respiração do solo da mata, $472,09 \text{ } \mu\text{gC-BMS.g}^{-1}$ e $3,95 \text{ } \mu\text{gC-CO}_2.\text{g}^{-1}.\text{h}^{-1}$ respectivamente, foram superiores em relação aos outros tratamentos, sendo que apenas a respiração do solo na mata apresentou um aumento significativo entre as estações. WARDLE (1998), revisou 72 trabalhos e estimou a magnitude média do C-BMS sob diferentes coberturas vegetais, e obteve $750 \mu\text{gC-BMS.g}^{-1}$ em áreas florestadas, $800 \mu\text{gC-BMS.g}^{-1}$ em áreas de pastagem, e $400 \mu\text{gC-BMS.g}^{-1}$ em áreas de cultivo mecanizado. Em sistemas agroflorestais no sudeste da Guatemala, amostras de solo apresentaram teores de C-BMS entre $400 \mu\text{gC-BMS.g}^{-1}$ e $1400 \mu\text{gC-BMS.g}^{-1}$, e respiração do solo incubado em laboratório entre $0,5 \text{ } \mu\text{gC-CO}_2.\text{g}^{-1}.\text{h}^{-1}$ e $1,5 \text{ } \mu\text{gC-CO}_2.\text{g}^{-1}.\text{h}^{-1}$ em plantios de café sombreado na Guatemala (ALFARO VILLATORO, 2004). Os teores de C-BMS e o quociente C_{mic} encontrados no presente estudo foram, de forma geral, inferiores aos observados na Guatemala, enquanto a respiração do solo foi superior, resultando em quocientes metabólicos muito mais elevados no presente estudo.

Tabela 4. Carbono da biomassa microbiana (C-BMS), respiração basal do solo e os quocientes microbianos (Cmic) e metabólico (qCO_2) dos solos sob os dois sistemas agroflorestais (SAF's 1 e 2), o mandiocal e a mata secundária.

| Tratamentos | Estações | C - BMS | Respiração | Cmic | qCO_2 |
|-------------|----------|---------------------------|---|-----------|---|
| | | $\mu\text{gC-BMS g}^{-1}$ | $\mu\text{gC-CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ h}^{-1}$ | % | $\mu\text{gC-CO}_2 (\mu\text{gC-BMS h})^{-1}$ |
| SAF 1 | Inverno | 282,16 a,A | 0,96 a,A | 1,06 ab,A | 0,0034 a,A |
| | Verão | 254,35 b,A | 1,32 b,A | 0,94 ab,A | 0,0052 a,A |
| SAF 2 | Inverno | 306,98 a,A | 1,01 a,A | 1,5 a,A | 0,0033 a,A |
| | Verão | 241,3 b,A | 1,23 b,A | 1,01 ab,B | 0,0051 a,A |
| Mandiocal | Inverno | 232,64 a,A | 0,47 a,B | 0,91 b,A | 0,002 a,A |
| | Verão | 159,64 b,A | 0,86 b,A | 0,52 b,B | 0,0054 a,A |
| Mata | Inverno | 357,39 a,A | 1,15 a,B | 1,23 ab,A | 0,0032 a,B |
| | Verão | 472,09 a,A | 3,95 a,A | 1,1 a,A | 0,0084 a,A |

Letras minúsculas iguais numa mesma coluna representam igualdade estatística entre os tratamentos na mesma estação, enquanto letras maiúsculas iguais numa mesma coluna representam igualdade estatística entre as estações no mesmo tratamento segundo o teste t com correção de Bonferroni ($p < 0,05$).

Os valores de qCO_2 não mostraram diferença estatística em nenhuma das comparações, exceto na mata, onde houve um aumento no coeficiente do inverno para o verão, indicando um aumento no estresse, provavelmente pelo aumento de temperatura. O quociente metabólico qCO_2 é a taxa de respiração por unidade de biomassa microbiana e indica o quanto a população microbiana está sendo eficiente em incorporar o carbono da matéria orgânica em sua biomassa (ANDERSON & DOMSCH, 1985) e a elevação do valor qCO_2 pode ser observada em situações de distúrbio ou estresse ambientais (WARDLE, 1993). Segundo o modelo da sucessão ecológica de ODUM (1969; 1985), a frequência de distúrbios tende a diminuir enquanto o estresse tende a aumentar durante o desenvolvimento do ecossistema. Dessa forma, o quociente metabólico está indicando o estresse ambiental ao invés da frequência de distúrbios, visto que os valores elevados estão associados com ambientes mais desenvolvidos e estáveis como a mata, enquanto os baixos valores estão correlacionados com áreas de cultivo intensivo, com distúrbios mais frequentes como no mandiocal e os SAF's.

4.5 Componentes da Respiração do Solo em Campo

4.5.1 Emissão de CO_2 e densidade de raízes do solo

Para o estudo dos componentes da respiração do solo, foram realizadas medidas do fluxo de CO_2 do solo em campo em cada um dos tratamentos, e junto a cada câmara de medição foram quantificadas a serapilheira, a umidade do solo e a densidade de raízes finas, grossas e totais. Foram consideradas raízes finas, aquelas com diâmetro menor que 1 mm. Os resultados da medição da respiração do solo em campo não apresentaram diferença estatística entre os tratamentos em nenhuma das estações, e não puderam ser realizadas no mandiocal no inverno por falha do equipamento de amostragem (Tabela 5). No inverno, os fluxos variaram entre $49,56 \text{ mgC-CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ no SAF 2 e $89,64 \text{ mgC-}$

Tabela 5. Respiração do solo em campo e as variáveis associadas: raízes finas, grossas e totais do solo na profundidade 0-5 cm sob a câmara e umidade do solo nas amostras dos tratamentos em estudo.

| Tratamentos | Respiração no campo | | Respiração anual | | Umidade do solo | | |
|-------------|---|------------|--|--|-----------------|-------------|------------|
| | mgC-CO ₂ m ⁻² h ⁻¹ | | gC-CO ₂ m ⁻² ano ⁻¹ | | RAIZ fina | RAIZ grossa | RAIZ total |
| SAF 1 | Inverno | 125,1 a A | 1095,88 | | 7,93 b A | 11,78 b A | 19,7 b A |
| | Verão | 138,91 a A | 1216,87 | | 15,94 bc A | 20,61 a A | 36,55 b A |
| | Inverno | 49,56 a B | 434,15 | | 15,8 b B | 33,15 b A | 48,95 b A |
| | Verão | 127,46 a A | 1116,59 | | 26,92 ab A | 11,46 a B | 38,39 b A |
| MANDIOCAL | Inverno | N.D. | N.D. | | 2,86 b A | 12,26 b A | 15,12 b A |
| | Verão | 106,99 a | 937,25 | | 3,65 c A | 59,67 a A | 63,33 ab A |
| MATA | Inverno | 89,64 a A | 785,25 | | 47,90a A | 110,86 a A | 158,75 a A |
| | Verão | 165,79 a A | 1452,34 | | 48,95 a A | 133,05 a A | 182 a A |
| | | | | | | | 27,61 a A |
| | | | | | | | 29,92 ab A |
| | | | | | | | 25,49 a A |
| | | | | | | | 25,19 b A |
| | | | | | | | 30,93 a A |
| | | | | | | | 32,85 a A |
| | | | | | | | 28,35 a B |
| | | | | | | | 32,03 a A |

Letras minúsculas iguais numa mesma coluna representam igualdade estatística entre os tratamentos na mesma estação, enquanto letras maiúsculas iguais numa mesma coluna representam igualdade estatística entre as estações no mesmo tratamento segundo o teste t com correção de Bonferroni (p<0,05).

$\text{CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ no SAF 1, e a emissão média anual dos três tratamentos foi de $578,82 \text{ gC-CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{ano}^{-1}$. Já no verão, os fluxos variaram entre $106,99 \text{ mgC-CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ no mandiocal e $165,79 \text{ mgC-CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ na mata, resultando numa emissão média anual entre os tratamentos de $1180,76 \text{ gC-CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{ano}^{-1}$. Na comparação entre as estações, o fluxo de CO_2 aumentou do inverno para o verão somente no SAF 2. A emissão média anual de C-CO_2 estimada em revisão para florestas tropicais úmidas foi de $1260 \pm 57 \text{ gC-CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{ano}^{-1}$ (RAICH & SCHLESINGER, 1992), sendo que no verão a mata atingiu uma emissão de $1452,34 \text{ gC-CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{ano}^{-1}$. ASSIS-JÚNIOR et al. estimaram a respiração do solo na Unidade Agroflorestral da Companhia Mineira de Metais (CMM) em Vazante-MG durante a estação do verão, e encontraram taxas entre $45,04 \text{ mgC-CO}_2 \text{ m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ em área desmatada e $152,54 \text{ mgC-CO}_2 \text{ m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ na mata.

Em relação à densidade de raízes, a mata foi superior aos outros tratamentos nas categorias finas, grossas e totais no inverno. No verão, o SAF 2, apresentou um aumento significativo nas emissões de CO_2 , acompanhado de um aumento na densidade de raízes finas, sugerindo uma contribuição efetiva das raízes para a respiração total do solo. Esses resultados concordam com o quadro regenerativo desse tratamento, que proporcionou uma maior deposição de matéria orgânica durante o manejo agroflorestral, apresentou um estoque de serapilheira alto, estável e semelhante à mata nas duas estações, e aumentou significativamente os teores de matéria orgânica do solo durante o estudo. Já o SAF 1 apresentou um padrão semelhante nas duas estações, com alto fluxo de CO_2 , concordando com os resultados encontrados para os teores de matéria orgânica no solo, e com os indicadores microbiológicos. As densidades de raízes totais foram superiores na mata em todas as comparações, exceto o mandiocal no verão, onde os tubérculos contribuíram para esse tratamento, não havendo diferença estatística.

4.5.2 Contribuição das raízes para a respiração total do solo

O método de análise da regressão para avaliação da contribuição das raízes para a respiração total do solo proposto por KUCERA & KIRKHAM (1971) se enquadra entre os métodos de integração de componentes (HANSON et al., 2000), com a vantagem de medir o fluxo *in situ* e sem a perturbação do solo. O método de análise de regressão postula que a respiração total do solo tem correlação linear positiva com a densidade de raízes do solo, fornecendo uma equação da reta $y = ax + b$ (KUCERA & KIRKHAM, 1971). O coeficiente angular (a) representa a intensidade com que cada unidade de massa de raiz contribui para respiração total, enquanto a variável independente (b) representa a respiração basal do solo, sem a influência das raízes. O índice R^2 indica a percentagem da variação explicada pela equação. A estimativa da contribuição das raízes para a respiração total pelo método de regressão só foi possível com os dados do verão, devido à falta de dados de emissão no inverno.

Dessa forma se observa que, considerando todos os tratamentos juntos, as raízes finas explicam a maior parte da variação na respiração total do solo, apresentando a maior significância do coeficiente R^2 (0,2906) e também o maior coeficiente angular ($a = 0,0012$) (Tabela 6). Observando apenas o SAF 1, se destacam a influência positiva das raízes grossas, com elevados valores no coeficiente angular e no R^2 , e a influência negativa da umidade, com elevado R^2 e coeficiente angular negativo. O SAF 2 apresentou forte influência das raízes finas, concordando com o aumento de densidade e de fluxo observado nesse tratamento e nessa estação (tabela 4). A serapilheira e a umidade apresentaram altos valores de R^2 no SAF 2, sendo que o primeiro obteve coeficiente angular pouco expressivo. O mandiocal apresentou elevado R^2 para raiz grossa, apesar do baixo coeficiente angular. A influência negativa da umidade na respiração do mandiocal também foi relevante. Na mata, as duas categorias de raízes se mostraram importantes,

Tabela 6. Regressão múltipla das variáveis explicativas raiz fina, raiz grossa, raiz total, serapilheira, umidade e carbono da biomassa microbiana com a variável de resposta respiração do solo em campo. ($y = ax + b$) equação da reta, onde o coeficiente angular representa a intensidade com que as variáveis estão correlacionadas (a)

| | Raiz Fina | Raiz Grossa | Raiz Total | Serapilheira | Umidade |
|-----------|--|--|--|--|---|
| SAF 1 | $y = -0,0004x + 0,012$ $R^2 = 0,0181$ | $y = 0,0006x + 0,0107$ $R^2 = 0,3831$ | $y = 0,0006x + 0,0101$ $R^2 = 0,3503$ | $y = -1E-05x + 0,0146$ $R^2 = 0,3048$ | $y = -0,0006x + 0,0286$ $R^2 = 0,5215$ |
| SAF 2 | $y = 0,0013x + 0,0082$ $R^2 = 0,0596$ | $y = -0,0008x + 0,0112$ $R^2 = 0,0275$ | $y = 0,0001x + 0,0103$ $R^2 = 0,0015$ | $y = 4E-06x + 0,0081$ $R^2 = 0,5242$ | $y = -0,0004x + 0,021$ $R^2 = 0,3535$ |
| MANDIOCAL | $y = 0,0005x + 0,0088$ $R^2 = 0,0019$ | $y = 0,0001x + 0,0085$ $R^2 = 0,6154$ | $y = 0,0001x + 0,0084$ $R^2 = 0,6106$ | $y = 9E-07x + 0,0087$ $R^2 = 0,0103$ | $y = -0,0002x + 0,0161$ $R^2 = 0,1841$ |
| MATA | $y = 0,001x + 0,0105$ $R^2 = 0,1014$ | $y = 0,0006x + 0,0083$ $R^2 = 0,2085$ | $y = 0,0004x + 0,0084$ $R^2 = 0,1933$ | $y = 7E-06x + 0,0086$ $R^2 = 0,0779$ | $y = 0,0011x - 0,022$ $R^2 = 0,1467$ |
| TODOS | $y = 0,0012x + 0,0092$ $R^2 = 0,2906$ | $y = 0,0002x + 0,0103$ $R^2 = 0,1797$ | $y = 0,0002x + 0,0099$ $R^2 = 0,2466$ | $y = 5E-06x + 0,0089$ $R^2 = 0,2641$ | $y = -9E-05x + 0,014$ $R^2 = 0,0128$ |

sendo as finas menos representativas e de contribuição mais intensa, e as raízes grossas indicaram melhor a intensidade da emissão mas sua contribuição é menos intensa. Em relação à umidade, a mata se comportou de forma contrária aos outros tratamentos apresentando elevada correlação positiva. Em geral, os resultados mostraram baixos valores de R^2 refletindo baixa correlação entre a respiração do solo em campo e as variáveis analisadas.

A respiração do solo livre de raízes estimada pelo método da regressão está representada na tabela 5 pela variável independente (b). A contribuição das raízes para a respiração total do solo foi obtida pela subtração da respiração total do solo e a respiração do solo livre de raízes obtida pelo método da regressão (Figura 6). Dessa forma se observa que a mata possui a maior contribuição de raízes, totalizando 39,2% da respiração total do solo. O SAF 1 apresentou uma contribuição de 12,75 % das raízes, seguido do mandiocal com 5,79 %, e do SAF 2 com 3,03 %.

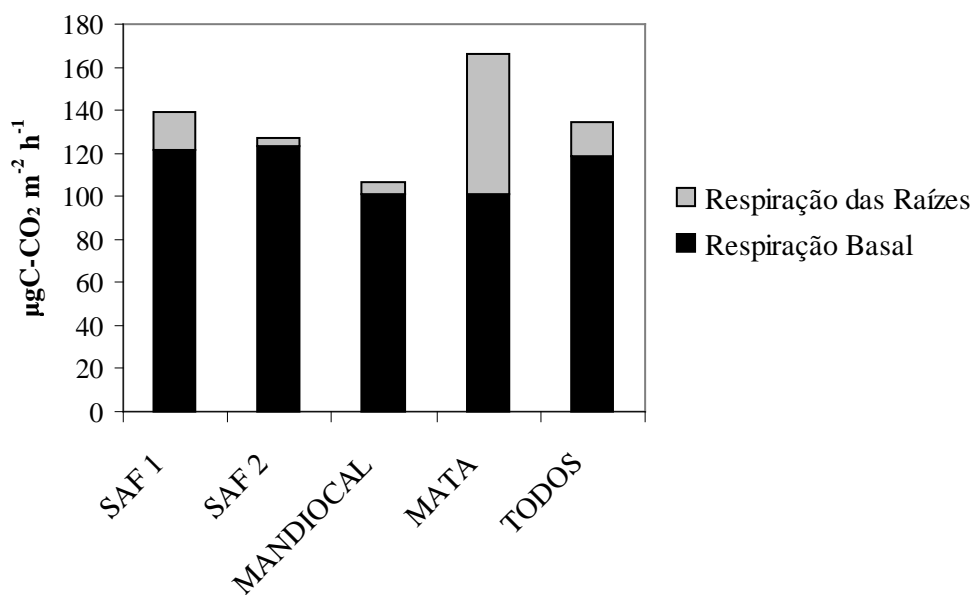


Figura 9. Contribuição das raízes para a respiração total do solo estimada pelo método de regressão de KUCERA & KIRKHAM (1971).

HANSON et al. (2000) revisou as estimativas da contribuição das raízes para a respiração total do solo, e obteve uma média de 45,8% para áreas florestadas e 60,4% para áreas não florestadas. Dessa forma, em estágios iniciais de sucessão ecológica predomina a respiração das raízes, e com o desenvolvimento do ecossistema, a contribuição do processo de decomposição para a respiração total do solo aumenta. NAKANE et al. (1983) postulou que, em ecossistemas florestais onde os estoques de carbono do solo estão em equilíbrio dinâmico, a contribuição das raízes para a respiração total do solo tende a 50%, mesmo em condições climáticas distintas. Porém, no caso da agricultura, a vegetação natural é removida, a densidade de raízes é reduzida e o solo é revolvido, aumentando a aeração e expondo os estoques de carbono a intensa mineralização (STEVENSON, 1982; RESCK et al., 2000). Nessa situação, predomina a respiração proveniente da decomposição do solo e o aumento da contribuição das raízes para a respiração total do solo é sinal de recuperação da área. No presente estudo, predominou a respiração associada à decomposição em todos os tratamentos, inclusive a mata secundária, indicando um processo de regeneração. A mata possui a maior contribuição relativa às raízes, e é o tratamento que mais se aproxima da contribuição de 50%, encontrada em ecossistemas com estoques de carbono em equilíbrio dinâmico (NAKANE et al., 1983).

No SAF 1, a estimativa da contribuição relativa das raízes foi de 12,75%, menor apenas que a mata. Já no SAF 2 se observa uma intensa produção de raízes finas no verão, acompanhado de um aumento no fluxo de CO₂, mas a estimativa da regressão indica apenas 3,03% de contribuição das raízes. O mandiocal e a mata apresentaram as menores estimativas de emissões basais do solo, sendo que a mata apresentou a maior respiração total, resultando na maior contribuição das raízes, enquanto o mandiocal, que teve a menor emissão, apresentou maior contribuição do que o SAF 2. Essas estimativas de emissão basal do solo pelo método de regressão contrastam bastante com os resultados obtidos com solo incubado em laboratório, onde a respiração do solo da mata foi superior a todos os tratamentos no verão (Tabela 4). Isso pode ocorrer porque as raízes, além de contribuir com a queima de fotossintatos para a respiração total do solo, também estabelecem interações não aditivas com o compartimento de decomposição do solo, chamadas de efeito promotor (“priming”), que podem estimular ou inibir a decomposição da matéria orgânica do solo (KUZYAKOV & CHENG, 2001).

4.6 Fauna do Solo

4.6.1 Abundância e distribuição vertical da comunidade de fauna do solo

Foram coletados um total de 8206 indivíduos, sendo 41% no inverno e 59% no verão. No inverno, o SAF 2 foi o tratamento com maior abundância de indivíduos, 4320 indivíduos por metro quadrado, seguido da mata, com 3094 ind.m⁻², do SAF 1, 1878 ind.m⁻², e do mandiocal, com 1450 ind.m⁻² (Figura 10). O SAF 2 apresentou também a maior abundância de indivíduos na serapilheira, 2864 ind.m⁻², que representa 33 % da abundância total, seguido da mata, com 30%, e do SAF 1, com 10%. As amostras do mandiocal não foram subdivididas para determinação da abundância de indivíduos na serapilheira. A abundância de indivíduos no SAF 2 foi estatisticamente superior ao mandiocal e ao SAF 1 no inverno, enquanto a mata foi superior apenas em relação ao mandiocal. Esse resultado, junto com o observado nos indicadores microbiológicos nessa estação, mostram que os atributos biológicos do solo apresentaram resposta positiva ao manejo agroflorestal, que proporcionou maiores benefícios ao SAF 2, se comparado ao SAF 1 no inverno.

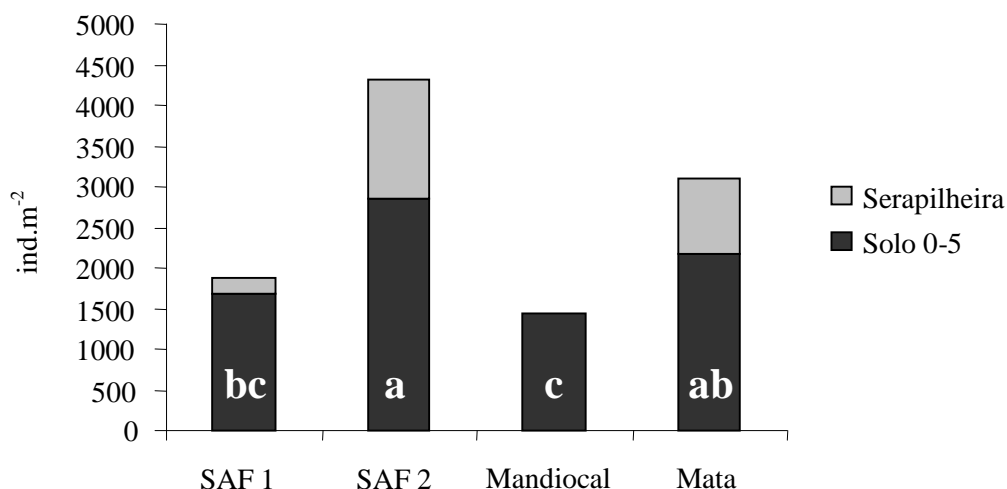


Figura 10. Abundância de indivíduos por metro quadrado na serapilheira e no solo dos tratamentos em estudo. Letras iguais representam igualdade estatística entre as médias dos tratamentos segundo o teste t com correção de Bonferroni ($p < 0,05$).

Do inverno para o verão, se observa um aumento na abundância de indivíduos por metro quadrado no SAF 1 e na mata, junto à uma queda na abundância de indivíduos no SAF 2 (Figura 11). Como consequência, a mata e o SAF 1 apresentaram abundâncias superiores ao SAF 2 e ao mandiocal no verão, sendo que a abundância de indivíduos na mata também foi superior ao SAF 1. No verão, a mata apresentou a maior abundância relativa de indivíduos na serapilheira, que correspondeu a 56% na mata, 50% no SAF 2 e 32% no SAF 1. Apesar da serapilheira continuar contribuindo para a abundância total de indivíduos no SAF 2, esse tratamento não foi capaz de manter no verão a alta abundância de indivíduos encontrada no inverno, principalmente devido à queda na abundância de indivíduos do solo. Já o SAF 1, apresentou um aumento na abundância de indivíduos no solo e na serapilheira assim como observado na mata, podendo estar associado ao aumento de fluxo biológico comumente proporcionado pelo efeito de borda (MURCIA, 1995; METZGER, 1999).

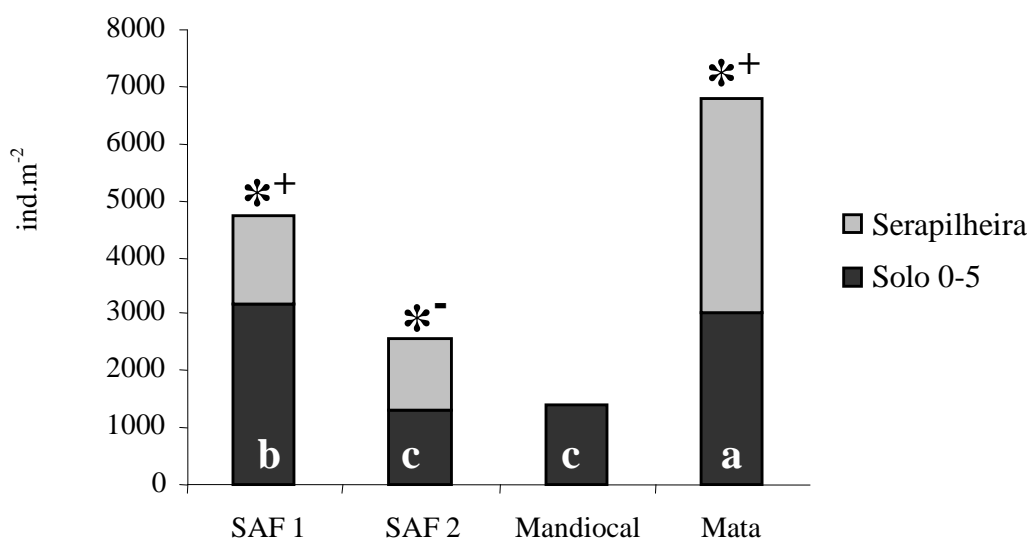


Figura 11. Abundância de indivíduos por metro quadrado na serapilheira e no solo dos tratamentos em estudo. Letras iguais representam igualdade estatística entre os tratamentos na mesma estação, enquanto asterisco representa diferença estatística da média de cada tratamento em relação à estação anterior, sendo asterisco positivo um aumento (*+) e asterisco negativo uma diminuição (*-).

4.6.2 Composição da comunidade de fauna do solo

Foram coletados um total de 8206 indivíduos pertencentes aos seguintes grupos taxonômicos: Acari, Araneae, Blattodea, Chilopoda, Coleoptera, Collembola, Diplopoda, Diplura, Diptera, Enchytraeidae, Formicidae, Gastropoda, Heteroptera, Homoptera, Hymenoptera, Isopoda, Isoptera, Lepidoptera, Orthoptera, Pauropoda, Psocoptera, Symphyla, Thysanoptera e Trichoptera.

No inverno, os ácaros foram os mais abundantes em todos os tratamentos, dominando amplamente as comunidades obtidas no SAF – 1 (72%), no SAF – 2 (72%) e no mandiocal (68%), enquanto na mata a comunidade se apresentou mais equitativa, com 46% de ácaros e 38% de formigas.

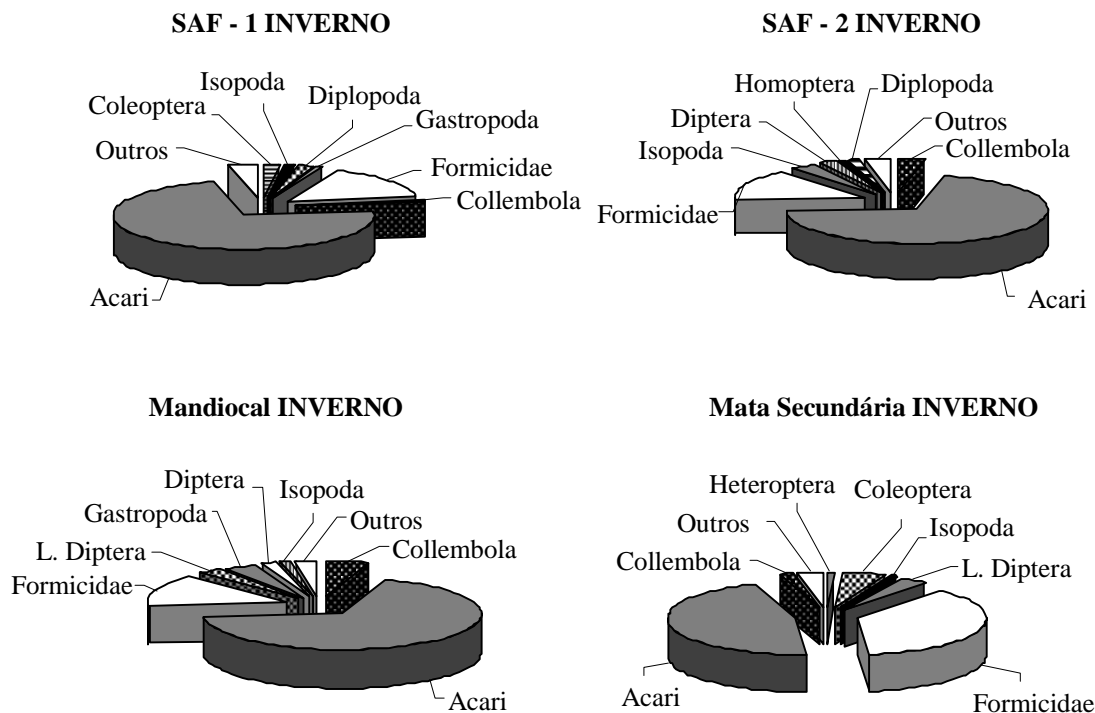


Figura 12. Abundância relativa dos principais grupos taxonômicos da fauna do solo coletados sob diferentes coberturas vegetais na estação do inverno.

Já no verão, o número total de indivíduos foi de 4849. As formigas foram o grupo mais abundante no SAF – 1 (36%), no SAF – 2 (32%) e na mata (43%) em magnitude semelhante aos ácaros, enquanto no mandiocal os ácaros continuaram dominando (43%) da comunidade de fauna edáfica. Os grupos Acari, Formicidae e Collembola são frequentemente relatados como os grupos taxonômicos mais abundantes da comunidade de meso e macrofauna do solo (RODRIGUES et al. 1997; KOEHLER, 1998; COSTA, 2002; ALFARO VILLATORO, 2004; JIMÉNEZ MOTTA, 2005).

Alguns estudos mostram que os artrópodes mais abundantes no solo são ácaros e que estes correspondem a mais do 50% dos artrópodes edáficos (PLOWMAN, 1979; ADIS, 1988) e, junto aos colêmbolos podem alcançar 95% (SEASTEDT, 1984). O grupo Collembola é extremamente abundante no solo e na serrapilheira, o principal efeito deste grupo sobre a decomposição e na respiração do solo, é através do consumo de hifas dos fungos (HOPKIN, 1997). As formigas são relatadas frequentemente como o grupo mais abundante do solo por estudos sobre a mesofauna que desconsideram os ácaros (TOLEDO, 2003; SILVA, 2005). O grupo Formicidae, junto com os cupins, é considerado um dos principais agentes na fragmentação da serapilheira e na incorporação de matéria orgânica no solo (POGGIANI et al., 1996), sendo também responsáveis pela aeração do solo, aumentando a infiltração d'água e as trocas gasosas (GASSEN, 1999).

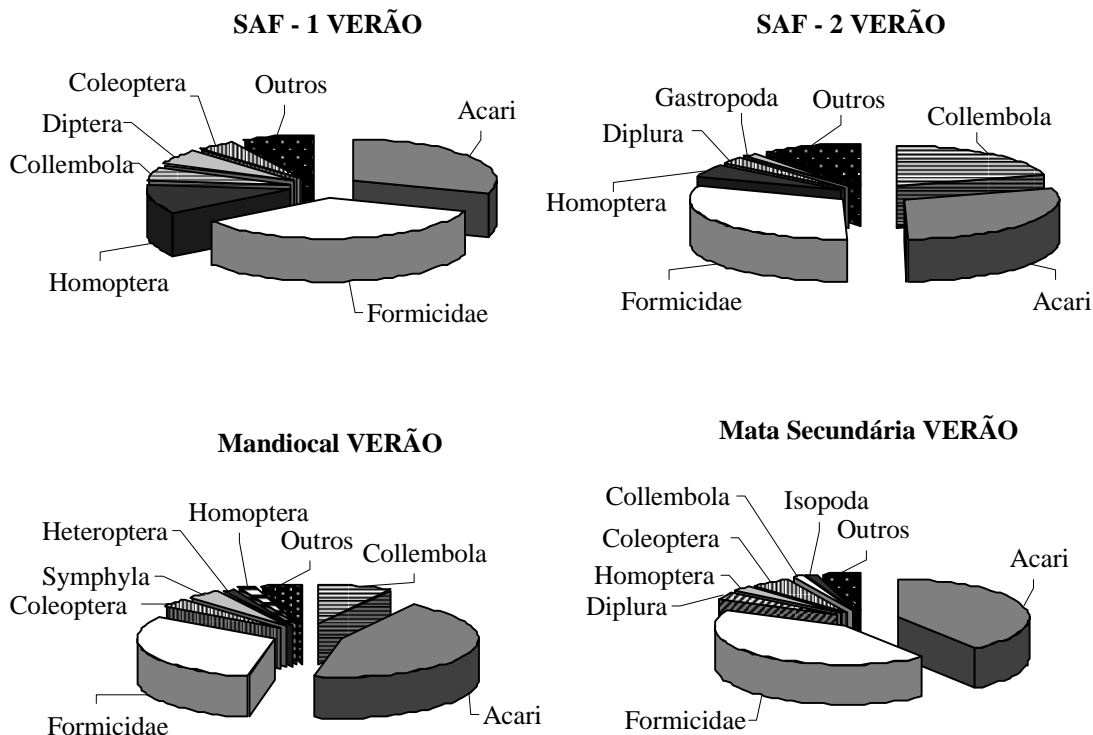


Figura 13. Abundância relativa dos principais grupos taxonômicos da fauna do solo coletados sob diferentes coberturas vegetais na estação de verão.

4.6.3 Índices de diversidade da comunidade de fauna do solo

Para uma análise da estrutura da comunidade, foram estimados o índice de diversidade de Shannon-Wiener (diversidade), o número de grupos taxonômicos (riqueza) e o índice de equitabilidade de Pielou (equitabilidade) de cada tratamento nas duas estações (Tabela 7). No inverno, os SAF's apresentaram os menores índices de diversidade e de equitabilidade, sendo que apenas a equitabilidade do SAF 2 foi estatisticamente inferior ao mandiocal. Essa situação de elevada dominância e baixa diversidade é um efeito relacionado a perturbações sobre a estrutura da comunidade, quando organismos de reprodução rápida e numerosa predominam (ODUM, 1988). No presente estudo, a deposição de matéria orgânica do manejo agroflorestal representa a perturbação, que proporcionou um aumento na abundância de ácaros no inverno principalmente no SAF 2.

Do inverno para o verão, os SAF's 1 e 2 apresentaram um aumento significativo no índice de diversidade, associado à um aumento da riqueza no SAF 1, e um aumento do índice de equitabilidade do SAF 2. Apesar de não haver diferença estatística entre os tratamentos, os SAF's apresentaram os maiores índices de diversidade e de equitabilidade no verão. O mandiocal apresentou elevados índices de diversidade e de equitabilidade nas duas estações, mas a riqueza de grupos taxonômicos foi inferior ao SAF 2 no inverno e à todos os tratamentos no verão. A mata e o mandiocal não apresentaram melhoria no índice de diversidade como os SAF's 1 e 2, sugerindo que nesses sistemas está ocorrendo um processo de regeneração além dos efeitos de sazonalidade observados nos dois primeiros.

Tabela 7. Índice de diversidade de Shannon-Wiener, riqueza de espécies e índice de equitabilidade de Pielou referentes à comunidade de fauna do solo nos tratamentos em estudo.

| Tratamentos | Estações | Diversidade | Riqueza | Equitabilidade |
|-------------|----------|-------------|---------|----------------|
| SAF 1 | Inverno | 1,42 a,B | 16 ab,B | 0,51 ab,A |
| | Verão | 2,3 a,A | 20 a,A | 0,77 a A |
| SAF 2 | Inverno | 1,47 a,B | 21 a,A | 0,48 b B |
| | Verão | 2,33 a,A | 22 a,A | 0,75 a A |
| Mandiocal | Inverno | 1,58 a,A | 13 b,A | 0,62 a A |
| | Verão | 1,97 a,A | 15 b,A | 0,73 a A |
| Mata | Inverno | 1,82 a,A | 19 ab,B | 0,62 ab A |
| | Verão | 1,93 a,A | 22 a,A | 0,62 a A |

Letras minúsculas iguais numa mesma coluna representam igualdade estatística entre os tratamentos na mesma estação, enquanto letras maiúsculas iguais numa mesma coluna representam igualdade estatística entre as estações no mesmo tratamento segundo o teste t com correção de Bonferroni ($p < 0,05$).

A comparação do índice de diversidade só é possível com estudos que utilizaram a mesma metodologia. Dessa forma, os estudos de ALFARO VILLATORO (2004) em solos de plantios de café em sistemas agroflorestais na Guatemala, os maiores índices de diversidade (2,23), de equitabilidade (0,68), e riqueza de grupos (27) foram encontradas na única parcela agroflorestal que apresentava bananeiras em sua composição. A riqueza de grupos neste estudo foi em geral superior ao presente estudo, variou entre 22 e 27, porém os índices de equitabilidade foram inferiores, entre 0,48 e 0,68, resultando em índices de diversidade semelhantes, entre 1,49 e 2,23. Os sistemas agroflorestais com café na Guatemala já foram implantados há 10 anos, portanto são sistemas bem estabelecidos apesar de apresentarem baixa equitabilidade se comparado ao presente estudo.

No estudo de JIMÉNEZ MOTTA (2005) em fragmentos florestais de Mata Atlântica na cidade do Rio de Janeiro, a riqueza observada variou entre 15 e 22, semelhante ao presente estudo. Porém, no mesmo estudo foram obtidos índices de equitabilidade menores que 0,31, resultando em índices de diversidade menores que 1, que demonstram intensa dominância na comunidade e indicam um ambiente perturbado (PIELOU, 1975; ODUM, 1988).

4.6.4 Grupos funcionais da comunidade de fauna do solo

Para uma análise qualitativa da comunidade de fauna do solo, os grupos taxonômicos foram classificados em 9 grupos funcionais, relacionados ao uso do habitat e aos recursos alimentares (COSTA, 2002). O grupo Acari foi incluso no grupo funcional dos micrófagos, junto aos colêmbolos (SEASTEDT, 1984). A relação de grupos taxonômicos pertencentes a cada grupo funcional, assim como o número e a percentagem do número total de indivíduos coletados de cada grupo funcional estão apresentados na Tabela 7.

O grupo funcional mais abundante nas amostras em estudo foram os micrófagos, que somam um total de 4277 indivíduos coletados e representam 52,12% do total de indivíduos coletados no estudo. As formigas são o segundo grupo funcional mais abundante com 30,55% do indivíduos totais, seguido dos saprófagos (5,53%),

holometábolos adultos (4,67%), fitófagos (4,11%), larvas (2,52%), predadores (0,32%), parasitóides (0,15%) e cupins (0,05%). Essa ordem de grupos em função da abundância total foi igual àquela obtida por COSTA (2002), exceto pelo fato desse estudo não ter considerado os ácaros na classificação de grupos funcionais.

Na comparação da abundância relativa dos grupos funcionais entre os tratamentos na estação do inverno se observa que, os micrófagos e os saprófagos são mais abundantes no SAF 2 do que em todos os outros tratamentos (Tabela 8). Esses dois grupos estão relacionados à decomposição da matéria orgânica, os saprófagos atuam de forma direta, incorporando matéria orgânica em decomposição, enquanto os micrófagos atuam de forma indireta, se alimentando dos microrganismos envolvidos na decomposição. Dessa forma, esse resultado parece ser uma resposta à deposição de matéria orgânica promovida no manejo agroflorestal e concorda também com os resultados obtidos com os indicadores microbiológicos do SAF 2.

Tabela 8. Número e percentagem de indivíduos coletados para cada grupo funcional e relação dos grupos taxonômicos pertencentes aos respectivos grupos funcionais.

| Grupos Funcionais | Grupos Taxonômicos | n° de Indivíduos coletados | % do n° Total de Indivíduos |
|--------------------------|--|-----------------------------------|------------------------------------|
| Micrófagos | Acari e Collembola | 4277 | 52,12 |
| Formigas | Formicidae | 2507 | 30,55 |
| Saprófagos | Blattodea, Diplopoda, Diplura, Enchytraeidae, Gastropoda, Isopoda, Orthoptera, Pauropoda, Psocoptera, Symphyla e Thysanoptera. | 453 | 5,52 |
| Fitófagos | Heteroptera e Homoptera | 337 | 4,11 |
| Holometábolos | Coleoptera, Diptera, Lepidoptera e Trichoptera. | 383 | 4,67 |
| Larvas | Coleoptera, Diptera, Lepidoptera e Trichoptera. | 207 | 2,52 |
| Predadores | Araneae e Chilopoda. | 26 | 0,32 |
| Parasitóides | Hymenoptera | 12 | 0,15 |
| Cupins | Isoptera | 4 | 0,05 |

Os fitófagos também foram abundantes no SAF 2 no inverno, sendo superiores estatisticamente em comparação com o mandiocal. Do inverno para o verão houve uma queda na abundância de micrófagos no SAF 2 que está associada ao aumento da equitabilidade observado nessa estação. A abundância de holometábolos também diminuiu no SAF 2 do inverno para o verão.

Tabela 9. Número de indivíduos por metro quadrado dos 9 grupos funcionais coletados em solos sob as diferentes coberturas vegetais em estudo.

| | | Predadores | | | | | | | | |
|-----------|---------|-------------------|-----------------|-------------------|------------------|----------------------|---------------|----------|---------------------|---------------|
| | | Microfagos | Formigas | Saprófagos | Fitófagos | Holometábolos | Larvas | s | Parasitóides | Cupins |
| SAF 1 | Inverno | 1398,4 b A | 294,4 b B | 99,2 b A | 22,4 ab B | 51,2 b A | 12,8 a A | 0 a B | 0 a A | 0 a A |
| | Verão | 1660,8 b A | 1651,2 ab A | 198,4 a A | 569,6 a A | 499,2 a A | 108,8 a A | 16 a A | 9,6 ab A | 3,2 a A |
| SAF 2 | Inverno | 3222,4 a A | 620,8 b A | 252,8 a A | 60,8 a A | 112 ab A | 38,4 a A | 6,4 a A | 3,2 a A | 3,2 a A |
| | Verão | 1283,2 b B | 796,8 b A | 220,8 a A | 144 b A | 76,8 a B | 41,6 a A | 9,6 a A | 3,2 ab A | 3,2 a A |
| MANDIOCAL | Inverno | 1065,6 b A | 201,6 b A | 86,4 b A | 6,4 b A | 38,4 b A | 48 a A | 0 a B | 0 a A | 3,2 a A |
| | Verão | 745,6 b A | 435,2 b A | 89,6 a A | 51,2 b A | 57,6 a A | 16 a A | 9,6 a A | 0 b A | 0 a A |
| MATA | Inverno | 1484,8 b B | 1174,4 a B | 76,8 b A | 25,6 ab B | 195,2 a A | 124,8 a A | 9,6 a A | 3,2 a B | 0 a A |
| | Verão | 2825,6 a A | 2848 a A | 425,6 a A | 198,4 ab A | 368 a A | 99,2 a A | 32 a A | 19,2 a A | 0 a A |
| TOTAL | | 13686,4 | 8022,4 | 1449,6 | 1078,4 | 1398,4 | 489,6 | 83,2 | 38,4 | 12,8 |

Letras minúsculas iguais numa mesma coluna representam igualdade estatística entre os tratamentos na mesma estação, enquanto letras maiúsculas iguais numa mesma coluna representam igualdade estatística entre as estações no mesmo tratamento segundo o teste t com correção de Bonferroni ($p < 0,05$).

Em relação às formigas, a mata apresentou uma abundância média superior a todos os outros tratamentos no inverno, como observado na abundância relativa do grupo Formicidae. Do inverno para o verão, houve um aumento na abundância de formigas no SAF 1 e na mata, sendo que este tratamento obteve abundância superior ao SAF 2 e ao mandiocal, porém semelhante ao SAF 1 no verão. Os fitófagos também aumentaram a abundância no SAF 1 e na mata no verão, quando a abundância do SAF 1 foi superior ao SAF 2 e ao mandiocal mas não apresentou diferença significativa da mata. Esse resultado mostra que o aumento na abundância de indivíduos totais observado nesses tratamentos no período de estudo corresponde aos mesmos grupos funcionais. Isso reforça a hipótese de haver um intenso fluxo biológico entre mata e o SAF 1, que é um sintoma do efeito de borda (DIDHAN & LAWTON, 1999).

A mata apresentou a maior abundância de holometábolos no inverno, superior ao SAF 1 e ao mandiocal. Do inverno para o verão, houve um aumento significativo nos micrófagos e nos parasitóides da mata, além das formigas e fitófagos citados anteriormente. Os saprófagos não apresentaram diferenças estatísticas nas comparações entre estações do ano, nem entre os tratamentos no verão, mas o SAF 2 manteve uma abundância semelhante ao inverno e a mata apresentou a maior abundância no verão, mais de cinco vezes maior do que no inverno. Isso demonstra que a comunidade de fauna do solo da mata apresenta atributos que não são observados no SAF 1.

Os predadores apontaram apenas um aumento de abundância no mandiocal do inverno para o verão, porém isso não resultou em diferença estatística entre os tratamentos nesta estação. As larvas e os cupins não mostraram diferença estatística em nenhuma das comparações.

4.7 Análise Multivariada

4.7.1 Análise de componentes principais

Após a “análise de correspondência sem tendência” (detrended correspondence analysis, DCA) realizada com o programa CANOCO v.4.5 (TER BRAAK & SIMILAUER, 2002), os dados de fauna do solo tiveram gradiente de variação menor que 3 nas duas estações, dessa forma foi escolhido o modelo linear, que assume que a variável cresce continuamente ao longo do eixo. Dentro do modelo linear, a análise de componentes principais (principal component analysis, PCA) é utilizada para revelar padrões em grupos de dados de variáveis de resposta, no caso a fauna do solo, e os tratamentos amostrados, identificando grupos taxonômicos que melhor diferenciam os tratamentos.

No inverno, os tratamentos foram capazes de explicar 30,6 % da variância dos dados de fauna. O gráfico apresenta os grupos taxonômicos como setas e as amostras como pontos que são agrupados de acordo com o tratamento (Figuras 14 e 15). O eixo 1 explica 41,9 % dos dados, enquanto o eixo 2 explica apenas 3 %. Isso pode ser visualizado no gráfico, onde a maioria das setas aponta para direita, ao longo do eixo 1. O SAF 2 foi o tratamento com amostras mais deslocadas para a direita, indicando possuir fauna abundante e diversificada, que confere com a elevada riqueza e abundância de indivíduos por metro quadrado deste tratamento no inverno. Em seguida, a mata, na parte central, com status mediano, e o mandiocal e o SAF 1 à esquerda, sendo que o último também apresenta amostras no quadrante direito. O gráfico demonstra que essa análise não revela a baixa equitabilidade e a dominância de ácaros no SAF 2.

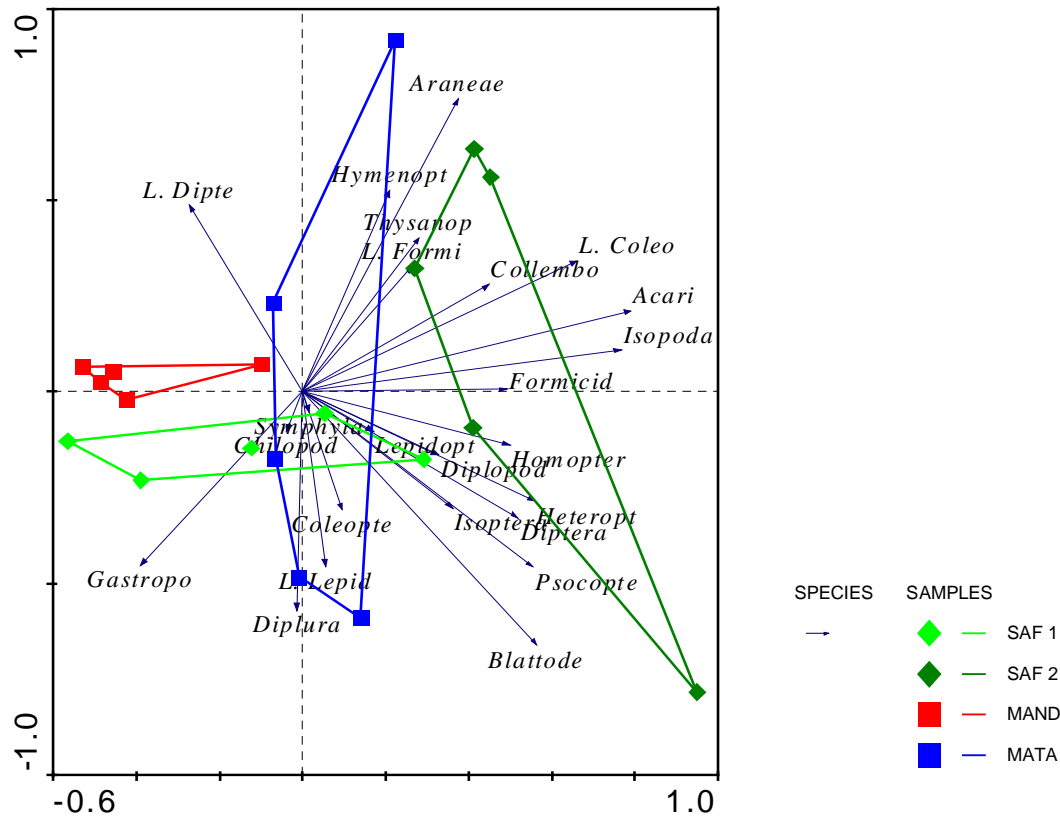


Figura 14. Análise de componentes principais relacionando dados de fauna com os tratamentos em estudo no inverno.

No verão se observou na análise de componentes principais que os tratamentos explicam 33,5 %, sendo que, destes 46% são explicados no eixo 1, e 9,8% no eixo 2. Nessa estação, a maioria das setas aponta para a esquerda, indicando abundância da maioria dos grupos de fauna do solo neste sentido. A mata é o único tratamento que apresenta todas as amostras no quadrante esquerdo superior, e também forma o maior polígono assim como no inverno, que indica alta variabilidade entre as amostras. O SAF 1 se encontra em situação intermediária, com 3 amostras próximas ao centro, e duas no quadrante esquerdo inferior, que indica abundância de indivíduos, porém com composição diferente da mata.

Essa situação também foi evidenciada na avaliação da abundância dos grupos funcionais, demonstrando que apenas alguns elementos da fauna do solo se comportaram de forma semelhante no SAF 1 e na mata. Dentro da abordagem do efeito de borda, isso pode estar relacionado com a mobilidade do grupo, no caso das formigas ou com a disponibilidade de recursos no SAF 1 que estaria atraindo organismos da mata, como os fitófagos. O SAF 2 apresentou 3 amostras no quadrante direito, se aproximando do mandiocal que apresenta todas as amostras nesse quadrante. Esse declínio na situação da fauna do solo do SAF 2 no verão está associada à uma queda na abundância de indivíduos totais, principalmente nos micrófagos, apesar desse tratamento ter mantido elevada riqueza de grupos e índices de diversidade e equitabilidade nessa estação.

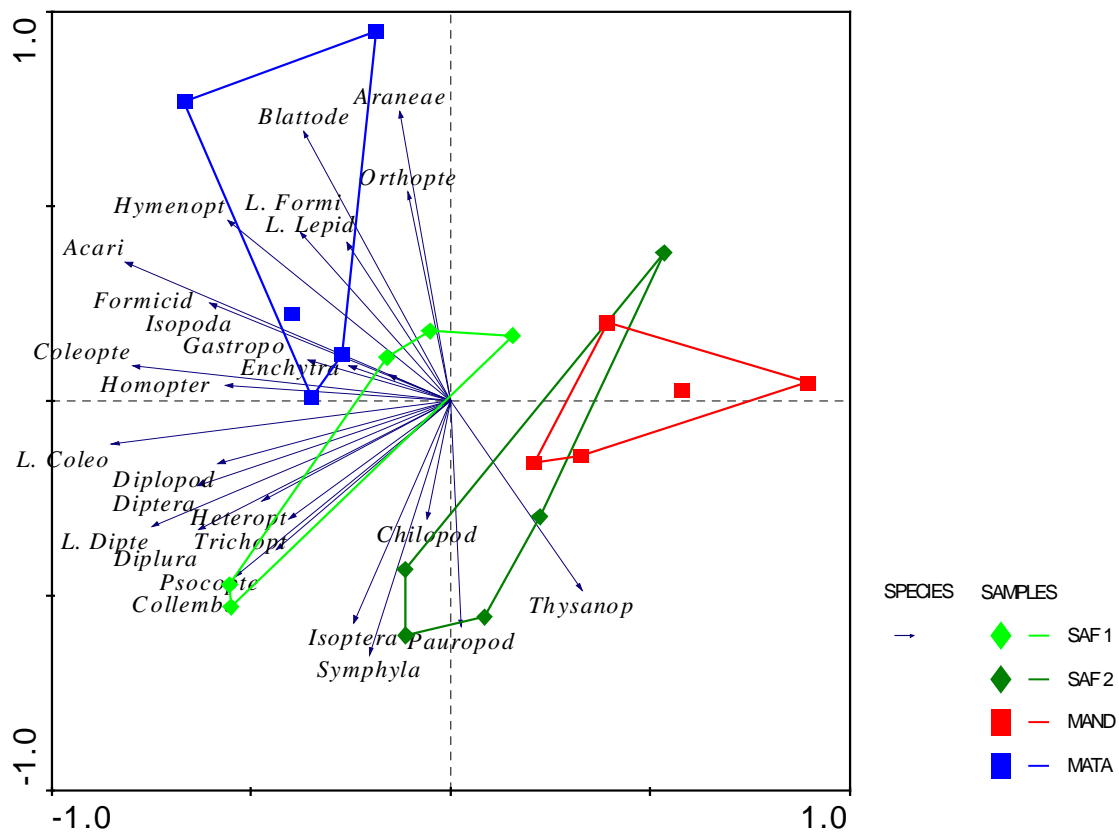


Figura 15. Análise de componentes principais relacionando dados de fauna com os tratamentos em estudo no verão.

Os padrões revelados na análise de componentes principais podem ser visualizados nas curvas de respostas principais (principal response curves, PRC), que ordena os tratamentos, em função da fauna, em apenas um eixo e permite a comparação dos tratamentos com o controle, no caso a mata, ao longo do tempo de estudo. Observa-se que no inverno o SAF 2 apresenta um coeficiente discriminante superior ao da mata, sendo o do SAF 1 pouco inferior à mata e o mandiocal consideravelmente inferior. No verão, os coeficientes do SAF 2 e do mandiocal diminuíram, sendo a mata o tratamento em melhor situação, seguida do SAF 1, SAF 2 e o mandiocal.

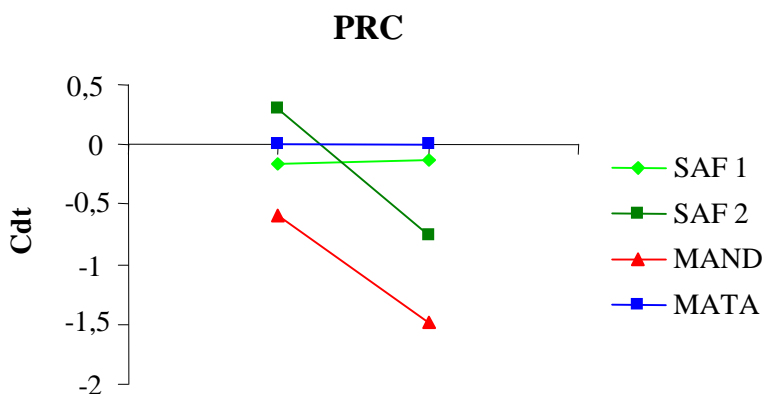


Figura 16. Curvas de respostas principais dos tratamentos em função dos grupos de fauna do solo, comparando com a mata (controle).

Esse declínio no coeficiente discriminante do SAF 2 e do mandiocal está em parte associado ao fato da mata ser o referencial. O mandiocal foi o mais estável dos tratamentos, se mantendo em situação inferior e constante nas duas estações em relação aos índices de diversidade, equitabilidade e riqueza, dessa forma sua queda no gráfico indica apenas que o mandiocal não acompanhou a tendência da mata. O SAF 2 realmente apresentou uma queda na abundância de indivíduos, mas foi capaz de manter a riqueza de grupos e aumentar a equitabilidade no período de estudo. Esse é o comportamento esperado de uma comunidade biológica durante seu desenvolvimento sucessional (ODUM, 1988; KOEHLER, 1998).

O SAF 1 se manteve bastante próximo da mata nas duas estações nas curvas de respostas principais, indicando que as variações na composição dos grupos de fauna do solo nesses dois tratamentos apresentaram a mesma tendência, reforçando consideravelmente o hipótese de influência do fragmento florestal sobre o SAF 1 através do efeito de borda.

4.7.2 Análise de redundância direta

Para relacionar a fauna do solo e as variáveis explicativas, é necessário fazer uma ordenação canônica e como a resposta do modelo é linear, o método adequado é a análise de redundância direta. Foram utilizados as características químicas e os indicadores microbiológicos do solo como variáveis explicativas.

No inverno, as variáveis ambientais foram capazes de explicar 34,4 % da variância total dos dados de fauna do solo. Em relação à variância explicada, o eixo 1 explica 15,2 %, e o eixo 2 13,4 %, mostrando que a variância está distribuída nos dois eixos (Figura 17).

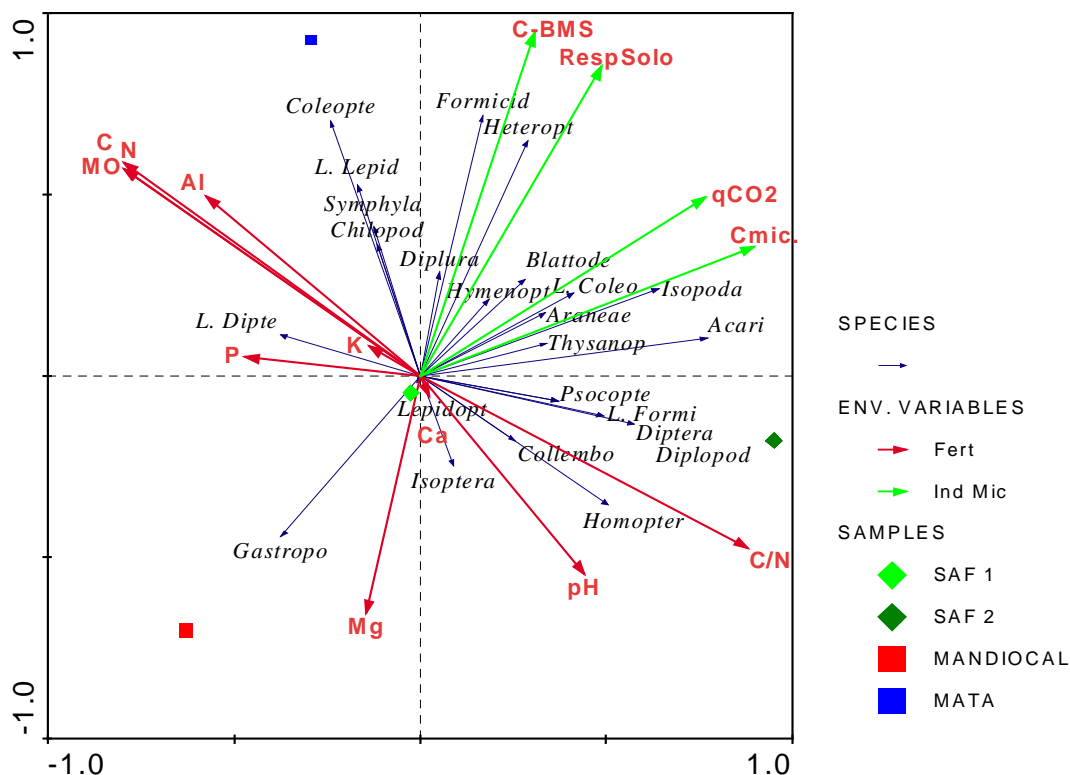


Figura 17. Análise de redundância direta mostrando a ordenação canônica das amostras de fauna do solo em relação às variáveis ambientais no inverno.

Dessa forma, a análise de redundância direta mostra na forma do gráfico triplot, uma síntese da situação dos tratamentos em função das variáveis explicativas e de resposta na estação do inverno. As setas referentes aos grupos de fauna do solo apontam principalmente para a direita, onde ocorre o SAF 2 sob influência do grupo Acari que foi abundante nesse tratamento nessa estação, e para cima, onde ocorre a mata, se destacando a influência do grupo Formicidae. O SAF 1 apresenta situação intermediária, próximo ao centro, e o mandiocal no extremo inferior esquerdo, indicando escassez de indivíduos da fauna. Os indicadores microbiológicos apontam no quadrante superior direito, e junto com a fauna formam um de componentes biológicos onde os tratamentos melhor posicionados são o SAF 2 e a mata, seguidos do SAF 1 em situação intermediária, e o mandiocal, afastado no quadrante oposto. O eixo de componentes biológicos mostra a resposta do SAF 2 à deposição de matéria orgânica proporcionada pelo manejo agroflorestral, na qual se estimulou a atividade microbiana, e se obteve abundância superior de micrôfagos, saprôfagos e indivíduos totais por metro quadrado nessa estação.

O eixo formado pelas variáveis de fertilidade selecionadas, aponta situação de alta MO e N no quadrante superior esquerdo, onde se posiciona a mata, e para o quadrante inferior direito, onde se encontra o SAF 2 com alta razão C/N, baixa MO e N. O SAF 1 se posiciona em situação intermediária, assim como o mandiocal, que se destaca em outros nutrientes. Esse ordenamento observado no eixo formado pelas variáveis de fertilidade, confere com a situação espacial em que esses tratamentos se encontram em campo (ver croqui da área), reforçando a hipótese do SAF 1 e do mandiocal terem sofrido influência da mata adjacente em seu histórico.

O eixo formado pelos componentes biológicos se posiciona de forma quase que ortogonal ao eixo de fertilidade, mostrando pouca relação entre eles. Isso ocorreu devido a situação do SAF 2, que apresentou respostas positivas ao manejo agroflorestral nos componentes biológicos, enquanto a composição química do solo não sofreu influências consideráveis no inverno.

No verão, a análise de redundância mostrou que as variáveis ambientais, fertilidade e indicadores microbiológicos, explicam 30,3 % da variância dos grupos nas amostras. A maioria das setas de grupos da fauna, assim como a maioria das variáveis de fertilidade e de indicadores microbiológicos apontam no quadrante inferior esquerdo, onde se encontram as amostras da mata. Entre as variáveis de fertilidade, foram selecionadas o Cálcio (Ca; $p = 0,004$), o magnésio (Mg; $p = 0,052$, n.s.) e a MO ($p = 0,408$), e entre os indicadores microbiológicos foram selecionados Cmic ($p = 0,002$), RespSolo ($p = 0,042$) e C-BMS ($p = 0,190$, n.s.). Juntando todas as variáveis ambientais foram selecionados Ca ($p = 0,004$), Mg ($p = 0,052$, n.s.) e MO ($p = 0,408$, n.s.), e dessa forma todas as variáveis selecionadas se posicionam no quadrante inferior esquerdo.

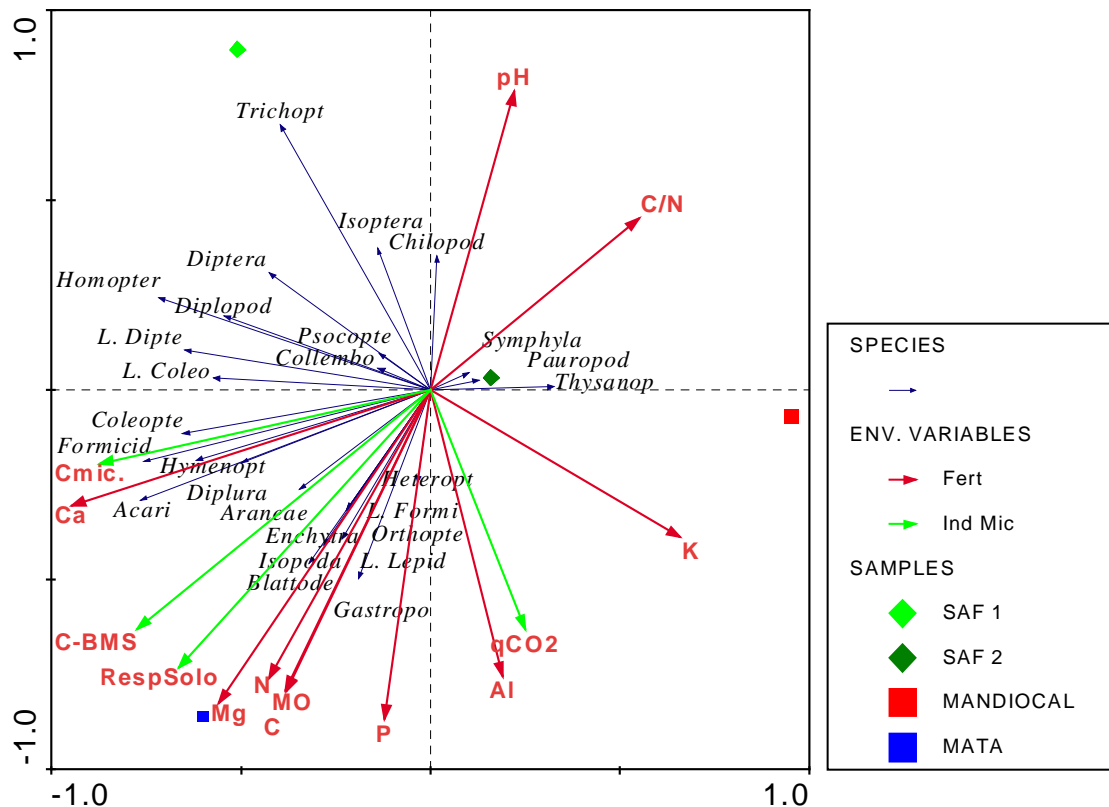


Figura 18. Análise de redundância direta mostrando a ordenação canônica das amostras de fauna do solo em relação as variáveis ambientais no verão.

A mata é o único tratamento que apresenta as amostras no quadrante inferior esquerdo, correspondendo com a maior fertilidade, atividade microbiana e abundância de grupos da fauna edáfica. Em relação à fauna, a mata e o SAF 1 se localizam mais à esquerda, para onde aponta a maioria das setas de grupos, concordando com as curvas de respostas principais e o aumento dos grupos Formicidae e Homoptera. O SAF 2 se localiza no quadrante superior esquerdo próximo ao centro em situação intermediária em relação à fauna, mas em relação à fertilidade do solo se igualou com o SAF 1. Já o mandioccal, se encontra na extrema esquerda, em posição contrário à maioria das setas da fauna, demonstrando baixa atividade biológica apesar dos altos teores de matéria orgânica do solo.

5. CONCLUSÕES

O manejo de poda dos sistemas agroflorestais proporcionou estoques de matéria orgânica na serapilheira da magnitude da mata e superior ao mandiocal, representando um incremento significativo nos estoques de nutrientes nesse compartimento.

O SAF 1 apresentou estoques de matéria orgânica na serapilheira e no solo semelhantes à mata no inverno, assim como a composição da comunidade da fauna do solo, que foi semelhante à mata nas duas estações, demonstrando que esse tratamento apresenta atributos semelhantes à mata.

O SAF 2 apresentou teores de matéria orgânica, carbono e nitrogênio do solo inferiores à mata no inverno. Porém, os indicadores microbiológicos e a comunidade de fauna edáfica apresentaram respostas positivas à deposição de matéria orgânica proporcionada pelo manejo agroflorestal, mostrando que os atributos biológicos apresentam resposta mais rápida às mudanças na cobertura vegetal do que as características químicas do solo.

O mandiocal, apesar de apresentar atributos biológicos inferiores na maioria das comparações, apresentou um aumento na matéria orgânica do solo do inverno para o verão, indicando que a prática da agricultura tradicional não acarretou em degradação do solo.

O manejo agroflorestal proporcionou um aumento significativo nos estoques de serapilheira do SAF 2, que apresentou benefícios nos atributos biológicos no inverno, e nas características químicas do solo no verão, demonstrando que o manejo agroflorestal foi capaz de recuperar os atributos indicadores da qualidade do solo no período de estudo.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os dados obtidos no presente estudo reforçam a hipótese de haver influência da mata no SAF 1, porém a área de mata adjacente ao SAF 1 não é a mesma onde foram coletadas as amostras da mata. Durante o estudo, se especulou a necessidade de fazer uma amostragem em grid e tratar os dados com geoestatística para mapear a matéria orgânica do solo e determinar se há influência da mata no SAF 1, porém se concluiu que não haveria tempo hábil para isso.

As análises multivariadas foram eficientes em simplificar a discussão dos dados, permitindo que os tratamentos sejam comparados em relação aos atributos químicos e biológicos do solo ao mesmo tempo.

O estudo mostrou que o sistema agroflorestal foi capaz de recuperar as características químicas e biológicas do solo do SAF 2, onde havia inicialmente menores teores de matéria orgânica. Os sistemas agroflorestais funcionam de forma semelhante à sucessão ecológica, e pode ser considerado como Agricultura Regenerativa, na qual todos os estágios de desenvolvimento são importantes e não devem sofrer sombreamento, que provavelmente ocorreu no SAF 1. A agroecologia procura estabelecer um sistema de produção similar ao ecossistema natural da região, por isso as agroflorestas são a prática indicada dentro do bioma Mata Atlântica. Dessa forma, os sistemas agroflorestais se consolidam como uma prática indicada para áreas degradadas, para o entorno de unidades de conservação e atendendo às demandas do agricultor familiar, como é o caso de Paraty e de grande parte do litoral brasileiro onde ocorre o bioma Mata Atlântica.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

AERTS, R. Climate, leaf litter chemistry and leaf litter decomposition in terrestrial ecosystems: a triangular relationship. **Oikos** v.79, p. 439-449, 1997.

ADIS, J. On the abundance and density of terrestrial arthropods in Central Amazonian dryland forests. **Journal of Tropical Ecology**. v.4, p.19-24. 1988.

ALBRECHT, A. & KANDJI, S.T. Carbon sequestration in tropical agroforestry systems. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 99, p. 15-27, 2003.

ALEXANDER, M. **Introduction to soil microbiology**. New York: John Wiley, 1977. 467p.

ALFARO VILATORO, M. A. **Matéria orgânica e indicadores microbiológicos da qualidade do solo na cultura de café sob manejo agroflorestal e orgânico**. Tese de doutorado, UFRRJ, 2004. 178p.

ARMBRECHT, I. & ULLOA-CHACÓN, P. Rareza y diversidad de hormigas en fragmentos de floresta seco colombianos y sus matrices. **Biotropica**, 31:646-653. 1999.

ANDERSON, J.P. Soil respiration. In: PAGE, A.L.; MILLER, R.H.; KEENEY, D.R. Eds. **Methods of soil analysis**. American Society of Agronomy. p. 831-871, 1982.

ANDERSON, T.-H. & DOMSCH, K.H. Determination of eco-physiological maintenance requirements of soil microorganisms in a dormant stage. **Biology and Fertility of Soils**, v. 11, p. 81-89, 1985.

ANDRADE, A. G. **Ciclagem de nutrientes e arquitetura radicular de leguminosas arbóreas de interesse para revegetação de solos degradados e estabilização de encostas**. Tese de doutorado, Seropédica, UFRRJ, 1997, 197p.

ASSIS-JÚNIOR, S.L.; ZANUNCIO, J.C.; KASUYA, M.C.M.; COUTO, L. & MELIDO, R.C.N. Atividade microbiana do solo em sistemas agroflorestais, monoculturas, mata natural e área desmatada. **Revista Árvore**, v.27 , p.35-41. 2003.

BARROS, E.; NEVES, A.; BLANCHART, E.; FERNANDES, E.C.M.; WANDELLI, E. & LAVELLE, P. Development of soil macrofauna community under silvopastoral and agrosilvicultural systems in Amazonia. **Pedobiologia**. v. 47, p. 272-280. 2003.

BARTLETT, R.J. & ROSS, D.S. Colorimetric determination of oxidizable carbon in acid soil solutions. **Soil Science Society of America Journal**, v. 52, p. 1191-1192, 1988.

BLANCHART, E.; LAVELLE, P.; BRAUDEAU, E.; LE BISSONNAIS, Y. & VALENTIN, C. Regulation of soil structure by geophagous earthworm activities in humid savannas of Ivory Coast. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 29, p. 431-439.

BORGES, A.L. & KIEHL, J.C. Alterações na matéria orgânica de um latossolo álico de Cruz das Almas (BA), pelo cultivo de frutíferas perenes e mandioca. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 20, p. 313-318, 1996.

CHAUVEL, A.; GRIMALDI, M.; BARROS, E.; BLANCHART, E.; DESJARDINS, T.; SARRAZIN, M. & LAVELLE, P. An Amazonian earthworm compacts more than a bulldozer. **Nature**, v. 398, p. 32-33. 1999.

CORREIA, M.E.F. & ANDRADE, A.L. de Formação de serapilheira e Ciclagem de Nutrientes. In: **Fundamentos da Matéria Orgânica do Solo: Ecossistemas Tropicais e Subtropicais**. SANTOS, G.A. & CAMARGO, F.A.O. eds. Ed. Gênese, Porto Alegre, p. 198-225, 1999.

CORREIA, M.E.F. & OLIVEIRA, L.C.M. **Fauna do solo: Aspectos Gerais e Metodológicos**. Seropédica: EMBRAPA Agrobiologia, Fev. 2000. 46 p. (EMBRAPA Agrobiologia, Doc. 112).

CORTEZ, J.; DEMARD, J.M.; BOTTLNER, P. & MONROZIER, L. J. Decomposition of Mediterranean leaf litters: a microcosm experiment investigating relationships between decomposition rates and litter quality. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 28, p. 443-452, 1996.

COSTA, P. **Fauna do solo em plantios experimentais *Eucalyptus grandis* Maiden, *Pseudosamanea guachapele* Dugand e *Acacia mangium* Wild**. Dissertação de Mestrado, Instituto de Agronomia, UFRRJ, Seropédica, 39p., 2002.

DECAENS, T.; LAVELLE, P., JIMENEZ, J.; JAEN, J.; ESCOBAR, G. & RIPPSTEIN, G. Impact of land management on soil macrofauna in the Oriental Llanos of Colombia. **European Journal of Soil Biology**, v. 30, p. 157-168. 1994.

DIDHAN, R.K. & LAWTON, J.H. Edge structure determines the magnitude of changes in microclimate and vegetation structure in tropical forest fragments. **Biotropica**, v.31, p.17-30, 1999.

DUBOIS, J.C.L.; VIANA, V.M. & ANDERSON, A. **Manual Agroflorestal para a Amazônia**. Rio de Janeiro, REBRAAF, 228p. 1996.

EMBRAPA Serviço Nacional de Levantamento e conservação do solo. **Manual de métodos de análise de solos**. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1979.

ENTRY, J. A. & BACKMAN, C. B. Influence of carbon and nitrogen on cellulose and lignin degradation in forest soils. **Canadian Journal of Forest Ecology**, v. 25, p. 1231-1236, 1995.

FERREIRA, D.F. Sisvar versão 4.6 (Build 61) DEX-UFLA, Lavras, MG, 2003.

FRAGOSO, C.; BROWN, G.C.; PATRON, J.C.; BLANCKART, E.; LAVELLE, P.; PASHANASI, B.; SENAPATI, B. & KUMAR, T. Agricultural intensification, soil biodiversity, agroecosystem function in the tropics: the role of earthworms. **Applied Soil Ecology**, v. 6, p. 17-35.

FRANÇA, N. P. **Conservação e desenvolvimento: O caso dos quilombolas do Campinho da Independência (APA Cairuçu – Paraty – RJ)**. Tese de Doutorado, Escola de Engenharia de São Carlos, USP, 2001, 116p.

GAMMA-RODRIGUES, E.F. Biomassa microbiana e ciclagem de nutrientes. In: **Fundamentos da Matéria Orgânica do Solo: Ecossistemas Tropicais e Subtropicais**. SANTOS, G.A. & CAMARGO, F.A.O. eds. Ed. Gênese, Porto Alegre, p. 227-243, 1999.

GARAY, I. Relations entre l'hétérogénéité des litières et peuplements d'arthropodes édaphiques. **Publications du Laboratoire de Zoologie** n. 35, École Normale Supérieure, Paris. 192p., 1989.

GASSEN, D.N. Os insetos e a fertilidade do solo. In: **Curso Sob Aspectos Básicos de Fertilidade e Microbiologia do Solo sob Plantio Direto**. Resumos e Palestras, p. 70-89. Cruz Alta, 1999.

GONZALES, M. I. M. & GALLARDO, J. F. El efecto hojarasca: una revision. **Anales de Edafologia y Agrobiologia**. Madrid, v. 41, p. 1129-1157, 1982.

GONZÁLEZ, G.; LEY, R.E.; SCHMIDT, S.K.; ZOU, X. & SEASTEDT, T.R. Soil ecological interactions: comparisons between tropical and subalpine forests. **Oecologia**. v. 5, p. 549-556, 2001.

GUSMÃO, N.M.M. **Terra de preto; terra de mulheres: terra, mulher e raça num bairro rural negro**. Fundação Cultural Palmares, Brasília, 260p., 1995.

GÖTSCH, E. **Break-through in agriculture**. Rio de Janeiro: AS-PTA, 1995. 22p.

HANSON, P.J.; EDWARDS N.T.; GARDEN, C.T. & ANDREWS, J.A. Separating root and soil microbial contributions to soil respiration: A review of methods and observations. **Biogeochemistry**, v. 48, p. 115-146, 2000.

HORWARTH, W.R.; PREGITZER, K.S. & PAUL, E.A. C14 allocation in tree-soil systems. **Tree Physiology**, v. 14, p. 1163-1176, 1994.

HOPKIN, S.P. **Biology of the Springtails (Insecta: Collembola)**. Oxford University Press. 1997. 330 p.

INSAM, H. & DOMSCH, K.H. Relationship between soil organic C and microbial biomass on chronosequences of reclamation sites. **Microbial Ecology** v. 15, p. 177-188, 1988.

JENKINSON, D. S. & RAYNER, J. H. The turnover of organic matter in some of the Rothamsted Classical Experiments. **Soil Science**, v. 123, p. 298-305, 1977.

JENKINSON, D.S. & LADD, J. N. Microbial biomass in soil: measurement and turnover. In: PAUL, E. A. & LADD, J. N. (Eds.) **Soil Biochemistry**, v. 5, p. 415-471, 1981.

JIMÉNEZ MOTTA, L. O. Fitossociologia e indicadores da qualidade do solo em fragmentos de Mata Atlântica, na cidade do Rio de Janeiro. Dissertação de Mestrado, Instituto de Florestas, UFRRJ, Seropédica, 90p., 2005.

KACHAKA, S.; VANLAUWE, B. & MERCKX, R. Decomposition and nitrogen mineralization of prunings of different quality. In: MULONGO, K & MERCKX, R. (Eds.) **Soil organic matter dynamics and sustainability of tropical agriculture**. New York: John Wiley, 1979, 392p.

KOEHLER, H. Secondary succession of soil mesofauna: a thirteen year study. **Applied Soil Ecology**, v.9, p.81-86, 1998.

KUCERA, C. L. & KIRKHAM, D. L. Soil respiration studies in tall grass prairies in Missouri. **Ecology**, v. 52, p. 912-915, 1971.

KUZYAKOV, Y. & CHENG, W. Photosynthesis controls of rhizosphere respiration and organic matter decomposition. **Soil Biology and Biochemistry**, v.33, p.1915-1925. 2001.

LAL, R.; KIMBLE, J.; LEVINE, E. & WHITMAN, C. 1995 Towards improving the global database on soil carbon.. In: LAL, R.; KIMBLE, J.; LEVINE, E. & ATEWART, B.A. **Soils and global change**. Boca Raton, Lewis Publishers. p.343-436.

LAVELLE, P.; SPAIN, A.V.; BLANCHART, E.; MARTIN, A. & MARTIN, S. The impact of soil fauna on the properties of soils in the humid tropics. In: **Myths and Science of Soil in the Tropics**. SSSA Special Publication, p. 157-185. 1992.

LAVELLE, P. Faunal activities and soil processes: adaptive strategies that determine ecosystem function. **Advances in Ecological Research**, v.27, p. 93-132, 1997.

LUNDEGARDH, A. Carbon dioxide production from soil and crop growth. **Soil Science** v. 23, p. 417-453, 1927.

MACDICKEN, K.G. & VERGARA, N.T. Introduction to agroforestry. In: MACDICKEN, K.G. & VERGARA, N.T. eds. **Agroforestry: classification and management**. New York: John Wiley & Sons, 1990. p. 1-30.

MAFRA, A.L.; MIKLÓS, A.A.W.; VOCURCA, H.L.; HARKALY, A.H. & MENDOZA, E. Produção de fitomassa e atributos químicos do solo sob cultivo em aléias e sob vegetação nativa de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, 43-48, 1998.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C. & OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas. Princípios e aplicações**. Ed. Piracicaba: POTAFOS. 319p., 1997.

MATTOS, C; MELLO, R.B.; MOURA, C.A.R.; SOUTO, R.L.; DUARTE, N.; SILVA, L.C.; GUIMARÃES, T.; MAIA, P.O.; OLIVEIRA, F.J.R.; ALMEIDA, F.M.; MOÇO, E. & BARBOSA, T.M. **Aspectos da utilização de sistemas agroflorestais como promotores de desenvolvimento local das comunidades rurais do município de Paraty – RJ**. Em: www.agrofloresta.net

MELLILO, J. M.; ABER, J. D. & MURATORE, J. F. Nitrogen and lignin control hardwood leaf decomposition dynamics. **Ecology**, v.63, p. 621-626, Durham, 1982.

MENDONÇA, E.S.; LEITE, L.F.C. & FERREIRA NETO, P.S. Cultivo de café em sistema agroflorestal: uma opção para a recuperação de solos degradados. **Revista Árvore**, v. 25, p. 375-383. 2001.

MURAGE, E.W.; KARANJA, N.K.; SMITHSON, P.C. & WOOMER, P.L. Diagnostic indicators of soil quality in productive and non productive smallholders' fields of Kenya's Central Highlands. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 79, p. 1-8, Amsterdam, 2000.

MURCIA, C. Edge effects in fragmented forests: implications for conservation. **Trends in Ecology and Evolution**, v.10, p.58-62, 1995.

MYERS, R.K.J.; PALM, C.A.; CUEVAS, E.; GUNATILEKE, I.U.N. & BROSSARD, M. The synchronization of nutrient mineralization and plant nutrition demand. In: WOOMER, P.L. & SWIFT, P.L., ed. **The biological management of tropical soil fertility**. New York: John Wiley, 1994. p. 81-116.

NAIR, P.K.R.; BURESH, R.J.; MUGENDI, D.N.; LATT, C.R. Nutrient cycling in tropical agroforestry systems: Myths and Science. In: BUCK, L.E.; LASSOIE, J.P.; FERNANDES, E.C.M (Eds.) **Agroforestry in Sustainable Agricultural Systems**. Boca Raton: CRC, 1999. p. 1-31.

NAKANE, K.; YAMAMOTO, M. & TSUBOTA, H. Estimation of root respiration rate in a mature forest ecosystem. **Japanese Journal of Ecology**, v.33. p.397-408. 1983.

OADES, J.M. The role of biology in the formation, stabilization and degradation of soil structure. **Geoderma**, v. 56, p. 377-400.

ODUM, E.P. The strategy of ecosystem development. **Science**, v. 164, p. 262-270, 1969.

ODUM, E.P. Trends expected in stressed ecosystems. **Bioscience**, v. 35, p. 419-422, 1985.

ODUM, E. P. **Ecologia**. Rio de Janeiro. Guanabara. 1988. 434p.

OLSON, J.S. Energy storage and the balance of producers and decomposers in ecological systems. **Ecology**, v. 44, p. 322-331, 1963.

PARKINSON, D. & COLEMAN, D.C. Methods for assessing soil microbial populations, activity and biomass. **Agricultural Ecosystems and Enviroments**. v. 34, p3-33, 1991.

PENEREIRO, F.M. Sistemas Agroflorestais dirigidos pela sucessão natural: um estudo de caso. Dissertação de mestrado, Instituto de Ciencias Florestais, ESALQ, 138p., 1999.

PIELOU, E.C. **Ecological diversity**. New York, John Wiley & Sons. 1975. 165 p.

POWLSON, D. S.; BROOKES, P.C. & CHRISTENSEN, B.T. Measurement of soil microbial biomass provide an early indication of changes in total soil organic matter due to straw incorporation. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 19, p.159-164, 1987.

PREFEITURA MUNICIPAL DE PARATY **Plano Municipal de Desenvolvimento Rural de Paraty**, 2000.

PLOWMAN, K.P. Litter and soil fauna of two Australian subtropical forests. **Journal of Animal Ecology**. v. 4. p.47- 104. 1979.

POGGIANI, F.; OLIVEIRA, R.E. & CUNHA, G.C. Práticas de ecologia florestal. **Documentos Florestais**. n. 16, p. 1-44, 1996.

RADAM. **Levantamento de recursos naturais**. Brasil, v. 32, 780p., 1983.

REINERT, D.J. Recuperação de solos em sistemas agropastoris. In: DIAS, L.E. & MELLO, J.W.V. eds. **Recuperação de áreas degradadas**. Viçosa: UFV, SOBRADE, 1998. p. 163-176.

RESCK, D.V.S.; VASCONCELLOS, C.A.; VILELLA, L. & MACEDO, M.C.M. Impact of conversion of Brazilian cerrados to cropland and pastureland on soil carbon pool and dynamics. In: Lal, R.; Kimble, J.M. & Stewart, B.A. **Global climate change and tropical ecosystems**. Boca Raton: CRC/Lewis Publishers, 2000, p.169-196.

RODRIGUES, R.R.; GANDOLFI, S. Restauração de florestas tropicais: subsídios para uma definição metodológica e indicadores de avaliação de monitoramento. In: Dias, L.E.; Mello, J.W.V. de (Ed.) **Recuperação de áreas degradadas**. Viçosa: UFV. 1998. p. 203-215.

SEASTEDT, T.R. The role of microarthropods in decomposition and mineralization processes. **Annual Review of Entomology**, v.29, p. 25-46, 1984.

SCHLESINGER, W.H. & ANDREWS, J.A. 2000 Soil respiration and the carbon cycle. **Biogeochemistry**, v. 48, p. 7-20, 2000.

SHANNON, C.E. & WEAVER, W. **The mathematical theory of communication**. Urbana: University of Illinois Press. 1964. 125p.

SILVA, C.F. **Indicadores da qualidade do solo em áreas de agricultura tradicional no entorno do Parque Estadual da Serra do Mar em Ubatuba-SP**. Seropédica: UFRRJ, 2005. 80p. (Dissertação de Mestrado em Agronomia – Ciência do Solo).

SILVEIRA, N.D. **Indicadores de sustentabilidade ambiental em sistemas agroflorestais na Mata Atlântica**. Monografia, Instituto de Florestas, UFRRJ, 75p. 2003.

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 Biology and Biochemistry**, v. 20, p. 337-352, 1988.

STEVENSON, F.J. **Humus chemistry: genesis, composition, reactions**. New York: John Wiley, 1982, 443p.

STEVENSON, F. J. **Cycles of soil: Carbon, Nitrogen, Phosphorus, Sulphur, Micronutrients**. New York: John Wiley, 1986, 380p.

SWIFT, M. J.; HEAL, O. W. & ANDERSON, J. M. **Decomposition in terrestrial ecosystems**. Berkeley: University of California Press, 1979. 372p.

TAYLOR, B. R.; PARKINSON, D & PARSONS, W. F. J. Nitrogen and lignin content as predictors of litter decay rates: a microcosm test. **Ecology**, v. 70, p. 97-104, 1989.

TER BRAAK, C.J.F. & SIMILAUER, P. Canoco for Windows version 4.5 Biometris – Plant Research, Wageningen, Holanda, 2002.

TOLEDO, L.O. Aporte de serapilheira, fauna edáfica e taxa de decomposição em áreas de floresta secundária no município de Pinheiral, RJ. Dissertação de Mestrado, Instituto de Florestas, UFRRJ, 80p. 2003.

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

VAZ, P. Agroforestería en Brasil: una experiencia de regeneración análoga. **Boletín de ILEIA**, v. 16, 2001.

VITOUSEK, P.M. Litterfall, nutrient cycling and nutrient limitation in tropical forest. **Ecology**, v.65, p.285-298. 1984.

WARDLE, D.A. Changes in microbial biomass and metabolic quotient during leaf-litter succession in some New Zealand forest and scrubland ecosystems. **Functional Ecology**, v. 7, p. 346-355, 1993.

WARDLE, D.A. & GHANI, A. A critique of the microbial metabolic quotient (qCO₂) as a bioindicator of disturbance and ecosystem development. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 27, p. 1601-1610, 1995.

WARDLE, D. A. & LAVELLE, P. Linkages between soil biota, plant litter quality and decomposition. In: Cadish, G. & Giller, K. E. (Eds) **Driven by nature: plant litter quality and decomposition**. London: CAB International, 1997, p. 107-124.

WARDLE, D.A. Controls of temporal variability of the soil microbial biomass: A global-scale synthesis. **Soil Biology and Biochemistry**. v.30, p.1627-1637. 1998.

WASKMAN, S. A. **Humus**. Baltimore: Williams & Wilkins, 1932.

WASKMAN, S. **Principles of soil microbiology**. 2 ed. Baltimore: Williams, 1952. 894p.

WIENS, J.A.; STENSETH, N.C.; VAN HORNE, B. & IMS, R.A. Ecological mechanisms and landscape ecology. **Oikos**, v.66, p.369-380, 1993.

WHITE, D. C.; PINKART, H. C. & RINGELBERG, D. B. Measurement of microbial biomass. In: HURST, C.J.; KNUDSEN, G. R.; MCINRNEY, M. J.; STETZENBACH, L. D. & WALTER, M. V. (eds.) **Manual of environmental microbiology**. Washington, D. C.: ASM. 1997. 894p.

YOUNG, A. **Agroforestry for soil conservation**. Wallingford: CAB International, 1994, 276p.

ZECH, W.; SENESI, N.; GUGGENBERGER, G.; KAISER, K.; LEHMANN, J.; MIANO, T. M.; MILTNER, A. & SCHROTH, G. Factors controlling humification and mineralization of organic matter in the tropics. **Geoderma**, v. 79, p. 117-161. 1997.