

**ATRIBUTOS BIOLÓGICOS EM SOLO E SERAPILHEIRA SOB
SISTEMAS AGROFLORESTAIS DE CACAU E OUTRAS
COBERTURAS VEGETAIS**

MARIA KELLEN DA SILVA MOÇO

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE
DARCY RIBEIRO - UENF**

**CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ
MAIO - 2010**

**ATRIBUTOS BIOLÓGICOS EM SOLO E SERAPILHEIRA SOB
SISTEMAS AGROFLORESTAIS DE CACAU E OUTRAS
COBERTURAS VEGETAIS**

MARIA KELLEN DA SILVA MOÇO

“Tese apresentada ao Centro de Ciências e
Tecnologias Agropecuárias da Universidade
Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro,
como parte das exigências para obtenção do
título de Doutor em Produção Vegetal.”

Orientadora: Prof^ª. Emanuela Forestieri da Gama-Rodrigues

CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ
MAIO - 2010

FICHA CATALOGRÁFICA

Preparada pela Biblioteca do **CCTA / UENF** 076/2010

Moço, Maria Kellen da Silva

Atributos biológicos em solo e serapilheira sob sistemas agroflorestais de cacau e outras coberturas vegetais / Maria Kellen da Silva Moço. – 2010.
100 f. : il.

Orientador: Emanuela Forestieri da Gama-Rodrigues
Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias. Campos dos Goytacazes, RJ, 2010.

Bibliografia: f. 86 – 100.

1. Fauna do solo 2. Nematóides 3. Microrganismos 4. Sistemas Agroflorestais de cacau 5. Solos florestais I. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias.

ATRIBUTOS BIOLÓGICOS EM SOLO E SERAPILHEIRA SOB
SISTEMAS AGROFLORESTAIS DE CACAU E OUTRAS
COBERTURAS VEGETAIS

MARIA KELLEN DA SILVA MOÇO

“Tese apresentada ao Centro de Ciências e
Tecnologias Agropecuárias da Universidade
Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro,
como parte das exigências para obtenção do
título de Doutor em Produção Vegetal.”

Aprovada em 13 de maio de 2010.

Comissão examinadora:

Prof^ª Fatima Maria de Souza Moreira (Ph.D., Ciência do Solo) – UFLA

Prof. Geraldo de Amaral Gravina (D.Sc., Fitotecnia) – UENF

Dr^ª Marta Simone Mendonça Freitas (D.Sc., Produção Vegetal) – UENF

Prof^ª Emanuela Forestieri da Gama-Rodrigues (Ph.D., Ciência do Solo) - UENF
Orientadora

“O coração do homem planeja o seu caminho, mas é o Senhor quem dirige seus passos.”

Provérbios 16. 9

Aos meus pais Octaviano (“in memorian”) e Marlene.

Aos meus irmãos Kátia e Tavinho.

Ao meu querido Charles.

Dedico e Ofereço

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela concretização de mais uma etapa, por sempre caminhar comigo pelas estradas da vida, guiando meus passos, protegendo-me de todos os males, realizando maravilhas em minha vida;

Ao meu pai Octaviano (“in memoriam”) e à minha mãe Marlene por todo o amor, carinho, incentivo e dedicação para fazer de mim uma pessoa melhor;

À minha irmã Katinha por toda generosidade e amor que recebo sempre;

Ao meu irmão Tavinho por toda atenção e carinho que tem por mim;

Ao meu namorado Charles pelo apoio e por tornar minha vida mais feliz;

Ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal da UENF pela oportunidade de realização do curso;

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq pela concessão da bolsa;

À Professora Emanuela Forestieri da Gama-Rodrigues pela orientação, amizade, incentivo e por não me deixar esquecer que “tudo vale a pena quando a alma não é pequena”;

Ao Professor Antônio Carlos da Gama-Rodrigues pelas sugestões e incentivo na realização deste trabalho;

À MARS Center of Cocoa Science pelo apoio na realização do trabalho, em especial aos pesquisadores Dr^a Regina Machado e Dr. Uilson Lopes;

Ao Centro de Estudo do Cacau Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira - CEPLAC pela concessão de local de estudo;

Ao Pesquisador Dr. Virupax Baligar da United States Department of Agriculture - USDA, pelo apoio financeiro;

À Prof^ª. Marta Simone Freitas pela atenção e pelas recomendações sobre as análises microbiológicas;

À Prof^ª. Cláudia Dolinski e ao Prof. Ricardo Moreira pelas sugestões feitas sobre a nematofauna;

Ao Valdivino Carmo e à sua equipe da MARS Center of Cocoa Science por todo apoio durante as coletas;

Ao técnico do Laboratório de Solos Ederaldo, pela amizade e pela colaboração tanto em campo como em laboratório;

Às técnicas do Laboratório de Solos Kátia Regina e Vanilda, pela amizade, incentivo, colaboração nas análises e por tornar agradável o trabalho dentro do laboratório;

Ao Alexandre pelo auxílio na coleta e nas análises das amostras dos sistemas agroflorestais de cacau;

Ao Luís pelo suporte na amostragem no Parque Estadual do Desengano;

A Carmen por todo o carinho e amizade “fofíssima” que tem por mim e também pelo auxílio na identificação da fauna;

Ao Vicente da Clínica Fitopatológica da UENF pelo suporte nas análises da nematofauna;

À técnica Andréia e aos colegas Késsia, Élide, José Antônio, Letícia e Gustavo do Laboratório de Microbiologia do Solo pelos bons momentos durante as análises microbiológicas;

Aos bolsistas de apoio acadêmico Raul e David pela colaboração;

A Cláudia Carolina, Janaína, Valéria, Cláudia Prins, Patrícia Gomes, Silvana, Elizete, Liliana, Joice, Danielle, Patrícia Barreto, Joseane, Rejane e Leisiani pela amizade, carinho e incentivo;

Aos meus afilhados Isabelly e João Vitor e aos seus pais pelo carinho;

A todos os amigos que torceram pelo sucesso deste trabalho;

A todos os colegas da UENF pelo agradável convívio;

A todos que contribuíram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

RESUMO.....	viii
ABSTRACT.....	x
1. INTRODUÇÃO.....	01
2. REVISÃO DE LITERATURA	03
2.1. Biota do Solo.....	03
2.2. Relação entre a Biota do Solo, Qualidade da Serapilheira e Atributos do Solo.....	07
2.3. Decomposição da Serapilheira.....	08
2.4. Sistemas Florestais e Agroflorestais de Cacau.....	10
3. TRABALHOS.....	12
3.1. RELAÇÕES ENTRE A COMUNIDADE DE INVERTEBRADOS, QUALIDADE DA SERAPILHEIRA E ATRIBUTOS DO SOLO SOB DIFERENTES SISTEMAS AGROFLORESTAIS DE CACAU NO SUL DA BAHIA.....	12
Resumo.....	12
Abstract.....	13
Introdução.....	14
Material e Métodos.....	16
Resultados.....	20
Discussão.....	28
Conclusões.....	30

Referências Bibliográficas.....	30
3.2. INTER-RELAÇÃO ENTRE A FAUNA EDÁFICA E ATRIBUTOS DO SOLO E DA SERAPILHEIRA EM DIFERENTES COBERTURAS VEGETAIS NA REGIÃO NORTE FLUMINENSE.....	38
Resumo.....	38
Abstract.....	39
Introdução.....	40
Material e Métodos.....	42
Resultados.....	46
Discussão.....	53
Conclusões.....	56
Referências Bibliográficas.....	57
3.3. MICRORGANISMOS E FAUNA EM DIFERENTES CAMADAS DA SERAPILHEIRA E SOLO SOB SISTEMA AGROFLORESTAL DE CACAU.....	63
Resumo.....	63
Abstract.....	64
Introdução.....	65
Material e Métodos.....	66
Resultados.....	72
Discussão.....	78
Conclusões.....	80
Referências Bibliográficas.....	80
4. RESUMO E CONCLUSÕES.....	84
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	86

RESUMO

MOÇO, M.K.S.; D.Sc.; Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro; Maio de 2010. Atributos biológicos em solo e serapilheira sob sistemas agroflorestais de cacau e outras coberturas vegetais. Orientadora: Emanuela Forestieri da Gama-Rodrigues; Co-orientador: Antonio Carlos da Gama-Rodrigues.

O presente trabalho foi dividido em três capítulos cujo objetivo geral foi verificar quais os atributos regulam a composição da meso e macrofauna do solo e da serapilheira sob sistemas agroflorestais de cacau no Sul da Bahia e diferentes coberturas vegetais no Norte do Rio de Janeiro, assim como caracterizar a comunidade microbiana e invertebrada terrestre distribuída verticalmente entre as camadas da serapilheira (em diferentes estágios de decomposição) e solo sob sistema agroflorestal de cacau no Sul da Bahia. Cada capítulo representou um caso de estudo. O primeiro estudo foi conduzido em sistemas agroflorestais de cacau (com diferentes tipos de sombreamento, idade e renovação de copa) e um fragmento de floresta nativa, localizados em Itajuípe e Uruçuca, BA. O segundo estudo foi conduzido em diferentes coberturas florestais (eucalipto, floresta não preservada, floresta preservada, capoeira e pasto), localizadas em Santa Maria Madalena, RJ. O objetivo destes dois estudos foi investigar a relação entre a comunidade da meso e macrofauna e os atributos de qualidade do solo e da serapilheira e determinar quais atributos seriam mais significativos para explicar a distribuição da comunidade dos invertebrados em sistemas agroflorestais de cacau e outras coberturas florestais, respectivamente. Os resultados apontaram

que componentes químicos relacionados à nutrição, acidez, palatabilidade e microclima são os principais fatores governando a abundância e a diversidade dos organismos do solo. Em diferentes sistemas agroflorestais de cacau no Sul da Bahia, a distribuição e a estrutura da meso e macrofauna foram relacionadas principalmente com o teor de nitrogênio e fósforo do solo e da serapilheira. Em diferentes coberturas florestais no Norte do Rio de Janeiro, a comunidade da meso e macrofauna foi relacionada principalmente com os teores de nitrogênio, fósforo e carbono e pH do solo, enquanto a comunidade da meso e macrofauna da serapilheira foi relacionada sobretudo com os teores de nitrogênio, carbono, lignina e polifenóis da serapilheira. O terceiro estudo objetivou caracterizar a distribuição vertical de atributos biológicos (microrganismos, nematofauna, meso e macrofauna) em camadas da serapilheira (camada L, constituída por folhas recém-caídas e não fragmentadas; camada F+H, composta por fragmentos de fácil identificação e material orgânico fino menor que 2 mm) e solo, verificando quais grupos são mais atuantes entre os compartimentos analisados sob sistema agroflorestal de cacau sombreado com eritrina, localizado no município de Itajuípe, BA. De modo geral, os microrganismos foram mais abundantes em uma das camadas da serapilheira (L ou F+H), enquanto organismos da nematofauna, meso e macrofauna foram mais numerosos na camada F+H, indicando que as características do microambiente (grau de decomposição, teor de nutrientes, umidade etc.) podem afetar a colonização e atividade dos organismos no sistema solo-serapilheira. Deste modo, os resultados mostraram que a heterogeneidade horizontal da serapilheira em função das diferentes coberturas vegetais analisadas, assim como a heterogeneidade vertical da serapilheira devido ao gradiente de decomposição podem influenciar os organismos do sistema solo-serapilheira, regulando a variabilidade da colonização e da atividade dos organismos terrestres.

ABSTRACT

MOÇO, M.K.S.; D.Sc.; Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro; May, 2010. Soil and litter biological attributes under cacao agroforestry system and other vegetation covers. Advisor: Emanuela Forestieri da Gama-Rodrigues; Co-advisor: Antonio Carlos da Gama-Rodrigues.

This work was divided into three chapters whose general objective was to determine which attributes govern the composition of meso and macrofauna in soil and litter under cacao agroforestry system in southern Bahia and different vegetation covers in northern Rio de Janeiro, as well as characterize the terrestrial microbial community and invertebrate distributed vertically between layers of litter (at different stages of decomposition) and soil under cacao agroforestry system in southern Bahia. Each chapter represents a study case. The first study was conducted in cacao agroforestry systems (with different types of shading, age and replacement of canopy) and a fragment of native forest, located in Itajuípe and Uruçuca, BA. The second study was conducted in different vegetation covers (eucalyptus, non-preserved forest, preserved forest, capoeira, pasture), located in Santa Maria Madalena, RJ. The goal of these two studies was to investigate the relationships between invertebrate communities, litter quality and soil attributes and to determine which attributes would be most significant in explaining the distribution of the invertebrate community in cacao agroforestry system and other vegetation covers, respectively. The results showed that the chemical components related to nutrition, acidity, palatability and microclimate are the main factors

governing the abundance and diversity of soil organisms. In different cacao agroforestry system in southern Bahia, the distribution and structure of meso and macrofauna was mainly related to the nitrogen and phosphorus content from soil and litter. In different vegetation covers in northern Rio de Janeiro, the community of meso and macrofauna was mainly concerned with the nitrogen, phosphorus and carbon content and soil pH, while the community of meso and macrofauna of the litter was mainly related to the nitrogen, carbon, lignin and polyphenols content from litter. The third study aimed to characterize the vertical distribution of biological attributes (microorganisms, nematofauna, meso and macrofauna) in layers of litter (L layer, consisting of freshly fallen leaves and not fragmented; F+H layer, composed of fragments of easy identification and fine organic material less than 2 mm) and soil to determine which groups are most active between compartments analyzed under cacao agroforestry system shaded with erythrite, located in Itajuípe, BA. In general, the microorganisms were more abundant in a layer of litter (L or F+H), while nematofauna, meso and macrofauna were more numerous in the F+H layer, indicating that the characteristics of the microenvironment (degree of decomposition, content of nutrients, moisture, etc.) may affect the colonization and activity of organisms in the soil-litter system. Thus, the results showed that the horizontal heterogeneity of the litter due to different vegetation covers analyzed, as well as the vertical heterogeneity due to gradient of litter decomposition can influence the organisms of soil-litter system, regulating the variability of colonization and activity of terrestrial organisms.

1. INTRODUÇÃO

Os solos compreendem o substrato necessário para a grande parte da biodiversidade global e estão entre os mais biologicamente ricos em habitats e espécies do planeta (Coleman e Whitman, 2005; Decaëns et al., 2006). A biota do solo é extremamente diversa, sendo constituída pelos microrganismos e invertebrados do solo. Estima-se que cada centímetro cúbico de solo seja ocupado por várias centenas de espécies de fungos e uma grande diversidade de tipos de bactérias com populações que variam de 10^6 a 10^9 células (Swift et al., 1979), enquanto existem estimativas de que os animais do solo representem 23% do total da diversidade de organismos vivos descritos (Decaëns et al., 2006).

A importância da biodiversidade da biota do solo para o funcionamento, a integridade e, em longo prazo, a sustentabilidade de ecossistemas terrestres naturais e manejados é cada vez mais adequadamente reconhecida (Brussaard et al., 2007). Os organismos do solo participam de vários processos do ecossistema, incluindo ciclagem de nutrientes, estoque de carbono, degradação de poluentes e manutenção da estrutura do solo. Neste sentido, o declínio da biodiversidade do solo acarretará em efeitos negativos sobre o funcionamento e estabilidade do ecossistema (Jones e Bradford, 2001).

A atividade e a disseminação de microrganismos e invertebrados no sistema solo-serapilheira é dependente de diversos fatores tais como, qualidade e quantidade da serapilheira, pH, temperatura, umidade, cobertura vegetal e manejo agrícola (Schumacher e Hoppe, 1999). Dentro do sistema solo-

serapilheira, a serapilheira é considerada a porção mais atuante sobre os organismos devido à sua heterogeneidade tanto entre ecossistemas como dentro de um mesmo ecossistema (Correia e Andrade, 2008), variando em composição química e orgânica e em condições microclimáticas tais como, temperatura, umidade e habitat físico (Martius et al., 2004). A heterogeneidade horizontal da serapilheira é decorrente do tipo de vegetação, enquanto a heterogeneidade vertical resulta da velocidade da decomposição que diferencia a serapilheira em camadas sobrepostas em diferentes estágios de decomposição (Correia e Andrade, 2008).

Em relação ao manejo agrícola, diversos estudos têm documentado os efeitos dos impactos do uso do solo sobre a diversidade e abundância dos componentes da biota do solo (López-Hernández et al., 2004; Wardle et al., 2006; Aquino et al., 2008; Yang e Chen, 2009). Além do efeito de atividades humanas sobre a biota terrestre, torna-se também necessário compreender como os atributos físico-químicos do ambiente se relacionam com estes organismos. Vendrame et al. (2009) observaram efeito negativo dos teores de Ca + Mg trocáveis sobre os grupos taxonômicos e sobre a densidade da macrofauna edáfica em solos do Cerrado sob pastagem. Huerta et al. (2007) observaram que a densidade de minhocas e o teor de argila relacionam-se positivamente em sistemas naturais e manejados tropicais. Geissen e Guzman (2006) verificaram que a matéria orgânica e a acidez do solo foram as propriedades que mais influenciaram a biota do solo em solos tropicais sob diferentes sistemas de uso.

Estudos que caracterizam as comunidades de organismos do solo e os fatores que regulam tais comunidades constituem uma ferramenta auxiliar para a compreensão do funcionamento do solo de regiões tropicais que sofreram algum tipo de intervenção humana como, por exemplo, solos de fragmentos da Mata Atlântica. Deste modo, o objetivo geral do presente trabalho foi verificar quais os atributos regulam a composição da meso e macrofauna do solo e da serapilheira sob sistemas agroflorestais de cacau no Sul da Bahia e diferentes coberturas vegetais no Norte do Rio de Janeiro, assim como caracterizar a comunidade microbiana e invertebrada terrestre distribuída verticalmente entre as camadas da serapilheira (em diferentes estágios de decomposição) e solo sob um sistema agroflorestal de cacau no Sul da Bahia.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Biota do Solo

Os organismos do solo apresentam papel fundamental nos processos de decomposição da matéria orgânica, ciclagem de nutrientes e estruturação do solo (Swift et al., 1979), os quais são essenciais para o crescimento vegetal. Apesar das incontáveis diferentes formas de tamanhos de organismos, a atividade decompositora da biota é dominada pelos organismos microscópicos (fungos e bactérias), o que é demonstrado pela atividade respiratória destes, sendo responsáveis por 96% da respiração total do solo (Moreira e Siqueira, 2006), embora sua atividade seja profundamente afetada pelos animais do solo dos níveis tróficos superiores (protozoários, nematóides, ácaros, colêmbolos, miriápodes e minhocas). Assim sendo, a atividade alimentar desses animais, apresenta efeitos indiretos sobre a disponibilidade de nutrientes nos solos (Wardle, 1995).

As bactérias do solo são organismos procarióticos de tamanho reduzido que se multiplicam por fissão binária e formam colônias; são na maioria heterotróficas, porém em algumas condições, ocorre a predominância de bactérias autotróficas (Brandão, 1992). Os fungos são microrganismos eucarióticos e em maioria filamentosos, que ocorrem no solo como células ou estruturas de repouso (esporos) e como hifas; são heterotróficos, ou seja, obtêm energia e carbono de compostos orgânicos (Brandão, 1992). Os microrganismos

podem ser divididos em grupos funcionais de populações microbianas que participam de transformação de nutrientes no solo. Um exemplo é o grupo funcional celulolítico, formado por fungos e bactérias capazes de degradar a celulose. Esses microrganismos podem produzir exo-enzimas chamadas celulasas (Andrade, 2004).

As bactérias e os fungos constituem-se em verdadeiros aparatos enzimáticos, sendo os responsáveis por diversos mecanismos de síntese e de degradação no solo, além de produzir compostos orgânicos que colaboram para a formação de agregados. Os microrganismos são os componentes mais numerosos da fração biológica do solo, participando dos ciclos do carbono, nitrogênio, fósforo e enxofre, o que é intrínseco para a fertilidade do solo e a produtividade das culturas. No entanto, apesar de sua grande capacidade de transformação química, os microrganismos possuem sua mobilidade limitada, o que torna sua atividade diretamente controlada pela fauna do solo.

A comunidade de invertebrados que vivem permanentemente no solo ou que passam um ou mais ciclos de vida no solo é denominada fauna do solo. Estes animais do solo apresentam diferentes tamanhos corporais, hábitos alimentares e habitats, de modo que suas estratégias de sobrevivência asseguram vários serviços essenciais para o ecossistema (Lavelle et al., 2006).

Através do hábito alimentar os organismos do solo influenciam a decomposição, a ciclagem de nutrientes e o seqüestro de carbono. A sua movimentação ao longo do perfil influencia na formação do solo e em suas propriedades físicas tais como, porosidade, estabilidade de agregados, erodibilidade do solo, trocas gasosas, e a capacidade de infiltrar e armazenar água. Quando são predadores de herbívoros ou parasitas, os animais do solo são importantes para a realização do controle biológico (Brown et al., 2006).

Para facilitar o estudo da funcionalidade dos diferentes grupos taxonômicos envolvidos, os invertebrados do solo podem ser divididos de acordo com o tamanho corporal e grupo funcional. A classificação baseada no tamanho corporal da fauna do solo separa os grupos taxonômicos e suas funções em microfauna, mesofauna e macrofauna (Figura 1).

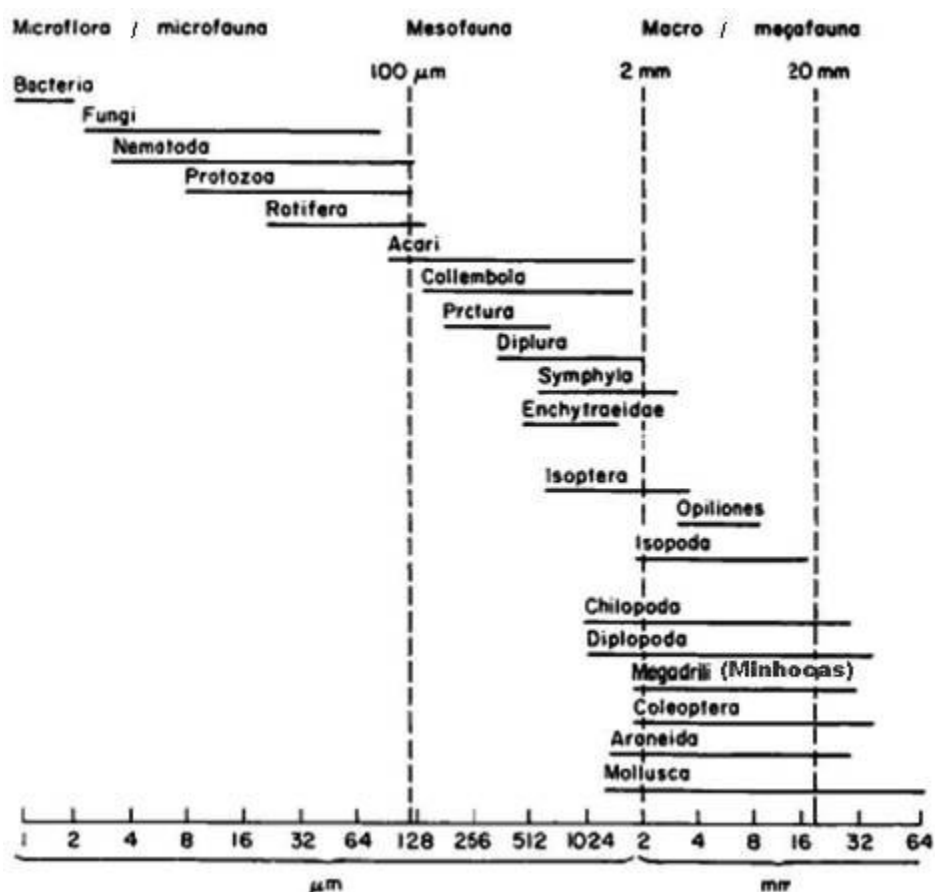


Figura 1: Classificação da fauna do solo com base no tamanho corporal (Swift et al., 1979).

A microfauna é composta por nematóides, protozoários, rotíferos e outros, cujo diâmetro varia de 4 μm a 100 μm , que geralmente vive em filme de água do solo e alimenta-se de microrganismos, raízes de plantas, outros animais da microfauna, ou algumas vezes de organismos maiores. Atuam de maneira indireta na ciclagem de nutrientes, através da ingestão de bactérias e fungos.

A mesofauna, animais de diâmetro corporal entre 100 μm e 2 mm, é constituída pelos grupos Collembola, Acari, Pseudoscorpionida, Protura, Diplura, Pauropoda, Symphyla, Enchytraeidae e outros microartrópodes. Este grupo geralmente vive nos poros do solo e alimenta-se da microbiota ou outros invertebrados, contribuindo na regulação da população microbiana.

A macrofauna apresenta diâmetro corporal entre 2 mm e 20 mm e incluem os grupos Formicidae, Isoptera, Chilopoda, Diplopoda, Annelida, Isopoda e outros crustáceos, Coleoptera (larva e adulto), Araneae e outros invertebrados,

que vivem e alimentam-se no solo ou na serapilheira. Suas principais funções são a fragmentação do resíduo vegetal e sua redistribuição, predação de outros invertebrados e contribuição direta na estruturação do solo (Swift et al, 1979; Brown et al., 2006).

Além da classificação com base nas dimensões corporais, a fauna do solo pode também ser classificada com base em aspectos funcionais. A função dos invertebrados no solo depende principalmente de seus hábitos alimentares, de sua mobilidade e da posição que ocupam no espaço. O regime alimentar constitui o principal elemento que permite classificar os diferentes tipos de organismos. Com efeito, pelo hábito alimentar é possível avaliar as relações existentes entre os diferentes organismos e estimar sua influência nas características do solo (Assad, 1997).

A divisão dos nematóides (microfauna) em grupos funcionais os separa em bacteriófagos, fungívoros, fitoparasitas e predadores. Os bacteriófagos constituem no grupo de nematóides de vida-livre que se alimentam principalmente de bactérias. Os fungívoros caracterizam-se por grupos de nematóides que se alimentam principalmente de fungos e, assim como, os bacteriófagos também contribuem na decomposição da matéria orgânica. O grupo dos fitoparasitas é constituído pelos parasitas de plantas. Os predadores constituem o grupo de indivíduos que se alimentam de outros nematóides ou de outros animais de tamanho comparável, como os protozoários, outros nematóides, rotíferos e Enchytreidae (Yeates et al., 1993).

Já a divisão da mesofauna e macrofauna em grupos funcionais pode ser feita em saprófagos, micrófagos, predadores, insetos sociais e fitófagos. Os micrófagos (Collembola) utilizam os microrganismos como fonte de carbono e regulam qualitativa e quantitativamente as populações microbianas; os saprófagos (Isopoda, Diplopoda, Symphyla) caracterizam-se por se alimentarem diretamente dos resíduos de plantas, fragmentando-os; os predadores (Araneae, Chilopoda, Pseudoscorpionida) alimentam-se de outros organismos; os fitófagos (Hemiptera, Orthoptera) alimentam-se de partes vivas das plantas; os insetos sociais (Formicidae e Isoptera) diferenciam-se por apresentar organização social; entre outros grupos de invertebrados que apresentam, dentro do mesmo grupo, espécies que podem ser saprófagos ou predadores (Coleoptera, por exemplo) (Swift et al, 1979; Brown et al., 2006).

2.2. Relação entre a Biota do Solo, Qualidade da Serapilheira e Atributos do Solo

Os organismos do solo vivem em habitats heterogêneos que variam em composição química e orgânica e em condições microclimáticas tais como, temperatura e umidade, as quais afetam sua distribuição. A heterogeneidade tanto da serapilheira como do solo pode impulsionar a variabilidade espacial da colonização e da atividade dos organismos no sistema solo-serapilheira. Monteiro e Gama-Rodrigues (2004) encontraram maiores valores de carbono da biomassa microbiana em folhas coletadas na superfície do solo quando comparadas a galhos e raízes superficiais, mistura de material mais fragmentado (estrutura F) e matéria orgânica menor que 2 mm (estrutura H) ao analisar a serapilheira de um fragmento da Mata Atlântica Montana no entorno do Parque Estadual do Desengano, RJ. Doblas-Miranda et al. (2009) observaram a ocorrência de um gradiente na distribuição vertical da macrofauna do solo, onde a riqueza, a abundância e a biomassa de macroinvertebrados diminuiu gradualmente da serapilheira para as camadas mais profundas do solo em um sistema árido.

No entanto, os fatores ambientais que determinam a estrutura e a distribuição da biota do solo ainda não foram suficientemente explorados, apesar da importância de tais fatores como reguladores da população e atividade dos organismos do solo (Ettema e Wardle, 2002). No entanto, a qualidade e quantidade da serapilheira têm sido indicadas como um dos principais fatores estruturando a biota do solo. Tian et al. (1993), estudando a ação de coberturas de diferentes qualidades sobre grupos da fauna, observaram preferência das formigas para coberturas de alta qualidade e maior teor de N. Ndaw et al. (2009) verificaram que o C e o N da biomassa microbiana e a respiração microbiana foram negativamente correlacionados com o teor de polifenol, relação lignina:N e polifenol:N ao estudarem atributos microbiológicos sob diferentes coberturas vegetais.

Os atributos do solo, incluindo pH, teor de nutrientes, umidade, aeração, textura, etc. também constituem importantes características do microhabitat governando a distribuição da biota do solo. Bandeira e Harada (1998) observaram correlação negativa entre o pH e os macroinvertebrados (Formicidae, Coleoptera,

Diplopoda, Chilopoda e Oligochaeta) em solos da Amazônia Central. Merlim et al. (2006) verificaram que as características químicas e físicas do solo, aliadas às condições climáticas, contribuíram para as alterações na densidade e na diversidade da comunidade de larvas de coleópteros do solo em ecossistemas de *Araucaria angustifolia*. Allison et al. (2007) constataram que os teores de C e/ou N apresentaram efeito positivo direto e indireto via biomassa radicular e teor de Mg sobre a biomassa microbiana em um gradiente sucessional de vegetação em recuperação.

Muitos trabalhos têm aplicado análise estatística multivariada, com o intuito de comparar as condições de manejo e verificar seus efeitos sobre os organismos do solo. As diferentes práticas de manejo têm sido discriminadas estatisticamente pela aplicação da análise estatística multivariada, assim como a variação da comunidade de organismos em relação à variação ambiental (Sena et al., 2002). A estatística multivariada consiste em um conjunto de métodos estatísticos utilizados em situações nas quais várias variáveis são medidas simultaneamente em cada elemento amostral.

Em linhas gerais, os métodos de estatística multivariada são utilizados com o propósito de simplificar ou facilitar a interpretação do fenômeno que está sendo estudado através da construção de índices ou variáveis alternativas que sintetizem a informação original dos dados possibilitando o agrupamento de grupos de elementos amostrais similares entre si (Mingoti, 2005). As diferentes medidas (variáveis) podem ser separadas em variáveis respostas e variáveis explicativas. As variáveis respostas estão relacionadas a quem é afetado pelo fenômeno ou tratamento como, por exemplo, o número de indivíduos de diferentes grupos/espécies ou parâmetros microbianos, enquanto as variáveis explicativas estão relacionadas com a causa tais como, variáveis físicas e químicas do solo, concentração de agroquímico etc.

2.3. Decomposição da Serapilheira

O mecanismo de decomposição da serapilheira é regulado principalmente por três grupos de variáveis: a natureza da comunidade decompositora (macro e microorganismos), as características do material orgânico que determinam sua degradabilidade (qualidade nutricional e orgânica da serapilheira) e as condições

físico-químicas do ambiente, as quais são controladas pelo clima e pelas características edáficas do sítio (Swift et al., 1979).

A ação dos mecanismos que regulam o processo de decomposição, ao longo do tempo cria um gradiente de decomposição, em que as folhas recém-caídas apresentam pouca transformação, enquanto as mais antigas se caracterizam por alto grau de modificação estrutural e química. Dessa forma, é relativamente fácil identificar, no campo, camadas sobrepostas de serapilheira em diferentes graus de decomposição.

Basicamente, podem ser distinguidas três camadas da serapilheira: L, F e H. A camada L, assim chamada por ser a “Lixiviação” o processo mais atuante, é composta por folhas recém-caídas e ainda não atacada pela fauna do solo, constituindo-se, portanto, de folhas inteiras. A camada F, de “Fermentação”, apresenta intensa atividade biológica, com a fragmentação promovida pela fauna do solo e a degradação bioquímica promovida pelos microrganismos. A camada H, de “Humificação”, apresenta um material amorfo decorrente da atividade fragmentadora na camada anterior. Nessa camada ocorre uma grande proliferação de raízes finas, que buscam absorver diretamente os nutrientes liberados da matéria orgânica (Correia e Andrade, 2008).

O número dessas camadas e a sua espessura são decorrentes da velocidade de decomposição do ecossistema em questão. Assim sendo, em um ecossistema de decomposição lenta, pode-se encontrar uma serapilheira bastante espessa, podendo as camadas ser subdivididas em L1, L2, F1, F2 e assim por diante (Kindel e Garay, 2001). Por outro lado, quando a decomposição é muito rápida, pode não existir a camada H; nesse caso, as folhas fragmentadas da camada F são encontradas diretamente sobre o solo (Garay et al., 2003).

Estas diferentes camadas formadas na serapilheira em função do grau de decomposição diferenciam-se quanto à composição química e estrutural. Warren e Zou (2002) separaram e estudaram a composição da serapilheira em três estágios de decomposição: camada intacta ligeiramente decomposta (Oi); camada fragmentada moderadamente decomposta (Oe); camada indefinida altamente decomposta (Oa), e observaram, com exceção do carbono, que a concentração de nutrientes aumentou ou permaneceu constante da camada Oi para a camada Oa.

2.4. Sistemas Florestais e Agroflorestais de Cacau

A Mata Atlântica é considerada um dos biomas mais ricos em biodiversidade do planeta, cobrindo uma área de 1.300.000 km². Atualmente, cerca de 93% de sua formação original já foi devastada. A maior ameaça ao equilíbrio da biodiversidade deste bioma é a ação humana e a pressão da sua ocupação e os impactos de suas atividades (SOS Mata Atlântica, 2010).

O estado do Rio de Janeiro originalmente era coberto pela Mata Atlântica. De acordo com a Fundação CIDE (2003), estima-se que as pastagens ocupem o maior percentual de cobertura vegetal atual no estado (49,4 %), permanecendo apenas 9,6 % de remanescentes da Floresta Ombrófila Densa e 22,0 % de áreas em diferentes estádios sucessionais formados por vegetação pioneira e secundária.

No entorno do Parque Estadual do Desengano, região que abrange os municípios de Santa Maria Madalena, São Fidélis e Campos dos Goytacazes, na região Norte Fluminense, o uso da terra no século XIX, foi caracterizado pelo cultivo do café, que devido à sua decadência, foi substituído por pastagens (Amorim e Campagnani, 1995). Em algumas áreas do entorno, as pastagens não manejadas promoveram condições para o aparecimento de uma regeneração natural.

Na região Sul da Bahia, os sistemas agroflorestais têm sido apontados como uma alternativa econômico-ecológica viável de produção agrícola para a preservação de remascentes da Mata Atlântica, particularmente através da cultura do cacau (*Theobroma cacao* L.). O sistema agroflorestal é um sistema de uso da terra, onde árvores são cultivadas em consórcio com culturas agrícolas e, ou criação animal. Os sistemas agroflorestais são reconhecidos por seus efeitos positivos para a conservação da biodiversidade quando comparados a simples agroecossistemas (McNeeley e Schroth, 2006), o que também é válido para a biodiversidade do solo e da serapilheira, uma vez que a estrutura do sistema agroflorestal aproxima-se a de uma vegetação nativa (Brown et al., 2006).

A cultura do cacau, por possuir muito dos atributos de sustentabilidade da floresta heterogênea natural, tem sido considerada a mais eficiente comunidade vegetal no que se refere à proteção dos solos tropicais contra os agentes de

degradação (Alvim, 1989; Duguma et al., 2001; Müller e Gama-Rodrigues, 2007), contribuindo para a conservação da comunidade de animais do solo (Delabie et al., 2007; Huerta et al., 2007; Moço et al., 2009; Norgrove et al., 2009).

Durante a fase de estabelecimento e a fase produtiva, o cacauero requer uma associação com outras espécies vegetais com a finalidade de sombreá-lo (Alvim, 1989). O sombreamento funciona como elemento regulador da atividade fisiológica do cacauero, além de oferecer condições ambientais estáveis, sem oscilações bruscas de temperatura e umidade (Gramacho et al., 1992). Neste sentido, o cacau pode estar associado com a floresta natural (cabruca) ou com leguminosas (eritrina, gliricidia etc.) (Isaac et al., 2007).

O cultivo do cacau no sistema cacau-cabruca consiste no raleamento da floresta, retirando-se a vegetação de menor porte e mantendo-se a vegetação de grande porte para garantir o sombreamento das plantas de cacau. O cacauero é plantado juntamente com espécies nativas, resultando em um sistema rico em biodiversidade, o que também pode ser refletido no solo. Por outro lado, no cultivo tradicional promove-se a derrubada total da mata, que inclui a queima para a preparação do solo e o cacauero é plantado juntamente com uma espécie exótica.

3. TRABALHOS

3.1. RELAÇÕES ENTRE A COMUNIDADE DE INVERTEBRADOS, QUALIDADE DA SERAPILHEIRA E ATRIBUTOS DO SOLO SOB DIFERENTES SISTEMAS AGROFLORESTAIS DE CACAU NO SUL DA BAHIA

RESUMO

A fim de compreender como os atributos do solo e da serapilheira interagem com a comunidade da fauna, este estudo investigou a relação existente entre as características do solo e da serapilheira e a fauna do solo e de serapilheira, e assim determinou quais atributos seriam mais importantes para explicar a distribuição da comunidade da fauna em sistemas agroflorestais de cacau no sul da Bahia, Brasil. Amostras de solo e serapilheira foram coletadas em cinco sistemas agroflorestais de cacau: cacau renovado sob *Erythrina* sp. (CRE), cacau renovado sob floresta natural (Cabruca - CRF), um sistema antigo de cacau sob *Erythrina* sp. (CE), um sistema antigo de cacau sob um sistema de floresta natural (Cabruca - CAF) e uma área de coleção de germoplasma de cacau (CGC). Amostras de solo e serapilheira também foram coletadas em um fragmento de

floresta nativa (FN) próxima aos sistemas agroflorestais. A análise de redundância (AR) e os coeficientes de correlação de Spearman foram utilizados para avaliar a relação entre a fauna e os atributos do solo (C, N, P, pH, soma de bases, argila e densidade do solo) e da serapilheira (C, N, P, lignina, polifenóis e celulose, razões C:N, lignina:N e polifenóis:N). Os resultados apontaram que componentes químicos relacionados à nutrição, acidez, palatabilidade e ao microclima são os principais fatores governando a abundância e a diversidade da fauna. A riqueza e os grupos menos abundantes foram os mais afetados pelos atributos. A análise de correlação de Spearman indicou que todas as variáveis analisadas no solo e na serapilheira podem afetar a estrutura da comunidade da fauna e a AR reforçou apenas os resultados das correlações encontradas para os teores de nitrogênio e fósforo (solo e serapilheira) e para a relação polifenóis:N da serapilheira, indicando que tais atributos seriam um dos principais reguladores da distribuição dos grupos da fauna do solo e da serapilheira em sistemas agroflorestais de cacau.

ABSTRACT

In order to understand how the attributes of soil and litter interact with the community of fauna, this study investigated the relationship between soil and litter properties and the soil and litter fauna, and determined which properties would be most significant in explaining the distribution of fauna communities in cacao agroforestry systems in the south of Bahia, Brazil. Soil and litter samples were collected in five cacao agroforestry systems: cacao renewed under *Erythrina* sp. (CRE); cacao renewed under natural forest (Cabruca - CRF); an old cacao system under *Erythrina* sp. (CE); an old cacao system under a natural forest system (Cabruca - CAF) and a cacao germoplasm collection area (CGC). Soil and litter samples were also collected from a fragment of native forest (NF) next to the agroforestry systems. Redundancy analysis (AR) and Spearman correlation

coefficients were used to evaluate the relationship between fauna and soil attributes (C, N, P, pH, sum of bases, clay and bulk density) and litter (C, N, P, lignin, polyphenol and cellulose, the C: N, lignin: N and polyphenol: N ratio). The results showed that the chemical components related to nutrition, acidity, palatability and microclimate are the main factors governing the abundance and diversity of soil organisms. The richness and the less abundant groups were most affected by the attributes. The Spearman correlation analysis indicated that all variables in soil and litter may affect community structure of fauna and AR confirmed only on the correlations found for nitrogen and phosphorus (soil and litter) and polyphenols:N ratio in litter, indicating that these attributes would be a major regulator of the distribution of groups of soil and litter fauna in cacao agroforestry system.

INTRODUÇÃO

Os sistemas agroflorestais são uma alternativa econômico-ecológica viável de produção agrícola e conservação da biodiversidade (Reitsma et al., 2001; McNeely e Schroth, 2006; Nair, 2008). A associação de culturas perenes com árvores de sombra é bastante conhecida nos trópicos úmidos (Beer et al., 1998). Um exemplo encontrado é o cacau (*Theobroma cacao*) associado com a floresta natural (cabruca) ou com leguminosas (eritrina, glicíndia etc.) (Isaac et al., 2007). Uma das conseqüências do uso de árvores de sombra em plantações de cacau é o aumento do conteúdo da matéria orgânica do solo (Montagnini e Nair, 2004; Isaac et al., 2005; Oelbermann et al., 2006; Smiley e Kroschel, 2008), que por sua vez afeta os atributos físicos (Saha et al., 2007), químicos (Isaac et al., 2007) e biológicos do solo (Delabie et al., 2007; Huerta et al., 2007; Norgrove et al., 2009). De fato, a formação da camada da serapilheira em sistemas agroflorestais de cacau pode apresentar efeitos benéficos sobre a comunidade da fauna do solo e da serapilheira (Moço et al., 2009).

A importância da comunidade da fauna do solo para a sustentabilidade e produtividade dos ecossistemas inicia em sua participação nos processos de decomposição e ciclagem de nutrientes através da fragmentação e ingestão do material orgânico e interação com os microrganismos (Wardle e Lavelle, 1997). Além disso, os macroinvertebrados têm a capacidade de modificar as características físicas do solo tais como, porosidade e agregação (Lavelle, 1996). Como estes animais do solo variam em tamanho corporal, hábito alimentar e habitat, as estratégias de sobrevivência também variam de grupo para grupo que asseguram vários serviços essenciais para o ecossistema (Lavelle et al., 2006).

As atividades desempenhadas no ecossistema pelos organismos da fauna do solo são dependentes dos atributos físico-químicos do solo e da serapilheira. Vários estudos têm demonstrado os efeitos de diferentes atributos do solo e serapilheira e práticas de manejo sobre a colonização e atividade da fauna do solo (Dauber et. al., 2003; Reich et al., 2005; Rossi e Blanchart, 2005; Sileshi e Mafongoya, 2006; Aquino et al., 2008; Laossi et al., 2008; Yang e Chen, 2009). No entanto, é necessário compreender como estes atributos interagem com a comunidade da fauna. Neste sentido, a aplicação de análises estatísticas multivariadas tem contribuído para identificar os principais fatores ambientais que determinam a estrutura da comunidade da fauna, sendo a análise de redundância (AR) uma das técnicas mais aplicadas (Eggleton et al., 2002; Nahmani e Lavelle, 2002; Holec e Frouz, 2005; Hobbelen et al., 2006; Laganière et al., 2009). A AR é uma forma direta da análise de componentes principais (ACP), no qual os eixos principais (componentes) são combinações lineares das variáveis ambientais (Leps e Smilauer, 2003; Van den Brink et al, 2003; Ramette, 2007). Neste tipo de método, a variação da comunidade pode ser diretamente relacionada à variação ambiental (Ter Braak, 1986).

Como pouco ainda é conhecido sobre como atributos de sistemas agroflorestais de cacau afetam a fauna, o trabalho testou a hipótese de que a estrutura da comunidade da fauna do solo (densidade e diversidade) seria responsiva aos atributos físico-químicos do solo e da serapilheira sob sistemas agroflorestais de cacau e um fragmento de floresta nativa. Bandeira e Harada (1998) observaram correlação negativa entre o pH e os macroinvertebrados (Formicidae, Coleoptera, Diplopoda, Chilopoda e Oligochaeta) em solos da Amazônia Central. Rossi (2003) verificou uma forte relação entre a densidade do

solo e a estrutura da comunidade de minhocas tropicais. Em solos tropicais sob diferentes sistemas de uso, Geissen e Guzman (2006) relataram que a matéria orgânica e a acidez do solo foram os atributos que tiveram maior influência sobre a biota do solo. Deste modo, o objetivo deste estudo foi verificar a relação entre os atributos do solo (C, N, P, pH, soma de bases, argila e densidade do solo) e da serapilheira (C, N, P, lignina, polifenóis e celulose, razões C:N, lignina:N e polifenóis:N) com a fauna edáfica e, determinar quais destes seriam mais significativos para explicar a distribuição da comunidade de invertebrados em sistemas agroflorestais de cacau e em um fragmento de floresta nativa.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido na estação de pesquisa da MARS Center of Cocoa Science, em Itajuípe, localizada no sul da Bahia (14° 0' S and 39° 2' W). O clima da região é quente e úmido e a precipitação média anual é de 1500 mm bem distribuídos ao longo do ano. Amostras de solo e serapilheira foram coletadas de cinco diferentes sistemas agroflorestais de cacau (*Theobroma cacao*): cacau renovado sob *Erythrina* sp. (CRE) (25 anos), cacau renovado sob floresta natural (Cabruca - CRF), um sistema de cacau sob *Erythrina* sp. (CE) (30 anos), um sistema antigo de cacau sob um sistema de floresta natural (Cabruca - CAF) (70 anos) e uma área de coleção de germoplasma de cacau (CGC) (15 anos) onde clones de cacau resistentes a vassoura de bruxa (*Crinipellis pernicioso*) são plantados (Figura 1). Amostras também foram coletadas em um fragmento de floresta nativa (FN) com baixo índice de exploração e intervenção antrópica, próxima aos sistemas agroflorestais.

Cacau com *Erythrina* sp. representa uma plantação de cacau sob sombra das árvores de eritrina (*Erythrina* sp.). Cabruca representa uma plantação de cacau sob a floresta natural. Sistemas de cacau renovado representam enxertos (5 anos) em árvores antigas com material genético resistente à vassoura de bruxa originado da coleção de germoplasma de cacau originado a partir da coleção de

germoplasma de cacau da MARS Center of Cocoa Science. Os solos utilizados em FN, CRE, CRF e CAF caracterizam-se como Latossolo e, em CE e CGC, como Cambissolo.

Neste estudo foram utilizadas amostras coletadas em setembro de 2003, fevereiro de 2004 e agosto de 2004. A avaliação da fauna procedeu-se a partir de quatro amostras de solo (0-5 cm) e quatro amostras de serapilheira coletadas aleatoriamente através de um quadrado de 0,25 m x 0,25 m, de onde se extraiu a fauna com o auxílio de funis de Berlese-Tüllgreen (Figura 2). A fauna foi identificada em grandes grupos taxonômicos (classe, ordem ou família) e quantificada quanto ao número de indivíduos por m² (densidade) e número de grupos identificados (riqueza) em solo+serapilheira por área. Nesta avaliação, apenas os grupos de fauna com densidade igual ou superior a 1% do número total de indivíduos foram caracterizados. Maiores detalhes da caracterização da fauna edáfica tais como, distribuição entre épocas de coleta, compartimentos (solo e serapilheira), coberturas vegetais e grupos funcionais estão descritos em Moço et al. (2009).



Figura 1: Local de estudo. (1) Cacau-cabruca; (2) Cacau com *Erythrina* sp.; (3) Coleção de germoplasma de cacau.



Figura 2: Funis de Berlese-Tüllgren para extração da meso e macrofauna do solo.

Detalhes sobre os atributos químicos e físicos do solo e da serapilheira são apresentados na Tabela 1. Para as análises, três amostras compostas (provenientes de 10 simples) por cobertura foram obtidas na camada de 0-5 cm do solo com auxílio de um trado e quatro amostras simples de serapilheira por cobertura foram coletadas utilizando-se um quadrado de 0,25 m x 0,25 m. Nas amostras de solo foram determinados os teores de P e K (extraíveis por Mehlich-1), Ca, Mg e Al (trocáveis, por KCl 1 mol L⁻¹), segundo Defelipo e Ribeiro (1981) e pH (em água). C orgânico foi verificado após oxidação utilizando dicromato de potássio (K₂Cr₂O₇), N total foi determinado pelo método Kjeldahl. O teor de argila e a densidade do solo foram determinados de acordo com a Embrapa (1997). Soma de bases refere-se à soma dos teores de Ca, Mg e K. Nas amostras de serapilheira determinou-se C orgânico por oxidação com K₂Cr₂O₇ (Anderson e Ingram, 1996) e N total pelo método de Kjeldahl, conforme descrito por Bataglia et al. (1983). Lignina e celulose foram determinadas usando o método de fibra em detergente ácido (Van Soest e Wine, 1968), e os teores de polifenóis totais foram determinados pelo método de Anderson e Ingram (1996). A partir dos resultados, foram calculadas as razões carbono:N, lignina:N e polifenóis:N.

A relação entre grupos da fauna e atributos do solo e da serapilheira foi analisada através de análise multivariada de redundância (AR) e coeficientes de correlações de Spearman. Análises de correlação de Spearman entre comunidade da fauna e atributos do solo e serapilheira foram realizadas com o programa Saeg (2007).

Para verificar se a composição da comunidade da fauna foi afetada pelos atributos do solo e da serapilheira e determinar quais atributos mais influenciaram, foi realizada a AR utilizando-se o programa Canoco for Windows (versão 4.5) (Ter Braak e Smilauer, 2002). Esta análise consiste em sintetizar, em um gráfico com eixos perpendiculares, a variação multidimensional de um conjunto de variáveis, apresentando a variação na composição de grupos taxonômicos com base nas variáveis ambientais (atributos do solo e serapilheira) e distribuindo os grupos taxonômicos, aproximadamente, em função de cada variável ambiental (Ter Braak, 1986). Os gráficos foram executados com o auxílio do programa CanoDraw (Smilauer, 2003).

Tabela 1: Caracterização do solo e da serapilheira sob sistemas agroflorestais de cacau e uma floresta nativa.

	CRE	CRF	CAF	CE	CGC	FN
Solo						
N (g kg ⁻¹)	2,94	3,32	2,60	3,40	2,09	3,90
C (g kg ⁻¹)	39,72	40,19	39,52	16,95	29,21	41,15
P (mg dm ⁻³)	7,69	6,74	6,81	17,0	73,30	4,34
Argila (g kg ⁻¹)	440,0	398,3	373,7	234,7	204,7	518,7
pH	4,57	4,86	5,41	5,89	6,01	3,77
Densidade (g cm ⁻³)	1,05	1,10	1,04	1,12	1,42	0,84
Soma de Bases (cmol _c dm ⁻³)	59,23	52,94	123,14	112,18	105,98	71,52
Serapilheira						
N (g kg ⁻¹)	17,12	15,82	15,20	18,72	16,22	15,20
C (g kg ⁻¹)	422,03	397,77	358,78	372,93	394,57	404,74
P (g kg ⁻¹)	0,74	0,53	0,72	1,47	1,06	0,37
Lignina (g kg ⁻¹)	347,17	368,30	313,37	263,85	336,30	347,85
Polifenóis (g kg ⁻¹)	5,08	6,84	6,56	2,72	6,06	7,26
Celulose (g kg ⁻¹)	209,53	207,19	199,50	163,14	216,84	194,65
Relação C:N	24,78	25,81	23,75	20,09	24,67	27,49
Relação Lignina:N	20,39	23,90	20,74	14,21	21,00	23,61
Relação Polifenóis:N	0,30	0,44	0,43	0,15	0,38	0,49

CRE - cacau renovado sob *Erythrina* sp.; CRF - cacau renovado sob floresta natural; CAF - sistema antigo de cacau sob um sistema de floresta natural; CE - sistema de cacau sob *Erythrina* sp.; CGC - coleção de germoplasma de cacau, FN - floresta nativa. N - Nitrogênio, C - Carbono, P - Fósforo.

Na AR, a comunidade da fauna (densidade total, riqueza e grupos da fauna com densidade superior ou igual a 1% do total de indivíduos) foi usada em um arquivo denominado "espécies" e atributos do solo (C, N, P, pH, soma de bases, argila e densidade do solo) e da serapilheira (C, N, P, lignina, polifenóis e celulose, razões C:N, lignina:N e polifenóis:N) em arquivos chamados "variáveis ambientais". Os dados do solo e da serapilheira foram analisados separadamente. Na análise, a tabela de dados de "espécies" foi centrada e padronizada por "espécie" que foram log transformados anteriormente. Primeiramente, todas as variáveis ambientais foram incluídas em uma AR e sua significância foi testada através do testes de permutação de Monte Carlo (499 permutações) pelo

processo de *forward selection* (limita o número de variáveis ambientais que melhor explica a variação na comunidade) (Van den Brink et al, 2003). Os resultados do processo de *forward selection* foram resumidos em um quadro intitulado “efeito condicional” que mostra as variáveis ambientais a fim de sua inclusão no modelo, juntamente com a variância adicional que cada variável explica no momento em que foi incluída (λ -A) e a significância da variável (p) (Ter Braak e Smilauer, 2002). A hipótese nula (H_0) do teste pressupõe que as variáveis são independentes. Somente as variáveis ambientais com efeito condicional significativo foram incluídas na AR.

Em geral, no diagrama de ordenação da AR, setas apontando em mesma direção significam que as variáveis estão correlacionadas positivamente, setas apontando em direção oposta indicam que as variáveis se correlacionam negativamente e setas perpendiculares não estão correlacionadas. Além disso, o comprimento da seta é uma medida de importância da propriedade do solo ou da serapilheira em explicar as variações da comunidade da fauna (Zhang et al. 2009; Leps e Smilauer, 2003).

RESULTADOS

Uma média de 1367 ($\pm 126,5$) indivíduos m^{-2} e 10 ($\pm 0,3$) grupos da fauna foram encontrados por cobertura vegetal (Tabela 2). Os grupos mais abundantes foram Collembola (41%) e Formicidae (32%). Coleoptera representou 6% da densidade total, sendo adultos 4% e larvas 2%. Larva de Diptera representou 3% do total e Pauropoda, Pseudoscorpionida, Isopoda e Symphyla representaram cada grupo isoladamente 2% do total. Os grupos Protura, Diptera adulto, larva de Formicidae, Gastropoda, Hymenoptera, Diplura, Blattodea, larva de Lepidoptera, Orthoptera, Isoptera, Dermaptera, Thysanura e Embioptera também foram identificados entre as coberturas vegetais com densidade inferior a 1% do total e, devido ao baixo número foram agrupados como “outros invertebrados” (Tabela 2).

Tabela 2: Densidade e riqueza da meso e macrofauna (\pm erro padrão) sob sistemas agroflorestais de cacau e uma floresta nativa.

	CRE	CRF	CAF	CE	CGC	FN	Média	%
Grupos taxonômicos (Indivíduos m⁻²)								
Collembola	689 \pm 178,1	829 \pm 206,5	366 \pm 109,6	488 \pm 121,2	775 \pm 321,9	199 \pm 96,5	557 \pm 78,1	41
Formicidae	432 \pm 117,7	439 \pm 129,4	689 \pm 299,1	358 \pm 99,8	191 \pm 49,9	504 \pm 142,2	436 \pm 65,2	32
Diplopoda	22 \pm 4,7	21 \pm 5,7	14 \pm 4,4	11 \pm 3,6	17 \pm 5,6	31 \pm 10,6	19 \pm 2,5	1
Isopoda	35 \pm 11,6	57 \pm 32,3	22 \pm 11,8	4 \pm 2,0	1 \pm 0,7	17 \pm 9,2	23 \pm 6,3	2
Diptera (lv.)	35 \pm 8,5	20 \pm 5,1	13 \pm 4,4	69 \pm 14,5	65 \pm 41,7	17 \pm 4,7	36 \pm 7,7	3
Pauropoda	15 \pm 4,3	16 \pm 3,5	18 \pm 4,5	13 \pm 3,9	8 \pm 3,5	13 \pm 3,2	14 \pm 1,6	2
Oligochaeta	50 \pm 30,0	44 \pm 22,0	66 \pm 20,8	9 \pm 7,4	5 \pm 3,0	1 \pm 0,9	29 \pm 7,4	1
Psocoptera	13 \pm 5,1	13 \pm 3,7	10 \pm 3,9	17 \pm 5,6	19 \pm 6,5	23 \pm 8,4	16 \pm 2,3	1
Symphyla	21 \pm 9,4	69 \pm 17,7	17 \pm 4,6	5 \pm 2,0	6 \pm 2,3	13 \pm 4,3	22 \pm 3,9	2
Araneae	13 \pm 3,8	20 \pm 4,7	15 \pm 3,0	27 \pm 13,9	10 \pm 3,7	17 \pm 4,4	17 \pm 2,7	1
Chilopoda	16 \pm 5,9	33 \pm 6,4	9 \pm 2,4	15 \pm 3,2	6 \pm 2,1	11 \pm 3,3	15 \pm 1,8	1
Pseudoscorpionida	35 \pm 11,6	52 \pm 10,6	23 \pm 8,8	4 \pm 1,7	2 \pm 1,5	36 \pm 8,4	25 \pm 3,6	2
Coleoptera (ad.)	49 \pm 11,1	73 \pm 17,3	28 \pm 7,8	75 \pm 25,8	27 \pm 5,8	83 \pm 15,9	56 \pm 6,5	4
Coleoptera (lv.)	19 \pm 5,0	43 \pm 9,3	14 \pm 5,5	27 \pm 6,3	19 \pm 7,1	26 \pm 5,4	25 \pm 2,8	2
Hemiptera	9 \pm 2,7	32 \pm 15,9	10 \pm 4,2	15 \pm 5,3	23 \pm 7,3	13 \pm 3,8	17 \pm 3,2	1
Thysanoptera	7 \pm 3,0	16 \pm 5,8	21 \pm 13,5	29 \pm 14,4	14 \pm 7,6	7 \pm 4,2	16 \pm 3,7	1
Outros invertebrados	63 \pm 19,2	52 \pm 10,8	25 \pm 8,6	39 \pm 10,6	51 \pm 14,1	42 \pm 15,0	45 \pm 5,5	3
Densidade total	1521 \pm 289,8	1829 \pm 307,2	1359 \pm 394,5	1205 \pm 227,2	1239 \pm 365,1	1051 \pm 247,4	1367 \pm 126,5	100
Riqueza	11 \pm 0,8	12 \pm 1,0	9 \pm 0,6	10 \pm 0,8	8 \pm 0,8	10 \pm 0,8	10 \pm 0,3	

ad: adulto; lv: larva. CRE - cacau renovado sob *Erythrina* sp.; CRF - cacau renovado sob floresta natural; CAF - sistema antigo de cacau sob um sistema de floresta natural; CE - sistema de cacau sob *Erythrina* sp.; CGC - coleção de germoplasma de cacau; FN - floresta nativa

A relação existente entre os atributos do solo e a estrutura da comunidade da fauna do solo foi explorada primeiramente através da análise de redundância (AR). O primeiro eixo da AR explicou 14,2% e o segundo 8,4% da variação dos dados de grupos taxonômicos e ambos os eixos acumularam 90,8% das correlações grupos taxonômicos-variáveis ambientais (Tabela 3). A significância das variáveis ambientais para discriminar a distribuição da comunidade da fauna do solo foi avaliada através do método de *forward selection* com a aplicação do teste de permutação de Monte Carlo, que indicou que somente os teores de fósforo e nitrogênio do solo explicam significativamente a variação da comunidade da fauna do solo ($p < 0,05$) (Tabela 4) e, por esta razão, apenas estas variáveis foram incluídas no diagrama de ordenação da AR. A quantidade da variação explicada pelo teor de fósforo foi igual a 14% e pelo nitrogênio igual a 9%.

Admite-se que setas apontando em direções semelhantes indicam correlação positiva, enquanto setas apontando em direções opostas indicam uma correlação negativa. Deste modo, a AR mostrou uma associação positiva entre riqueza de grupos, densidade total, Hemiptera, larva de Diptera, Psocoptera, Coleoptera (larva e adulto), Isopoda, Chilopoda, Diplopoda e Pseudoscorpionida com o teor de nitrogênio (Figura 1a). Além disso, o teor de nitrogênio correlacionou-se negativamente com Collembola e Symphyla, enquanto os grupos Formicidae, Oligochaeta, Pauropoda, Araneae e Thysanoptera apresentaram fraca correlação com este elemento. Todos os grupos, com exceção de Collembola, correlacionaram-se negativamente com o teor de fósforo do solo. A riqueza de grupos e o grupo Pseudoscorpionida foram principalmente afetados pelo teor de fósforo (Figura 1a).

A AR da serapilheira apresentou resultados aproximados aos do solo (Tabelas 3 e 4). A porcentagem de variância acumulada para os dados de grupos taxonômicos no eixo 1 foi igual a 14,3% e as correlações grupos taxonômicos-variáveis ambientais foi igual a 83,7% neste eixo. O teste de Monte Carlo revelou que os teores de fósforo, nitrogênio e a relação polifenóis:N foram os atributos que explicaram significativamente a distribuição da comunidade da fauna da serapilheira e, conseqüentemente, foram aplicados na AR. Estas variáveis ambientais explicaram, respectivamente, 11%, 8% e 8% da variação nos dados da comunidade da fauna (Tabela 4).

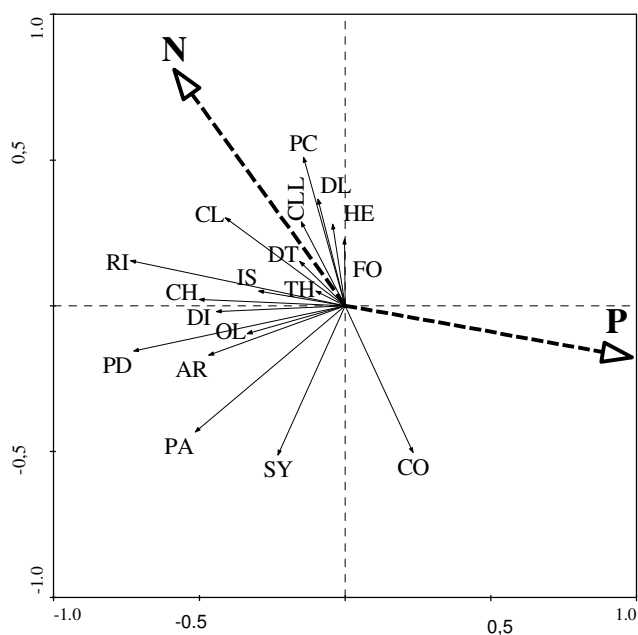
Tabela 3: Resultados da análise de redundância. Dados referem-se aos eixos 1 e 2 plotados no diagrama (Figura 1).

Eixos	Solo			Serapilheira		
	1	2	Total variância	1	2	Total variância
Autovalores	0,142	0,084	1,000	0,143	0,078	1,000
Correlações grupos-ambiente	0,834	0,908		0,837	0,756	
Porcentagem de variâncias acumuladas						
de dados de grupos taxonômicos	14,2	22,6		14,3	22,1	
de relações grupos-ambiente	62,8	100,0		53,3	82,9	
Soma de todos autovalores			1,000			1,000
Soma de todos autovalores canônicos			0,226			0,266

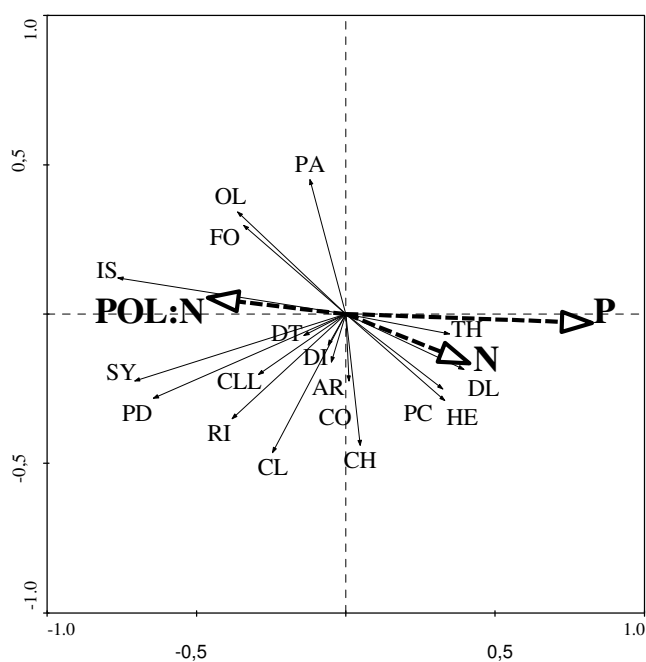
Tabela 4: Sumário da análise de redundância.

Variáveis	Lambda A	<i>p</i>	<i>F</i>
Solo			
P	0,14	0,002	3,59
N	0,09	0,014	2,33
Densidade	0,05	0,106	1,49
C	0,06	0,098	1,61
pH	0,01	0,982	0,43
Serapilheira			
P	0,11	0,012	2,76
N	0,08	0,032	2,00
POL:N	0,08	0,038	2,10
POL	0,05	0,142	1,50
C	0,06	0,086	1,77

Lambda A - variância adicional explicada pela variável, tendo em conta as variáveis já incluídas (efeito condicional); *p* - nível de significância do teste de permutação de Monte Carlo; *F* - valor do teste estatístico. P – Fósforo, N – Nitrogênio, C – Carbono, Pol:N – Relação polifenóis:N; Pol - Polifenóis.



(a) Solo



(b) Serapilheira

Figura 1: Diagrama de ordenação produzido pela análise de redundância (AR). O gráfico apresenta a correlação entre fauna (linhas cheias) e atributos (linhas tracejadas). Somente foram usados atributos selecionados por *forward selection* ($p < 0.05$, teste de Monte Carlo).

N – Nitrogênio, P – Fósforo, POL:N – Relação polifenóis:N, TD – Densidade Total, RI – Riqueza de grupos, CO – Collembola, FO – Formicidae, DI - Diplopoda, IS – Isopoda, DL – Larva de Diptera, OL – Oligochaeta, PA – Pauropoda, PC – Psocoptera, SY – Symphyla, AR – Araneae, CH – Chilopoda, PD – Pseudoscorpionida, CL – Coleoptera, CLL – Larva de Coleoptera, HE – Hemiptera, TH – Thysanoptera.

Através do diagrama de ordenação da serapilheira (Figura 1b), observou-se que as setas das variáveis ambientais, teor de fósforo e nitrogênio, se posicionaram próximas uma da outra, indicando que o comportamento da fauna da serapilheira em relação a estas variáveis ambientais é similar. De fato, os grupos larva de Diptera e Thysanoptera correlacionaram-se positivamente, enquanto Oligochaeta, Formicidae, Isopoda, Symphyla e Pseudoscorpionida correlacionaram negativamente a estes atributos. O contrário destas correlações foi observado com a relação polifenóis:N, uma vez que a seta representando esta variável posicionou-se opostamente às setas de teor de nitrogênio e fósforo (Figura 1b). Enquanto isso, as variáveis densidade total, riqueza de grupos, Coleoptera (larva e adulto), Diplopoda, Araneae, Collembola, Chilopoda, Psocoptera, Hemiptera e Pauropoda apresentaram fraca correlação com os atributos da serapilheira analisados pela AR.

Em outra abordagem, a análise de correlação de Spearman também mostrou que os atributos físico-químicos do solo afetam a comunidade da fauna do solo (Tabela 5). A densidade total foi afetada significativa e positivamente pelo carbono e negativamente pela soma de bases. A riqueza, assim como os grupos Pseudoscorpionida, Coleoptera, Isopoda, Diplopoda e Psocoptera correlacionaram significativa e positivamente com o teor de argila e negativamente com o pH e o fósforo do solo (Tabela 5). Os grupos Formicidae e Oligochaeta não foram afetados significativamente por nenhum dos atributos do solo analisados.

As análises de correlação entre os dados da serapilheira não mostraram efeito significativo dos atributos estudados e a densidade total da fauna da serapilheira, mas por outro lado, indicaram que os teores de carbono e lignina podem afetar positivamente a riqueza (Tabela 6). Carbono, lignina, polifenóis, relação C/N, relação lignina/N e polifenóis/N se correlacionaram significativa e positivamente com Symphyla e Pseudoscorpionida e negativamente com larva de Diptera. Formicidae não se correlacionou significativamente com os atributos da serapilheira analisados.

Tabela 5: Correlações entre fauna e atributos do solo.

	Carbono	Nitrogênio	Fósforo	pH	Argila	Densidade	Soma de bases
Densidade Total	0,3696*	0,1586 ^{ns}	-0,3609*	-0,2737 ^{ns}	0,2737 ^{ns}	-0,1552 ^{ns}	-0,3644*
Riqueza	0,3141 ^{ns}	0,4153*	-0,4170*	-0,4397*	0,4397*	-0,3001*	-0,3245 ^{ns}
Collembola	-0,1674 ^{ns}	-0,4813**	0,2616 ^{ns}	0,3766*	-0,3766*	0,4603**	-0,1883 ^{ns}
Formicidae	0,1796 ^{ns}	0,2267 ^{ns}	-0,1779 ^{ns}	-0,1656 ^{ns}	0,1656 ^{ns}	-0,0959 ^{ns}	-0,1378 ^{ns}
Diplopoda	0,3563*	0,1258 ^{ns}	-0,3084 ^{ns}	-0,3775*	0,3775*	-0,2286 ^{ns}	-0,3882*
Isopoda	0,4071*	0,1771 ^{ns}	-0,4025*	-0,3726*	0,3726*	-0,3289 ^{ns}	-0,2484 ^{ns}
Larva de Diptera	-0,2454 ^{ns}	0,3788*	0,1494 ^{ns}	0,0267 ^{ns}	-0,0267 ^{ns}	0,1120 ^{ns}	0,1014 ^{ns}
Oligochaeta	-0,0964 ^{ns}	-0,0245 ^{ns}	0,0823 ^{ns}	0,0193 ^{ns}	-0,0193 ^{ns}	0,0981 ^{ns}	-0,0929 ^{ns}
Paupoda	0,3316 ^{ns}	-0,1388 ^{ns}	-0,3354*	-0,3277 ^{ns}	0,3277 ^{ns}	-0,3316 ^{ns}	-0,2506 ^{ns}
Psocoptera	0,2888 ^{ns}	0,5288**	-0,3682*	-0,3393*	0,3393*	-0,3104 ^{ns}	-0,0614 ^{ns}
Symphyla	0,0862 ^{ns}	-0,3393*	-0,1178 ^{ns}	0,0545 ^{ns}	-0,0545 ^{ns}	0,0211 ^{ns}	-0,1600 ^{ns}
Araneae	0,1086 ^{ns}	0,0765 ^{ns}	-0,2705 ^{ns}	-0,1637 ^{ns}	0,1637 ^{ns}	-0,2705 ^{ns}	0,0463 ^{ns}
Chilopoda	0,2494 ^{ns}	0,2016 ^{ns}	-0,3466*	-0,2759 ^{ns}	0,2759 ^{ns}	-0,2051 ^{ns}	-0,2547 ^{ns}
Pseudoscorpionida	0,5447**	0,1592 ^{ns}	-0,5907**	-0,5588**	0,5588**	-0,5482**	-0,3113 ^{ns}
Coleoptera	0,3492*	0,4225*	-0,2759 ^{ns}	-0,5098**	0,5098**	-0,2671 ^{ns}	-0,4016*
Larva de Coleoptera	0,1282 ^{ns}	0,3320 ^{ns}	-0,1335 ^{ns}	-0,0984 ^{ns}	0,0984 ^{ns}	0,1476 ^{ns}	-0,3759*
Hemiptera	0,0863 ^{ns}	0,3057 ^{ns}	-0,1151 ^{ns}	-0,0917 ^{ns}	0,0917 ^{ns}	0,0719 ^{ns}	-0,2320 ^{ns}
Thysanoptera	0,1811 ^{ns}	0,0604 ^{ns}	-0,1811 ^{ns}	-0,0604 ^{ns}	0,0604 ^{ns}	0,0604 ^{ns}	-0,3019 ^{ns}

*Significativo em $p \leq 0,05$; ** significativo em $p \leq 0,01$; *** significativo em $p \leq 0,001$; ns, não significativo em $p > 0,05$.

Tabela 6: Correlações entre fauna e atributos da serapilheira.

	Carbono	Nitrogênio	Fósforo	Lignina	Polifenóis	Celulose	Carbono:N	Lignina:N	Polifenóis:N
Densidade Total	0,0767 ^{ns}	0,1359 ^{ns}	0,0139 ^{ns}	0,1394 ^{ns}	-0,0697 ^{ns}	0,1847 ^{ns}	0,0139 ^{ns}	0,0418 ^{ns}	-0,0697 ^{ns}
Riqueza	0,3801*	0,0384 ^{ns}	-0,2197 ^{ns}	0,4394*	0,1099 ^{ns}	0,1378 ^{ns}	0,3296 ^{ns}	0,2197 ^{ns}	0,1099 ^{ns}
Collembola	0,1604 ^{ns}	0,3871*	0,2371 ^{ns}	0,1081 ^{ns}	-0,2877 ^{ns}	0,4202*	-0,0610 ^{ns}	-0,0558 ^{ns}	-0,2877 ^{ns}
Formicidae	0,0349 ^{ns}	-0,1482 ^{ns}	-0,2406 ^{ns}	0,0540 ^{ns}	0,1081 ^{ns}	-0,2598 ^{ns}	0,0628 ^{ns}	-0,0558 ^{ns}	0,1081 ^{ns}
Diplopoda	0,3053 ^{ns}	-0,0872 ^{ns}	-0,0960 ^{ns}	0,1448 ^{ns}	0,0855 ^{ns}	0,1431 ^{ns}	0,2425 ^{ns}	0,0558 ^{ns}	0,0855 ^{ns}
Isopoda	0,3729*	-0,2433 ^{ns}	-0,5094**	0,4867**	0,3011 ^{ns}	0,0210 ^{ns}	0,4096*	0,2241 ^{ns}	0,3011 ^{ns}
Larva de Diptera	0,0192 ^{ns}	0,6748***	0,6190**	-0,3575*	-0,6347***	-0,0314 ^{ns}	-0,3766*	-0,5022***	-0,6347***
Oligochaeta	-0,0442 ^{ns}	-0,3608*	-0,3307 ^{ns}	0,0088 ^{ns}	0,2494 ^{ns}	-0,2405 ^{ns}	0,0902 ^{ns}	0,0071 ^{ns}	0,2494 ^{ns}
Pauropoda	-0,1231 ^{ns}	0,0527 ^{ns}	0,0035 ^{ns}	-0,0229 ^{ns}	-0,1107 ^{ns}	0,2725 ^{ns}	-0,1740 ^{ns}	-0,0984 ^{ns}	-0,1107 ^{ns}
Psocoptera	-0,0404 ^{ns}	0,2004 ^{ns}	0,2795 ^{ns}	-0,0932 ^{ns}	-0,1775 ^{ns}	0,2918 ^{ns}	-0,1178 ^{ns}	-0,0211 ^{ns}	-0,1775 ^{ns}
Symphyla	0,4807**	-0,3754*	-0,6702***	0,7368***	0,5351**	0,0158 ^{ns}	0,6579***	0,5404**	0,5351**
Araneae	0,1992 ^{ns}	-0,0210 ^{ns}	-0,1153 ^{ns}	0,2254 ^{ns}	0,1275 ^{ns}	-0,0821 ^{ns}	0,2324 ^{ns}	0,1852 ^{ns}	0,1275 ^{ns}
Chilopoda	0,0106 ^{ns}	0,1023 ^{ns}	-0,0600 ^{ns}	0,2452 ^{ns}	0,0794 ^{ns}	-0,1323 ^{ns}	0,1041 ^{ns}	0,2523 ^{ns}	0,0794 ^{ns}
Pseudoscorpionida	0,5193**	-0,3526*	-0,6281***	0,6983***	0,5088**	-0,0298 ^{ns}	0,6667***	0,5000**	0,5088**
Coleoptera	0,1988 ^{ns}	-0,0575 ^{ns}	-0,2371 ^{ns}	0,2616 ^{ns}	0,2005 ^{ns}	-0,4603**	0,2807 ^{ns}	0,1848 ^{ns}	0,2005 ^{ns}
Larva de Coleoptera	0,1744 ^{ns}	-0,1221 ^{ns}	-0,2650 ^{ns}	0,3243 ^{ns}	0,2319 ^{ns}	-0,0924 ^{ns}	0,2772 ^{ns}	0,2685 ^{ns}	0,2319 ^{ns}
Hemiptera	-0,1362 ^{ns}	-0,2016 ^{ns}	-0,0477 ^{ns}	0,1609 ^{ns}	0,2582 ^{ns}	0,3590*	0,1167 ^{ns}	0,4421*	0,2582 ^{ns}
Thysanoptera	-0,3283 ^{ns}	0,2736 ^{ns}	0,3036 ^{ns}	-0,2400 ^{ns}	-0,2436 ^{ns}	-0,1006 ^{ns}	-0,3424*	-0,1306 ^{ns}	-0,2436 ^{ns}

*Significativo em $p \leq 0,05$; ** significativo em $p \leq 0,01$; *** significativo em $p \leq 0,001$; ns, não significativo em $p > 0,05$.

DISCUSSÃO

Através da análise multivariada e de correlação, este estudo indicou que a estrutura da comunidade da fauna em sistemas agroflorestais de cacau é influenciada pelos atributos do solo e da serapilheira, de modo que cada variável analisada apresentou efeito diferente (positivo e/ou negativo) sobre os grupos da fauna. A análise de correlação de Spearman indicou que todas as variáveis analisadas no solo e na serapilheira podem afetar a estrutura da comunidade da fauna (Tabelas 5 e 6) e a AR reforçou apenas os resultados das correlações encontradas para os teores de nitrogênio e fósforo (solo e serapilheira) e para a relação polifenóis:N da serapilheira. Carbono, nitrogênio e fósforo são importantes fontes de energia para a fauna e o aumento destes nutrientes no solo é um dos benefícios promovidos pelos sistemas agroflorestais (Nair, 2008), que por sua vez pode favorecer a atividade biológica (Geissen e Brümmer, 1999).

De modo geral, atributos do solo como pH, soma de bases e teor de fósforo foram inversamente relacionados à maioria dos grupos da fauna (Tabela 5), sugerindo que os organismos do solo podem se adaptar a condições de acidez (Lavelle, 1995) e baixa fertilidade (Vohland e Schroth, 1999). Do mesmo modo, a densidade do solo afetou de forma negativa alguns grupos como, por exemplo, o grupo Pseudoscorpionida. A densidade do solo está relacionada à proporção de espaços de poros no solo, de modo que quanto maior a densidade, maior a compactação do solo e, conseqüentemente, menor a mobilidade e a atividade da fauna (Whalley et al., 1995). Por outro lado, o teor de argila apresentou uma significativa e positiva associação com Diplopoda, Isopoda, Psocoptera, Pseudoscorpionida e Coleoptera (Tabela 5). Embora os resultados tenham indicado que a argila fosse importante para a distribuição da maioria dos grupos da macrofauna, nenhuma correlação foi observada entre o grupo Oligochaeta (minhocas) e o conteúdo de argila, diferente do observado por Huerta et al. (2007), que encontraram correlação positiva entre a densidade de minhocas e o conteúdo de argila em sistemas naturais e manejados no sudeste do México.

Na serapilheira, o teor de fósforo, nitrogênio e a relação polifenóis:N foram os principais atributos correlacionados à fauna da serapilheira (Figura 1b), principalmente associados aos grupos larva de Diptera e Pseudoscorpionida (Tabela 6). Embora a serapilheira apresente uma considerável diversidade química, ela fornece habitat e alimento para a maioria dos grupos da fauna do solo. A composição química da serapilheira, ou seja, o teor de lignina, polifenóis, celulose, nitrogênio e outros nutrientes e os complexos formados entre lignina e N, polifenóis e N e carbono e N, afeta a taxa de decomposição da serapilheira (Palm and Sanchez, 1991) e, conseqüentemente, apresenta papel crucial na abundância e atividade da fauna através de seu efeito direto sobre a palatabilidade e indireto sobre o microclima (Tian et al., 1995, 1993, 1992), sendo por esta razão considerada fator determinante para a colonização e fragmentação da serapilheira pela fauna (Hättenschwiler and Vitousek, 2000; Swift et al., 1979).

Uma visão geral da comunidade da fauna mostra que a riqueza foi mais afetada pelos atributos que a densidade total de indivíduos. No solo, a riqueza foi afetada pelo nitrogênio, fósforo, pH, argila e densidade do solo (Tabela 5), enquanto na serapilheira a riqueza demonstrou estar relacionada ao carbono e à lignina (Tabela 6). Além disto, grupos menos numerosos como, por exemplo, Pseudoscorpionida, larva de Diptera e Symphyla, demonstraram estar correlacionados a um número maior de variáveis ambientais que grupos mais abundantes como Collembola e Formicidae, embora estes últimos sejam altamente responsivos a alterações do ambiente (Rusek, 1998; Folgarait, 1998).

Os resultados também sugeriram que o grupo predador Pseudoscorpionida poderia ser utilizado como um sensível indicador, pois vários atributos ambientais (nitrogênio, fósforo, carbono, argila, pH, densidade do solo, lignina e polifenóis) afetaram este grupo de diferentes modos (positivo ou negativo) (Tabelas 5 e 6). Outros grupos menos abundantes e relacionados ao sistema decompositor como larva de Diptera, Symphyla, Coleoptera e Diplopoda também demonstraram ser responsivos à alteração de vários atributos do solo e da serapilheira, sugerindo que os atributos do solo e da serapilheira são importantes para a determinação não só da biodiversidade do solo, como também da composição da cadeia alimentar do solo.

Neste sentido, a compreensão das características ambientais que regulam a biodiversidade de invertebrados do solo torna-se extremamente importante, pois

os organismos da fauna do solo são essenciais para o funcionamento do solo, atuando no processo de decomposição e ciclagem de nutrientes. Assim, qualquer mudança ocorrida nos atributos do solo ou serapilheira afeta provavelmente a fauna e, conseqüentemente, o desenvolvimento da comunidade vegetal. Por isso, a alteração da estrutura da comunidade ou de um determinado grupo da fauna tem sido utilizada como bioindicadora da qualidade do solo em resposta à intervenção ao meio ambiente (Aquino et al., 2008; Negrete-Yankelevich et al., 2007; Moço et al., 2005; Barros et al., 2003; Yamamoto et al., 2001).

CONCLUSÕES

Atributos do solo e da serapilheira sob sistemas agroflorestais de cacau afetam a distribuição da fauna do solo e, estes atributos são potenciais reguladores da colonização e atividade de invertebrados terrestres. Os resultados apontaram que componentes químicos relacionados à nutrição, acidez, palatabilidade e ao microclima são os principais fatores governando a abundância e a diversidade da fauna. A riqueza e os grupos menos abundantes foram os mais afetados pelos atributos. A distribuição e a estrutura da comunidade da fauna em sistemas agroflorestais de cacau parecem ser reguladas principalmente pelo teor de nitrogênio e fósforo do solo e da serapilheira e pela relação polifenóis:N na serapilheira.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Anderson, J. D., Ingram, J.S.I. (1996) *Tropical soil biology and fertility*. In: A handbook of methods. 2. ed. Wallingford, UK CAB International. 171p.

Aquino, A.M., Silva, R.F., Mercante F.M., Correia, M.E.F., Guimarães, M.F., Lavelle, P. (2008) Invertebrate soil macrofauna under different ground cover plants in the no-till system in the Cerrado. *European Journal of Soil Biology*, 44: 191–197.

Bandeira, A.G., Harada, A.Y. (1998) Densidade e distribuição vertical de macroinvertebrados em solos argilosos e arenosos na Amazônia Central. *Acta Amazônica*, 28 (2): 191-204.

Barros, E., Neves, A., Blanchart, E., Fernandes, E.C.M., Wandelli, E., Lavelle, P. (2003) Development of the soil macrofauna community under silvopastoral and agrisilvicultural systems in Amazonia. *Pedobiologia*, 47: 273–280.

Bataglia, O.C., Furlani, A.M.C., Teixeira, J.P.F., Furlani, P.R., Gallo, J.R. (1983) *Métodos de análise química de plantas*. Instituto Agronômico, Campinas. Boletim Técnico 78. 48 p.

Beer, J., Muschler, R., Kass, D., Somarriba, E. (1998) Shade management in coffee and cacao plantations. *Agroforestry Systems*, 38: 139–164.

Dauber, J., Hirsch, M., Simmering, D., Waldhardt, R., Otte, A., Wolters, V., (2003) Landscape structure as an indicator of biodiversity: matrix effects on species richness. *Agric. Ecosyst. Environ*, 2003: 1-9.

Defelipo, B.V., Ribeiro, A.C. (1981) *Análise química do solo*. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. Boletim de Extensão, 29. 17 p.

Delabie, J.H.C., Jahyny, B., Nascimento, I.C., Mariano, S.F., Lacau, S., Campiolo, S. et al. (2007) Contribution of cocoa plantations to the conservation of native ants (Insecta: Hymenoptera: Formicidae) with a special emphasis on the Atlantic forest fauna of southern Bahia, Brazil. *Biodiversity and Conservation*, 16: 2359–2384.

Eggleton, P., Bignell, D.E., Hauser, S., Dibog, L., Norgrove, L., Madong, B., (2002) Termite diversity across an anthropogenic disturbance gradient in the humid forest zone of West Africa. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 90: 189–202.

Embrapa (1997) Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. *Manual de Métodos de Análise de Solos*. 2. ed. Rev. Atual. Rio de Janeiro, SNLCS.

Folgarait, P.J. (1998) Ant biodiversity and its relationship to ecosystem functioning: a review. *Biodiversity and Conservation*, 7: 1221–1244.

Geissen, V., Brümmer, G.W. (1999) Decomposition rates and feeding activities of soil fauna in deciduous forest soils in relation to soil chemical parameters following liming and fertilization. *Biology and Fertility of Soils*, 29: 335–342.

Geissen, V., Guzman, G.M. (2006) Fertility of tropical soils under different land use systems-a case study of soils in Tabasco, México. *Applied Soil Ecology*, 31: 169–178.

Hättenschwiler, S., Vitousek, P. M. (2000) The role of polyphenols in terrestrial ecosystem nutrient cycling. *TREE*, 15: 238–243.

Hobbelen, P.H.F., Van den Brink, P.J., Hobbelen, J.F., Van Gestel, C.A.M. (2006) Effects of heavy metals on the structure and functioning of detritivore communities in a contaminated floodplain area. *Soil Biol. Biochem.*, 38: 1596–1607.

Holec, M., Frouz, J. (2005) Ant (Hymenoptera: Formicidae) communities in reclaimed and unreclaimed brown coal mining spoil dumps in the Czech Republic. *Pedobiologia*, 49: 345–357.

Huerta, E., Rodriguez-Olan, J., Evia-Castillo, I., Montejo-Meneses, E., Cruz-Mondragon, M., Garcia-Hernandez, R., Uribe, S. (2007) Earthworms and soil properties in Tabasco, Mexico. *European Journal of Soil Biology*, 43: S190-S195.

Isaac, M.E., Gordon, A.M., Thevathasan, N., Oppong, S.K., Quashie-Sam, J. (2005) Temporal changes in soil carbon and nitrogen in west African multistrata agroforestry systems: a chronosequence of pools and fluxes. *Agroforestry Systems*, 65: 23–31.

Isaac, M.E., Timmer, V.R., Quashie-Sam, S.J. (2007) Shade tree effects in an 8-year-old cocoa agroforestry system: biomass and nutrient diagnosis of *Theobroma cacao* by vector analysis. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 78: 155–165.

Laganière, J., Paré, D., Bradley, R.L. (2009) Linking the abundance of aspen with soil faunal communities and rates of belowground processes within single stands of mixed aspen–black spruce. *Applied Soil Ecology*, 41: 19–28.

Laossi, K.R., Barot, S., Carvalho, D., Desjardins, T., Lavelle, P., Martins, M., Mitja, D., Rendeiro, A.C., Rousseau, G., Sarrazina, M., Velasquez E., Grimaldi M. (2008) Effects of plant diversity on plant biomass production and soil macrofauna in Amazonian pastures. *Pedobiologia*, 51: 397–407.

Lavelle, P. (1996) Diversity of soil fauna and ecosystem function. *Biology International*, 33: 3–15.

Lavelle, P., Chauvel, A., Fragoso, C. (1995) Faunal activity in acid soils. In: Dare, R.A. et al (eds) *Plant Soil Interactions at Low pH*. Kluwer Academic Publishers: Netherlands. pp. 201-211.

Lavelle, P., Decaëns, T., Aubert, M., Barot, S., Blouin, M., Bureau, F., Margerie, P., Mora, P., Rossi, J.P. (2006) Soil invertebrates and ecosystem services. *European Journal of Soil Biology*, 42: S3–S15.

Leps, J., Smilauer, P. (2003) *Multivariate analysis of ecological data using Canoco*. Cambridge: Cambridge University Press. 282p.

McNeely, J.A., Schroth, G. (2006) Agroforestry and biodiversity conservation – traditional practices, present dynamics, and lessons for the future. *Biodiversity and Conservation*, 15: 549–554.

Moço, M.K.S., Gama-Rodrigues, E.F., Gama-Rodrigues, A.C., Correia, M.E.F. (2005) Caracterização da fauna edáfica em diferentes coberturas vegetais na região Norte Fluminense. *Rev. Bras. Ci. Solo*, 29: 555–564.

Moço, M.K.S., Gama-Rodrigues, E.F., Gama-Rodrigues, A.C., Machado, R.C.R., Baligar, V.C. (2009) Soil and litter fauna of cacao agroforestry systems in Bahia, Brazil. *Agroforestry Systems*, 76: 127–138.

Montagnini, F., Nair P.K.R. (2004) Carbon sequestration: An underexploited environmental benefit of agroforestry systems. *Agroforestry Systems*, 61: 281–295.

Nahmani, J., Lavelle, P. (2002) Effects of heavy metal pollution on soil macrofauna in a grassland of Northern France. *European Journal of Soil Biology*, 38: 297–300.

Nair, P.K.R. (2008) Agroecosystem management in the 21st century: It is time for a paradigm shift. *Journal of Tropical Agriculture*, 46: 1–12.

Negrete-Yankelevich, S., Fragoso, C., Newton, A.C., Heal, O.W. (2007) Successional changes in soil, litter and macroinvertebrate parameters following selective logging in a Mexican Cloud Forest. *Applied Soil Ecology*, 35: 340–355.

Norgrove L., Csuzdi, C., Forzi, F., Canet, M., Gounes, J. (2009) Shifts in soil faunal community structure in shaded cacao agroforests and consequences for ecosystem function in Central Africa. *Tropical Ecology*, 50: 71–78.

Oelbermann, M., Voroney, R.P., Thevathasan, N.V., Gordon, A.M., Kass, D.C.L., Schlönvoigt, A.M. (2006) Soil carbon dynamics and residue stabilization in a Costa Rican and southern Canadian alley cropping system. *Agroforestry Systems*, 68: 27–36.

Palm, C.A., Sanchez, P.A. (1991) Nitrogen release from the leaves of some tropical legumes as affected by their lignin and polyphenolic contents. *Soil Biol. Biochem.*, 23: 83–88.

Ramette, A. (2007) Multivariate analyses in microbial ecology. *FEMS Microbiology Ecology*, 62: 142–160.

Reich, P.B., Oleksyn, J., Modrzyński, J., Mrozinski, P., Hobbie, S.E., Eissenstat, D.M., Chorover, J., Chadwick, O.A., Hale, C.M., Tjoelker, M.G. (2005) Linking litter calcium, earthworms and soil properties: a common garden test with 14 tree species. *Ecology Letters*, 8: 811–818.

Reitsma, R., Parrish, J.D., McLarney, W. (2001) The role of cacao plantations in maintaining forest avian diversity in southeastern Costa Rica. *Agroforestry Systems*, 53: 185–193.

Rossi, J.P. (2003) The spatiotemporal pattern of a tropical earthworm species assemblage and its relationship with soil structure. *Pedobiologia*, 47: 497–503.

Rossi, J.P., Blanchart, E. (2005) Seasonal and land-use induced variations of soil macrofauna composition in the Western Ghats, southern India. *Soil Biology & Biochemistry*, 37: 1093–1104.

Rusek, J. (1998) Biodiversity of Collembola and their functional role in the ecosystem. *Biodiversity and Conservation*, 7: 1207–1219.

SAEG (2007) *Sistema para Análises Estatísticas*. Versão 9.1: Fundação Arthur Bernardes - UFV - Viçosa.

Saha, R., Tomar, J.M.S., Ghosh, P.K. (2007) Evaluation and selection of multipurpose tree for improving soil hydro-physical behaviour under hilly ecosystem of north east India. *Agroforestry Systems*, 69: 239–247.

Sileshi, G., Mafongoya, P.L. (2006) Variation in macrofaunal communities under contrasting land use systems in eastern Zâmbia. *Applied Soil Ecology*, 33: 49–60.

Smilauer, P. (2003) CanoDraw for Window version 4.1. University of South Bohemia, České Budejovice, Czech Republic. URL [http:// www.canodraw.com/](http://www.canodraw.com/)

Smiley, G.L., Kroschel, J. (2008) Temporal change in carbon stocks of cocoa–gliricidia agroforests in Central Sulawesi, Indonesia. *Agroforestry Systems*, 73: 219–231.

Swift, M.J., Heal, O.W., Anderson, J.M. (eds.) (1979) *Decomposition in Terrestrial Ecosystems*. Blackwell Scientific Publications, Oxford. 372 p.

Ter Braak, C.J.F. (1986) Canonical correspondence analysis: a new eigenvector technique for multivariate direct gradient analysis. *Ecology*, 67: 1167–1179.

Ter Braak, C.J.F., Smilauer, P. (2002) *Canoco for Window version 4.5*. Biometris – Plant Research International, Wageningen, The Netherlands.

Tian, G., Brussard, L., Kang, B.T. (1993) Biological effects of plant residues with contrasting chemical compositions under humid tropical conditions: effects on soil fauna. *Soil Biology & Biochemistry*, 25: 731–737.

Tian, G., Brussard, L., Kang, B.T. (1995) Breakdown of plant residues with contrasting chemical compositions under humid tropical conditions: effects of earthworms and millipedes. *Soil Biology & Biochemistry*, 27: 277–280.

Tian, G., Kang, B.T., Brussard, L. (1992) Biological effects of plant residues with contrasting chemical compositions under humid tropical conditions – decomposition and nutrient release. *Soil Biology & Biochemistry*, 24: 1051–1060.

Van den Brink, P.J., Van den Brink, N. W., Ter Braak C.J.F. (2003) Multivariate Analysis of ecotoxicological data using ordination: demonstrations of utility on the basis of various examples. *Australasian Journal of Ecotoxicology*, 9: 141–156.

Van Soest, P., Wine, R.H. (1968) Development of a comprehensive system of feed analysis and its applications to forages. *Journal of Associate Official Agronomy Chemistry*, 51: 780–785.

Vohland, K., Schroth, G. (1999) Distribution patterns of the litter macrofauna in agroforestry and monoculture plantations in central Amazonia as affected by plant species and management. *Applied Soil Ecology*, 13: 57–68.

Wardle, D.A., Lavelle, P. (1997) Linkages between soil biota, plant litter quality and decomposition. In: Cadisch, G., Giller, K.E., eds. *Driven by nature: Plant litter quality and decomposition*. 1ed. Cambridge: CAB International. p. 107–124.

Whalley, W.R., Dumitru, E., Dexter, A.R. (1995) Biological effects of soil compaction. *Soil & Tillage Research*, 35: 53–68.

Yamamoto, T., Nakagoshi, N., Touyama Y. (2001) Ecological study of pseudoscorpion fauna in the soil organic layer in managed and abandoned secondary forests. *Ecological Research*, 16: 593–601.

Yang, X., Chen, J. (2009) Plant litter quality influences the contribution of soil fauna to litter decomposition in humid tropical forests, southwestern China. *Soil Biol. Biochem.*, 41: 910–918.

Zhang, C.B., Wang, J., Qian, B.Y., Li, W.H. (2009) Effects of the invader *Solidago canadensis* on soil properties. *Applied Soil Ecology*, 43: 163–169.

3.2. INTER-RELAÇÃO ENTRE A FAUNA EDÁFICA E ATRIBUTOS DO SOLO E DA SERAPILHEIRA EM DIFERENTES COBERTURAS VEGETAIS NA REGIÃO NORTE FLUMINENSE

RESUMO

Os organismos do solo exercem inúmeros serviços essenciais para o funcionamento dos solos e por esta razão, torna-se importante conhecer quais são os fatores que mais afetam a estrutura e a distribuição das comunidades que habitam o sistema solo-serapilheira. Com o intuito de identificar quais as principais características ambientais que interferem na composição da comunidade de invertebrados terrestres, este trabalho avaliou as inter-relações entre a comunidade da fauna edáfica e atributos do solo (C, N, P, pH, soma de bases e argila) e da serapilheira (C, N, P, lignina, polifenóis e celulose, razões C:N, lignina:N e polifenóis:N) sob cinco diferentes coberturas vegetais (eucalipto, floresta não preservada, floresta preservada, capoeira, pasto) no Norte Fluminense. Para avaliar as correlações existentes foram aplicadas a análise de correlação de Spearman e análise multivariada de redundância. As análises de correlação de Spearman indicaram que todos os atributos analisados podem influenciar a distribuição da comunidade da fauna, enquanto a análise de redundância indicou que somente os teores de nitrogênio, fósforo e carbono e o

pH regularam a comunidade da fauna do solo, enquanto os teores de nitrogênio, carbono, lignina e polifenóis influenciaram a composição da comunidade da fauna da serapilheira sob as coberturas vegetais analisadas. Coleoptera e Hemiptera (solo) e Isoptera (serapilheira) foram os grupos mais responsivos. O estudo da inter-relação fauna x atributos contribuiu para o entendimento de como atributos do solo e da serapilheira relacionados à nutrição, acidez, palatabilidade e microclima afetam a colonização, sobrevivência e dinâmica da comunidade da fauna sob diferentes coberturas vegetais.

ABSTRACT

Soil organisms perform many services essential to the functioning of land and for this reason, it is important to know what the factors that most affect the structure and distribution of the communities that inhabit the soil-litter system. In order to identify the main environmental characteristics that affect the composition of the community of terrestrial invertebrates, the present work evaluated the interrelations between the fauna community and soil attributes (C, N, P, pH, sum of bases and clay) and litter attributes (C, N, P, lignin, polyphenol and cellulose, C: N, lignin: N and polyphenol: N ratio) under five different vegetation covers (eucalyptus, non-preserved forest, preserved forest, capoeira and pasture) in the north part of Rio de Janeiro State (RJ). To evaluate the existing correlations, the Spearman's correlation analysis and the multivariate redundancy analysis were applied. The Spearman correlation analysis indicated that all attributes can influence the distribution of the community fauna, while the redundancy analysis indicated that only the nitrogen, phosphorus and carbon content and pH regulated fauna community of soil, while the nitrogen, carbon, lignin and polyphenols content influenced the community composition of litter fauna in the vegetation covers considered. Hemiptera and Coleoptera (soil) and Isoptera (litter) were the groups most responsive. The study of the interrelationship fauna x attributes contributed to the understanding of how soil and litter attributes related to nutrition, acidity,

palatability and microclimate affect colonization, survival and dynamics of fauna community under different vegetation covers.

INTRODUÇÃO

Os organismos do solo são amplamente reconhecidos como mediadores do funcionamento do solo em ecossistemas tropicais. A importância da comunidade da fauna do solo para a sustentabilidade e produtividade nestes ecossistemas envolve sua participação na dinâmica da matéria orgânica, ciclagem de nutrientes, estoque de carbono, fluxo de energia, infiltração e estoque de água no solo (Brussaard, 1998; Decaëns et al., 2006; Lavelle et al., 2006), sendo estes organismos importantes agentes para a formação e a manutenção das características biológicas, químicas e físicas de solos tropicais. Conseqüentemente, fatores que afetam diretamente a estrutura e atividade da comunidade de invertebrados do solo, também afetarão o funcionamento dos solos. De fato, alteração nos atributos do solo ou da serapilheira advinda de ações humanas como intervenção na vegetação, aplicação de fertilizantes e herbicidas etc. causará modificações na estrutura da comunidade da fauna do solo (Reinecke et al., 2002; Alves et al., 2008; Laossi et al., 2008; Van Eekeren et al., 2009).

Em fragmentos da Mata Atlântica Montana na região Norte Fluminense, os impactos da atividade humana são basicamente ocasionados pelo corte e queima da vegetação, criação e ampliação de pastagens e expansão de monoculturas de cana e de café (Gama-Rodrigues e May, 2001). Muitos trabalhos têm sido realizados nesta região envolvendo análises da quantidade e qualidade da serapilheira e seus efeitos sobre a atividade e biomassa microbiana, assim como o estabelecimento da fauna do solo (Monteiro e Gama-Rodrigues, 2004; Costa et al., 2005; Cunha et al., 2005; Moço et al., 2005; Ndaw et al., 2009). No entanto, ainda faltam estudos que inter-relacionem a comunidade de invertebrados com os atributos do solo e da serapilheira neste ecossistema.

As diferentes práticas de manejo têm sido discriminadas estatisticamente pela aplicação da análise multivariada (Sena et al., 2002). Este método leva em consideração a correlação entre muitas variáveis medidas simultaneamente, permitindo a extração de uma quantidade maior de informação (Poppi e Sena, 2000). Entre os métodos multivariados, encontra-se a análise de redundância (AR), que se baseia na análise de componentes principais. A AR é um método de ordenação que permite a análise conjunta de dados de espécies ou grupos (variáveis resposta) e dados ambientais (variáveis explicativas). Nesta análise, a variação da comunidade é diretamente relacionada à variação ambiental (Ter Braak, 1986).

Como a fauna do solo é sensível a alterações ambientais, sua resposta pode ser utilizada como indicador de impactos causados por mudanças no uso do solo. No entanto, também é importante analisar qual o efeito de fatores intrínsecos aos atributos físico-químicos do ambiente sobre os invertebrados terrestres. Neste sentido, este trabalho testou a hipótese de que a composição da comunidade da fauna está relacionada aos atributos do solo e da serapilheira. Vendrame et al. (2009) observaram efeito negativo dos teores de Ca + Mg trocáveis sobre a densidade relativa da macrofauna edáfica em solos sob Cerrado. Em sistemas naturais e manejados, Huerta et al. (2007) encontraram correlação positiva entre a densidade de minhocas e o conteúdo de argila de solos tropicais. Geissen e Guzman (2006) verificaram que a matéria orgânica e a acidez do solo foram os atributos que mais influenciaram a biota do solo em solos tropicais sob diferentes sistemas de uso. Assim, este estudo teve por objetivo avaliar as correlações existentes entre a comunidade da fauna edáfica e atributos do solo (C, N, P, pH, soma de bases e argila) e da serapilheira (C, N, P, lignina, polifenóis e celulose, razões C:N, lignina:N e polifenóis:N) sob diferentes coberturas vegetais na região Norte Fluminense, assim como, identificar quais os principais atributos que interferem na composição e distribuição da fauna do solo nestes sítios.

MATERIAL E MÉTODOS

A área estudada pertence ao Parque Estadual do Desengano que abrange, aproximadamente, 25.000 ha, situado entre os municípios de Santa Maria Madalena, São Fidélis e Campos dos Goytacazes, na região Norte Fluminense. As regiões fitoecológicas predominantes são as de floresta ombrófila densa, formações montana e submontana (Radambrasil, 1983). O clima da região é do tipo Cwa de acordo com a classificação de Köppen e a precipitação média anual é de 1.440 mm (Cunha, 2002). Neste trabalho foram selecionadas cinco coberturas vegetais: Povoamento de eucalipto (*Corymbia citriodora*), com aproximadamente 18 anos de idade e altitude de 300 m; Floresta natural não preservada (FNP), com intervenção antrópica (extrativismo) e altitude de 980 m; Floresta natural preservada (FP), altitude de 1100m; Capoeira em regeneração, predominando as espécies jacatirão (*Miconia cinnamomifolia*) e quaresmeira (*Tibouchina mutabilis*), após cultivo de café, com aproximadamente 40 anos de idade e altitude de 850 m; Pasto formado por *Brachiaria decumbens*, com cinco anos de idade, presença esporádica de animais, em início de regeneração, com presença de algumas espécies florestais (quaresmeira, por exemplo) e altitude de 850 m (Figura 1). O povoamento de eucalipto, FNP, Capoeira e Pasto localizam-se sob solos classificados como Argissolo Vermelho-Amarelo e, FP sob solo classificado como Cambissolo Hístico.

Neste estudo foram utilizadas amostras coletadas em fevereiro e julho de 2001. A avaliação da fauna procedeu-se a partir de cinco amostras de solo (0-5 cm) e cinco amostras de serapilheira coletadas aleatoriamente através de um quadrado de 0,25 m x 0,25 m, de onde se extraiu a fauna com o auxílio de funis de Berlese-Tülgreen. A fauna foi identificada em grandes grupos taxonômicos (classe, ordem ou família) e quantificada quanto ao número de indivíduos por m² (densidade) e número de grupos identificados (riqueza) em solo+serapilheira por área. Nesta avaliação, apenas os grupos de fauna com densidade igual ou superior a 1% do número total de indivíduos foram caracterizados. Maiores detalhes da caracterização da fauna edáfica tais como, distribuição entre épocas

de coleta, compartimentos (solo e serapilheira), coberturas vegetais e grupos funcionais estão descritos em Moço et al. (2005).

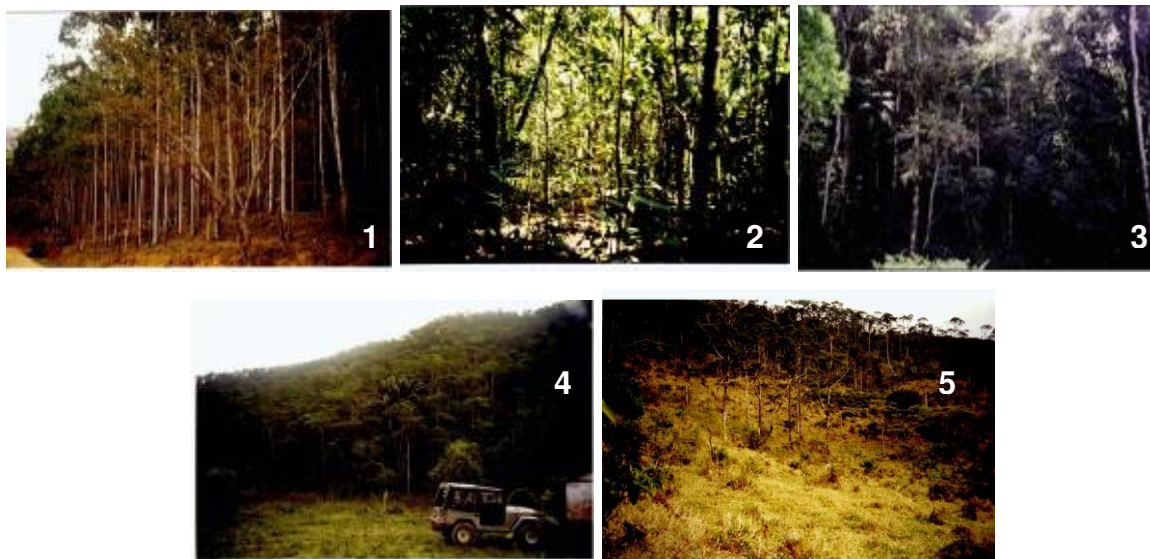


Figura 1: Local de estudo. (1) Eucalipto; (2) Floresta não preservada; (3) Floresta preservada; (4) Capoeira; (5) Pasto.

A caracterização dos atributos do solo e serapilheira sob as coberturas vegetais é apresentada na Tabela 1. Para as análises, quatro amostras compostas (provenientes de 10 simples) por cobertura foram obtidas na camada de 0-5 cm do solo com auxílio de um trado e quatro amostras simples de serapilheira por cobertura foram coletadas utilizando-se um quadrado de 0,25 m x 0,25 m. Nas amostras de solo foram determinados os teores de P e K (extraíveis por Mehlich-1), Ca, Mg e Al (trocáveis, por KCl 1 mol L⁻¹), segundo Defelipo e Ribeiro (1981) e pH (em água). C orgânico foi verificado após oxidação utilizando dicromato de potássio (K₂Cr₂O₇), N total foi determinado pelo método Kjeldahl. O teor de argila foi determinado de acordo com a Embrapa (1997). Soma de bases refere-se à soma dos teores de Ca, Mg e K. Nas amostras de serapilheira determinou-se C orgânico por oxidação com K₂Cr₂O₇ (Anderson e Ingram, 1996) e N total pelo método de Kjeldahl, conforme descrito por Bataglia et al. (1983). Lignina e celulose foram determinadas usando o método de fibra em detergente

ácido (Van Soest e Wine, 1968), e os teores de polifenóis totais foram determinados pelo método de Anderson e Ingram (1996). A partir dos resultados, foram calculadas as razões carbono:N, lignina:N e polifenóis:N.

A relação entre a fauna e os atributos do solo e da serapilheira foi analisada através de coeficientes de correlações de Spearman e análise multivariada de redundância (AR). Análises de correlação de Spearman entre comunidade da fauna e atributos do solo e serapilheira foram realizadas com o programa Saeg (2007).

Tabela 1: Caracterização do solo e da serapilheira sob diferentes coberturas vegetais.

	Eucalipto	Floresta não preservada	Floresta Preservada	Capoeira	Pasto
Solo					
Carbono (g kg ⁻¹)	22,42	37,61	32,29	25,69	28,49
Nitrogênio (g kg ⁻¹)	1,35	3,37	3,72	2,12	2,33
Fósforo (mg dm ⁻³)	2,62	6,79	3,78	0,97	2,20
Soma de Bases (cmol _c dm ⁻³)	20,48	9,76	6,21	8,46	26,64
pH	4,29	3,93	3,75	3,89	4,40
Argila (g kg ⁻¹)	250	220	90	180	160
Serapilheira					
Carbono (g kg ⁻¹)	436,85	385,84	421,42	358,59	276,66
Nitrogênio (g kg ⁻¹)	7,05	17,31	21,33	15,39	10,33
Fósforo (g kg ⁻¹)	0,22	0,48	0,54	0,45	0,52
Lignina (g kg ⁻¹)	373,27	423,46	400,83	253,32	519,78
Polifenóis (g kg ⁻¹)	11,84	3,90	4,17	2,21	3,09
Celulose (g kg ⁻¹)	356,26	197,75	216,65	262,78	204,46
Relação C:N	61,99	22,29	19,76	23,30	26,78
Relação Lignina:N	52,97	24,46	18,79	16,46	50,31
Rel. Polifenóis:N	1,68	0,23	0,20	0,14	0,30

Para verificar se a composição da comunidade da fauna foi afetada pelos atributos do solo e da serapilheira e determinar quais atributos mais influenciaram, foi realizada a AR utilizando-se o programa Canoco for Windows (versão 4.5) (Ter Braak e Smilauer, 2002). Esta análise consiste em sintetizar, em um gráfico com eixos perpendiculares, a variação multidimensional de um conjunto de variáveis, apresentando a variação na composição de grupos taxonômicos com base nas variáveis ambientais (atributos do solo e serapilheira) e distribuindo os grupos taxonômicos, aproximadamente, em função de cada variável ambiental (Ter Braak, 1986). Os gráficos foram executados com o auxílio do programa CanoDraw (Smilauer, 2003).

Na AR, a comunidade da fauna (densidade total, riqueza e grupos da fauna com densidade superior ou igual a 1% do total de indivíduos) foi usada em um arquivo denominado "espécies" e atributos do solo (C, N, P, pH, soma de bases e argila) e da serapilheira (C, N, P, lignina, polifenóis e celulose, razões C:N, lignina:N e polifenóis:N) em arquivos chamados "variáveis ambientais". Os dados do solo e da serapilheira foram analisados separadamente. Na análise, a tabela de dados de "espécies" foi centrada e padronizada por "espécie" que foram log transformados anteriormente. Primeiramente, todas as variáveis ambientais foram incluídas em uma AR e sua significância foi testada através do testes de permutação de Monte Carlo (499 permutações) pelo processo de *forward selection* (limita o número de variáveis ambientais que melhor explica a variação na comunidade) (Van den Brink et al, 2003). Os resultados do processo de *forward selection* foram resumidos em um quadro intitulado "efeito condicional" que mostra as variáveis ambientais a fim de sua inclusão no modelo, juntamente com a variância adicional que cada variável explica no momento em que foi incluída (λ -A) e a significância da variável (p) (Ter Braak e Smilauer, 2002). A hipótese nula (H_0) do teste pressupõe que as variáveis são independentes. Somente as variáveis ambientais com efeito condicional significativo foram incluídas na AR.

Em geral, no diagrama de ordenação da AR, setas apontando em mesma direção significam que as variáveis estão correlacionadas positivamente, setas apontando em direção oposta indicam que as variáveis se correlacionam negativamente e setas perpendiculares não estão correlacionadas. Além disso, o comprimento da seta é uma medida de importância da propriedade do solo ou da

serapilheira em explicar as variações da comunidade da fauna (Leps e Smilauer, 2003; Zhang et al., 2009).

RESULTADOS

Foram encontrados 4411 indivíduos da fauna do solo e da serapilheira sob as coberturas estudadas, sendo distribuídos em 30 grupos taxonômicos. 927 indivíduos m^{-2} e 9 grupos da fauna foram observados em média por cobertura (Tabela 2). Formicidae foi o grupo dominante, representando 41% do total de indivíduos encontrados, enquanto Hemiptera representou 13%, Coleoptera (adulto e larva) 11% e Collembola 10% do total de indivíduos. Isoptera e larva de Diptera constituíram 4% do número de indivíduo total, separadamente. Os grupos Chilopoda, Oligochaeta, Blattodea, larva de Lepidoptera, Heteroptera, Orthoptera, Psocoptera, Thysanura, Diplura, Gastropoda, larva de Formicidae, Trichoptera, Dermaptera, Embioptera, larva de Neuroptera representaram densidade inferior a 1% e foram agrupados como “outros invertebrados” (Tabela 2).

Através dos coeficientes de correlação de Spearman observou-se que atributos do solo (carbono, nitrogênio, fósforo, pH, soma de bases e argila) afetaram de diferentes modos (positivo ou negativo) a comunidade da fauna do solo (Tabela 3). A densidade total e a riqueza de grupos da fauna foram afetadas significativamente e positivamente pelos teores de carbono, nitrogênio e fósforo ($p < 0,001$) e, negativamente pelo pH e soma de bases ($p < 0,05$). Os grupos Coleoptera (larva e adulto) e Hemiptera foram significativamente correlacionados com todos os atributos do solo analisados ($p < 0,05$), observando-se correlação positiva com carbono, nitrogênio e fósforo e, correlação negativa com pH, soma de bases e argila (Tabela 3). Diplopoda, larva de Diptera e Symphyla apresentaram resultados semelhantes aos dos grupos anteriormente citados, com exceção do teor de argila que não foi correlacionado com estes grupos.

Tabela 2: Número de indivíduos e de grupos taxonômicos da meso e macrofauna (\pm erro padrão) sob diferentes coberturas vegetais.

	Eucalipto	Floresta não preservada	Floresta Preservada	Capoeira	Pasto	Média	%
<i>Grupos taxonômicos (Indivíduos m⁻²)</i>							
Araneae	10 \pm 3,2	21 \pm 6,2	18 \pm 4,9	11 \pm 4,2	2 \pm 1,6	13 \pm 2,2	1
Coleoptera	3 \pm 1,5	50 \pm 8,8	222 \pm 28,8	34 \pm 6,1	24 \pm 6,4	71 \pm 11,0	8
Collembola	14 \pm 4,3	253 \pm 86,6	78 \pm 26,2	49 \pm 19,5	74 \pm 37,9	96 \pm 22,6	10
Diplopoda	2 \pm 1,6	9 \pm 2,5	34 \pm 12,1	2 \pm 1,6	0 \pm 0,0	10 \pm 3,1	1
Diptera adulto	13 \pm 6,6	25 \pm 7,5	12 \pm 4,2	6 \pm 2,9	3 \pm 2,1	13 \pm 2,6	1
Formicidae	17 \pm 46,0	463 \pm 111,2	482 \pm 139,7	464 \pm 165,9	246 \pm 81,9	380 \pm 56,4	41
Hemiptera	5 \pm 2,0	62 \pm 20,8	421 \pm 148,3	51 \pm 12,9	40 \pm 26,3	124 \pm 37,0	13
Hymenoptera	20 \pm 14,3	34 \pm 11,7	27 \pm 17,0	13 \pm 7,2	16 \pm 10,9	23 \pm 5,9	2
Isopoda	4 \pm 3,3	45 \pm 11,8	4 \pm 2,3	6 \pm 2,9	0 \pm 0,0	13 \pm 3,3	1
Isoptera	118 \pm 38,3	43 \pm 27,0	4 \pm 4,0	11 \pm 9,6	0 \pm 0,0	39 \pm 11,5	4
Larva de Coleoptera	4 \pm 2,0	21 \pm 6,8	71 \pm 16,7	9 \pm 3,6	5 \pm 2,4	24 \pm 4,9	3
Larva de Diptera	23 \pm 6,8	47 \pm 11,8	50 \pm 11,1	34 \pm 7,9	5 \pm 2,4	34 \pm 4,5	4
Pseudoscorpionida	24 \pm 8,9	1 \pm 0,8	14 \pm 4,2	0 \pm 0,0	0 \pm 0,0	9 \pm 2,4	1
Symphyla	10 \pm 5,9	30 \pm 13,4	15 \pm 3,4	1 \pm 0,8	6 \pm 4,9	13 \pm 3,5	1
Thysanoptera	4 \pm 2,0	32 \pm 12,6	19 \pm 11,2	1 \pm 10,5	5 \pm 2,4	17 \pm 4,5	2
Outros invertebrados	22 \pm 5,7	61 \pm 10,5	71 \pm 14,2	32 \pm 8,2	59 \pm 23,5	48 \pm 5,5	5
<i>Densidade total (Indivíduos m⁻²)</i>							
	454 \pm 70,1	1194 \pm 141,0	1542 \pm 322,7	739 \pm 202,1	482 \pm 117,9	927 \pm 101,2	100
<i>Nº Grupos da fauna</i>							
	7 \pm 0,6	11 \pm 0,6	11 \pm 0,7	7 \pm 0,7	6 \pm 0,7	9 \pm 0,4	

Tabela 3: Correlações entre fauna e atributos do solo.

	Carbono	Nitrogênio	Fósforo	pH	Soma de bases	Argila
Densidade total	0,7164***	0,6816***	0,6990***	-0,3398*	-0,3398*	-0,1603 ^{ns}
Riqueza	0,7976***	0,7590***	0,6759***	-0,3785*	-0,3785*	-0,2530 ^{ns}
Araneae	0,2261 ^{ns}	0,1335 ^{ns}	0,5470**	0,0022 ^{ns}	0,0022 ^{ns}	0,3231 ^{ns}
Coleoptera adulto	0,7501***	0,8645***	0,4749**	-0,5854**	-0,5854**	-0,6164***
Collembola	0,6342***	0,4767**	0,5272**	0,0584	0,0584	0,0720 ^{ns}
Diplopoda	0,7455***	0,6567***	0,7455***	-0,3786*	-0,3786*	-0,1005 ^{ns}
Diptera adulto	0,2135 ^{ns}	0,4271*	0,0804 ^{ns}	-0,1608 ^{ns}	-0,1608 ^{ns}	-0,4271*
Formicidae	0,4133*	0,2858 ^{ns}	0,5041**	-0,0888 ^{ns}	-0,0888 ^{ns}	0,1468 ^{ns}
Hemiptera	0,6129***	0,7215***	0,3918*	-0,6090***	-0,6090***	-0,5663**
Hymenoptera	0,3417*	0,1432 ^{ns}	0,1657 ^{ns}	0,1637 ^{ns}	0,1637 ^{ns}	0,1350 ^{ns}
Isopoda	0,2683 ^{ns}	0,1470 ^{ns}	0,3122 ^{ns}	-0,1522 ^{ns}	-0,1522 ^{ns}	0,0955 ^{ns}
Isoptera	-0,3338*	-0,4252*	0,0744 ^{ns}	0,0425 ^{ns}	0,0425 ^{ns}	0,4507**
Larva de Coleoptera	0,4950**	0,6567***	0,3952*	-0,5948**	-0,5948**	-0,5250**
Larva de Diptera	0,3945*	0,3320*	0,3965*	-0,5274**	-0,5274**	-0,1523 ^{ns}
Pseudoscorpionida	-0,0098 ^{ns}	0,2294 ^{ns}	0,1757 ^{ns}	-0,2270 ^{ns}	-0,2270 ^{ns}	-0,2294 ^{ns}
Symphyla	0,5015**	0,3926*	0,7337***	-0,2918 ^{ns}	-0,2918 ^{ns}	0,1459 ^{ns}
Thysanoptera	0,1422 ^{ns}	0,0711 ^{ns}	0,0662 ^{ns}	0,1521 ^{ns}	0,1521 ^{ns}	0,0711 ^{ns}

*Significativo em $p \leq 0,05$; ** significativo em $p \leq 0,01$; *** significativo em $p \leq 0,001$; ns, não significativo em $p > 0,05$.

A análise de correlação de Spearman também demonstrou que a comunidade da fauna da serapilheira foi influenciada pelos atributos da serapilheira (Tabela 4). A densidade total e a riqueza de grupos da serapilheira correlacionaram-se significativamente e positivamente com o teor de nitrogênio ($p < 0,01$). Houve correlação positiva também entre a riqueza de grupos e o teor de carbono ($p < 0,05$). Os teores de nitrogênio e fósforo correlacionaram positivamente com os grupos Coleoptera adulto ($p < 0,01$), Collembola ($p < 0,05$), Diplopoda ($p < 0,01$), Hemiptera ($p < 0,01$) e larva de Coleoptera ($p < 0,01$) (Tabela 4). As razões carbono:N, lignina:N e polifenóis:N correlacionaram negativamente com a densidade total ($p < 0,01$) e com os grupos Araneae ($p < 0,01$), Coleoptera adulto ($p < 0,001$), Collembola ($p < 0,01$), Formicidae ($p < 0,01$), Hemiptera ($p < 0,001$), larva de Coleoptera ($p < 0,05$), larva de Diptera ($p < 0,05$) e Thysanoptera ($p < 0,01$). Somente o grupo Isoptera correlacionou-se positivamente com as três razões ($p < 0,01$).

O uso de técnica multivariada reforçou os resultados das relações entre fauna e atributos dos compartimentos. No solo, o primeiro eixo da análise de redundância (AR) explicou 28,5% da variância acumulada para os dados de grupos taxonômicos, enquanto o segundo eixo explicou 9,8%. As correlações grupos taxonômicos–ambiente observadas para o primeiro e o segundo eixo foram 0,929 e 0,863, respectivamente (Tabela 5). A significância dos atributos para discriminar a distribuição da comunidade da fauna foi analisada através da aplicação do teste de Monte Carlo pela opção de *forward selection* na AR (Tabela 6). O teste de Monte Carlo revelou que no solo, os teores de nitrogênio, fósforo e carbono, além do pH explicaram significativamente a variação da comunidade da fauna do solo ($p < 0,05$) e, por esta razão, foram incluídos no diagrama de ordenação da AR (Figura 1a). O teor de nitrogênio explicou a maior parte da variação dos dados (27%), seguido pelo fósforo (10%). Carbono e pH explicaram juntos 10% da variação.

Nos diagramas de ordenação da Figura 1, setas apontando em mesma direção indicam correlação positiva entre as variáveis analisadas, em direção oposta indicam correlação negativa e setas perpendicularmente posicionadas indicam que as variáveis não são correlacionadas (Leps e Smilauer, 2003).

Tabela 4: Correlações entre fauna e atributos da serapilheira.

	Carbono	Nitrogênio	Fósforo	Lignina	Polifenóis	Celulose	Carbono:N	Lignina:N	Polifen.:N
Densidade total	0,1660 ^{ns}	0,6100 ^{**}	0,2432 ^{ns}	-0,2471 ^{ns}	-0,0232 ^{ns}	-0,0734 ^{ns}	-0,6100 ^{****}	-0,5483 ^{**}	-0,5483 ^{**}
Riqueza	0,4232 [*]	0,6937 ^{****}	0,3169 ^{ns}	0,0193 ^{ns}	0,3382 [*]	-0,2937 ^{ns}	-0,6937 ^{****}	-0,2686 ^{ns}	-0,2686 ^{ns}
Araneae	0,2505 ^{ns}	0,4853 ^{**}	0,0372 ^{ns}	-0,3542 [*]	0,0215 ^{ns}	0,0215 ^{ns}	-0,4853 ^{**}	-0,4756 ^{**}	-0,4756 ^{**}
Coleoptera adulto	-0,1237 ^{ns}	0,7657 ^{****}	0,5936 ^{**}	-0,0367 ^{ns}	-0,2340 ^{ns}	-0,2572 ^{ns}	-0,7657 ^{****}	-0,6941 ^{****}	-0,6941 ^{****}
Collembola	-0,1897 ^{ns}	0,5943 ^{**}	0,3426 [*]	0,1452 ^{ns}	-0,2613 ^{ns}	-0,5052 ^{**}	-0,5943 ^{**}	-0,4588 ^{**}	-0,4588 ^{**}
Diplopoda	0,3662 [*]	0,6496 ^{****}	0,4709 ^{**}	-0,0305 ^{ns}	0,3139 ^{ns}	-0,0959 ^{ns}	-0,6496 ^{****}	-0,3139 ^{ns}	-0,3139 ^{ns}
Diptera adulto	0,3640 [*]	0,2270 ^{ns}	-0,1761 ^{ns}	-0,0450 ^{ns}	0,2701 ^{ns}	-0,1918 ^{ns}	-0,2270 ^{ns}	0,0196 ^{ns}	0,0196 ^{ns}
Formicidae	-0,1526 ^{ns}	0,4461 ^{**}	0,2820 ^{ns}	-0,1294 ^{ns}	-0,2762 ^{ns}	-0,1120 ^{ns}	-0,4461 ^{**}	-0,5272 ^{**}	-0,5272 ^{**}
Hemiptera	-0,1013 ^{ns}	0,7264 ^{****}	0,5803 ^{**}	-0,0935 ^{ns}	-0,2181 ^{ns}	-0,1636 ^{ns}	-0,7264 ^{****}	-0,6933 ^{****}	-0,6933 ^{****}
Hymenoptera	0,0963 ^{ns}	0,1258 ^{ns}	-0,0118 ^{ns}	0,0786 ^{ns}	0,0884 ^{ns}	-0,1808 ^{ns}	-0,1258 ^{ns}	0,0216 ^{ns}	0,0216 ^{ns}
Isopoda	0,038 ^{ns}	0,3818 [*]	-0,1064 ^{ns}	-0,0376 ^{ns}	-0,1189 ^{ns}	-0,3943 [*]	-0,3818 [*]	-0,2817 ^{ns}	-0,2817 ^{ns}
Isoptera	0,6339 ^{****}	-0,5242 ^{**}	-0,6339 ^{****}	-0,2072 ^{ns}	0,6339 ^{****}	0,4145 [*]	0,5242 ^{**}	0,6339 ^{****}	0,6339 ^{****}
L. de Coleoptera	0,2095 ^{ns}	0,6739 ^{****}	0,5059 ^{**}	0,0573 ^{ns}	0,1700 ^{ns}	-0,2332 ^{ns}	-0,6739 ^{****}	-0,3597 [*]	-0,3597 [*]
Larva de Diptera	0,3581 [*]	0,4355 [*]	0,0310 ^{ns}	-0,5188 ^{**}	0,1026 ^{ns}	0,27103 ^{ns}	-0,4355 [*]	-0,4975 ^{**}	-0,4975 ^{**}
Pseudoscorpionid	0,7063 ^{****}	-0,2298 ^{ns}	-0,1681 ^{ns}	-0,1702 ^{ns}	0,7552 ^{****}	0,4872 [*]	0,2298 ^{ns}	0,4616 ^{**}	0,4616 ^{**}
Symphyla	0,4806 ^{**}	0,3640 [*]	0,2613 ^{ns}	-0,0140 ^{ns}	0,4806 ^{**}	0,0280 ^{ns}	-0,3640 [*]	-0,0140 ^{ns}	-0,0140 ^{ns}
Thysanoptera	0,0705 ^{ns}	0,5597 ^{**}	0,2035 ^{ns}	-0,0176 ^{ns}	-0,0509 ^{ns}	-0,3288 [*]	-0,5597 ^{**}	-0,3953 ^{**}	-0,3953 ^{**}

*Significativo em $p \leq 0,05$; ** significativo em $p \leq 0,01$; *** significativo em $p \leq 0,001$; **** significativo em $p > 0,05$; ns, não significativo em $p > 0,05$.

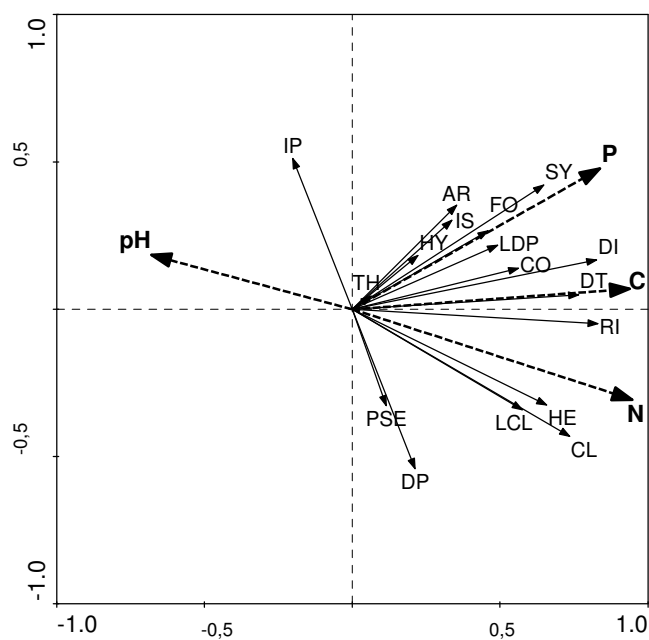
Tabela 5: Resultados da análise de redundância. Dados referem-se aos eixos 1 e 2 plotados no diagrama (Figura 1).

Eixos	Solo			Serapilheira		
	1	2	Total variância	1	2	Total variância
Autovalores	0,285	0,098	1,000	0,308	0,121	1,000
Correlações grupos-ambiente	0,929	0,863		0,911	0,912	
Porcentagem de variâncias acumuladas						
de dados de grupos taxonômicos	28,5	38,3		30,8	42,5	
de relações grupos-ambiente	60,9	81,8		57,4	79,3	
Soma de todos autovalores			1,000			1,000
Soma de todos autovalores canônicos			0,468			0,536

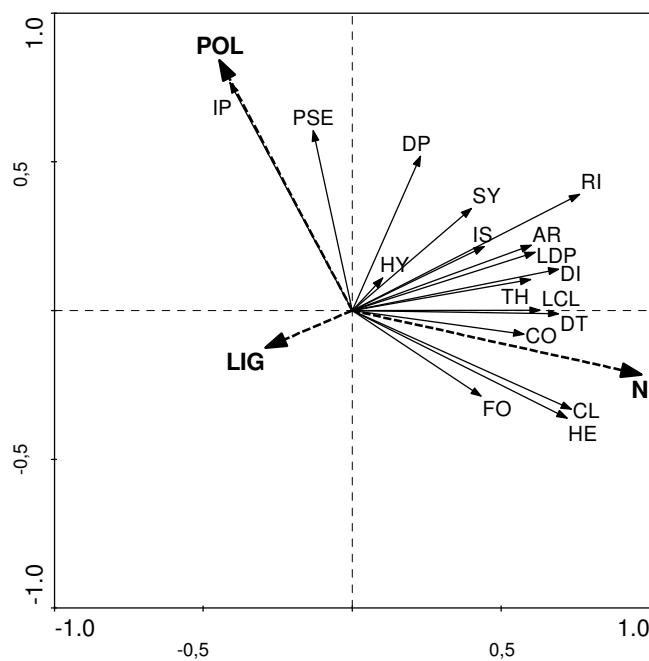
Tabela 6: Sumário da análise de redundância.

Variáveis	Lambda A	<i>p</i>	<i>F</i>
Solo			
Nitrogênio	0,27	0,002	8,32
Fósforo	0,10	0,002	3,73
Carbono	0,05	0,022	1,84
pH	0,05	0,054	1,70
Serapilheira			
Nitrogênio	0,30	0,002	9,70
Polifenóis	0,12	0,002	4,54
Carbono	0,04	0,074	1,67
Lignina	0,08	0,004	3,28

Lambda A - variância adicional explicada pela variável, tendo em conta as variáveis já incluídas (efeito condicional); *p* - nível de significância do teste de permutação de Monte Carlo; *F* - valor do teste estatístico.



(a) Solo



(b) Serapilheira

Figura 1: Diagrama de ordenação produzido pela análise de redundância (AR). O gráfico apresenta a correlação entre fauna (linhas cheias) e atributos (linhas tracejadas).

C – carbono, N – nitrogênio, P – fósforo, LIG – lignina, RI – riqueza, DT – densidade total, AR – Araneae, CL – Coleoptera, CO – Collembola, DI - Diplopoda, DP – Diptera adulto, FO – Formicidae, HE – Hemiptera, HY – Hymenoptera, IS – Isopoda, IP – Isoptera, LCL – larva de Coleoptera, LDP – larva de Diptera, PSE – Pseudoscorpionida, SY – Symphyla, TH – Thysanoptera.

Neste sentido, no solo a AR mostrou correlação positiva entre a densidade total e a riqueza e os teores de carbono, nitrogênio e fósforo (Figura 1a). A maioria dos grupos da fauna também apresentou forte correlação com estes atributos como, por exemplo, Collembola, Diplopoda e Symphyla. Por outro lado, correlação negativa ocorreu entre o pH e a densidade total e a riqueza e, conseqüentemente, entre a maior parte dos grupos da fauna encontrados no solo, principalmente, Coleoptera (larva e adulto) e Hemiptera.

Na serapilheira, os resultados da AR entre os grupos taxonômicos da fauna e os atributos da serapilheira mostraram que o eixo 1 e o eixo 2 explicaram, respectivamente, 30,8% e 12,1% da variação dos dados de grupos taxonômicos, sendo as correlações grupos taxonômicos – ambiente observadas para estes eixos iguais a 0,911 (eixo 1) e 0,912 (eixo 2) (Tabela 5). Após a aplicação do teste de Monte Carlo pela opção de *forward selection*, os resultados demonstraram que os teores de nitrogênio, polifenóis e lignina explicaram significativamente a distribuição da comunidade da fauna da serapilheira em nível de $p < 0,01$ (Tabela 6) e, conseqüentemente, estas variáveis foram aplicadas no diagrama da AR (Figura 1b). O teor de nitrogênio explicou 30% da variação dos dados, polifenóis 12% e lignina 8%. No diagrama de ordenação da Figura 1b, observa-se que a maioria dos grupos da fauna correlacionou positivamente com os teores de nitrogênio da serapilheira, incluindo a densidade total e a riqueza. Ao contrário, o teor de lignina apresentou correlação negativa com a maioria dos grupos da fauna, principalmente com aranhas e larvas de díptera. Já sobre o teor de polifenóis foi observada correlação positiva entre os grupos Isoptera e Pseudoscorpionida, por outro lado correlação negativa com grupos tais quais, Formicidae, Coleoptera (adulto) e Hemiptera (Figura 1b).

DISCUSSÃO

Alterações no clima, cobertura vegetal, qualidade e quantidade de matéria orgânica podem influenciar a composição da comunidade da fauna do solo

(Lavelle, 1996). Os resultados deste trabalho sugerem que também os atributos do solo e da serapilheira têm efeito sobre a comunidade de invertebrados, onde foi observado que a composição da comunidade da fauna baseada em sua densidade total e riqueza de grupos podem ser reguladas principalmente pelos teores de carbono, nitrogênio e fósforo sob diferentes coberturas vegetais (Figura 1).

Tanto a análise de correlação de Spearman como a análise multivariada de redundância (AR) demonstraram que fauna e atributos do ambiente em que vivem estão correlacionados positiva e/ou negativamente. No solo, a AR revelou que a maior parte da variação da distribuição dos grupos taxonômicos pode ser explicada pelos atributos do solo analisados, uma vez que 81,8% da variância acumulada para as relações grupos taxonômicos–ambiente foram explicadas pelos dois eixos (Tabela 5). Estes resultados foram reforçados pelo teste de Monte Carlo, que revelou correlações significativas entre a comunidade da fauna e os atributos: nitrogênio, fósforo, carbono e pH. A relação positiva entre invertebrados do solo e teores de nutrientes como, nitrogênio, fósforo e carbono, deve-se provavelmente ao fato destes nutrientes constituírem importante fonte energética. Ao contrário, a comunidade da fauna demonstrou-se inversamente relacionada ao pH do solo, assim como também foi verificado para a soma de bases através dos coeficientes de Spearman (Tabela 3). De fato, as coberturas vegetais eucalipto e pasto apresentaram maior valor de pH e soma de bases (Tabela 1), porém menor número de indivíduos da fauna (Tabela 2). Estes resultados indicam que organismos do solo são capazes de se adaptar a solos ácidos (Lavelle, 1995) e com baixa fertilidade (Vohland e Schroth, 1999). Vendrame et al. (2009) observaram efeito negativo dos teores de Ca + Mg trocáveis sobre os grupos taxonômicos e sobre a densidade relativa da macrofauna edáfica em latossolos do Cerrado sob pastagem.

O grupo Formicidae foi o grupo mais abundante, porém no solo não demonstrou ser tão responsivo em comparação a grupos menos abundantes como Coleoptera (larva e adulto) e Hemiptera. Os coleópteros constituem um grupo diverso com diferentes hábitos alimentares entre suas espécies, enquanto os hemípteros caracterizam-se como fitófagos. Estes grupos indicaram serem os mais sensíveis no solo, pois se correlacionaram com todos os atributos analisados neste compartimento. De acordo com Vendrame et al. (2009), as

populações de larva de Coleoptera e Hemiptera poderiam ser influenciadas principalmente pelo nível de C no solo. Outros estudos têm revelado que características químicas e físicas do solo podem interferir na densidade e na diversidade dos coleópteros tanto em sua fase larval (Merlim et al., 2006) como em sua fase adulta (Marinoni e Ganho, 2006).

Quanto à serapilheira, embora os coeficientes de correlação de Spearman sugerissem que todos os atributos analisados possam afetar a composição da fauna da serapilheira, incluindo-se as relações C:N, lignina:N e polifenóis:N (Tabela 4), de acordo com o teste de Monte Carlo gerado pela AR, somente os teores de nitrogênio, polifenóis e lignina afetaram significativamente a composição da comunidade da fauna da serapilheira (Tabela 6). Além disso, o valor da porcentagem da variância acumulada para as relações grupos taxonômicos–ambiente em ambos os eixos (79,3%) resultante da AR, indicou que existe uma boa relação entre as propriedades da serapilheira analisadas e a distribuição dos grupos da fauna (Tabela 5).

A maioria dos grupos encontrados (Araneae, larva e adulto de Coleoptera, Collembola, Diplopoda, Formicidae, Hemiptera, Isopoda, larva de Diptera e Thysanoptera) foram influenciados negativamente pelas relações C:N, lignina:N e polifenóis:N. Neste contexto, as coberturas vegetais com maiores valores de relações C:N, lignina:N e polifenóis:N (eucalipto e pasto) apresentaram densidades de indivíduos inferiores entre a maioria dos grupos encontrados, além da densidade total (Tabela 2). Isto ocorreu provavelmente porque, de modo geral, serapilheiras de baixa qualidade (alto teor de lignina e polifenol; alta relação C:N) são evitadas pelos organismos do solo. O teor de lignina, polifenóis, celulose, nitrogênio e os complexos formados entre lignina e N, polifenóis e N e carbono e N, apresenta efeito direto sobre a palatabilidade da fauna e indireto sobre o microclima, o que afeta sua abundância e atividade. Ashwini et al. (2005) observaram que miriápodes da espécie *Arthrosphaera magna* apresentaram maior ingestão da liteira de areca (uma palmeira asiática) com menor teor polifenólico, seguido pelas literias de banana, acácia e caju, sendo preferida também a liteiras parcialmente decomposta a folhas recém-caídas.

Por outro lado, o grupo Isoptera se correlacionou positivamente com as relações C:N, lignina:N e polifenóis:N. Outra observação interessante quanto aos cupins, envolve sua correlação com a maioria dos atributos analisados na

serapilheira (com exceção do teor de lignina) (Tabela 4). Os cupins são caracterizados como insetos sociais e são reconhecidos pela sua contribuição para a manutenção da dinâmica dos processos de decomposição nas florestas tropicais, em função particularmente da diversidade de seus hábitos alimentares e da biomassa de sua população (Bandeira e Vasconcellos, 2002; Vasconcellos et al., 2008). Tian et al. (1993) observaram que os cupins preferiram coberturas de decomposição lenta e com maior efeito sobre o microclima a coberturas de alta qualidade (leguminosas). De fato, os cupins podem estar relacionados à serapilheira de baixa qualidade e a áreas de baixa diversidade de plantas como pastos degradados, por exemplo, (Benito et al., 2004; Vendrame et al., 2009). Eggleton et al. (2002) verificaram que uma perturbação de intensidade leve ou moderada não teria efeito sobre a população de cupins envolvidos na decomposição da serapilheira em um gradiente de perturbação antropogênica em floresta úmida da África Central e Ocidental.

CONCLUSÕES

A comunidade da fauna do solo e da serapilheira mostrou-se influenciada pelos atributos que constituem o solo e a serapilheira das diferentes coberturas vegetais estudadas. Os resultados indicaram que a composição da comunidade da fauna do solo parece ser regulada principalmente pelos teores de nitrogênio, fósforo e carbono e o pH do solo, enquanto a comunidade da fauna da serapilheira parece ser influenciada, sobretudo pelos teores de nitrogênio, carbono, lignina e polifenóis da serapilheira. Coleoptera e Hemiptera (solo) e Isoptera (serapilheira) foram os grupos mais responsivos. O estudo da inter-relação fauna x atributos contribuiu para o entendimento de como atributos do solo e da serapilheira relacionados à nutrição, acidez, palatabilidade e microclima afetam a colonização, sobrevivência e dinâmica da comunidade da fauna sob diferentes coberturas vegetais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alves, M.V., Santos, J.C.P., Góis, D.T, Alberton, J.V., Baretta, D. (2008) Macrofauna do solo influenciada pelo uso de fertilizantes químicos e dejetos de suínos no oeste do estado de Santa Catarina. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 32: 589-598.

Anderson, J. D., Ingram, J. S. I. (1996) *Tropical soil biology and fertility*. In: A handbook of methods. 2. ed. Wallingford, UK CAB International, 171p.

Ashwini, K.M., Sridhar, K.R. (2005) Leaf litter preference and conversion by a saprophagous tropical pill millipede, *Arthrosphaera magna* Attems. *Pedobiologia*, 49: 307-316.

Bandeira, A.G., Vasconcellos, A. (2002) A quantitative survey of termites in a gradient of disturbed highland forest in Northeastern Brazil (Isoptera). *Sociobiology*, 39: 429-439.

Bataglia, O.C., Furlani, A.M.C., Teixeira, J.P.F., Furlani, P.R., Gallo, J.R. (1983) *Métodos de análise química de plantas*. Instituto Agronômico, Campinas. Boletim Técnico 78. 48 p.

Benito, N.P., Brossard, M., Pasini, A., Guimarães, M.F., Bobillier, B. (2004) Transformations of soil macroinvertebrate populations after native vegetation conversion to pasture cultivation (Brazilian Cerrado). *European Journal of Soil Biology*, 40: 147-154.

Brussaard, L. (1998) Soil fauna, guilds, functional groups and ecosystem processes. *Applied Soil Ecology*, 9: 123-135.

Costa, G.S., Gama-Rodrigues, A.C., Cunha, G.M. (2005) Decomposição e liberação de nutrientes da serapilheira foliar em povoamentos de *Eucalyptus grandis* no Norte Fluminense. *Rev. Árvore*, 29: 563–570.

Cunha, G.M. (2002) *Ciclagem de nutrientes em florestas montanas e em Eucalyptus citriodora na região norte fluminense*. Campos dos Goytacazes, Universidade Estadual do Norte Fluminense. 122p. (Tese de Doutorado)

Cunha, G.M., Gama-Rodrigues, A.C., Costa, G.S. (2005) Ciclagem de nutrientes em *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden no Norte Fluminense. *Rev. Árvore*, 29: 353–363.

Decaëns, T., Jiménez, J.J., Gioiac, C., Measey, G.J., Lavelle, P. (2006) The values of soil animals for conservation biology. *European Journal of Soil Biology*, 42: S23–S38.

Defelipo, B.V., Ribeiro, A.C. (1981) *Análise química do solo*. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. Boletim de Extensão, 29. 17p.

Eggleton, P., Bignell, D.E., Hauser, S., Dibog, L., Norgrove, L., Birang, M. (2002) Termite diversity across an anthropogenic disturbance gradient in the humid forest zone of West Africa. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 90: 189-202.

Embrapa (1997) Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. *Manual de Métodos de Análise de Solos*. 2. ed. Rev. Atual. Rio de Janeiro, SNLCS.

Gama-Rodrigues, A.C., May, P. (2001) Saf e o Planejamento do Uso da Terra: Experiência na região Norte Fluminense-RJ. In: Macedo, J.L.V., Wandelli, E.V., Silva J. (Eds.) *Anais do III Congresso Brasileiro de Sistemas Agroflorestais. Sistemas agroflorestais: Manejando a biodiversidade e compondo a paisagem rural*, Manaus. pp. 130–145.

Geissen, V., Guzman, G.M. (2006) Fertility of tropical soils under different land use systems-a case study of soils in Tabasco, México. *Applied Soil Ecology*, 31: 169–178.

Huerta, E., Rodriguez-Olan, J., Evia-Castillo, I., Montejo-Meneses, E., Cruz-Mondragon, M., Garcia-Hernandez, R., Uribe, S. (2007) Earthworms and soil properties in Tabasco, Mexico. *European Journal of Soil Biology*, 43: S190-S195.

Laossi, K.-R., Barot, S., Carvalho, D., Desjardins, T., Lavelle, P., Martins, M., Mitja, D., Rendeiro, A.C., Rousseau, G, Sarrazina, M., Velásquez, E., Grimaldi, M. (2008) Effects of plant diversity on plant biomass production and soil macrofauna in Amazonian pastures. *Pedobiologia*, 51: 397- 407.

Lavelle, P. (1996) Diversity of soil fauna and ecosystem function. *Biology International*, 33: 3–15.

Lavelle, P., Chauvel, A., Fragoso, C. (1995) Faunal activity in acid soils. In: Dare, R.A. et al (eds) *Plant soil interactions at low pH*. Kluwer Academic Publishers: Netherlands. p. 201-211.

Lavelle, P., Decaëns, T., Aubert, M., Barot, S., Blouin, M., Bureau, F., Margerie, P., Mora, P., Rossi, J.P. (2006) Soil invertebrates and ecosystem services. *European Journal of Soil Biology*, 42: S3–S15.

Leps J. e Smilauer P. (2003) *Multivariate analysis of ecological data using Canoco*. Cambridge: Cambridge University Press. 282p.

Marinoni, R.C., Ganho, N.G. (2006) A diversidade diferencial beta de Coleoptera (Insecta) em uma paisagem antropizada do Bioma Araucária. *Revista Brasileira de Entomologia*, 50: 64-71.

Merlim, A.O., Aquino, A.M., Cardoso, E.J.B.N. (2006) Larvas de Coleoptera em ecossistemas de araucária no Parque Estadual de Campos do Jordão, SP. *Ciência Rural*, 36: 1303-1306.

Moço, M.K.S., Gama-Rodrigues, E.F., Gama-Rodrigues, A.C., Correia, M.E.F. (2005) Caracterização da fauna edáfica em diferentes coberturas vegetais na região norte fluminense. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 29: 555-564.

Monteiro, M.T., Gama-Rodrigues, E.F. (2004) Carbono, nitrogênio e atividade da biomassa microbiana em diferentes estruturas de serapilheira de uma floresta natural. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 28: 819-826.

Ndaw, S.M., Gama-Rodrigues, A.C., Gama-Rodrigues, E.F., Sales, K.R.N., Rosado, A.S. (2009) Relationships between bacterial diversity, microbial biomass, and litter quality in soils under different plant covers in northern Rio de Janeiro State, Brazil. *Can. J. Microbiol.*, 55: 1–7.

Poppi, R.J., Sena, M.M. (2000) Métodos quimiométricos na análise integrada de dados. In Friguetto, R.T.S., Valarini, P.J. (coords.) *Indicadores biológicos e bioquímicos da qualidade do solo: manual técnico*. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente. p. 19-36.

Radambrasil (1983) Mapa Exploratório de Solo. *Levantamento de Recursos Naturais*. Folhas SF 23/24. Rio de Janeiro, Ministério das Minas e Energia. v.32.

Reinecke, A.J, Helling, B., Louw, K., Fourie, J., Reinecke, S.A. (2002) The impact of different herbicides and cover crops on soil biological activity in vineyards in the Western Cape, South Africa. *Pedobiologia*, 46: 475–484.

SAEG (2007) *Sistema para Análises Estatísticas*, Versão 9.1: Fundação Arthur Bernardes - UFV - Viçosa.

Sena, M.M., Friguetto, R.T.S., Valarini, P.J., Tokeshi, H., Poppi, R.J. (2002) Discrimination of management effects on soil parameters by using principal component analysis: a multivariate analysis case study. *Soil and Tillage Research*, 67: 171–181.

Smilauer, P. (2003) *Canodraw for Window version 4.1*. University of South Bohemia, České Budejovice, Czech Republic. URL [http:// www.canodraw.com/](http://www.canodraw.com/)

Ter Braak C.F. (1986) Canonical correspondence analysis: a new eigenvector technique for multivariate direct gradient analysis. *Ecology*, 67 (5): 1167-1179.

Ter Braak, C.J.F., Smilauer, P. (2002) *Canoco for Window version 4.5*. Biometris – Plant Research International, Wageningen, The Netherlands.

Tian, G., Brussard, L., Kang, B.T. (1993) Biological effects of plant residues with contrasting chemical compositions under humid tropical conditions: effects on soil fauna. *Soil Biology & Biochemistry*, 25: 731–737.

Van Eekeren, N., van Lier, D., Vries, F., Rutgers, M., Goede, R., Brussaard, L., (2009) A mixture of grass and clover combines the positive effects of both plant species on selected soil biota. *Applied Soil Ecology*, 42: 254–263.

Van Soest, P., Wine, R.H. (1968) Development of a comprehensive system of feed analysis and its applications to forages. *Journal of Associate Official Agronomy Chemistry*, 51: 780–785.

Vasconcellos, A., Bandeira, A.G., Almeida, W.O., Moura, F.M.S. (2008) Térmitas construtores de ninhos conspícuos em duas áreas de Mata Atlântica com diferentes níveis de perturbação antrópica. *Neotropical Entomology*, 37: 15-19.

Vendrame, P.R.S., Marchão, R.L., Brito, O.R., Guimarães, M.F., Becquer, T. (2009) Relationship between macrofauna, mineralogy and exchangeable calcium and magnesium in Cerrado Oxisols under pasture. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 44: 996-1001.

Vohland, K., Schroth, G. (1999) Distribution patterns of the litter macrofauna in agroforestry and monoculture plantations in central Amazonia as affected by plant species and management. *Applied Soil Ecology*, 13: 57–68.

Zhang, C.B., Wang, J., Qian, B.Y., Li, W.H. (2009) Effects of the invader *Solidago canadensis* on soil properties. *Applied Soil Ecology*, 43: 163–169.

3.3. MICRORGANISMOS E FAUNA EM DIFERENTES CAMADAS DA SERAPILHEIRA E SOLO SOB SISTEMA AGROFLORESTAL DE CACAU

RESUMO

Este trabalho teve por objetivo caracterizar as comunidades de microrganismos e de fauna entre as camadas da serapilheira e o solo sob um sistema agroflorestal de cacau sombreado com eritrina localizado em Itajuípe, no sul da Bahia. Bactérias, fungos e microrganismos celulolíticos foram estimados em meios de cultura específicos. Nematóides foram determinados pelo método de flutuação centrífuga em solução de sacarose. Meso e macrofauna foram determinados após extração em funis de Berlese. O número de UFC de microrganismos alcançou valores de $88,7 \times 10^7$ de bactérias, $21,4 \times 10^5$ de fungos e $11,8 \times 10^3$ de celulolíticos em serapilheira e solo. No total foram registrados 3128 nematóides e 8650 indivíduos da meso e macrofauna distribuídos entre 24 grupos taxonômicos sob solo e serapilheira. A distribuição de microrganismos e de invertebrados terrestres variou entre as camadas L e F+H da serapilheira e solo sob sistema agroflorestal de cacau: microrganismos celulolíticos foram mais abundantes na camada L da serapilheira, enquanto fungos, bactérias e invertebrados foram mais numerosos na camada F+H, indicando que as características do microambiente (grau de decomposição, teor de umidade, nutrientes etc.) podem afetar a

colonização e atividade dos organismos no sistema solo-serapilheira. Os resultados sugeriram que as camadas L e F+H da serapilheira e solo sob sistema agroflorestal de cacau diferem em sua influência sobre os organismos.

ABSTRACT

This study aimed to characterize the microbial communities and fauna between the layers of litter and soil in a cacao agroforestry system shaded with erythrite, located in Itajuípe, southern Bahia. Bacteria, fungi and cellulolytic microorganisms were estimated at specific culture media. Nematodes were determined by centrifugal flotation in sucrose solution. Meso and macrofauna were determined after extraction in Berlese funnels. The number of UFC of microorganisms recorded values of $88,7 \times 10^7$ bacteria, $21,4 \times 10^5$ fungi and $11,8 \times 10^3$ cellulolytic in litter and soil. A total of 3128 nematodes were recorded and 8650 individuals of meso and macrofauna distributed among 24 taxonomic groups in soil and litter. The distribution of microorganisms and terrestrial invertebrates varied between layers L and F+H of litter and soil under cacao agroforestry system: cellulolytic microorganisms were more abundant in the layer L of litter, fungi, bacteria and invertebrates were more numerous in layer F+H, indicating that the characteristics of the microenvironment (degree of decomposition, moisture, nutrients content, etc..) can affect the colonization and activity of organisms in the soil-litter system. The results suggested that the layers L and F+H of litter and soil under cacao agroforestry system differ in their influence on organisms.

INTRODUÇÃO

As características físico-químicas do sistema solo-serapilheira são determinadas em grande parte por uma variedade de organismos (microrganismos e animais invertebrados), com diferentes tamanhos e metabolismos, que são responsáveis por inúmeras funções no ecossistema terrestre. Estes organismos estão envolvidos nos processos relacionados à decomposição da matéria orgânica e ciclagem de nutrientes, processos fundamentais para o crescimento vegetal. Enquanto as bactérias e os fungos permitem a síntese e a degradação de compostos orgânicos através de seu complexo enzimático, os invertebrados do solo constituem em principais reguladores da atividade microbiana e modificadores da estrutura do solo (macroinvertebrados) (Lavelle et al., 1992).

A proliferação e a atividade de microrganismos e invertebrados no sistema solo-serapilheira dependem de fatores ambientais tais como, umidade, temperatura, ventilação, acidez, luminosidade e disponibilidade de nutrientes, além das próprias características do habitat (Schumacher e Hoppe, 1999). Neste sentido, a serapilheira pode ser considerada a porção mais atuante sobre os organismos devido à sua variabilidade tanto entre ecossistemas como dentro de um mesmo ecossistema (Correia e Andrade, 2008).

A heterogeneidade vertical tanto da serapilheira como do solo pode impulsionar a variabilidade espacial da colonização e da atividade dos organismos no sistema solo-serapilheira. Abordagens sobre a variabilidade espacial na distribuição de organismos do solo podem trazer novas perspectivas no que diz respeito à compreensão dos fatores que mantêm e regulam a biodiversidade do solo (Ettema e Wardle, 2002), assim como contribuem para a compreensão de como a distribuição espacial dos organismos influencia nos serviços que eles realizam no ecossistema.

A heterogeneidade vertical tanto da serapilheira como do solo pode impulsionar a variabilidade espacial da colonização e da atividade dos organismos no sistema solo-serapilheira. Abordagens sobre a variabilidade espacial na distribuição de organismos do solo pode trazer novas perspectivas no que diz

respeito à compreensão dos fatores que mantêm e regulam a biodiversidade do solo (Ettema e Wardle, 2002), assim como contribui para a compreensão de como a distribuição espacial dos organismos influencia nos serviços que eles realizam no ecossistema.

Este trabalho testou a hipótese de que a distribuição da comunidade de microrganismos e invertebrados terrestres se diferencia entre as camadas da serapilheira e o solo. Deste modo, o trabalho objetivou caracterizar as comunidades de microrganismos e de fauna entre as camadas da serapilheira (L e F+H) e solo, assim como verificar quais os grupos são mais atuantes entre os diferentes estágios de decomposição da serapilheira sob um sistema agroflorestal de cacau.

MATERIAL E MÉTODOS

Local de estudo e Coleta do Material

O estudo foi realizado em um sistema agroflorestal de cacau (*Theobroma cacao*) em uma estação de pesquisa da CEPLAC (Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira), com o apoio da MARS Center of Cocoa Science, localizada no município de Itajuípe, no sul da Bahia. O clima da região é quente e úmido e a precipitação média anual é de 1500 mm bem distribuídos ao longo do ano. A área estudada consiste em um sistema de cacau sombreado por eritrina (*Erythrina* sp.) de aproximadamente 30 anos de idade (Figura 1). O solo é caracterizado como Cambissolo, com textura franco-argilo-arenosa.

As amostragens foram realizadas em uma área de 800 m², em junho de 2009, na serapilheira (coletadas em função do grau de decomposição da mesma), sendo divididas em duas camadas: camada L, constituída por folhas recém-caídas e não fragmentadas; camada F+H, composta por fragmentos de fácil identificação e material orgânico fino menor que 2 mm (Garay et al., 2003) e no solo (profundidade de 0-5 cm).

Foram coletadas cinco amostras de cada camada da serapilheira utilizando-se um gabarito de 0,25 x 0,25 m e cinco amostras compostas do solo (provenientes de 10 amostras simples coletadas aleatoriamente dentro das áreas) para análise dos microrganismos e nematóides. Estas amostras foram condicionadas em sacos plásticos, transportadas em caixa de isopor com gelo e armazenadas sob refrigeração (4°C) até o momento das análises.

Na amostragem da mesofauna e macrofauna foram coletadas cinco amostras simples de solo (até a profundidade de 5 cm) e de serapilheira (duas camadas em diferentes estágios de decomposição), utilizando-se um gabarito de 0,25 x 0,25 m, de acordo com Moço et al. (2005) (Figura 2).



Figura 1: Local de estudo.



Figura 2: Amostragem da mesofauna e macrofauna. (1) Camada L da serapilheira; (2) Camada F+H da serapilheira; (3) Solo.

Microrganismos

A avaliação da população microbiana foi realizada de acordo com o procedimento de diluição em série (Wollum, 1982), utilizando-se meio de Bunt e Rovira (1955), pH 7,2, para contagem de bactérias, e meio de Martin (1950), pH 5,6, acrescido de 60 mg mL⁻¹ de penicilina, 40 mg mL⁻¹ de estreptomicina e 70 mg mL⁻¹ de rosa bengala, para contagem de fungos. Para a estimativa dos microrganismos celulolíticos foi utilizado o meio Celulose–Asparagina–Agar (Valarini, 2000).

10g de solo e 5g de serapilheira foram separados para estimar o tamanho populacional da comunidade microbiana. As amostras foram suspensas em 9 mL de solução NaCl (0,85%) estéril. Alíquotas (0,1 ml) de diferentes diluições (10⁻⁴ a 10⁻⁷ para bactérias; 10⁻³ a 10⁻⁵ para fungos; 10⁻¹ e 10⁻² celulolíticos) foram distribuídas sobre as placas de Petri (triplicata) contendo meio de cultura específico. Distribuiu-se o inóculo com o auxílio da alça de Drigalski. As placas foram incubadas à temperatura de 28°C.

A contagem das colônias de microrganismos foi realizada com o auxílio de um aparelho contador de colônias durante cinco a quinze dias até a estabilização do crescimento das colônias, que ocorreu aos 3 dias para fungos, 2 dias para bactérias e 15 dias para celulolíticos, sendo consideradas as leituras registradas neste período. Para o cálculo, foram selecionadas as diluições que forneceram valores até 300 colônias/placa para bactérias (10⁻⁴ solo e 10⁻⁵ serapilheira); 100 colônias/placa para fungos (10⁻³ solo e serapilheira); e 100 colônias/placa para celulolíticos (10⁻¹ solo e serapilheira). O número de microrganismos foi expresso em UFC (unidades formadoras de colônias) por grama de material (serapilheira ou solo) de acordo com a seguinte fórmula:

$$\text{N}^{\circ} \text{ UFC g}^{-1} \text{ serapilheira ou solo} = \frac{\text{N}^{\circ} \text{ de colônias} \times (1/\text{fator de diluição}) \times (1/\text{alíquota})}{\text{Peso do solo seco}}$$

Nematofauna

Os nematóides foram extraídos pelo método de flutuação centrífuga em solução de sacarose, onde foi retirada de cada amostra uma alíquota de 100 cm³ de solução de solo que passou por uma peneira de malha de 20 mesh e, em

seguida, sobre outra peneira de 500 mesh. O líquido resultante foi recolhido em um becker de 100 ml, sendo necessário 40 ml da suspensão final, que foi centrifugado a uma velocidade de 2000 rpm por 5 minutos, após a retirada do líquido sobrenadante foi adicionada a solução de sacarose para ser centrifugado por 1 minuto a uma velocidade de 1750 rpm. Após uma lavagem para retirada da solução de sacarose, cerca de 20 ml da suspensão foi levada para observação, contagem e identificação em microscópio (Jenkins, 1964).

Os nematóides foram identificados em função de seus hábitos alimentares, ou seja, em micófagos (que se alimentam de fungos), bacteriófagos (que se alimentam de bactérias), fitoparasitas (que se alimentam de plantas) e predadores (que se alimentam de outros nematóides ou de outros animais de tamanho igual).

Mesofauna e Macrofauna

As amostras de solo ou serapilheira foram transferidas para um funil da bateria de extratores Berlese-Tüllgren, onde se realizou a extração da fauna, tendo-se em sua base um recipiente de vidro contendo cerca de 150 ml de uma solução de ácido acetilsalisílico (2%) para recolher os animais. Após a transferência de todas as amostras para o funil, a bateria de extratores foi vedada completamente. Acima dos funis, lâmpadas de 25 W ficaram acesas e assim permaneceram por todo o período de extração (15 dias). O conteúdo de cada frasco proveniente dos extratores foi analisado individualmente, em placas de Petri, sob lupa binocular (Moço et al., 2005). Os animais presentes em cada amostra de serapilheira e solo foram identificados e quantificados em nível de grandes grupos taxonômicos (classe, ordem ou família) e, estes foram divididos em grupos funcionais (micrófagos, insetos sociais, saprófagos, predadores, fitófagos e outros - aqueles que apresentam mais de um tipo de hábito alimentar e por isso não podem ser separados em nível de ordem).

A partir dos resultados obtidos foram calculados a densidade (número de indivíduo por m²), a riqueza da fauna (número de grupos identificados), o índice de diversidade de Shannon e o índice de equitabilidade de Pielou. O índice de diversidade de Shannon (H) leva em consideração a riqueza de grupos e sua abundância relativa, sendo definido por: $H = - \sum p_i \cdot \log p_i$, onde: $p_i = n_i/N$; n_i = valor de importância de cada grupo; N = total dos valores de importância. O índice

de uniformidade de Pielou (e) é um índice de eqüitabilidade ou uniformidade, onde a uniformidade se refere ao padrão de distribuição dos indivíduos entre os grupos, sendo definido por: $e = H / \log S$, onde: H = Índice de Shannon; S = Número de grupos (Odum, 1988).

Análises químicas e físicas da serapilheira e do solo

As amostras de solo foram destorroadas e passadas em peneira de 2 mm de malha, homogeneizadas e secas ao ar. As amostras de serapilheira foram secas em estufa com circulação forçada de ar à temperatura de 60 °C e calculou-se a quantidade acumulada em $g\ m^{-2}$.

Nas amostras de solo foram determinados os teores de P e K (extraíveis por Mehlich-1), Ca, Mg e Al (troçáveis por KCl 1 mol L^{-1}), segundo Defelipo e Ribeiro (1981) e pH (em água). A análise granulométrica e a densidade do solo foram realizadas conforme o método da Embrapa (1997). Nas amostras de serapilheira foram determinados os teores de K (fotometria de chama), de P (colorimetricamente, pelo método da vitamina C, modificado por Braga e Defelipo (1974), de Ca e Mg (espectrofotometria de absorção atômica), após digestão nítrico-perclórica (Bataglia et al., 1983). O nitrogênio do solo e da serapilheira foi determinado pelo método de Kjeldahl, conforme descrito em Embrapa (1997). O carbono orgânico do solo e da serapilheira foi determinado por oxidação com dicromato de potássio 1,25 mol L^{-1} em meio ácido (Anderson e Ingram, 1996).

Na determinação de polifenóis totais, o procedimento de extração foi realizado a partir de uma alíquota de 75 mg de tecido vegetal seco misturada a 40 ml de metanol 50%, e mantidos à temperatura de 77-80°C, durante uma hora (Anderson e Ingram, 1996). As determinações de polifenóis foram feitas utilizando-se o reagente de Folin-Denis em meio básico, para o desenvolvimento da cor, utilizando-se o ácido tânico como padrão. Os teores de cinza, lignina e celulose presentes foram determinados pelo método fibra em detergente ácido (FDA) de Van Soest e Wine (1968), que se baseia na separação das diferentes frações constituintes do material, através de reagentes específicos denominados detergentes. Utilizou-se o ácido sulfúrico e cetiltrimetil amônio bromídrico, para eliminar amido e os compostos nitrogenados, restando assim, a lignina, a celulose e as cinzas. A celulose foi destruída pelo ácido sulfúrico 72%, sendo a lignina determinada por diferença de peso, subtraindo as cinzas pela queima na mufla a

550°C (Anderson e Ingram, 1996). A caracterização do solo e da serapilheira encontra-se nas Tabelas 1 e 2.

Tabela 1: Caracterização do solo sob sistema agroflorestal de cacau.

C	N	P	K	Ca	Mg	Al	H+Al
g kg ⁻¹		mg dm ⁻³		cmol _c dm ⁻³			
22,83	2,07	27,26	0,18	3,47	3,70	0,23	6,63
pH	Areia	Silte	Argila	Densidade			
	%			g cm ⁻³			
4,65	64,8	14,9	20,3	2,7			

Tabela 2: Caracterização da camada L e da camada F+H da serapilheira sob sistema agroflorestal de cacau.

	C	N	P	K	Ca	Mg	
	g kg ⁻¹						
Serapilheira L	379,75	18,86	1,13	1,36	1,55	0,53	
Serapilheira FH	343,58	17,57	1,12	1,04	1,41	0,68	
	Polifenóis	Lignina	Celulose	C:N	Polifenol:N	Lignina:N	Quantidade
	g kg ⁻¹			Razões		g m ⁻²	
Serapilheira L	4,52	248,10	234,40	20,15	0,24	13,15	83,98
Serapilheira FH	3,58	276,00	216,40	19,62	0,20	15,78	327,02

Análises estatísticas

Os dados obtidos das análises das amostras de solo e serapilheira foram submetidos à análise de variância, utilizando amostragem e adotando-se o teste

F, a 5 % e, teste de Duncan a 5% para comparação entre compartimentos. Previamente, os dados obtidos de microrganismos, nematóides, meso e macrofauna foram submetidos aos testes de normalidade (Lilliefors) e de homogeneidade de variâncias (Bartlett). Como os dados não atenderam aos pré-requisitos da ANOVA de normalidade e homogeneidade de variâncias, os mesmos foram log (x+1) transformados (com exceção da riqueza de grupos da fauna, índices de Shannon e Pielou) e foram testados novamente para confirmar a normalidade e homogeneidade de variâncias. As análises foram aplicadas com o auxílio do programa estatístico Saeg (2007).

RESULTADOS

Microrganismos

O número de UFC (unidades formadoras de colônias) colonizando o solo e serapilheira sob as áreas estudadas alcançou valores de $88,7 \times 10^7$ para a população de bactérias, $21,4 \times 10^5$ para a população de fungos e $11,8 \times 10^3$ para a população de celulolíticos.

A distribuição destas populações de microrganismos entre os compartimentos diferiu significativamente (Tabela 3), onde se verificou na camada F+H da serapilheira maior número de UFC de bactérias ($25,41 \times 10^7$ UFC g⁻¹ serapilheira) e fungos ($6,93 \times 10^5$ UFC g⁻¹ serapilheira), enquanto a camada L da serapilheira indicou ser a camada preferida pelos celulolíticos ($3,57 \times 10^3$ UFC g⁻¹ em média). Todos os grupos de microrganismos analisados foram menos numerosos no solo: $0,09 \times 10^7$ UFC bactérias g⁻¹ solo; $0,02 \times 10^5$ UFC fungos g⁻¹ solo; $0,20 \times 10^3$ UFC celulolíticos g⁻¹ solo.

Tabela 3: Número de unidades formadoras de colônias (UFC) de fungos e bactérias totais e microrganismos celulolíticos em serapilheira (camada L e camada F+H) e solo sob sistema agroflorestal de cacau.

	Bactérias	Fungos	Celulolíticos
	-----UFC g ⁻¹ de solo -----		
Serapilheira L	18,83 x 10 ⁷ a	3,76 x 10 ⁵ b	3,57 x 10 ³ a
Serapilheira F+H	25,41 x 10 ⁷ a	6,93 x 10 ⁵ a	2,14 x 10 ³ b
Solo	0,09 x 10 ⁷ b	0,02 x 10 ⁵ c	0,20 x 10 ³ c
<i>F</i>	369,27***	320,67***	106,46***
CV (%)	3,07	5,47	6,65

*Significativo em $p \leq 0,05$ pelo teste *F*; ** significativo em $p \leq 0,01$ pelo teste *F*; *** significativo em $p \leq 0,001$ pelo teste *F*; ns, não significativo em $p > 0,10$ pelo teste *F*.

Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente pelo teste de Duncan em nível de 5% de probabilidade.

Nematofauna

No total foram registrados 3128 nematóides em solo e serapilheira sob sistema agroflorestal de cacau, sendo que deste número, 2755 indivíduos foram registrados somente na serapilheira, enquanto 373 indivíduos foram encontrados no solo. Deste total, o grupo trófico dominante foi representado pelos bacteriófagos com 1775 indivíduos (57%), seguido pelos fitoparasitas com 887 representantes (28%).

Quanto à distribuição vertical, os resultados indicaram que a nematofauna diferiu significativamente entre os compartimentos analisados, com exceção do grupo trófico fitoparasita (Tabela 4). O número total de nematóides foi superior na camada F+H da serapilheira, com 194 indivíduos 100g⁻¹ (62% do número total). Em relação aos grupos tróficos, as camadas L e F+H da serapilheira abrigaram maior número de bacteriófagos (41 e 135 indivíduos 100g⁻¹ de serapilheira, respectivamente), enquanto no solo predominaram os fitoparasitas (35 indivíduos 100g⁻¹ de solo). Além disso, o grupo trófico predador demonstrou preferência pela camada F+H da serapilheira (28 indivíduos 100g⁻¹ de serapilheira) e o grupo trófico fungívoro somente esteve presente na serapilheira (Tabela 4).

Tabela 4: Número de nematóides em serapilheira (camada L e camada F+H) e solo sob sistema agroflorestal de cacau.

	Total	Fungívoros	Bacteriófagos	Fitoparasitas	Predadores
	-----Nematóides 100 g ⁻¹ -----				
Serapilheira L	81b	8a	41b	31a	1b
Serapilheira F+H	194a	8a	135a	23a	28a
Solo	38b	0b	2c	35a	1b
<i>F</i>	5,55**	5,03**	28,49***	1,71ns	10,99***
CV (%)	32,13	118,86	38,95	49,11	115,21

*Significativo em $p \leq 0,05$ pelo teste *F*; ** significativo em $p \leq 0,01$ pelo teste *F*; *** significativo em $p \leq 0,001$ pelo teste *F*; ns, não significativo em $p > 0,10$ pelo teste *F*.

Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente pelo teste de Duncan em nível de 5% de probabilidade.

Meso e Macrofauna

8650 indivíduos da meso e macrofauna foram registrados e distribuídos entre 24 grupos taxonômicos em solo e serapilheira sob sistema agroflorestal de cacau, sendo que destes, 6336 indivíduos encontravam-se na serapilheira. Formicidae (inseto social) foi o grupo dominante representando 2586 do número total de indivíduos (58% do total), seguido pelo grupo Collembola (microfago) que representou 1026 indivíduos (19% do total).

De modo geral, a riqueza de grupos e a densidade total de indivíduos foram superiores na serapilheira F+H (11 grupos e 2817 indivíduos m⁻², respectivamente) (Tabelas 5 e 6). O índice de Shannon não diferiu significativamente entre os compartimentos, enquanto o índice de Pielou apresentou valor significativamente superior no solo (Tabela 5). De modo geral, os grupos funcionais saprófagos, microfagos (Collembola), insetos sociais (Formicidae), herbívoros e “outros” foram mais numerosos na camada F+H da serapilheira, enquanto os predadores foram mais abundantes no solo (Tabela 6).

Os saprófagos foram representados pelos grupos Psocoptera, Isopoda, Diplopoda, Blattodea, Symphyla, Gastropoda, Oligochaeta, larva de Diptera e Pauropoda. Apenas o grupo Psocoptera apresentou maior quantidade de indivíduos na camada L da serapilheira (Figura 1). Os grupos Diplopoda e Oligochaeta demonstraram-se bem distribuídos entre a camada F+H da

serapilheira e solo, já o grupo Gastropoda mostrou-se mais abundante no solo. Os demais grupos taxonômicos encontrados apresentaram maior porcentagem de indivíduos na camada F+H da serapilheira (Figura 1).

Tabela 5: Riqueza (número de grupos encontrados), índice de Shannon e índice de Pielou da meso e macrofauna em serapilheira (camada L e camada F+H) e solo sob sistema agroflorestal de cacau.

	Riqueza	Índice de Shannon	Índice de Pielou
Serapilheira L	6b	2,01a	0,07b
Serapilheira F+H	11a	1,75a	0,15b
Solo	8b	1,82a	0,57a
<i>F</i>	8,77***	0,35ns	13,64***
CV (%)	29,87	38,46	88,06

*Significativo em $p \leq 0,05$ pelo teste *F*; ** significativo em $p \leq 0,01$ pelo teste *F*; *** significativo em $p \leq 0,001$ pelo teste *F*; ns, não significativo em $p > 0,10$ pelo teste *F*.

Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente pelo teste de Duncan em nível de 5% de probabilidade.

¹Outros: número de indivíduos de grupos taxonômicos que apresentam mais de um hábito alimentar.

Tabela 6: Densidade total e por grupos funcionais da meso e macrofauna em serapilheira (camada L e camada F+H) e solo sob sistema agroflorestal de cacau.

	Total	Saprófagos	Micrófagos	Predadores	Insetos Sociais	Herbívoros	Outros ¹
	-----Indivíduos m ⁻² -----						
Serapilheira L	352c	75a	128a	11a	106b	14b	18b
Serapilheira F+H	2817a	189a	570a	19a	1872a	80a	87a
Solo	1157b	101a	328a	24a	608a	59a	37ab
<i>F</i>	15,01***	1,91ns	3,01ns	0,53ns	19,93***	12,73***	3,92**
CV (%)	12,56	37,81	40,25	113,42	32,86	33,61	51,01

*Significativo em $p \leq 0,05$ pelo teste *F*; ** significativo em $p \leq 0,01$ pelo teste *F*; *** significativo em $p \leq 0,001$ pelo teste *F*; ns, não significativo em $p > 0,10$ pelo teste *F*.

Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente pelo teste de Duncan em nível de 5% de probabilidade.

¹Outros: número de indivíduos de grupos taxonômicos que apresentam mais de um hábito alimentar.

O grupo predador Dermaptera foi observado apenas no solo (Figura 2). O grupo predador Chilopoda, herbívoro Sternorrhyncha e “outro” Coleoptera adulto ocorreram em maior quantidade no solo (Figura 2, 3 e 4). O grupo herbívoro Thysanoptera foi mais abundante na camada L da serapilheira, enquanto larva de Lepdoptera e Heteroptera distribuiu-se entre a camada F+H da serapilheira e solo (Figura 3). O grupo Araneae (predador), Auchenorrhyncha (herbívoro), Diptera adulto (outro), larva de Coleoptera (outro), Hymenoptera (outro) mostrou-se mais abundante na camada F+H da serapilheira (Figura 2, 3 e 4).

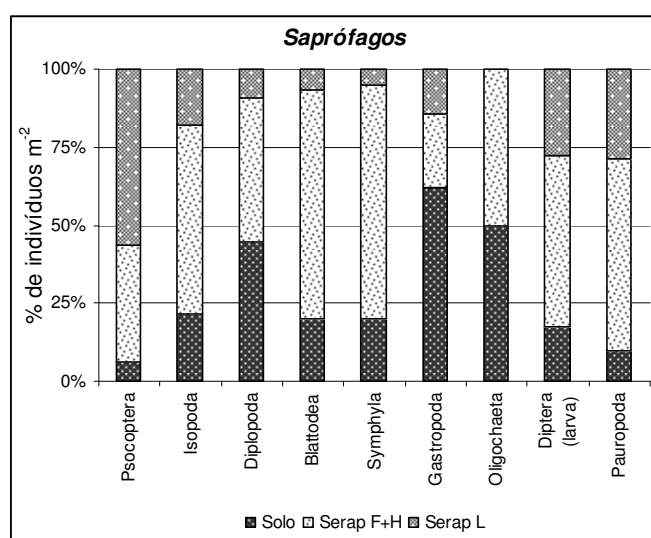


Figura 1: Distribuição dos saprófagos entre os diferentes grupos taxonômicos e compartimentos (camadas L e F+H da serapilheira e solo).

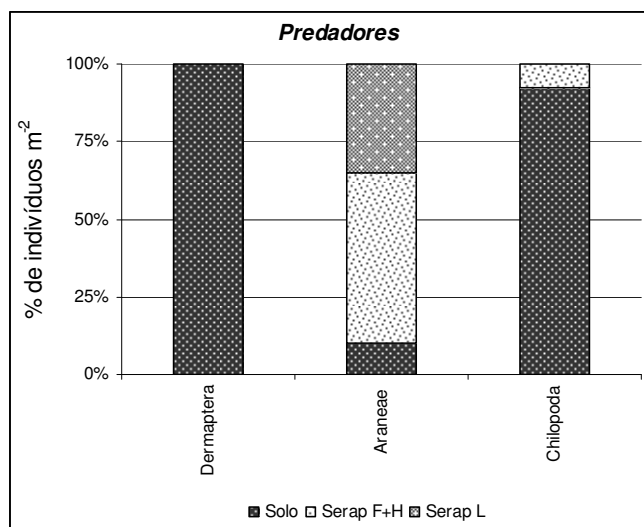


Figura 2: Distribuição dos predadores entre os diferentes grupos taxonômicos e compartimentos (camadas L e F+H da serapilheira e solo).

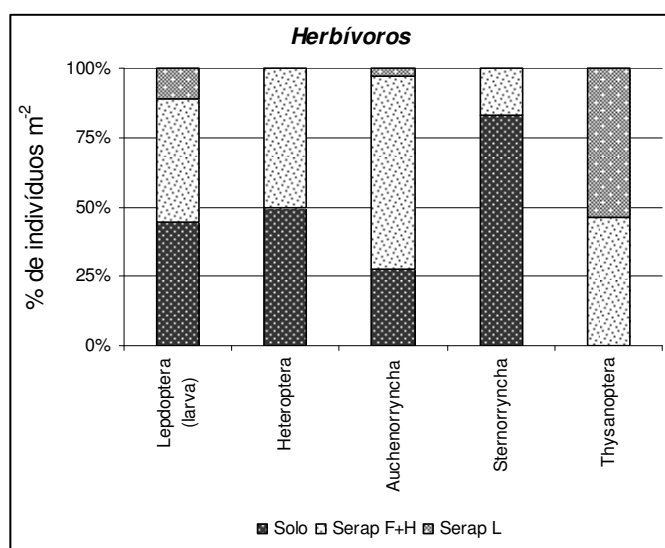


Figura 3: Distribuição dos herbívoros entre os diferentes grupos taxonômicos e compartimentos (camadas L e F+H da serapilheira e solo).

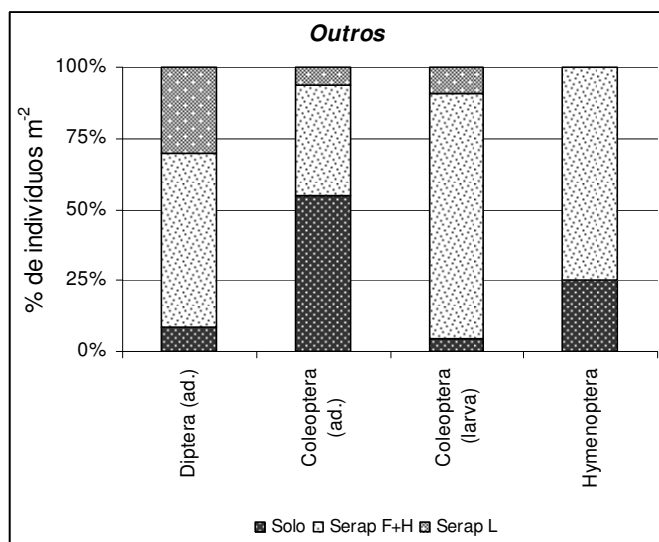


Figura 4: Distribuição dos “outros” (grupos taxonômicos que apresentam mais de um hábito alimentar) entre os diferentes grupos taxonômicos e compartimentos (camadas L e F+H da serapilheira e solo).

DISCUSSÃO

As camadas da serapilheira e solo sob sistema agroflorestal de cacau variam na composição de microrganismos e invertebrados. De modo geral, a quantidade de organismos registrados no subsistema serapilheira foi superior ao apontado no solo. A predominância de organismos na serapilheira ocorre provavelmente porque este compartimento é mais rico em C e N lábil que o solo, o que torna a serapilheira um ambiente mais dinâmico e atraente para um maior número de organismos que desempenham inúmeras funções dentro do sistema terrestre, incluindo participação essencial nos processos de decomposição e ciclagem de nutrientes. Neste contexto, Moço et al. (2009) observaram que a serapilheira de diferentes sistemas agroflorestais de cacau abrigaram maior densidade e diversidade de organismos da fauna em relação ao solo.

A formação de diferentes camadas da serapilheira em função do grau de decomposição afetou a distribuição dos organismos sob sistema agroflorestal de cacau. Os microrganismos celulolíticos apresentaram maior número de UFC na

camada L, sugerindo que este grupo está particularmente envolvido na fase inicial da decomposição da serapilheira (Tabela 3). Por outro lado, as bactérias e os fungos foram mais numerosos na camada F+H. A mesma tendência foi observada por Osaki (2008), que registrou maior população de celulolíticos na camada superficial da serapilheira e de bactérias na camada intermediária sob uma floresta Ombrófila Mista e povoamento com pinus. Ao contrário dos resultados observados neste trabalho, Osaki (2008) encontrou maior quantidade de fungos na camada superficial da serapilheira.

De modo geral, os organismos da nematofauna, meso e macrofauna foram mais abundantes na camada F+H da serapilheira (Tabelas 4 e 6). A riqueza de grupos da meso e macrofauna também foi maior nesta camada (Tabela 5). Isto sugere que os invertebrados terrestres preferem colonizar a camada da serapilheira em estágio mais avançado de decomposição. À medida que ocorre a decomposição, a serapilheira altera sua composição quanto a disponibilidade de nutrientes, pH, teor de umidade, oxigênio etc. e, conseqüentemente, afeta a sobrevivência e atividade da fauna. A camada F+H pode apresentar maior capacidade de retenção de umidade por ser uma camada intermediária. Harada e Bandeira (1994) observaram que a abundância da maioria dos grupos da fauna apresentou correlação positiva com a umidade do solo sob coberturas vegetais na Amazônia Central.

A nematofauna teve o grupo trófico bacteriófago como o mais abundante na camada F+H da serapilheira (Tabela 4). Os bacteriófagos afetam a atividade das bactérias e, conseqüentemente, a taxa de decomposição da matéria orgânica realizada por esses microrganismos (Goulart, 2007). Aspectos físicos e químicos do ambiente podem apresentar efeitos diretos e indiretos sobre a nematofauna (Fiscus e Neher, 2002). Liang et al. (2009) observaram que o número total de nematóides, número de bacteriófagos e de fungívoros foram positivamente correlacionados com o C total e com o pH do solo.

Quanto à meso e macrofauna, a maioria dos grupos predominou na camada F+H da serapilheira, reforçando a idéia de que a abundância e a atividade da fauna podem ser determinadas pelas características da serapilheira, provavelmente, por meio do efeito direto sobre a palatabilidade e indireto sobre o microclima (Tian et al., 1993). No entanto, houve alguns grupos que se abrigaram em maior quantidade no solo, como por exemplo, o grupo saprófago *Gastropoda*

(Figura 1), predadores Dermaptera e Chilopoda (Figura 2), herbívoro Sternorrhyncha (Figura 3) e “outro” Coleoptera adulto (Figuras 4), indicando que não somente a serapilheira, mas também o solo sob sistema agroflorestal de cacau oferece recursos favoráveis à sobrevivência da fauna.

CONCLUSÕES

A distribuição de microrganismos e de invertebrados terrestres variou entre as camadas L e F+H da serapilheira e solo sob sistema agroflorestal de cacau: microrganismos celulolíticos foram mais abundantes na camada L da serapilheira, enquanto fungos, bactérias e invertebrados foram mais numerosos na camada F+H, indicando que as características do microambiente (grau de decomposição, teor de umidade, nutrientes etc.) podem afetar a colonização e atividade dos organismos no sistema solo-serapilheira. Os resultados sugeriram que as camadas L e F+H da serapilheira e solo sob sistema agroflorestal de cacau diferem em sua influência sobre os organismos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Anderson J. D., Ingram J. S. I. (1996) Tropical soil biology and fertility. In: *A handbook of methods*. 2. ed. Wallingford, UK CAB International. 171p.

Bataglia, O.C.; Furlani, A.M.C.; Teixeira, J.P.F.; Furlani, P.R.; Gallo, J.R. (1983) *Métodos de análise química de plantas*. Campinas: Instituto Agrônomo. 48p. (Boletim técnico, 78).

Braga J. M., Defelipo B. V. (1974) Determinação espectrofotométrica de fósforo

em extrato de solo e material vegetal. *R. Ceres*, 21: 73-85.

Bunt J.S., Rovira A.D. (1955) Microbiological studies of some subantartic soils. *Journal of Soil Science*, 6: 119-128.

Correia, M.E.F., Andrade, A.G. (2008) Formação de serapilheira e ciclagem de nutrientes. In: Santos, G.A.; Silva, L.S.; Canellas, L.P.; Camargo, F.A.O. (eds.) *Fundamentos da matéria orgânica do solo: Ecossistemas tropicais e subtropicais*. Porto Alegre: Metrópole. p. 137-158.

Defelipo B. V. e Ribeiro A. C. (1981) *Análise química do solo*. Viçosa, UFV. 17p. (Boletim de Extensão, 29).

Embrapa (1997) Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. *Manual de Métodos de Análise de Solos*. 2. ed. Rev. Atual. Rio de Janeiro, SNLCS.

Ettema C.H, Wardle, D.A. (2002) Spatial soil ecology. *TRENDS in Ecology & Evolution*, 17: 177-183.

Fiscus, D.A., Neher, D.A. (2002) Distinguishing sensitivity of free-living soil nematode genera to physical and chemical disturbances. *Ecological Applications*, 12: 565–575.

Garay I., Kindel A., Carneiro R., Franco A.A., Barros E., Abbadie L. (2003) Comparação da matéria orgânica e de outros atributos do solo entre plantações de *Acacia mangium* e *Eucalyptus grandis*. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 27: 705-712.

Goulart, A.M.C. (2007) *Diversidade de nematóides em agroecossistemas e ecossistemas naturais*. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados. 71p. (Embrapa Cerrados. Documentos, 191).

Harada, A.Y., Bandeira, A.G. (1994) Estratificação e densidade de invertebrados em solo arenoso sob floresta primária e plantios arbóreos na Amazônia Central durante a estação seca. *Acta Amazônica*, 24: 103-118.

Jenkins, W.R. (1964) A rapid centrifugal-flotation technique for separating nematodes from soil. *Plant Disease Reporter*, 48: 692.

Lavelle, P., Blanchart, E., Martin, A., Spain, A.V.; Martin, S. (1992) *Impact of Soil Fauna on the Properties of Soils in the Humid Tropics*. Madison: SSSA, (SSSA. Special Publication, n. 29).

Liang, W., Lou, Y., Li, Q., Zhong, S., Zhang, X., Wang, J. (2009) Nematode faunal response to long-term application of nitrogen fertilizer and organic manure in Northeast China. *Soil Biology & Biochemistry*, 41: 883-890.

Martin J.P. (1950) Use of acid, rose bengal, and streptomycin in the plate method for estimating soil fungi. *Soil Science*, 69: 215-232.

Moço, M.K.S., Gama-Rodrigues E.F., Gama-Rodrigues A.C., Correia M.E.F. (2005) Caracterização da fauna edáfica em diferentes coberturas vegetais na região norte fluminense. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 29: 555-564.

Moço, M.K.S., Gama-Rodrigues, E.F., Gama-Rodrigues, A.C., Machado, R.C.R., Baligar, V.C. (2009) Soil and litter fauna of cacao agroforestry systems in Bahia, Brazil. *Agroforestry Systems*, 76, 127–138.

Odum, E.P. (1988) *Ecologia*. Rio de Janeiro, Editora Guanabara. 434p.

Osaki, F. (2008) *Distribuição espacial de microrganismos e fertilidade em solos de dois ecossistemas florestais: Floresta Ombrófila Mista e povoamento com Pinus taeda em Tijucas do Sul-PR*. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Curitiba – PR, Universidade Federal do Paraná – UFPR, 264p.

SAEG (2007) *Sistema para Análises Estatísticas*. Versão 9.1: Fundação Arthur Bernardes - UFV - Viçosa.

Schumacher, M. V., Hoppe, M. J. (1999) *A floresta e o solo*. Porto Alegre: Pallotti 83 p. (Afubra. Série Ecologia, v.3).

Tian, G., Brussard, L., Kang, B.T. (1993) Biological effects of plant residues with contrasting chemical compositions under humid tropical conditions: effects on soil fauna. *Soil Biology & Biochemistry*, 25: 731–737.

Valarini P.J. (2000) Determinação de actinomicetos, leveduras, bactérias esporulantes e solubilizadores de fosfato no solo. In: Frighetto R.T.S. e Valarini P.J. (coords.) *Indicadores biológicos e bioquímicos da qualidade do solo: manual técnico*. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente. p. 53–59. (Embrapa Meio Ambiente. Documentos, 21).

Van Soest, P., Wine, R. H. (1968) Development of a comprehensive system of feed analysis and its applications to forages. *J. Assoc. Official Agr. Chem.*, Madison, 51: 780-785.

Warren, M.W., Zou, X.X. (2002) Soil macrofauna and litter nutrients in three tropical tree plantations on a disturbed site in Puerto Rico. *Forest Ecology and Management*, 170: 161–171.

Wollum A.G. (1982) Cultural methods for soilmicroorganisms. In: Page A.L., Miller R.H., Keeney D.R. (Ed.). *Methods of soil analysis*. Madison : Soil Science Society of America. p.781-802.

4. RESUMO E CONCLUSÕES

O sistema serapilheira-solo é o habitat natural para uma grande variedade de microrganismos e animais invertebrados. Estes organismos constituem componentes essenciais dos processos de decomposição e ciclagem de nutrientes da serapilheira, agregação e estruturação do solo, fatores importantes para o crescimento da comunidade vegetal. Por esta razão, torna-se necessário caracterizar suas comunidades e compreender como e quais fatores ambientais influenciam a estrutura e a distribuição destes organismos em diferentes coberturas vegetais.

Os resultados apontaram que componentes químicos relacionados à nutrição, acidez, palatabilidade e microclima são os principais fatores governando a abundância e a diversidade dos organismos do solo. Em sistemas agroflorestais de cacau (com diferentes tipos de sombreamento, idade e renovação de copa) no Sul da Bahia, a distribuição e a estrutura da meso e macrofauna foram relacionadas principalmente com o teor de nitrogênio e fósforo do solo e da serapilheira. Em diferentes coberturas florestais no Norte do Rio de Janeiro (eucalipto, floresta não preservada, floresta preservada, capoeira, pasto), a comunidade da meso e macrofauna foi relacionada principalmente com os teores de nitrogênio, fósforo e carbono e pH do solo, enquanto a comunidade da meso e macrofauna da serapilheira foi relacionada sobretudo com os teores de nitrogênio, carbono, lignina e polifenóis da serapilheira.

A distribuição da comunidade de microrganismos e de invertebrados terrestres foi variável entre as camadas em diferentes graus de decomposição da serapilheira (camada L, constituída por folhas recém-caídas e não fragmentadas; camada F+H, composta por fragmentos de fácil identificação e material orgânico fino menor que 2 mm) e solo (0 - 5 cm) sob sistema agroflorestal de cacau. De modo geral, os microrganismos foram mais abundantes em uma das camadas da serapilheira (L ou F+H), enquanto organismos da nematofauna, meso e macrofauna foram mais numerosos na camada F+H, indicando que as características do microambiente (grau de decomposição, teor de nutrientes, umidade etc.) podem afetar a colonização e atividade dos organismos no sistema solo-serapilheira.

Deste modo, os resultados mostraram que a heterogeneidade horizontal da serapilheira em função das diferentes coberturas vegetais analisadas, assim como a heterogeneidade vertical da serapilheira devido ao gradiente de decomposição podem influenciar os organismos do sistema solo-serapilheira, regulando a variabilidade da colonização e da atividade dos organismos terrestres. Os atributos do solo e da serapilheira sob sistemas agroflorestais de cacau e outras coberturas vegetais podem afetar a distribuição de organismos do solo e, estes atributos tornam-se potenciais reguladores da colonização e atividade dos organismos do solo. Além disso, sistemas agroflorestais como os de cacau podem ser aplicados para melhorar a atividade biológica no sistema solo-serapilheira, promovendo o uso sustentável do solo.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Allison, V.J., Yermakov, Z., Miller, R.M., Jastrow, J.D., Matamala, R. (2007) Using landscape and depth gradients to decouple the impact of correlated environmental variables on soil microbial community composition. *Soil Biology & Biochemistry*, 39: 505–516.

Alves, M.V., Santos, J.C.P., Góis, D.T, Alberton, J.V., Baretta, D. (2008) Macrofauna do solo influenciada pelo uso de fertilizantes químicos e dejetos de suínos no oeste do estado de Santa Catarina. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 32: 589-598.

Alvim R. (1989) O cacauzeiro (*Theobroma cacao* L.) em sistemas agrossilviculturais. *Agrotrópica*, 1(2): 89-103.

Amorim, H.H.B., Campagnani, S. (1995) Diagnóstico Geo-ambiental e Sócio-econômico da área de Influência do Parque Estadual do Desengano, RJ. *Floresta e Ambiente*, 2: 117-122.

Anderson J. D., Ingram J. S. I. (1996) Tropical soil biology and fertility. In: *A handbook of methods*. 2. ed. Wallingford, UK CAB International. 171p.

Andrade, G. (2004) Role of functional groups of microorganisms on the rhizosphere microcosm dynamics. In: Varma, A, Abbott, L., Werner, D., Hampp, R. (eds.). *Plant surface microbiology*. Springer-Verlag, Berlin. p. 51-69.

Aquino, A.M., Silva, R.F., Mercante F.M., Correia, M.E.F., Guimarães, M.F., Lavelle, P. (2008) Invertebrate soil macrofauna under different ground cover plants in the no-till system in the Cerrado. *European Journal of Soil Biology*, 44: 191–197.

Ashwini, K.M., Sridhar, K.R. (2005) Leaf litter preference and conversion by a saprophagous tropical pill millipede, *Arthrosphaera magna* Attems. *Pedobiologia*, 49: 307-316.

Assad M.L.L. (1997) Fauna do solo. In: Vargas, M.A.T., Hungria, M. (eds.) *Biologia dos solos dos cerrados*. Planaltina, EMBRAPA-CPAC. p.363-443.

Bandeira, A.G., Harada, A.Y. (1998) Densidade e distribuição vertical de macroinvertebrados em solos argilosos e arenosos na Amazônia Central. *Acta Amazônica*, 28 (2): 191-204.

Bandeira, A.G., Vasconcellos, A. (2002) A quantitative survey of termites in a gradient of disturbed highland forest in Northeastern Brazil (Isoptera). *Sociobiology*, 39: 429-439.

Barros, E., Neves, A., Blanchart, E., Fernandes, E.C.M., Wandelli, E., Lavelle, P. (2003) Development of the soil macrofauna community under silvopastoral and agrisilvicultural systems in Amazonia. *Pedobiologia*, 47: 273–280.

Bataglia, O.C., Furlani, A.M.C., Teixeira, J.P.F., Furlani, P.R., Gallo, J.R. (1983) *Métodos de análise química de plantas*. Instituto Agronômico, Campinas. Boletim Técnico 78. p. 48.

Beer, J., Muschler, R., Kass, D., Somarriba, E. (1998) Shade management in coffee and cacao plantations. *Agroforestry Systems*, 38: 139–164.

- Benito, N.P., Brossard, M., Pasini, A., Guimarães, M.F., Bobillier, B. (2004) Transformations of soil macroinvertebrate populations after native vegetation conversion to pasture cultivation (Brazilian Cerrado). *European Journal of Soil Biology*, 40: 147-154.
- Braga, J. M., Defelipo B.V. (1974) Determinação espectrofotométrica de fósforo em extrato de solo e material vegetal. *R. Ceres*, 21: 73-85.
- Brandão, E. M. (1992) Os componentes da comunidade microbiana do solo. In: *Microbiologia do solo*. Cardoso, E.J.B.N.; Tsai, S.M., Neves, M.C.P. (eds.) Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, p. 1-15.
- Brown, G.G., Römcke, J., Höfer, H., Verhaagh, M., Sautter, K.D., Santana, D.L.Q. (2006) Biodiversity and function of soil animals in Brazilian agroforestry systems. In: Gama-Rodrigues, A.C., Barros, N.F., Gama-Rodrigues, E.F., Freitas, M.S.M., Viana, A.P., Jasmin, J.M., Marciano, C.R., Carneiro, J.G.A., (eds.) *Sistemas Agroflorestais: Bases Científicas para o desenvolvimento sustentável*. UENF, Campos dos Goytacazes, pp. 217–242.
- Brussaard L., de Ruiter P.C., Brown G.G. (2007) Soil biodiversity for agricultural sustainability. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 121: 233–244.
- Brussaard, L. (1998) Soil fauna, guilds, functional groups and ecosystem processes. *Applied Soil Ecology*, 9: 123-135.
- Bunt J.S., Rovira A.D. (1955) Microbiological studies of some subantartic soils. *Journal of Soil Science*, 6: 119-128.
- Coleman D.C., Whitman W.B. (2005) Linking species richness, biodiversity and ecosystem function in soil systems. *Pedobiologia*, 49: 479 - 497.
- Correia, M.E.F., Andrade, A.G. (2008) Formação de serapilheira e ciclagem de nutrientes. In: Santos, G.A.; Silva, L.S.; Canellas, L.P.; Camargo, F.A.O. (eds.)

Fundamentos da matéria orgânica do solo: Ecossistemas tropicais & subtropicais. Porto Alegre: Metrópole. p. 137-158.

Costa, G.S., Gama-Rodrigues, A.C., Cunha, G.M. (2005) Decomposição e liberação de nutrientes da serapilheira foliar em povoamentos de *Eucalyptus grandis* no Norte Fluminense. *Rev. Árvore*, 29: 563–570.

Cunha, G.M. (2002) *Ciclagem de nutrientes em florestas montanas e em Eucalyptus citriodora na região norte fluminense.* Campos dos Goytacazes, Universidade Estadual do Norte Fluminense. 122p. (Tese de Doutorado)

Cunha, G.M., Gama-Rodrigues, A.C., Costa, G.S. (2005) Ciclagem de nutrientes em *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden no Norte Fluminense. *Rev. Árvore*, 29: 353–363.

Dauber, J., Hirsch, M., Simmering, D., Waldhardt, R., Otte, A., Wolters, V., (2003) Landscape structure as an indicator of biodiversity: matrix effects on species richness. *Agric. Ecosyst. Environ*, 2003: 1-9.

Decaëns, T., Jiménez, J.J., Gioiac, C., Measey, G.J., Lavelle, P. (2006) The values of soil animals for conservation biology. *European Journal of Soil Biology*, 42: S23–S38.

Defelipo B. V. e Ribeiro A. C. (1981) *Análise química do solo.* Viçosa, UFV. 17p. (Boletim de Extensão, 29).

Delabie, J.H.C., Jahyny, B., Nascimento, I.C., Mariano, S.F., Lacau, S., Campiolo, S., et al. (2007) Contribution of cocoa plantations to the conservation of native ants (Insecta: Hymenoptera: Formicidae) with a special emphasis on the Atlantic forest fauna of southern Bahia, Brazil. *Biodiversity and Conservation*, 16: 2359–2384.

Doblas-Miranda, E., Sánchez-Piñero, F., González-Megías, A. (2009) Vertical distribution of soil macrofauna in an arid ecosystem: are litter and belowground compartmentalized habitats? *Pedobiologia*, 52: 361–373.

Duguma B., Gockowski J., Bakala, J. (2001) Small holder cacao (*Theobroma cacao* Linn.) cultivation in agroforestry systems of west and central Africa: challenges and opportunities. *Agroforestry Systems*, 51: 177-188.

Eggleton, P., Bignell, D.E., Hauser, S., Dibog, L., Norgrove, L., Birang, M. (2002) Termite diversity across an anthropogenic disturbance gradient in the humid forest zone of West Africa. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 90: 189-202.

Embrapa (1997) Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. *Manual de Métodos de Análise de Solos*. 2. ed. Rev. Atual. Rio de Janeiro, SNLCS.

Ettema C.H, Wardle, D.A. (2002) Spatial soil ecology. *TRENDS in Ecology & Evolution*, 17: 177-183.

Fiscus, D.A., Neher, D.A. (2002) Distinguishing sensitivity of free-living soil nematode genera to physical and chemical disturbances. *Ecological Applications*, 12: 565–575.

Folgarait, P.J. (1998) Ant biodiversity and its relationship to ecosystem functioning: a review. *Biodiversity and Conservation*, 7: 1221–1244.

Fundação Centro de Informações e Dados do Rio de Janeiro, 2003. *Índice de qualidade dos municípios – verde (IQM-Verde)*. 2. ed. ampl. rev. Rio de Janeiro. CD-ROM.

Gama-Rodrigues, A.C., May, P. (2001) Saf e o Planejamento do Uso da Terra: Experiência na região Norte Fluminense-RJ. In: Macedo, J.L.V., Wandelli, E.V., Silva J. (eds.) *Anais do III Congresso Brasileiro de Sistemas Agroflorestais*.

Sistemas agroflorestais: Manejando a biodiversidade e compondo a paisagem rural, Manaus. pp. 130–145.

Garay I., Kindel A., Carneiro R., Franco A.A., Barros E., Abbadie L. (2003) Comparação da matéria orgânica e de outros atributos do solo entre plantações de *Acacia mangium* e *Eucalyptus grandis*. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 27: 705-712.

Geissen, V., Brümmer, G.W. (1999) Decomposition rates and feeding activities of soil fauna in deciduous forest soils in relation to soil chemical parameters following liming and fertilization. *Biology and Fertility of Soils*, 29: 335–342.

Geissen, V., Guzman, G.M. (2006) Fertility of tropical soils under different land use systems-a case study of soils in Tabasco, México. *Applied Soil Ecology*, 31: 169–178.

Goulart, A.M.C. (2007) *Diversidade de nematóides em agroecossistemas e ecossistemas naturais*. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados. 71 p. (Embrapa Cerrados. Documentos, 191).

Gramacho, I. C. P.; Magno, A. E. S.; Mandarino, E. P.; Matos, A. (1992) *Cultivo e beneficiamento do cacau na Bahia*. Ilhéus: CEPLAC. 124p.

Harada, A.Y., Bandeira, A.G. (1994) Estratificação e densidade de invertebrados em solo arenoso sob floresta primária e plantios arbóreos na Amazônia Central durante a estação seca. *Acta Amazônica*, 24: 103-118.

Hättenschwiler, S., Vitousek, P. M. (2000) The role of polyphenols in terrestrial ecosystem nutrient cycling. *TREE*, 15: 238–243.

Hobbelen, P.H.F., Van den Brink, P.J., Hobbelen, J.F., Van Gestel, C.A.M. (2006) Effects of heavy metals on the structure and functioning of detritivore communities in a contaminated floodplain area. *Soil Biol. Biochem.*, 38: 1596–1607.

Holec, M., Frouz, J. (2005) Ant (Hymenoptera: Formicidae) communities in reclaimed and unreclaimed brown coal mining spoil dumps in the Czech Republic. *Pedobiologia*, 49: 345–357.

Huerta, E., Rodriguez-Olan, J., Evia-Castillo, I., Montejo-Meneses, E., Cruz-Mondragon, M., Garcia-Hernandez, R., Uribe, S. (2007) Earthworms and soil properties in Tabasco, Mexico. *European Journal of Soil Biology*, 43: S190-S195.

Isaac, M.E., Gordon, A.M., Thevathasan, N., Opong, S.K., Quashie-Sam, J. (2005) Temporal changes in soil carbon and nitrogen in west African multistrata agroforestry systems: a chronosequence of pools and fluxes. *Agroforestry Systems*, 65: 23–31.

Isaac, M.E., Timmer, V.R., Quashie-Sam, S.J. (2007) Shade tree effects in an 8-year-old cocoa agroforestry system: biomass and nutrient diagnosis of *Theobroma cacao* by vector analysis. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 78: 155–165.

Jenkins, W.R. (1964) A rapid centrifugal-flotation technique for separating nematodes from soil. *Plant Disease Reporter*, 48: 692.

Jones, T.H., Bradford, M.A. (2001) Assessing the functional implications of soil biodiversity in ecosystems. *Ecological Research*, 16: 845–858.

Kindel, A., Garay, I. (2001) Caracterização de ecossistemas da Mata Atlântica de tabuleiros por meio de formas de húmus. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 25: 551-563.

Laganière, J., Paré, D., Bradley, R.L. (2009) Linking the abundance of aspen with soil faunal communities and rates of belowground processes within single stands of mixed aspen–black spruce. *Applied Soil Ecology*, 41: 19–28.

Laossi, K.-R., Barot, S., Carvalho, D., Desjardins, T., Lavelle, P., Martins, M., Mitja, D., Rendeiro, A.C., Rousseau, G., Sarrazina, M., Velásquez, E., Grimaldi, M.

(2008) Effects of plant diversity on plant biomass production and soil macrofauna in Amazonian pastures. *Pedobiologia*, 51: 397- 407.

Lavelle, P. (1996) Diversity of soil fauna and ecosystem function. *Biology International*, 33: 3–15.

Lavelle, P., Blanchart, E., Martin, A., Spain, A.V.; Martin, S. (1992) *Impact of Soil Fauna on the Properties of Soils in the Humid Tropics*. Madison: SSSA, (SSSA. Special Publication, n. 29).

Lavelle, P., Chauvel, A., Fragoso, C. (1995) Faunal activity in acid soils. In: Dare, R.A. et al (eds) *Plant soil interactions at low pH*. Kluwer Academic Publishers: Netherlands. p. 201-211.

Lavelle, P., Decaëns, T., Aubert, M., Barot, S., Blouin, M., Bureau, F., Margerie, P., Mora, P., Rossi, J.P. (2006) Soil invertebrates and ecosystem services. *European Journal of Soil Biology*, 42: S3–S15.

Leps J. e Smilauer P. (2003) *Multivariate analysis of ecological data using Canoco*. Cambridge: Cambridge University Press. 282p.

Liang, W., Lou, Y., Li, Q., Zhong, S., Zhang, X., Wang, J. (2009) Nematode faunal response to long-term application of nitrogen fertilizer and organic manure in Northeast China. *Soil Biology & Biochemistry*, 41: 883-890.

López-Hernández, D., Araujo Y., López, A., Hernández-Valencial, I., Hernández, C. (2004) Changes in soil properties and earthworm populations induced by long-term organic fertilization of a sandy soil in the Venezuelan Amazonian. *Soil Science*, 169:188-194.

Marinoni, R.C., Ganho, N.G. (2006) A diversidade diferencial beta de Coleoptera (Insecta) em uma paisagem antropizada do Bioma Araucária. *Revista Brasileira de Entomologia*, 50: 64-71.

Martin J.P. (1950) Use of acid, rose bengal, and streptomycin in the plate method for estimating soil fungi. *Soil Science*, 69: 215-232.

McNeely, J.A., Schroth, G. (2006) Agroforestry and biodiversity conservation – traditional practices, present dynamics, and lessons for the future. *Biodiversity and Conservation*, 15: 549–554.

Merlim, A.O., Aquino, A.M., Cardoso, E.J.B.N. (2006) Larvas de Coleoptera em ecossistemas de araucária no Parque Estadual de Campos do Jordão, SP. *Ciência Rural*, 36: 1303-1306.

Mingoti S.A. (2005) *Análise de dados através de métodos de estatística multivariada: uma abordagem aplicada*. Belo Horizonte: Editora UFMG. 297p.

Moço, M.K.S., Gama-Rodrigues E.F., Gama-Rodrigues A.C., Correia M.E.F. (2005) Caracterização da fauna edáfica em diferentes coberturas vegetais na região norte fluminense. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 29: 555-564.

Moço, M.K.S., Gama-Rodrigues, E.F., Gama-Rodrigues, A.C., Machado, R.C.R., Baligar, V.C. (2009) Soil and litter fauna of cacao agroforestry systems in Bahia, Brazil. *Agroforestry Systems*, 76: 127–138.

Montagnini, F., Nair P.K.R. (2004) Carbon sequestration: An underexploited environmental benefit of agroforestry systems. *Agroforestry Systems*, 61: 281–295.

Monteiro, M.T., Gama-Rodrigues, E.F. (2004) Carbono, nitrogênio e atividade da biomassa microbiana em diferentes estruturas de serapilheira de uma floresta natural. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 28: 819-826.

Moreira, F.M.S., Siqueira, J.O. (2006) *Microbiologia e bioquímica do solo*. Lavras: UFLA. 729p.

Müller, M.W., Gama-Rodrigues, A.C. (2007) Sistemas Agroflorestais com cacauero. In: VALLE, R.R. (ed.) *Ciência, Tecnologia e Manejo do Cacauero*. Ilhéus, Bahia, Brasil. p.246-271.

Nahmani, J., Lavelle, P. (2002) Effects of heavy metal pollution on soil macrofauna in a grassland of Northern France. *European Journal of Soil Biology*, 38: 297–300.

Nair, P.K.R. (2008) Agroecosystem management in the 21st century: It is time for a paradigm shift. *Journal of Tropical Agriculture*, 46: 1–12.

Ndaw, S.M., Gama-Rodrigues, A.C., Gama-Rodrigues, E.F., Sales, K.R.N., Rosado, A.S. (2009) Relationships between bacterial diversity, microbial biomass, and litter quality in soils under different plant covers in northern Rio de Janeiro State, Brazil. *Can. J. Microbiol.*, 55: 1–7.

Negrete-Yankelevich, S., Fragoso, C., Newton, A.C., Heal, O.W. (2007) Successional changes in soil, litter and macroinvertebrate parameters following selective logging in a Mexican Cloud Forest. *Applied Soil Ecology*, 35: 340–355.

Norgrove L., Csuzdi, C., Forzi, F., Canet, M., Gounes, J. (2009) Shifts in soil faunal community structure in shaded cacao agroforests and consequences for ecosystem function in Central Africa. *Tropical Ecology*, 50: 71–78.

Odum, E.P. (1988) *Ecologia*. Rio de Janeiro, Editora Guanabara. 434p.

Oelbermann, M., Voroney, R.P., Thevathasan, N.V., Gordon, A.M., Kass, D.C.L., Schlonvoigt, A.M. (2006) Soil carbon dynamics and residue stabilization in a Costa Rican and southern Canadian alley cropping system. *Agroforestry Systems*, 68: 27–36.

Osaki, F. (2008) *Distribuição espacial de microrganismos e fertilidade em solos de dois ecossistemas florestais: Floresta Ombrófila Mista e povoamento com Pinus taeda em Tijucas do Sul-PR*. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Curitiba – PR, Universidade Federal do Paraná – UFPR, 264p.

Palm, C.A., Sanchez, P.A. (1991) Nitrogen release from the leaves of some tropical legumes as affected by their lignin and polyphenolic contents. *Soil Biol. Biochem.*, 23: 83–88.

Poppi, R.J., Sena, M.M. (2000) Métodos quimiométricos na análise integrada de dados. In Friguette, R.T.S., Valarini, P.J. (coords.) *Indicadores biológicos e bioquímicos da qualidade do solo: manual técnico*. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente. p. 19-36.

Radambrasil (1983) Mapa Exploratório de Solo. *Levantamento de Recursos Naturais*. Folhas SF 23/24. Rio de Janeiro, Ministério das Minas e Energia. v.32.

Ramette, A. (2007) Multivariate analyses in microbial ecology. *FEMS Microbiology Ecology*, 62: 142–160.

Reich, P.B., Oleksyn, J., Modrzyński, J., Mrozinski, P., Hobbie, S.E., Eissenstat, D.M., Chorover, J., Chadwick, O.A., Hale, C.M., Tjoelker, M.G. (2005) Linking litter calcium, earthworms and soil properties: a common garden test with 14 tree species. *Ecology Letters*, 8: 811–818.

Reinecke, A.J, Helling, B., Louw, K., Fourie, J., Reinecke, S.A. (2002) The impact of different herbicides and cover crops on soil biological activity in vineyards in the Western Cape, South Africa. *Pedobiologia*, 46: 475–484.

Reitsma, R., Parrish, J.D., McLarney, W. (2001) The role of cacao plantations in maintaining forest avian diversity in southeastern Costa Rica. *Agroforestry Systems*, 53: 185–193.

Rossi, J.P. (2003) The spatiotemporal pattern of a tropical earthworm species assemblage and its relationship with soil structure. *Pedobiologia*, 47: 497–503.

Rossi, J.P., Blanchart, E. (2005) Seasonal and land-use induced variations of soil macrofauna composition in the Western Ghats, southern India. *Soil Biology & Biochemistry*, 37: 1093–1104.

Rusek, J. (1998) Biodiversity of Collembola and their functional role in the ecosystem. *Biodiversity and Conservation*, 7: 1207–1219.

SAEG (2007) *Sistema para Análises Estatísticas*, Versão 9.1: Fundação Arthur Bernardes - UFV - Viçosa.

Saha, R., Tomar, J.M.S., Ghosh, P.K. (2007) Evaluation and selection of multipurpose tree for improving soil hydro-physical behaviour under hilly ecosystem of north east India. *Agroforestry Systems*, 69: 239–247.

Schumacher, M. V., Hoppe, M. J. (1999) *A floresta e o solo*. Porto Alegre: Pallotti. 83 p. (Afubra. Série Ecologia, v.3).

Sena, M.M., Frighetto, R.T.S., Valarini, P.J., Tokeshi, H., Poppi, R.J. (2002) Discrimination of management effects on soil parameters by using principal component analysis: a multivariate analysis case study. *Soil and Tillage Research*, 67: 171–181.

Sileshi, G., Mafongoya, P.L. (2006) Variation in macrofaunal communities under contrasting land use systems in eastern Zâmbia. *Applied Soil Ecology*, 33: 49–60.

Smilauer, P. (2003) *Canodraw for Window version 4.1*. University of South Bohemia, České Budejovice, Czech Republic. URL [http:// www.canodraw.com/](http://www.canodraw.com/)

Smiley, G.L., Kroschel, J. (2008) Temporal change in carbon stocks of cocoa–gliricidia agroforests in Central Sulawesi, Indonesia. *Agroforestry Systems*, 73: 219–231.

SOS Mata Atlântica: www.sosmataatlantica.org.br em 15/02/2010 página mantida pelo SOS Mata Atlântica.

Swift, M.J., Heal, O.W., Anderson, J.M. (eds.) (1979). *Decomposition in Terrestrial Ecosystems*. Blackwell Scientific Publications, Oxford. 372 p.

Ter Braak C.F. (1986) Canonical correspondence analysis: a new eigenvector technique for multivariate direct gradient analysis. *Ecology*, 67 (5): 1167-1179.

Ter Braak, C.J.F., Smilauer, P. (2002) *Canoco for Window version 4.5*. Biometris – Plant Research International, Wageningen, The Netherlands.

Tian, G., Brussard, L., Kang, B.T. (1993) Biological effects of plant residues with contrasting chemical compositions under humid tropical conditions: effects on soil fauna. *Soil Biology & Biochemistry*, 25: 731–737.

Tian, G., Brussard, L., Kang, B.T. (1995) Breakdown of plant residues with contrasting chemical compositions under humid tropical conditions: effects of earthworms and millipedes. *Soil Biology & Biochemistry*, 27: 277–280.

Tian, G., Kang, B.T., Brussard, L. (1992) Biological effects of plant residues with contrasting chemical compositions under humid tropical conditions – decomposition and nutrient release. *Soil Biology & Biochemistry*, 24: 1051–1060.

Valarini P.J. (2000) Determinação de actinomicetos, leveduras, bactérias esporulantes e solubilizadores de fosfato no solo. In: Frighetto R.T.S. e Valarini P.J. (coords.) *Indicadores biológicos e bioquímicos da qualidade do solo: manual técnico*. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente. p. 53–59. (Embrapa Meio Ambiente. Documentos, 21).

Van den Brink, P.J., Van den Brink, N. W., Ter Braak C.J.F. (2003) Multivariate Analysis of ecotoxicological data using ordination: demonstrations of utility on the basis of various examples. *Australasian Journal of Ecotoxicology*, 9: 141–156.

Van Eekeren, N., van Lier, D., Vries, F., Rutgers, M., Goede, R., Brussaard, L., (2009) A mixture of grass and clover combines the positive effects of both plant species on selected soil biota. *Applied Soil Ecology*, 42: 254–263.

Van Soest, P., Wine, R. H. (1968) Development of a comprehensive system of feed analysis and its applications to forages. *J. Assoc. Official Agr. Chem.*, Madison, 51: 780-785.

Vasconcellos, A., Bandeira, A.G., Almeida, W.O., Moura, F.M.S. (2008) Térmitas construtores de ninhos conspícuos em duas áreas de Mata Atlântica com diferentes níveis de perturbação antrópica. *Neotropical Entomology*, 37: 15-19.

Vendrame, P.R.S., Marchão, R.L., Brito, O.R., Guimarães, M.F., Becquer, T. (2009) Relationship between macrofauna, mineralogy and exchangeable calcium and magnesium in Cerrado Oxisols under pasture. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 44: 996-1001.

Vohland, K., Schroth, G. (1999) Distribution patterns of the litter macrofauna in agroforestry and monoculture plantations in central Amazonia as affected by plant species and management. *Applied Soil Ecology*, 13: 57–68.

Wardle D.A. (1995) Impacts of disturbance on detritus food webs in agroecosystems of contrasting tillage and weed management practices. *Advances Ecological Research*, 26: 105-182.

Wardle D.A., Yeates G.W., Barker G.M., Bonner K.I. (2006) The influence of plant litter diversity on decomposer abundance and diversity. *Soil Biology & Biochemistry*, 38: 1052–1062.

Wardle, D.A., Lavelle, P. (1997) Linkages between soil biota, plant litter quality and decomposition. In: Cadisch, G., Giller, K.E., eds. *Driven by nature: Plant litter quality and decomposition*. 1ed. Cambridge: CAB International. p. 107–124.

Warren, M.W., Zou, X.X. (2002) Soil macrofauna and litter nutrients in three tropical tree plantations on a disturbed site in Puerto Rico. *Forest Ecology and Management*, 170: 161–171.

Whalley, W.R., Dumitru, E., Dexter, A.R. (1995) Biological effects of soil compaction. *Soil & Tillage Research*, 35: 53–68.

Wollum A.G. (1982) Cultural methods for soil microorganisms. In: Page A.L., Miller R.H., Keeney D.R. (Ed.). *Methods of soil analysis*. Madison: Soil Science Society of America. p.781-802.

Yamamoto, T., Nakagoshi, N., Touyama Y. (2001) Ecological study of pseudoscorpion fauna in the soil organic layer in managed and abandoned secondary forests. *Ecological Research*, 16: 593–601.

Yang, X., Chen, J. (2009) Plant litter quality influences the contribution of soil fauna to litter decomposition in humid tropical forests, southwestern China. *Soil Biol. Biochem.*, 41: 910–918.

Yeates G. W., Bongers T., de Goede R.G.M., Freckman D.W., Georgieva S.S. (1993). Feeding habits in nematode families and genera – an outline for soil ecologists. *Journal of Nematology*, 25: 315-331.

Zhang, C.B., Wang, J., Qian, B.Y., Li, W.H. (2009) Effects of the invader *Solidago canadensis* on soil properties. *Applied Soil Ecology*, 43: 163–169.