**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Influência da transformação floresta - pastagem nos atributos do solo em área de
agricultura familiar no oeste do Estado do Pará**

Selene Cristina de Pierri Castilho

**Tese apresentada para obtenção do título de Doutora
em Ciências. Área de concentração: Solos e Nutrição
de Plantas**

**Piracicaba
2014**

Selene Cristina de Pierri Castilho
Bacharel em Gestão Ambiental

**Influência da transformação floresta - pastagem nos atributos do solo em área de
agricultura familiar no oeste do Estado do Pará**

versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:
Prof. Dr. **MIGUEL COOPER**

**Tese apresentada para obtenção do título de Doutora
em Ciências. Área de concentração: Solos e Nutrição
de Plantas**

Piracicaba
2014

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA - DIBD/ESALQ/USP

Castilho, Selene Cristina de Pierri

Influência da transformação floresta - pastagem nos atributos do solo em área de agricultura familiar no oeste do Estado do Pará / Selene Cristina de Pierre Castilho. - - versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2014.

164 p: il.

Tese (Doutorado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2014.

1. Floresta 2. Pastagem 3. Mudança de uso 4. Assentamento 5. Micromorfológica
6. Fauna do solo I. Título

CDD 631.46
C352i

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte -O autor"

DEDICATÓRIA

A meus pais e irmã por sempre me incentivarem e acreditarem que o estudo é a melhor
oportunidade que podemos ter na vida.

À Maria do Espírito Santo e José Cláudio Ribeiro (*in memoriam*)

AGRADECIMENTOS

A Deus pela oportunidade de realizar este trabalho.

A CPG da ESALQ pela oportunidade concedida.

Ao meu orientador Miguel Cooper pela orientação, ajuda e disposição de transferir seus conhecimentos.

Ao doutor Jose Camilo Bedano pela orientação durante o estágio sanduíche.

À CAPES e CNPq pela bolsa concedida

À Fundação Agrisus pelos financiamentos às viagens de campo.

Aos companheiros, amigos e “maninhos” Raul Toma, Renata Bovi, Renata Momoli, Edison Mome, Mariana Delgado, Thalita Campos, Laura Simões e Tatiana Rittl. Obrigada por estarem sempre presentes em todos os momentos, pela ajuda prestada e pelos momentos de convivência, ensinamentos, risadas e descontração. A presença de vocês foi de extrema importância em minha vida e formação.

À UFPA, Professor Fernando e LASAT pela ajuda na logística de campo.

Ao casal Dona Maria e Senhor Zé Cláudio (*in memoriam*) pela concessão da área, pelos ensinamentos e o exemplo de persistência, responsabilidade, simplicidade e paixão pelo que acreditam. Obrigada por me ajudarem a ser uma pessoa melhor.

Ao Sr Nonato, Sr. Deurival e família, Sr. Jurandir e família, Dona Laísa e família pelos ensinamentos, ajudas de campo, abrigo, serviços de almoxarifado e deliciosos momentos passados no Pará.

À família Delgado sempre disposta a nos receber, ajudar e armazenar ferramentas e amostras de campo.

Aos amigos da pós-graduação Sueli, Osvaldo, Sâmala, Lorena, Hélio, Sara, Renato, Suzana, Gabriel, Fernando (Salsa). Obrigada pelas risadas, almoços, bares, churrascos e finais de semana.

Aos amigos da vida Marina Gentil (Gro-c-ra), Mariana Pavan (Arara), Ana Carolina (Sabugosa), Luiz Lopes (Birruga), André Froes (Dipé), Rafael Otto (Purpurina), Karina Lima, Marcela Donatto, Camila Saigh (Olandesa), Bia (Pa-frent) pelos saudáveis momentos de convivências, conselhos, cafés e etc.

Aos estagiários Sukú (Mateus), Cléo (Camila), Alix, Leonel e Alejo.

Aos técnicos de laboratório Sônia, Chico, Reginaldo (Rossi), Leandro, Jair e Luis Silva.

A mis compañeros de Argentina Anahí, Florencia, Hugo, Laura, Maria A. Galfioni, Maria Grumelli, Romina, Soledad, Fernando (Nano), familia Coniglio, Analía y familia y familia Bedano.

A meus pais pelos momentos de conversas e conselhos e por todo apoio e incentivo oferecidos sempre.

À minha irmã, sobrinho e cunhado pelo apoio e risadas sinceras.

A minha família por sempre entender minha ausência nos momentos necessários.

À República Maga Donaire pela leveza que oferece à minha vida em todos os momentos de convivência.

A todos os amigos que estiveram presentes em cada momento dessa jornada.

A todos aqueles que contribuíram de maneira direta ou indireta para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

RESUMO	9
ABSTRACT.....	11
1 INTRODUÇÃO	13
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1 A Amazônia.....	15
2.2 O Estado do Pará.....	16
2.3 Mudança do uso do solo	17
2.4 Macrofauna do solo	20
2.5 Qualidade do solo	22
2.6 OBJETIVOS	24
2.6.1 Objetivos gerais	24
2.6.2 Objetivos específicos	25
3 MATERIAL E MÉTODOS	27
3.1 Área de estudo	27
3.2 Coletas e análises	32
3.2.1 Determinação da matéria seca vegetal.....	33
3.2.2 Macrofauna	33
3.2.3 Estrutura da comunidade de minhocas	34
3.2.4 Química do solo.....	35
3.2.4.1 pH em água	35
3.2.4.2 pH KCl	36
3.2.4.3 H ⁺ Al	36
3.2.4.4 Alumínio	36
3.2.4.5 Potássio	36
3.2.4.6 Fósforo	36
3.2.4.7 Cálcio	37
3.2.4.8 Magnésio	37
3.2.4.9 Matéria Orgânica	37
3.2.5 Análise granulométrica	37
3.2.6 Densidade de partícula	38
3.2.7 Densidade do solo	39
3.2.8 Umidade do solo.....	39
3.2.9 Porosidade.....	40
3.2.9.1 Porosidade calculada.....	40
3.2.9.2 Micromorfometria do solo.....	40
3.2.10 Curva de retenção de água no solo.....	41

3.2.11	Índice S	42
3.3	Análises estatísticas	42
3.3.1	Análises univariadas	43
3.3.2	Relações entre atributos do meio físico e a fauna do solo.....	44
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	47
4.1	Matéria seca vegetal	47
4.2	Química do solo	51
4.3	Granulometria	56
4.4	Densidade de partícula	57
4.5	Densidade do solo	58
4.6	Umidade do solo	60
4.7	Porosidade	62
4.8	Análise da porosidade obtida pela micromorfometria	67
4.9	Curva de retenção de água	86
4.10	Índice S	93
4.11	Fauna do solo	96
4.11.1	Macrofauna.....	98
4.11.2	Riqueza taxonômica.....	101
4.11.3	Minhocas	104
4.11.4	Estrutura da comunidade de minhocas	106
4.11.5	Coleópteros.....	107
4.11.6	Formigas	109
4.11.7	Isópteras.....	111
4.11.8	Larvas	113
4.11.9	Engenheiros do ecossistema.....	115
4.12	Relações entre atributos do meio físico e a fauna do solo.....	118
4.12.1	Macrofauna total	119
4.12.2	Minhocas	131
5	CONCLUSÕES	143
	REFERÊNCIAS	145
	ANEXOS	161

RESUMO

Influência da transformação floresta - pastagem nos atributos do solo em área de agricultura familiar no oeste do Estado do Pará

O crescente número de assentamentos na região Amazônica vem despertando discussões sobre sua importância no desmatamento da região, visto que a implantação dos assentamentos é sucedida pelo desmatamento e implantação de pastagens, modificando as condições químicas, físicas e biológicas do solo. O presente trabalho tem como hipóteses que 1 – a mudança de uso do solo de floresta para pastagem afeta negativamente os atributos físicos e químicos do solo; 2 – a mudança de uso do solo de floresta para pastagem reduz a abundância e diversidade da fauna do solo; 3 – As alterações nas condições físico-hídricas pela mudança de uso do solo condicionam a ocorrência de táxons da macrofauna e de espécies de minhocas. O objetivo deste trabalho é realizar análise qualitativa e quantitativa dos atributos físico-hídricos, químicos e da fauna do solo em dois usos do solo no Projeto de Assentamento Agroextrativista Praia Alta Piranha, Nova Ipixuna, PA. Foram realizadas amostragens em duas topossequências (floresta e pastagem) nas posições topográficas de topo (T1), meia encosta (T2) e sopé (T3). As coletas foram realizadas em julho de 2012 (período seco) e janeiro e março de 2013 (período úmido), em cinco repetições para cada posição nas profundidades 0-0,1, 0,1-0,2 e 0,2-0,3 m. As amostras deformadas foram utilizadas para determinação da granulometria, densidade de partícula, análise química e umidade do solo e as amostras indeformadas para determinação da densidade, curva de retenção da água no solo e análise micromorfológica. Também foram coletadas amostras para determinação da matéria seca vegetal e da macrofauna do solo de acordo com o método Tropical Soil Biology and Fertility (TSBF). A porosidade total (PT) e o índice S foram calculados. A fauna edáfica foi separada de acordo com morfoespécies, contabilizada e calculados riqueza e índice de diversidade. Os dados foram analisados de forma univariada as relações entre atributos do meio físico e a fauna do solo de forma multivariada. Os solos apresentaram distribuição e densidade de partículas homogêneas, com aumento do teor de argila em profundidade. As áreas sob floresta apresentaram maiores valores de matéria seca (MS), acidez, umidade, macroporosidade, índice S, riqueza taxonômica e específica, maior quantidade de coleópteros e formigas. Áreas sob pastagem apresentam maiores valores de MO, microporosidade, maior abundância de larvas, Isopteras e minhocas (exceto em T3). Não foram encontradas diferenças significativas quanto à densidade do solo (Ds) (exceto para T3), PT, abundância de macrofauna total e de engenheiros do ecossistema (exceto na camada de serrapilheira). A curva de retenção de água no solo (CRA) indica que a mudança de uso do solo reduz a quantidade de macroporos em pastagem e as inclinações das curvas. As mudanças provocadas pela mudança de uso do solo estão relacionadas à quantidade e composição da serrapilheira e também ao tipo e tamanho dos poros, modificando a fauna presente. As análises multivariadas mostram que as alterações na distribuição dos poros são suficientes para alterar os nichos ecológicos, diferenciando a composição da fauna e as condições físico-hídricas do solo, acarretando em consequências à circulação hídrica e à diversidade ecológica da região Amazônica.

Palavras-chave: Floresta; Pastagem; Mudança de uso; Assentamento; Micromorfológica; Fauna do solo

ABSTRACT

Influence of forest-pasture transformation on soil attributes in family farm areas in the west county of Pará

The increasing number of rural settlements created in Amazonia is creating discussions about their responsibility on deforestation, because their implementation is succeeded by deforestation and pasture implementation, modifying soil chemical, physical and biological conditions. The present work has as main hypothesis that 1 – soil use change from forest to pasture negatively affects soil physical and chemical attributes; 2 – soil use change from forest to pasture reduces soil fauna abundance and diversity; 3 – Alterations on soil hydro-physical conditions by land use changes affects the occurrence of macrofauna taxa and earthworm species. The objectives of this work are to do a qualitative and quantitative analysis of soil hydro-physical and chemical attributes and of soil fauna along two topossequences in the Agroextractivist Settlement “Praialta Piranheira” in the municipality of Nova Ipixuna, PA. . Soil sampling was conducted on two topossequences (forest and pasture) on three topographic positions: top (T1), slope (T2) and bottom (T3). Samples were taken in July 2012 (dry period) and January and March 2013 (moist period), in 5 replicates for each sampling point (T1, T2 and T3), on soil depths of 0-0.1, 0.1-0.2 and 0.2-0.3 m. Disturbed samples were used to particle-size, particle density, chemical and moisture analysis and undisturbed samples for density, soil water retention curve and micromorphometric determinations. Samples for vegetal dry mass and macrofauna were also collected according to Tropical Soil Biology and Fertility (TSBF) method. Total porosity (PT) and index S were calculated. Soil fauna were separated according to morphospecies, counted and richness and diversity rates were calculated. Data were analyzed by univariate statistical analysis and relations between physical attributes and soil fauna were obtained by multivariate statistical analysis. Soils presented homogeneous particle-size and particle density distribution, with clay increment on soil depth. Areas under forest presented higher values of vegetal dry mass (MS), acidity, moisture, macroporosity, S index, taxonomic and specific richness, higher quantity of coleopteran and Formicida. Areas under pasture presented higher values of organic matter, microporosity, higher abundance of larva, Isoptera and earthworms (except for T3). No significant differences were found regarding to soil density (Ds) (except for T3), PT and macrofauna and abundance of ecosystem engineers (except for litter). Soil water retention curves (CRA) showed that soil use change leads to lower quantity of macropores and flattened curves for pasture. Changes observed for forest-pasture change are related to quantity and composition of litter and kind and size of pores, changing macrofauna composition. Multivariate analysis showed that alterations on pore distribution are sufficient to modify ecological niches, to change fauna composition and hydro-physical conditions, leading to alterations on water circulation and ecological diversity in the Amazon

Keywords: Forest; Pasture; Soil use change; Settlement; Micromorfometrics; Soil fauna

1 INTRODUÇÃO

As discussões governamentais em torno da realização de uma reforma agrária no Brasil iniciaram por volta da década de 1950, porém tomaram corpo e passou a ser massivamente implantada nas últimas décadas. Apesar de sua importância e dos esforços governamentais para sua implantação, a reforma agrária ainda gera certo desconforto e parece possuir em seu cerne uma questão ainda mais importante, como por exemplo, onde assentar as famílias incluídas no programa de reforma agrária.

Aparentemente os governantes, independente da política de governo analisada, encontraram uma solução para a questão, a utilização da Amazônia para implantação de grande parte dos projetos de assentamentos, como uma tentativa de amenizar os conflitos sociais e realizar a reforma agrária sem conflitar com os interesses políticos de grandes proprietários já instalados em outras regiões do Brasil.

Localizado dentro da área denominada Amazônia Legal, o Estado do Pará figura atualmente entre os principais Estados detentores de projetos de assentamentos rurais do país, totalizando 364 projetos de assentamento, quatro milhões de hectares e 96 mil famílias assentadas. Entretanto, apesar do grande número de assentamentos criados no Estado as famílias assentadas não parecem receber suporte técnico adequado para a utilização das terras frágeis e pouco férteis da Amazônia.

Impulsionados pelos financiamentos governamentais, pela falta de conhecimento técnico e de práticas sustentáveis de manejo do solo e da floresta, os assentados parecem optar, de maneira massiva, pelo desenvolvimento de atividades pecuárias retirando, portanto a floresta para implantação de pastagens.

A mudança de uso do solo provocada pelos pequenos agricultores tem sua importância magnificada quando é considerada a grande quantidade de assentamentos criados no Pará, podendo causar problemas significativos à floresta e ao solo da região, com sérias consequências aos produtores.

A retirada da floresta e sua substituição por pastagens influencia diretamente o solo, afetando sua qualidade, fauna e seu funcionamento. A remoção da floresta reduz a quantidade de serrapilheira depositada sobre o solo e permite maior incidência de raios solares sobre a superfície do solo, aumentando sua temperatura, a evaporação de água e consequentemente, reduzindo a umidade do solo. A implantação de pastagens de uso intensivo acarreta na compactação do solo pelo pisoteio animal e na redução da massa seca vegetal, agravando ainda mais os problemas de compactação, aumento da temperatura e redução da umidade do

solo. A compactação provoca problemas à infiltração, condução e armazenamento de água no perfil, aumentando assim o escoamento superficial e as taxas de erosão.

As novas condições do solo provocadas pela implantação de pastagens também podem prejudicar a fauna edáfica. A presença de menor quantidade e diversidade da serrapilheira, associada à temperaturas mais elevadas e menor umidade do solo criam um ambiente pouco favorável à fauna edáfica. Estas condições favorecem o desenvolvimento de organismos mais adaptados a tais condições em detrimento de outros mais sensíveis a condições mais áridas e menos diversa, reduzindo assim a diversidade da fauna edáfica.

Uma menor diversidade da fauna acarreta em consequências devastadoras à qualidade do solo, uma vez que os organismos edáficos são responsáveis pela ciclagem de nutrientes e criação de estruturas biogênicas que melhoram as condições químicas, físicas e hídricas do solo.

Sendo assim, o presente trabalho busca compreender como a mudança de uso do solo afeta a qualidade do solo realizando uma análise qualitativa e quantitativa dos atributos físico-hídricos, químicos, e da fauna edáfica ao longo de duas topossequências, uma sob floresta e outra sob pastagem, em um assentamento rural na Amazônia oriental.

O presente trabalho é parte integrante de um projeto mais amplo, que busca a compreensão das dinâmicas físico-hídrica, química e biológica do solo após a mudança de uso, para criação e simulação de modelos sustentáveis de uso. Estes modelos ajudariam no direcionamento das escolhas de locais e manejo adequados que poderão ser adotados pelos agricultores, visando assim minimizar o impacto dos assentamentos e suas atividades sobre a floresta, garantindo sua subsistência de maneira adequada.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 A Amazônia

O termo Amazônia é utilizado para denominar a região heterogênea que se estende desde o oceano Atlântico até a borda da cordilheira dos Andes, compreendendo a formação florestal Floresta Tropical ou Floresta Ombrófila densa. Esta região abrange nove países (Peru, Colômbia, Venezuela, Equador, Bolívia, Guiana, Suriname, Guiana Francesa e Brasil) totalizando 7 milhões de km² e 34 milhões de habitantes (SANTOS et al., 2012). Deste total, cerca de 4 milhões de km² está localizado na região da bacia do rio Amazonas, no Brasil (IBGE, 2010).

A enorme extensão florestal presente na Amazônia é de extrema importância, pois a floresta abriga grande parte da biodiversidade mundial (ALEIXO et al., 2010), auxilia na conservação do solo contra erosão (BARBOSA e FEARNSIDE, 2000), no aumento dos estoques e ciclo de nutrientes (LAL e SHUKLA, 2005; ARAÚJO et al., 2011; DALMOLIN; TEN CATEN, 2013), na regulação do fluxo hidrológico e do micro e macro clima da região (FEARNSIDE, 2005; FEARNSIDE, 2006; FISCH et al., 2013).

A ocupação e exploração da Amazônia Brasileira por povos não indígenas teve início em 1513 visando a consolidação da posse portuguesa sobre as novas terras descobertas. Desde os primórdios a ocupação da região teve caráter extremamente conflituoso ocasionado tanto pela resistência de holandeses, franceses e espanhóis que adentravam nas áreas portuguesas através das Guianas e Equador, quanto pelos próprios habitantes locais (MICHELOTTI, 2008). A consolidação da ocupação portuguesa sobre a Amazônia ocorreu durante o século XVIII a partir do qual era possível encontrar seringueiros brasileiros ocupando a região (LIMA; POZZOBON, 2005). No século XIX as terras da Amazônia Brasileira já figuravam nos mercados como excelente oportunidade de investimento devido ao baixo valor das terras.

No ano de 1953, por motivações políticas e organizacionais, foi criado através da Lei nº 1086/53, o conceito de Amazônia Legal, extensão territorial que engloba além da Floresta Ombrófila densa (bioma Amazônico) regiões de transição e Cerrado (COSTA, 2008). A nova região criada compreende os Estados do Amazonas, Acre, Amapá, Roraima, Rondônia, Pará, Mato Grosso, Tocantins e parte do Maranhão, totalizando cerca de 5 milhões de km² e 24 milhões de habitantes (SANTOS et al., 2012).

A partir da década de 1970, com o advento do governo militar, cresce a necessidade de proteger as fronteiras e reduzir o “vazio demográfico” da Amazônia surgindo portanto, uma política governamental de ocupação da região, incluindo a criação de assentamentos rurais e o

fornecimento de incentivos fiscais aos grandes agricultores interessados em ocupar a Amazônia (SPAROVEK, 2003; FEARNSIDE, 2005).

O aumento da ocupação da Amazônia e a ampliação da malha viária decorrente das ocupações trazem consigo o aumento do desmatamento, com a retirada da vegetação nativa para implantação de culturas e pastagem. Para Rivero et al. (2009) a pecuária está fortemente relacionada ao desmatamento na Amazônia, ocorrendo tanto nas pequenas quanto nas grandes propriedades (DELFINA; TESTON, 2013; FEARNSIDE, 2005; FEARNSIDE, 2006).

A baixa necessidade de insumos, de investimentos de capital para instalação e as restrições ao relevo, fazem com que a pecuária figure hoje, como uma das principais atividades econômicas desenvolvidas na região, totalizando cerca de 18 milhões de cabeças (FERREIRA et al., 2005; RIVERO et al., 2009; TOWNSEND et al., 2010; SANTOS et al., 2012; DALMOLIN; TEN CATEN, 2013).

2.2 O Estado do Pará

O Estado do Pará está localizado na Amazônia Legal e apresenta uma extensão de pouco mais de 1 milhão de km² e população de 7,5 milhões de habitantes, dos quais cerca de 2 milhões localizam-se em áreas rurais (IBGE, 2010).

O processo de ocupação da região não diferiu do restante da Amazônia, incentivado por políticas governamentais de ocupação e pela construção de estradas, principalmente após a construção da rodovia Transamazônica, resultando em forte migração para a região (MICHELOTTI et al., 2007; VELHO, 1972).

A construção de estradas e rodovias atraiu dois tipos de imigrantes, os que vinham por conta própria e demarcavam suas terras, e os atraídos pelo Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA), o qual distribuía lotes e glebas para pequenos, médios e grandes agricultores. Com o aumento do fluxo migratório e a ausência dos títulos de propriedade das terras, a ocupação era garantida através de conflitos extremamente agressivos, tanto entre camponeses quanto entre camponeses e grandes proprietários (MICHELOTTI et al., 2007; MAHAR; DUCROT, 1998; HOMMA et al., 2001; CPT, 2013).

Visando o controle destes conflitos o INCRA passou a criar Projetos de Assentamento rurais, com a função de regularizar a situação dos habitantes (MICHELOTTI et al., 2007; HURTIENNE, 1999; HOMMA et al., 2001; VEIGA; TOURRAND, 2001). Esta política de ocupação foi a principal responsável para que o Estado do Pará conte hoje com 364 projetos de assentamento abrigando cerca de 87 mil famílias (INCRA, 2013).

Apesar do crescente número de assentamentos criados no Estado do Pará e à recente tendência de aumento da criação de assentamentos com preocupação ambiental (LE TOURNEAU; BURSZTYN, 2010), a grande maioria dos assentados não recebe suporte adequado em relação ao gerenciamento da terra (GUEDES et al., 2011), fortalecendo o ciclo de desmatamento e mudança do uso da terra.

Estudos desenvolvidos dentro dos assentamentos no Pará indicam que, para o período de agosto de 2012 a julho de 2013, os assentamentos foram responsáveis por 30% de todo o desmatamento ocorrido no Estado, realizado principalmente para implantação de roças de subsistência e pastagens (BRANDÃO JÚNIO et al., 2013).

A falta de suporte e assessoria técnica, o desconhecimento do manejo extrativista, a associação das pastagens à valoração da terra e a familiarização dos assentados com a pecuária faz com que esta seja a principal atividade econômica desenvolvida nos assentamentos paraenses, inclusive naqueles denominados “Assentamentos Verdes” como os Projetos de Assentamentos Extrativistas (PAE), Projeto de Desenvolvimento Sustentável (PDS), Reserva Extrativista (RESEX), dentre outros (HURTIENNE, 1999; VEIGA; TOURRAND, 2001; RODRIGUES, 2005; COPSERVIÇOS, 2009; GUEDES et al., 2011; MARTINS; PEREIRA, 2012).

2.3 Mudança do uso do solo

Segundo definição da FAO “florestas são áreas com mais de 0,5 hectares, com árvores superiores a 5 metros de altura e cobertura de dossel superior a 10%, não abrangendo áreas agrícolas ou urbanas” (FAO, 2005). Para o Serviço Florestal Brasileiro, esta definição não é capaz de abranger toda a complexidade das formações florestais brasileiras, sendo que algumas tipologias florestais como Cerrado e Caatinga não preenchem os requisitos necessários para a classificação florestal da FAO. Quando isso ocorre, são consideradas como florestas os sistemas com vegetação predominantemente lenhosa que sejam mais aproximados da definição oferecida pela FAO (SNIF, 2005).

Na Amazônia a vegetação predominante é a Floresta Ombrófila Densa, condicionada pela presença de elevadas temperaturas (em média 25° C), precipitação elevada e distribuída ao longo do ano com presença de fanerófitas, lianas e epífitas (EMBRAPA, 2014).

A presença da floresta sobre o solo desta região garante a manutenção dos serviços ecossistêmicos, da biodiversidade, do estoque de carbono, a ciclagem de nutrientes e de água (FEARNSIDE, 2006; BLANCO; LAL, 2008). Os solos da Amazônia são, em sua maioria, ácidos, de baixa fertilidade natural e alta saturação por alumínio (MENDONÇA-SANTOS et

al.; 2008), sendo altamente influenciados pela vegetação presente na serapilheira, pela atividade das raízes e microclima (FEARNSIDE, 2005; KONDO et al., 2012; SILVA JÚNIOR et al., 2012).

O dossel das árvores intercepta raios solares e gotas de chuva, minimizando a evaporação, a insolação e a erosão. A presença de dossel associado à camada de serrapilheira mantém o microclima da floresta relativamente estável, protegendo o solo contra o escoamento superficial e erosão, pela presença de macroporos formados pelo sistema radicular das árvores, facilitando a drenagem do perfil (BLANCO et al.; 2008; KONDO et al., 2012; STEFANOSKI et al., 2013).

O processo de desmatamento e mudança do uso do solo tem início com a abertura e pavimentação de estradas rurais as quais atraem núcleos populacionais para áreas florestadas (LUDEWIGS et al., 2009; DAVIDSON et al., 2012), sendo que o processo não implica necessariamente na remoção total das árvores, podendo ocorrer mediante o corte seletivo de espécies florestais, que já reduzem as características florestais, aumentando sua susceptibilidade à degradação (VERÍSSIMO et al., 1992; FEARNSIDE, 2005; BLANCO; LAL, 2008; ALVES et al., 2009).

A remoção da vegetação afeta não só o sistema em equilíbrio, mas também a estrutura do solo, favorecendo o aumento da densidade, redução da macroporosidade, da infiltração, da condutividade hidráulica e da retenção e armazenamento de água (MACEDO et al., 2014).

A degradação da estrutura do solo provoca problemas à produtividade e rendimento das culturas, sendo então necessária a incorporação de novas áreas para obtenção da mesma produtividade, colocando em risco a sustentabilidade do ambiente (OLIVEIRA, 2013).

A retirada da vegetação nativa e sua substituição por campos agrícolas ou pastagens altera o equilíbrio dos sistemas, afetando suas funções físicas, químicas e biológicas, causando prejuízos ecológicos, ambientais e agronômicos à região desmatada (BLANCO; LAL, 2008; ALVES et al., 2009; CARNEIRO et al., 2009).

O processo de desmatamento nos assentamentos do Sudeste do Pará geralmente se inicia com a retirada de espécies arbóreas de valor comercial e sua venda para indústria madeireira, movelaria ou carvão. O restante da madeira, sem valor comercial é queimado e as cinzas incorporadas, servindo de adubação natural da área para implantação de monoculturas ou pastagem (MAHAR; DUCROT, 1998; FERREIRA et al., 2005; DAVIDSON et al., 2012).

As pastagens implantadas por este sistema de corte e queima possuem um período de elevada produtividade, variando entre 5 a 7 anos, em decorrência da adubação provocada pelas cinzas, e em seguida, começam a ser percebidos os primeiros indícios de degradação

como perda de vigor, invasão por daninhas, redução da cobertura do solo e queda de produtividade, prejudicando assim a sustentabilidade ambiental, o processo de produção animal e os agricultores que sobrevivem deste campo (SERRÃO et al., 1990; MACEDO et al., 2014).

A Figura 1 a seguir representa de maneira clara os processos de degradação que ocorrem após a implantação das pastagens quando não é realizado o manejo adequado.

Figura 1 - Representação gráfica do processo de degradação de pastagens em suas diferentes etapas no tempo
Fonte: Macedo, 1999

Entretanto, a mudança de uso do solo nem sempre acarreta em problemas ao comportamento físico-hídrico do solo. Em estudos sobre a implantação de pastagens em áreas degradadas e em avançado estado de compactação, a implantação das pastagens provocou melhoria das condições físico-hídricas do solo aumentando a porosidade, melhorando a infiltração, reduzindo a densidade, a formação de escoamento superficial e as taxas de erosão (GHOSH et al., 2009; KONDO et al., 2012). Nestas áreas a ausência do uso de maquinários, a baixa lotação animal, a presença do sistema radicular das gramíneas e a formação de espessa cobertura pela forrageira escolhida, aumentaram a estabilidade estrutural do solo e protegeram-no do impacto direto dos agentes erosivos, permitindo assim a recuperação do solo.

Mesmo nas áreas onde a mudança de uso do solo não acarrete em problemas físico-hídricos ao solo, a mudança de uso ainda pode trazer graves problemas ambientais à sociedade, em decorrência da perda de diversidade de espécies animais e vegetais, o que deve

ser encarado com preocupação, principalmente na Amazônia, devido à elevada quantidade de espécies endêmicas que correm risco de desaparecer com o avanço do desmatamento, trazendo serias consequências à sociedade (VENTURIERI et al., 2005; AMBIENTAL, 2012; DELFINA; TESTON, 2013).

2.4 Macrofauna do solo

A macrofauna do solo compreende organismos invertebrados, visíveis a olho nu, com comprimento corporal maior que 10 mm e diâmetro corporal acima de 2 mm os quais vivem ou passam parte do seu desenvolvimento em contato com o solo (SWIFT et al., 1979; LAVELLE et al., 1997). Estão incluídos neste grupo formigas, cupins, coleópteros, chilópodas, diplópodas, minhocas, cigarras, aranhas, dentre outros (WALLWORK, 1970; BROWN et al., 2001; GIRACCA et al., 2003; MELO et al., 2009).

Os macroinvertebrados do solo tem papel importante no ecossistema, pois atuam na decomposição da matéria orgânica, na ciclagem de nutrientes e na manutenção das propriedades físicas do solo (BARROS et al., 2008). Os organismos podem ser classificados de acordo com sua função ou atividade no solo, sendo classificados do ponto de vista trófico em predadores e decompositores, ao mesmo tempo em que alguns grupos podem ser considerados engenheiros do ecossistema já que modificam a estrutura do solo (LAVELLE et al., 1997; MELO et al., 2009).

Os organismos decompositores vivem próximos à serapilheira e atuam na quebra da matéria orgânica, reduzindo seu tamanho para que esta possa ser processada por organismos menores. Sua atividade depende de fatores externos como clima, características do solo e qualidade do material orgânico presente para decomposição (LAVELLE et al., 1997; MATHIEU et al., 2004).

Os engenheiros do ecossistema são organismos que, através de suas atividades de incorporação de matéria orgânica e bioturbação, produzem estruturas organo-minerais como galerias, favorecendo a formação de agregados e porosidade e influenciando diretamente na química e física dos solos (RUIZ et al., 2008; MELO et al., 2009). Os engenheiros são representados pelas minhocas, cupins e formigas (LEE; FOSTER, 1991; LAVELLE et al., 2001; RUIZ et al., 2008; MELO et al., 2009; MATHIEU et al., 2009).

A atuação dos organismos edáficos acarreta na melhoria das condições químicas e físicas do solo, pois estes atuam diretamente na incorporação da matéria orgânica, na mobilização de nutrientes, na organização estrutural do solo através da construção de galerias, porosidade e formação de agregados, aumentando assim a aeração, a permeabilidade e as

condições para o crescimento das raízes, modificando também as características hidrológicas do solo (CHAUVEL et al., 1999; BARROS et al., 2001; BARROS et al., 2004; SILVA et al., 2011).

Na região Amazônica acredita-se que a fauna edáfica seja a principal responsável pela organização estrutural do solo (LEE; FOSTER, 1991; BARROS et al., 2001; BARROS et al., 2004), concentrando-se, principalmente nas camadas superficiais (até 0,3 m de profundidade) e movimentando toneladas de hectares anuais (LAVELLE et al., 1997; VELÁSQUEZ et al., 2012).

O desmatamento e a mudança de uso do solo modificam a cobertura vegetal da área reduzindo a quantidade e qualidade do material orgânico presente no solo, aumentando a radiação solar incidente e a temperatura, reduzindo a umidade e prejudicando as condições de sobrevivência de determinados grupos da fauna edáfica (BARROS et al., 2003; COLLIER; QUINN, 2003; MATHIEU et al., 2009; RIUTTA et al., 2012).

A conversão de florestas em pastagem acarreta na formação de uma serrapilheira mais homogênea, com pouca diversidade de material, favorecendo a proliferação de determinados grupos edáficos em detrimento de outros mais seletivos quanto à umidade e qualidade do material orgânico, tornando o ambiente de pastagem menos diverso em relação à macrofauna que os ambientes florestais (MBOUKOU-KIMBATSA et al., 1998).

A perda de diversidade da macrofauna edáfica pode ser apontada como importante fator de degradação do solo, principalmente em decorrência da grande quantidade de níveis tróficos ocupados pela macrofauna e da importância de suas atividades tanto para a física, quanto para a química do solo (LAL, 1988; GARNIER-SILLAM et al., 1991; CHAUVEL et al., 1999; BARROS et al., 2003; RUIZ et al., 2008). Essa perda de diversidade pode provocar um desequilíbrio entre espécies da macrofauna auxiliando na degradação das pastagens e, consequentemente do solo, como no estudo conduzido por Chauvel et al. (1999) no qual após a mudança de uso do solo o desequilíbrio entre minhocas compactadoras e descompactadoras auxiliou no processo de compactação e degradação da qualidade do solo.

Deste modo, a manutenção de uma fauna do solo diversa influencia diretamente nos processos de decomposição, ciclagem de nutrientes e nas propriedades físico-hídricas do solo, sendo este um recurso que deve ser conservado e protegido, visando a manutenção da produtividade e da qualidade dos solos (MATHIEU et al., 2004; ROSSI et al., 2006).

2.5 Qualidade do solo

O conceito de qualidade do solo é complexo e controverso, apresentando diversas definições e ainda sem determinação dos padrões de limites e regulamentações (ARAÚJO et al., 2012). De maneira geral o termo qualidade do solo é usado para definir a capacidade do solo de funcionar como se estivesse em condições naturais, mantendo sua estrutura, sustentando a produtividade do sistema, promovendo a saúde de plantas e animais e mantendo a qualidade do ambiente (DORAN; PARKIN, 1994; WANDER; DRINKWATER, 2000; REYNOLDS et al., 2002).

Por ser um conceito complexo e extremamente dependente de fatores externos, a qualidade do solo não pode ser medida diretamente, podendo ser inferida a partir da medição de atributos das plantas, físicas, químicas e biológicas do solo e pela comparação das propriedades entre solos sob diferentes usos e práticas de manejo (ARAÚJO et al., 2012; ROUSSEAU et al., 2012).

A qualidade pode ser determinada por intermédio de um grupo de atributos físicos, químicos e biológicos do solo, além de fatores sociais, que estão interligados fortemente, de maneira que a alteração sobre qualquer um dos atributos traga consequências a todos os outros (DORAN; PARKIN, 1994; FREITAS et al., 2013; STEFANOSKI et al., 2013).

As propriedades medidas para inferências sobre a qualidade do solo são normalmente citadas como indicadores ou índices da qualidade do solo e estes são geralmente divididos em físicos, químicos e biológicos de acordo com os atributos do solo analisados. Os indicadores de qualidade do solo, sob nenhuma hipótese devem ser usados de maneira isolada para a determinação da qualidade do solo (FREITAS et al., 2012; ROUSSEAU et al., 2012).

Um solo possui boa qualidade física quando apresenta condições adequadas para o desenvolvimento radicular das plantas, para o funcionamento das propriedades hídricas, trocas gasosas, armazenamento e suprimento de nutrientes e atividade biológica (ARSHAD et al., 1996; GOMES; FILIZOLA, 2006; ARAÚJO et al., 2012).

A qualidade física pode ser avaliada por meio de análises da estrutura do solo como densidade, porosidade, estabilidade de agregados, resistência à penetração, infiltração, tamanho e continuidade dos poros, retenção de água, umidade, dentre outros (REINERT et al., 2006; ROUSSEAU et al., 2012; FREITAS et al., 2013; ROUSSEAU et al., 2013; STEFANOSKI et al., 2013).

Além destes parâmetros de medições diretas, em campo ou laboratório, podem ser citados indicadores derivados destas medições mais complexas como o intervalo hídrico ótimo (IHO) e o índice S (SILVA et al., 1994; DEXTER, 2004; ARAÚJO et al., 2012).

A substituição das áreas de floresta por pastagens pode acarretar em modificações expressivas na qualidade física do solo, principalmente em decorrência da modificação da qualidade e quantidade do material orgânico, aumento do tráfego de máquinas nos períodos de implantação e reforma das pastagens, utilização do fogo e pisoteio provocado pelos animais (PAUDEL et al., 2012). A redução da matéria orgânica e a ação do maquinário e animais sobre o solo prejudicam sua estrutura favorecendo o aumento da densidade, redução da macroporosidade, da infiltração e da retenção de água no solo (ARAÚJO et al., 2012; ROUSSEAU et al., 2012; STEFANOSKI et al., 2013).

O pisoteio animal sobre as áreas de pastagem ocorre geralmente em superfície (até 0,1 m de profundidade) sendo sua atuação constante nas áreas de pastejo contínuo, independente da ocorrência de chuvas, favorecendo a compactação e prejudicando a qualidade física do solo.

Os sistemas de uso e manejo considerados adequados devem manter além das condições físicas favoráveis ao desenvolvimento das plantas, a adição de nutrientes conforme suas necessidades, com correção da acidez e elevação dos teores de nutrientes, principalmente nas camadas superficiais (ARATANI, 2008).

A avaliação da qualidade química dos solos é realizada mediante a utilização de análises tradicionais de fertilidade do solo como pH, Al^{+3} , bases trocáveis e matéria orgânica (SILVA et al., 2011). A utilização dos teores de matéria orgânica também é comum, pois esta é extremamente sensível às mudanças de uso e manejo e possui influência sobre a qualidade química, física (como agregação e retenção de água) e biológica do solo (condições favoráveis à fauna edáfica) (REICHERT et al., 2003).

Assim como a matéria orgânica, a macrofauna edáfica apresenta estreita relação com as propriedades físicas e químicas do solo, pois influenciam na porosidade, agregação e circulação de água no perfil, apresentando grande sensibilidade às interferências no ecossistema (BARETTA et al., 2003; BENITO et al., 2004; ALBUQUERQUE et al., 2010).

As minhocas já são amplamente usadas em estudos sobre a qualidade do solo e, recentemente outros grupos vem sendo estudados como potenciais indicadores da qualidade do solo (LAVELLE et al., 2006; BARETTA, 2007; MELO et al., 2009; SILVA et al., 2011).

Segundo Rousseau et al. (2013) a abundância ou ausência de determinados grupos podem auxiliar na determinação de solos com maior ou menor qualidade, desde que os indicadores baseados na fauna do solo sejam ajustados para o local do estudo e analisados em conjunto com os indicadores abióticos (físicos e químicos).

O processo de mudança de uso do solo é um dos principais fatores de degradação da qualidade do solo e o conhecimento dos processos responsáveis por esta degradação auxilia na obtenção de sistemas de produção mais sustentáveis (VEZZANI; MIELNICZUK, 2009; SILVA et al., 2011).

A substituição da floresta nativa por pastagem, comum nos assentamentos agrícolas da região Sudeste do Pará, pode acarretar em mudanças nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, prejudicando a produtividade das pastagens, e as condições de manutenção dos rebanhos sobre as pastagens, forçando o agricultor a trabalhar sobre áreas degradadas com baixo rendimento ou abrir novas áreas de pastagens aumentando assim o desmatamento.

Sendo assim o presente trabalho visa avaliar as modificações químicas, físicas e biológicas causadas pela mudança de uso do solo em duas topossequências dentro de uma área de assentamento rural na Amazônia Oriental através da adoção de indicadores simples e complexos da qualidade do solo visando a futura utilização destes índices em campo para reconhecimento das áreas degradadas ou em processo de degradação.

Através das pesquisas bibliográficas realizadas o presente trabalho baseia-se nas seguintes hipóteses

- 1 – A mudança de uso do solo de floresta para pastagem afeta negativamente os atributos físicos e químicos do solo;
- 2 – A mudança de uso do solo de floresta para pastagem reduz a abundância e diversidade da fauna do solo;
- 3 – As mudanças nas condições físico-hídricas do solo pela mudança de uso do solo condicionam a ocorrência de táxons da macrofauna e de espécies de minhocas.

2.6 Objetivos

2.6.1 Objetivos gerais

Sabendo que a conservação da fauna edáfica pode auxiliar na manutenção da produtividade de algumas áreas e das propriedades físicas e químicas do solo, o presente trabalho visa determinar os efeitos da mudança de uso do solo de floresta para pasto sobre as propriedades físico-hídricas, químicas e biológicas do solo, e compreender as relações existentes entre a fauna e os atributos do solo.

O presente trabalho faz parte de um projeto amplo, que conta com a participação de diversos pesquisadores e instituições, e que busca a compreensão das dinâmicas físico-hídrica, química e biológica do solo após a mudança de uso, para criação e simulação de modelos sustentáveis de uso, direcionando as escolhas de locais e manejo adequado que poderão ser

adotados pelos agricultores, visando minimizar seu impacto sobre a floresta e garantir sua subsistência de maneira adequada.

2.6.2 Objetivos específicos

- a) Caracterizar e quantificar os atributos físicos-hídricos do solo ao longo de duas topossequências localizadas sob floresta primária e pastagem em uma área de assentamento rural na Amazônia oriental;
- b) Caracterizar e quantificar os atributos químicos do solo ao longo de duas topossequências localizadas sob floresta primária e pastagem em uma área de assentamento rural na Amazônia oriental;
- c) Caracterizar e quantificar a macrofauna do solo ao longo de duas topossequências localizadas sob floresta primária e pastagem em uma área de assentamento rural na Amazônia oriental;
- d) Avaliar como a mudança de uso do solo influencia sobre os atributos físicos, químicos e biológicos do solo.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Área de estudo

O trabalho foi desenvolvido no Projeto de Assentamento Agroextrativista Praia Alta Piranha (PAE), município de Nova Ipixuna, sudeste do Pará, entre as coordenadas 04°45'00" a 04°58'11"S e 49°15'02" a 49°25'21"O (Figura 2). A escolha deste assentamento foi decorrente de sua singularidade como assentamento agroextrativista, apresentando extensa área de remanescente florestal e também em decorrência da existência de contatos e projetos prévios já desenvolvidos entre os agricultores e as instituições parceiras do trabalho, como a Universidade Federal do Pará (UFPA) e o Laboratório Sócio-Agrônomo do Tocantins (LASAT).

Figura 2 - Esquema ilustrativo da área e identificação das topossequências escolhidas

O clima no município é classificado como equatorial super-úmido do tipo Am (classificação Köppen) caracterizado por alternância entre as estações seca e chuvosa, temperaturas anuais elevadas, com máximas em torno de 31° C e mínimas em torno de 21° C, e índice pluviométrico de 2000 mm anuais, sendo o período chuvoso de outubro a maio (COPSERVIÇOS, 2009; INMET, 2014).

Os dados climáticos apresentados na Figura 3 foram compilados da estação meteorológica de Marabá devido à inexistência de estação meteorológica em Nova Ipixuna e da proximidade da estação de Marabá da área estudada.

Figura 3 – Médias mensais de temperatura (°C) e precipitação acumulada (mm) para a região de Marabá (PA) Série histórica de janeiro de 1973 a dezembro de 2013. Fonte: INMET

A cobertura vegetal predominante no local é Floresta Ombrófila Densa submontana (IBGE, 2014) sendo as principais espécies florestais representadas pela Castanha-do-Brasil (*Bertholletia excelsa* HBK), cupuaçu (*Teobroma grandiflorum*), açaí (*Euterpe oleracea*) e a andiroba (*Carapa guianensis* Aublet) (OLIVEIRA, 2008), entretanto, o assentamento possui atualmente, cerca de 30% de sua área total convertida em pastagem (FREITAS, 2007).

A escolha da propriedade de realização da amostragem foi baseada em estudos prévios e detalhados conduzidos no assentamento, que indicaram o local escolhido como uma área de elevada representatividade dos solos da região facilitando, portanto, a extrapolação dos resultados obtidos para a maior parte dos lotes presentes no assentamento.

A área de amostragem possui extensão de 100 hectares, sendo cerca de 20 destes transformados em pastagem sob o sistema de corte e queima e implantação de *Brachiaria*. A utilização do fogo como sistema de reforma das pastagens foi realizada pela última vez no ano de 2006 permanecendo a pastagem em pousio desde então, com utilização esporádica como pasto de arrendamento para proprietários vizinhos.

A área florestal localizada dentro da propriedade é utilizada para atividades extrativistas de castanha, andiroba, cupuaçu e açaí, produtos vendidos *in natura* ou sob a forma de produtos cosméticos.

Na propriedade foram escolhidas duas topossequências com características semelhantes de solo e relevo sendo uma sob floresta primária e a outra sob pastagem. Em ambas as topossequências foram abertas três trincheiras nas diferentes posições do relevo topo (T1), meia encosta (T2) e sopé (T3) (Figura 4).

Figura 4 - Esquema ilustrativo das topossequências e posições das trincheiras

As descrições do solo não foram realizadas no presente trabalho, entretanto, será apresentado aqui um resumo da caracterização dos solos da propriedade analisada, realizado por Oliveira (2014). Os solos observados nas trincheiras abertas foram descritos de acordo com o Manual de Descrição e Coleta de Solo no Campo (SANTOS et al., 2002), e classificados de acordo com (EMBRAPA, 2006).

O solo observado na topossequência sob floresta foi classificado como Argissolo Amarelo Distrófico saprolítico (PAd), assim como nas posições T1 e T2 da pastagem. Na

posição T3 da pastagem o solo foi classificado como Argissolo Amarelo distrófico epirredóxico (PAd), sendo este definido como sugestão para o 4º nível para a classe dos Argissolos Amarelos (EMBRAPA, 2006).

Com os resultados provenientes da análise estrutural proposta por Boulet (1982) (Boulet *et al.*, 1982) e realizada por Oliveira (2014) (Figura 5) as topossequências foram separadas em sete compartimentos ao longo das duas topossequências descritos a seguir.

O primeiro compartimento foi observado em superfície, com coloração bruno amarelado escuro a preto, textura arenosa, estrutura granular e teores elevados de matéria orgânica.

O segundo compartimento está localizado em subsuperfície apresentando coloração amarelada, textura franco-argilo-arenosa, presença de cascalho e areia grossa e estrutura granular e em blocos subangulares.

O terceiro compartimento apresenta coloração bruno-amarelada e presença de mosqueados vermelhos, aumento no teor de argila, presença de gradiente textural abrupto e estrutura em blocos subangulares.

O quarto compartimento possui variegado de cores bruno, vermelho e amarelo, textura argilosa, presença de cascalho e estrutura em blocos subangulares. Solos plínticos.

O quinto compartimento apresenta textura ligeiramente mais arenosa que o compartimento anterior, com menor quantidade de cascalho e incremento de areia grossa. Estrutura maciça que se desfaz em blocos angulares e subangulares.

O sexto compartimento está localizado à jusante na pastagem, com coloração acinzentada em decorrência da proximidade deste ponto ao curso d'água. Apresenta textura franco-arenosa e estrutura em blocos subangulares pequenos a médios e moderados. Possui características de horizonte em alteração.

O sétimo compartimento está localizado na parte inferior da vertente, sob floresta, apresentando areia grossa e umidade elevada, em decorrência da influência do lençol freático. Também apresenta características de um horizonte em alteração.

Detalhes específicos e mais completos sobre a descrição dos solos podem ser observados em Oliveira (2014).

Figura 5 – Análise estrutural do solo nas áreas de floresta e pastagem indicando os compartimentos do solo identificados. Fonte: Oliveira (2013)

As áreas de amostragem utilizadas no presente trabalho compreendem as áreas referentes aos compartimentos 1, 2 e 6, sendo a superfície de textura arenosa ou franco-arenosa e estrutura granular (compartimentos 1 e 6) e a subsuperfície de textura franco-argilo-arenosa e estrutura em blocos subangulares (compartimento 2).

Os dados referentes à granulometria, densidade de partículas e micromorfometria do solo também foram aproveitados de Oliveira (2014).

3.2 Coletas e análises

As coletas para análise física, físico-hídrica, química e da fauna do solo foram realizadas em cada uma das posições do relevo (T1, T2 e T3) em cinco repetições (a, b, c, d, e), distando aproximadamente 1,5 m entre si. Foram estabelecidos 15 pontos de amostragem por topossequência totalizando 30 pontos de amostragem na propriedade.

As coletas foram realizadas nos meses de julho de 2012 (período seco) e janeiro e março de 2013 (período úmido) e os procedimentos de coleta serão apresentados a seguir na mesma sequência em que foram coletados no campo.

A coleta de amostra vegetal para determinação da matéria seca (MS) foi realizada em uma área determinada de 0,25 x 0,25 m de onde toda a matéria vegetal foi retirada com auxílio de uma tesoura de poda e acomodada em sacos plásticos para futura remoção da macrofauna e determinação da MS.

Após a remoção das amostras para determinação da MS, nos mesmos locais, foram esculpidos monólitos de 0,25 x 0,25 x 0,30 m para coleta da macrofauna do solo, seguindo metodologia do Tropical Soil Biology and Fertility (TSFB) descrita por Anderson e Ingram (1993). Os monólitos foram subdivididos em 4 estratos considerando a serrapilheira (amostra coletada e descrita em MS), 0-0,1 m, 0,1-0,2 m e 0,2-0,3 m. Em cada uma das posições do relevo foram coletadas 5 amostras de serrapilheira e 15 amostras de solo, totalizando 15 amostras de serrapilheira e 45 amostras de solo em cada uma das topossequências e 120 amostras na propriedade. As amostras foram acomodadas em sacos plásticos para posterior extração da macrofauna conforme descrito no item 3.2.2 macrofauna.

Após a retirada dos monólitos, nos mesmos locais e profundidades, foram coletadas amostras deformadas de solo para determinações da umidade e química do solo. Nestes locais também foram coletadas amostras indeformadas de solo com auxílio de cilindros metálicos de 100 cm³ nas profundidades de 0-0,05, 0,10-0,15 e 0,20-0,25 m para determinação da curva de retenção de água, densidade do solo, porosidade total e macro e microporosidade do solo.

Detalhes mais específicos sobre a coleta das amostras serão fornecidos nos tópicos específicos descritos a seguir para cada análise.

3.2.1 Determinação da matéria seca vegetal

Para determinação da matéria seca vegetal (MS) as amostras de serrapilheira, após a separação da macrofauna presente, foram acomodadas em sacos de papel (Figura 6) e levadas à estufa com ventilação forçada a 60° C até atingir peso constante. O cálculo da quantidade de material vegetal foi realizado com auxílio da fórmula

$$Ms = \frac{(Mu - Ms)}{\text{área}} \quad (1)$$

Onde Mu é a massa úmida, Ms a massa seca e área é o tamanho da área de onde foi retirada a amostra de serrapilheira.

Figura 6 - Coleta das amostras de serrapilheira e secagem em estufa

3.2.2 Macrofauna

As amostras coletadas segundo a metodologia TSBF (ANDERSON e INGRAM, 1993) (Figura 7a) foram acomodadas em bandejas plásticas para separação manual da macrofauna (Figura 7b). As minhocas foram fixadas em solução de formol a 4% durante 72 horas (Figura 7c) e conservadas em solução de álcool 70%. Indivíduos pertencentes a outros grupos foram conservados diretamente em solução de álcool 70%.

Os organismos coletados foram contabilizados e identificados de acordo com táxons de alto nível, as minhocas foram identificadas em nível de espécie e o conceito de morfoespécies (organismos similares morfológicamente) foi usado quando uma definição taxonômica não foi possível. A identificação dos grupos foi realizada no Laboratório de Solos da Universidad Nacional de Río Cuarto, Argentina, com utilização de chaves específicas para cada grupo identificado.

Os principais táxons encontrados foram Minhocas, Isoptera, Formicida, Quilopoda, Diplopoda, Coleoptera, Hemiptera, Aranae, Isopoda, Diplura, Pseudo-escorpionidae, Blatária, Schizomida. Para cada um dos grupos encontrados foi utilizada chave específica para identificação e classificação. Para insetos e aracnídeos utilizou-se a classificação de Rafael et al (2012), Lawrence et al. (2002) e Borror et al. (1992), para diplópodes utilizou-se a classificação de Hoffman et al. (2002), para quilópodes utilizou-se a classificação de Pereira (1998).

Após a separação e identificação dos táxons foi criada a variável riqueza taxonômica, onde a presença de cada um dos grupos foi contabilizado como 1 e a ausência como 0. A quantidade de grupos foi somada para obtenção de um número que indicou os grupos presentes em cada uma das posições do relevo e profundidades do solo.

As minhocas, quando adultas foram identificadas em nível de família segundo classificação de Brown e Fragoso (2007) e Mischis (1991). Quando a identificação não foi possível, estas foram separadas de acordo com características morfológicas externas ou internas (morfoespécies) e numeradas. As minhocas consideradas juvenis também foram identificadas através de suas características externas sendo também numeradas

Figura 7 – Coleta da macrofauna. a) Coleta dos monólitos; b) Separação da macrofauna; c) Fixação das minhocas em formol

3.2.3 Estrutura da comunidade de minhocas

As minhocas encontradas foram avaliadas e identificadas de acordo com seu estágio de desenvolvimento em juvenis e adultas. Os indivíduos categorizados como juvenis não apresentam estruturas reprodutivas suficientemente desenvolvidas para proceder a identificação. Indivíduos adultos ou em estágio avançado de desenvolvimento foram identificados de acordo com suas características externas e internas e, de acordo com as espécies ou morfoespécies, foram calculados os índices de riqueza, sendo r o número total de

espécies ou morfoespécies, os índices de diversidade de Shannon e de Simpson e o índice de dominância de Berger-Parker conforme demonstrado a seguir

$$\text{Índice de Shannon } (H) = - \sum_{i=1}^r p_i \ln p_i \quad (2)$$

onde p_i é a frequência relativa de cada espécie.

$$\text{Índice de Simpson (1-D): } \sum_{i=1}^r \frac{x_i(x_i - 1)}{t_0(t_0 - 1)} \quad (3)$$

onde x_i é o número de indivíduos da espécie i e t_0 é a abundância total

$$\text{Índice de Berger-Parker (D): } \frac{x_{\max}}{t_0} \quad (4)$$

3.2.4 Química do solo

As amostras deformadas coletadas foram secas ao ar e peneiradas em peneira de abertura 2 mm para obtenção da terra fina seca ao ar (TFSA). As determinações químicas foram realizadas no Laboratório de Análises Químicas do Departamento de Ciência do Solo da ESALQ/USP (Figura 8) de acordo com metodologia proposta por Raij (1987). Foram determinados pH em água e KCl, H+Al, Al³⁺, K⁺, P³⁺, Ca²⁺, Mg²⁺ e carbono orgânico.

Figura 8 - Determinações químicas

3.2.4.1 pH em água

O procedimento analítico consistiu da transferência de 10 g de TFSA para frasco plástico, adição de 25 ml de água deionizada e agitação por 5 minutos. Após 30 minutos de repouso procedeu-se a medição do pH com auxílio de pHmetro Digimed®.

3.2.4.2 pH KCl

O procedimento analítico para determinação do pH em KCl foi o mesmo descrito para determinação do pH em água com substituição da água por solução de KCl 1N.

3.2.4.3 H+Al

O procedimento analítico consistiu da transferência de 2,5 g de TFSA para frasco plástico, adição de 50 ml de solução de acetato de cálcio e agitação por 10 minutos. A solução foi filtrada em papel de filtro faixa azul. Do filtrado foi pipetado 25 ml, transferido para erlenmeyer com capacidade para 125 ml e adicionadas 3 gotas de fenoftaleína. A titulação foi realizada com solução de NaOH 0,025 mol L⁻¹.

3.2.4.4 Alumínio

O procedimento para determinação do alumínio trocável constou da adição de 5 g de TFSA e 50 ml de solução KCl 1 mol L⁻¹ em frasco plástico. A solução foi agitada por 10 minutos e filtrada em papel de filtro faixa azul. Foram pipetados 5 ml do filtrado, transferido para erlenmeyer com capacidade para 125 ml e adicionadas 3 gotas de indicador azul de bromotimol. A titulação foi realizada com solução de NaOH 0,025 mol L⁻¹.

3.2.4.5 Potássio

A determinação do potássio consistiu na transferência de 2,5 g de TFSA em frasco plástico e adição de 25 ml de solução Mehlich-1 (HCl 0,05 mol L⁻¹ e H₂SO₄ 0,0125 mol L⁻¹). A suspensão foi agitada por 5 minutos e permaneceu em repouso até a decantação. Foi retirada uma alíquota de 5 ml e transferida para tubo de ensaio de vidro. O extrato foi lido em fotômetro de chama Digimed® DM-62.

3.2.4.6 Fósforo

Para a determinação do fósforo foram transferidos para frasco plástico 2,5 g de TFSA e 25 ml da solução Mehlich-1 (HCl 0,05 mol L⁻¹ e H₂SO₄ 0,0125 mol L⁻¹). A solução foi agitada durante 5 minutos e permaneceu em repouso até decantação. Foram transferidos 5 ml da solução para tubo de ensaio de vidro e adicionados 10 ml de molibdato. A amostra foi agitada e em seguida mantida em repouso por 30 minutos. A leitura foi realizada em colorímetro a 660 nm da FEMTO.

3.2.4.7 Cálcio

Para a determinação do cálcio foram adicionados em frascos plásticos 5 g de TFSA e 50 ml de solução KCl 1 mol L⁻¹. A solução foi agitada por 10 minutos e filtrada em papel de filtro faixa azul. Uma alíquota de 1 ml da solução foi transferida para tubo de ensaio de vidro com adição de 10 ml de lantânio 1%. A solução foi agitada e a leitura foi realizada em fotômetro de absorção atômica Perkin-Elmer 1100B.

3.2.4.8 Magnésio

Para a determinação do magnésio foram adicionados a frascos plásticos 5 de TFSA e 50 ml de solução KCl 1 mol L⁻¹. A solução foi agitada por 10 minutos e filtrada em papel de filtro faixa azul. Do extrato foi transferido 1 ml para tubo de ensaio de vidro e adicionado 10 ml de solução de lantânio 1%. Os tubos com solução foram agitados e procedeu-se a leitura em fotômetro de absorção atômica Perkin-Elmer 1100B.

3.2.4.9 Matéria Orgânica

O cálculo da matéria orgânica (MO) é baseado na determinação do carbono orgânico via oxidação por dicromato de potássio. Sua determinação foi realizada pelo método tradicionalmente conhecido como Walkley-Black onde uma alíquota de 1 g de solo e 10 ml de solução de dicromato de potássio (0,167 mol L⁻¹) são adicionados a 20 ml de H₂SO₄. A solução é agitada manualmente e permanece em repouso por 30 minutos, sendo em seguida adicionados 200 ml de água deionizada e 10 ml de ácido fosfórico. Usou-se como titulante solução de sulfato ferroso amoniacal 0,4 mol L⁻¹ e indicador difenilamina.

3.2.5 Análise granulométrica

Os dados referentes à análise granulométrica foram obtidos por Oliveira (2014) segundo método do densímetro adaptado de Gee e Or (2002). O procedimento analítico consiste da adição de 40 g de TFSA em um frasco contendo 250 ml de solução de hidróxido e hexametáfosfato de sódio e levado à mesa agitadora por 16 horas (Figura 9a). A areia presente na amostra foi separada com auxílio de uma peneira de abertura 0,053 mm e a solução contendo silte e argila transferida para provetas com capacidade para 1000 ml, sendo o volume completado com água (Figura 9b). A areia retida na peneira foi lavada, levada à estufa com ventilação forçada a 105° C por 48 h e pesada para obtenção da quantidade de areia total (Figura 9c).

A solução contida nas provetas foi agitada manualmente e a quantidade de argila presente medida após 24 horas com auxílio de um densímetro de mercúrio. A quantidade de argila foi obtida da medição realizada com o densímetro, a areia foi determinada pela pesagem da areia seca e o silte foi obtido por diferença.

Figura 9 - Passos realizados durante a análise granulométrica. a) Solução; b) Provetas prontas para medição; c) Areias prontas para serem levadas à estufa.

3.2.6 Densidade de partícula

Assim como os dados referentes à análise granulométrica, os dados referentes à densidade de partículas foram retirados de Oliveira (2014). A densidade de partículas foi determinada pelo método do Picnômetro de gás Hélio (Accupyc 1330, Micromeritics Instrument Corporation®) conforme descrito em Flint e Flint (2002) (Figura 10). O equipamento é provido de duas câmaras de volume conhecido. Dentro de uma das câmaras foi adicionada 6 g de TFSA, e esta foi pressurizada até uma pressão definida. Em seguida, uma válvula permitiu que o ar se deslocasse da câmara pressurizada para a câmara não pressurizada, resultando na queda da pressão injetada na câmara contendo a amostra. A pressão final de equilíbrio foi usada para calcular o volume total, que é a combinação do volume inicial pré-determinado por calibração do equipamento, do volume da cápsula de expansão e o volume da amostra. A densidade de partículas foi então calculada através de uma relação entre a massa do solo e o volume das partículas da amostra inserida.

Figura 10 - Picnômetro de gás Hélio.

3.2.7 Densidade do solo

Para a determinação da densidade do solo foram coletadas amostras indeformadas de solo com auxílio de cilindros metálicos de 100 cm³ e um trado. As amostras foram coletadas em cinco repetições por ponto nas profundidades de 0-0,05; 0,10-0,15 e 0,20-0,25 m e secas em estufa com ventilação forçada a 105° C por 24 horas para determinação da massa do solo seco. A densidade foi calculada por meio da relação entre massa do solo seco e o volume da amostra.

3.2.8 Umidade do solo

As amostras deformadas coletadas (Figura 11) foram acomodadas em recipientes metálicos e pesadas úmidas. Em seguida os recipientes foram levados à estufa com ventilação forçada a 105° C por 48 h e pesadas secas. A umidade foi calculada segundo equação

$$U(\%) = 100 \times \left(\frac{Mu - Ms}{Ms} \right) \quad (5)$$

Onde U é a umidade; Mu é a massa do solo úmido e Ms é a massa do solo seco.

Figura 11 - Coleta e determinação da umidade do solo.

3.2.9 Porosidade

3.2.9.1 Porosidade calculada

Para o cálculo da porosidade total foram utilizados os dados de densidade do solo e densidade de partículas. O cálculo foi realizado segundo fórmula apresentada a seguir:

$$PT = 1 - \frac{ds}{dp} \quad (6)$$

Onde: PT é a porosidade total, ds a densidade do solo calculada para cada repetição através da curva de retenção de água no solo e dp a densidade de partícula para cada uma das profundidades calculadas para a caracterização do solo.

3.2.9.2 Micromorfometria do solo

Os dados referentes à análise de imagens foram retirados de Oliveira (2014). As amostras indeformadas foram coletadas em triplicata com auxílio de caixas de papel cartão no tamanho 0,12 x 0,07 x 0,05 m, identificadas e orientadas em relação à superfície.

Em laboratório as amostras foram secas ao ar durante 15 dias e em seguida levadas à estufa com ventilação forçada a 40° C durante 48 horas. Após secagem as amostras foram acomodadas em frascos plásticos com capacidade para 2000 ml de solução e acondicionadas em dessecadores ligados à bomba de vácuo visando facilitar a penetração da solução de impregnação (CASTRO et al., 2003).

A solução para impregnação das amostras foi preparada segundo metodologia descrita por Murphy (1986) na proporção de uma parte de resina poliéster “cristal” e uma parte de

monômero de estireno para reduzir a viscosidade da resina e facilitar a impregnação (CASTRO et al., 2003). Também foram utilizados 5 g de pigmento fluorescente Tinopal OB (BASF®) (MURPHY et al., 1977; MURPHY, 1986) e peróxido orgânico (Butanox M50) para controle do endurecimento da solução na proporção de 4 gotas por 1000 ml de solução (RINGROSE-VOASE, 1991).

A solução foi adicionada aos frascos plásticos lentamente e em pequenas quantidades, ligando-se a bomba de vácuo por cerca de 30 minutos após cada adição de solução. O procedimento foi repetido sucessivamente até que as amostras estivessem totalmente cobertas pela solução. Após a imersão total das amostras em solução estas foram mantidas no vácuo por, no mínimo, 24 horas (RINGROSE-VOASE, 1991).

Posteriormente à secagem e endurecimento dos blocos, estes foram cortados em 3 partes com auxílio de uma serra de diamante. A porção central do bloco foi lixada com auxílio de um disco rotativo e carbureto de silício de granulação grossa (220 mesh e grãos de 53-62 μm). Em seguida, os blocos foram polidos em placa de vidro com carbureto de silício de granulação mais fina (600 mesh e grãos de 18-22 μm). Durante todo o procedimento de lixamento e polimento o bloco foi mantido úmido quando em contato com o material abrasivo.

Depois de lixados e polidos os blocos foram analisados no Laboratório de Microscopia do Departamento de Ciência do Solo, ESALQ/USP. Os blocos foram levados a ambiente escuro com iluminação ultravioleta e em cada um deles foram escolhidas, em média, 15 áreas de cerca de 180 mm^2 das quais foram adquiridas imagens com auxílio de câmera digital em cores (Sony® DFW-X700), em sistema “charged couple device” (CCD), conectada à lupa Zeiss®.

As imagens foram digitalizadas em 1024 x 768 pixels, com resolução espectral de 256 tons de cinza, em aumento 10x, igualando um pixel a 156,25 μm^2 . Em seguida as imagens foram binarizadas e etiquetadas com auxílio do programa Noesis® Visilog 5.4, sendo identificados os macro e mesoporos.

A quantificação e classificação dos poros foi realizada segundo critérios definidos por Cooper e Vidal-Torrado (2005) e otimizado por macros desenvolvidas em linguagem Visual Basic no Microsoft® Excel (JUHÁSZ et al., 2007). Os gráficos foram desenvolvidos com auxílio do programa SigmaPlot®

3.2.10 Curva de retenção de água no solo

Para a determinação da curva de retenção de água no solo (CRA) as amostras indeformadas coletadas com auxílio de cilindro metálico de 100 cm³ e trado foram levadas para laboratório e limpas. Em uma das extremidades do cilindro foi colocada uma tela de silk-screen composta de 180 fios por mm² cortada em diâmetro de 0,07 m e presas aos cilindros com elásticos de borracha. As amostras foram saturadas em água por 48 horas, levadas à câmaras de Richards e submetidas aos potenciais -1, -3, -6, -8, -10, -33, -70, -100 kPa (RICHARDS & FIREMAN, 1943). Para o potencial de -500 kPa foram utilizadas amostras deformadas em câmaras de Richards (EMBRAPA, 1997) e para o potencial de -1500 kPa foram utilizados os valores obtidos com o equipamento WP4 (SCANLON et al., 2002). A partir dos dados de umidade saturada (θ_s) e residual (θ_r), foi possível calcular a macroporosidade e microporosidade do solo.

Para a construção da CRA os dados obtidos foram ajustados segundo o modelo van Genuchten (1980) com ajuda do programa RetC e os gráficos foram construídos com auxílio do programa SigmaPlot®

3.2.11 Índice S

O índice S foi obtido por meio da CRA determinada utilizando-se a umidade gravimétrica do solo. Seu cálculo foi realizado de acordo com Dexter (2004) utilizando a seguinte fórmula:

$$S = -n(\theta_s - \theta_r) \times \left(\frac{2n-1}{n-1} \right)^{\left(\frac{1}{n}-2 \right)} \quad (7)$$

Onde os valores de n, θ_s e θ_r são retirados dos ajustes da CRA no solo, sendo o n a inclinação da curva, θ_s a umidade de saturação e θ_r a umidade residual

3.3 Análises estatísticas

As análises estatísticas foram conduzidas de maneira univariada e multivariada. As análises univariadas foram realizadas com auxílio do programa estatístico InfoStat (DI RIENZO et al, 2013) e as multivariadas com o programa CANOCO (ter BRAAK e ŠMILAUER, 2002).

Os dados físicos e químicos do solo foram analisados individualmente com base na aplicação do Modelo Linear Misto, utilizado para descrever dados que variam de acordo com fatores fixos e aleatórios. A adequação do modelo aos dados foi avaliada pelo critério Akaike

(AIC) utilizado para comparação de modelos com mesmos efeitos fixos e diferentes estruturas de covariância (AKAIKE, 1974). O melhor modelo e o que deve ser escolhido é aquele que apresenta menores valores de AIC sugerindo melhor estrutura (WOLFINGER, 1993).

O AIC é calculado de acordo com a fórmula apresentada a seguir

$$AIC = -2\log(L_p) + 2p \quad (8)$$

Onde L_p é a função de máxima verossimilhança do modelo e p é o número de variáveis explicativas consideradas no modelo

A análise univariada dos dados de fauna do solo foi realizada com ajuda do programa estatístico InfoStat (DI RIENZO et al., 2013) através da construção de Modelos Lineares Generalizados Mistos (MLGM). Estes modelos devem ser usados quando os dados obtidos são referentes à contagem de indivíduos, não permitindo a distribuição normal de erros. Estes modelos também possuem variáveis com efeitos fixos e aleatórios.

Em todas as análises univariadas as comparações posteriores foram realizadas com análise DGC 5% (DI RIENZO et al., 2002), baseada em agrupamentos para identificação de grupos de médias não homogêneas. Os resultados foram apresentados sob a forma de gráficos de barras indicando a média do modelo e o erro padrão.

Os modelos criados foram específicos para cada análise, apresentando variações nos parâmetros fixos e aleatórios e nas transformações realizadas sendo, portanto melhor detalhados a seguir.

3.3.1 Análises univariadas

Para análise dos dados de matéria seca (MS), química, densidade (Ds), umidade (U), porosidade do solo (PT) e índice S (Is) foram construídos Modelos Lineares Mistos (MLM) com fatores de variação e transformações específicas para cada caso.

Para análise da MS o MLM foi construído considerando como parâmetros fixos uso do solo e posição no relevo e como parâmetros aleatórios o período de coleta (coleta) e a repetição coletada (amostra). Os parâmetros aleatórios foram avaliados sobre a variável uso do solo. Para a redução da heterocedasticidade dos dados foi utilizada a função varExp.

Para as análises químicas, Ds, U, PT e Is os MLM foram construídos considerando uso do solo, posição no relevo e profundidade como parâmetros fixos e período de coleta e

repetição coletada como parâmetros aleatórios. Os parâmetros aleatórios foram avaliados sobre a variável uso do solo. Para a redução da heterocedasticidade dos dados foi utilizada a função varExp no caso da análise do cálcio e matéria orgânica, U, PT e Is. Para a análise do pH e Ds a heterocedasticidade foi reduzida com a função varIdent.

Para a análise da macrofauna total, das minhocas e engenheiros do ecossistema foram construídos MLGM considerando uso do solo, posição no relevo e profundidade como parâmetros fixos e período de coleta e repetição coletada como parâmetros aleatórios. Os parâmetros aleatórios foram avaliados sobre a variável uso do solo. A redução da heterocedasticidade dos dados foi realizada com a função varIdent para macrofauna total e minhocas e varExp para engenheiros do ecossistema.

A análise dos Chilopoda, Coleóptera, Diplopoda, Formicida, Isoptera e larvas foram realizadas sem que fossem consideradas as diferentes profundidades do solo. Os modelos utilizados para os referidos grupos necessita homogeneidade em relação ao número de amostras contidas em cada posição do relevo, não sendo possível executar o modelo quando em determinada profundidade não existem indivíduos pertencentes ao grupo analisado.

Sendo assim, a profundidade foi desconsiderada, sendo o modelo criado com uso do solo e posição no relevo como parâmetros fixos e período de coleta e repetição coletada como parâmetros aleatórios. Os parâmetros aleatórios foram avaliados sobre a variável uso do solo. A heterocedasticidade dos dados foi reduzida com a função varExp.

A análise dos engenheiros do ecossistema e da riqueza taxonômica foi realizada com a criação de MLGM considerando uso do solo, posição no relevo e profundidade do solo como parâmetros fixos e período de coleta e repetição coletada como parâmetros aleatórios avaliados sobre a variável uso do solo. Para a redução da heterocedasticidade foi utilizada a função varExp.

3.3.2 Relações entre atributos do meio físico e a fauna do solo

Sabendo que o solo é um ambiente de comportamento complexo, onde as propriedades físicas, químicas e biológicas interagem intimamente influenciando umas sobre as outras, a análise univariada das propriedades do solo podem auxiliar na compreensão de como as propriedades se comportam no solo, sem, no entanto, facilitar na compreensão de como as relações entre as propriedades modificam após a conversão de floresta em pastagem.

A análise multivariada foi a técnica escolhida para avaliar as relações existentes entre os atributos do meio físico e a fauna do solo, antes e após a mudança de uso do solo e é aqui representada por uma análise de correspondência canônica (ACC).

A ACC realiza uma combinação linear das variáveis ambientais maximizando a separação dos nichos ecológicos dos táxons analisados (ter BRAAK e VERDONSCHOT, 1995). Os resultados são apresentados sob a forma de gráficos cuja média ponderada de cada atributo está localizada na sua origem, as variáveis ambientais projetadas ao longo do eixo 1 e 2 e os táxons, quando projetados sobre as variáveis ambientais, fornecem o valor aproximado da média ponderada de cada táxon em relação a cada atributo (ter BRAAK e VERDONSCHOT, 1995).

Para a realização destas análises foram incorporados ao modelo todas as profundidades e posições do relevo para cada uso do solo considerando-se como variáveis ambientais as variáveis físicas, químicas e físico-hídricas do solo.

As ACCs foram realizadas pelo módulo Canowin do programa estatístico CANOCO (ter BRAAK e ŠMILAUER, 1998) utilizando-se o dimensionamento simétrico entre amostras e táxons e interpretação pela regra biplot (ter BRAAK e VERDONSCHOT, 1995). As análises foram realizadas sem transformações logarítmicas dos dados de fauna, sem ponderação especial para os táxons menos abundantes (raros) e sem ponderação diferencial para as amostras (ter BRAAK e ŠMILAUER, 1998).

De acordo com os resultados obtidos, as análises foram gradativamente modificadas por exclusão de variáveis que apresentavam pouca relação com a análise e inclusão de outras variáveis que poderiam aportar mais informações sobre a análise realizada.

Posteriormente, buscando uma melhor compreensão das variações obtidas entre floresta e pastagem procedeu-se a mesma avaliação, porém desconsiderando-se as diferentes posições do relevo, procedendo-se a análise somente com relação às diferentes profundidades do solo.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados estão aqui apresentados com ordenação ligeiramente diferente da apresentada no material e métodos decorrente da maior facilidade de compreensão dos dados e relacionamento entre as propriedades. Sendo assim a ordem de apresentação será MS, propriedades químicas do solo, propriedades físicas e físico-hídricas, fauna do solo e relação entre propriedades químicas, físicas e físico-hídricas e fauna do solo.

4.1 Matéria seca vegetal

As áreas florestais apresentam serrapilheira de constituição heterogênea, composta por talos, folhas e pequenos troncos (Figura 12a), enquanto a serrapilheira da pastagem é composta por material homogêneo e folhoso, em geral proveniente de uma única espécie vegetal, com baixa relação C/N e rápida decomposição, acarretando em menor quantidade de MS nas pastagens (Figura 12b) (ARAÚJO et al., 2011).

a) **b)**

Figura 12 a) Serrapilheira retirada de uma área de 0,25 x 0,25 m coletada em área de floresta; b) Serrapilheira retirada de uma área de 0,25 x 0,25 m coletada em área de pastagem

A tabela 1 apresenta os valores p observados para os parâmetros fixos utilizados no modelo e pode-se perceber que o fator que influenciou significativamente a quantidade de MS foi posição do relevo com valores inferiores a 0,05. O fator uso do solo também foi graficado, pois possui valor p de 0,0572 sendo, portanto, considerado marginalmente significativo para a quantidade de MS

Tabela 1 - Valores *p* resultantes da análise estatística para matéria seca

	Parâmetros fixos (valor <i>p</i>)						
	Uso	Prof.	Posição	Uso * Prof.	Uso * Posição	Posição * Prof.	Uso * Posição* Prof.
Matéria seca	0,0572	-	0,0050	-	0,2672	-	-

A tabela 2 mostra os efeitos dos parâmetros aleatórios dentro do modelo, ou seja, indica o nível de estabilidade temporal da quantidade de MS (efeito do período de coleta) e quanto as repetições coletadas aportam na variabilidade dos dados (efeito repetição). Segundo a tabela, pode-se ver que os dados de MS representados variam de acordo com o período de coleta, podendo estar relacionado com as diferenças estacionais na queda de folhas das árvores, porém a variabilidade decorrente da repetição analisada é pequena.

Tabela 2 – Variância obtida para os períodos de coleta e amostras coletadas

	Parâmetros aleatórios (variância)	
	Período de coleta	Repetição
Matéria seca	6,89	1,32

A análise da quantidade de MS em relação aos usos do solo indicam que as áreas sob floresta apresentam maior quantidade de MS que as áreas sob pastagem, decorrente da diversidade de material vegetal presente no solo, proveniente de espécies vegetais distintas e, portanto, diferentes taxas de decomposição, acarretando em maior acúmulo de serrapilheira sob floresta que sob pastagem (Figura 13).

A ausência de interação entre os fatores uso do solo e posição no relevo (Tabela 1) nos mostra que o efeito da posição do relevo sobre a quantidade de MS é independente do uso do solo, ou seja, o comportamento da MS em relação às diferentes posições do relevo é o mesmo tanto para floresta quanto para pastagem, sendo, portanto, apresentado aqui sob a forma de um só gráfico para ambos os usos (Figura 14).

A posição T2 foi a que apresentou a menor quantidade de MS (Figura 14), provavelmente decorrente da variabilidade natural do solo e da posição do relevo, onde há menor disponibilidade de água prejudicando a produção de MS (JUHÁSZ et al., 2006; COOPER et al., 2012) e maior declividade, favorecendo a remoção do material vegetal para as posições mais baixas do relevo, observado pelo aumento da MS na posição T3.

Figura 13 - Quantidade de matéria seca em floresta e pastagem. Média de 5 repetições em três posições do relevo e três períodos de coleta. Letras maiúsculas diferentes indicam diferença pelo teste DGC 5%. As barras indicam o erro padrão das médias

Figura 14 - Quantidade de matéria seca nas diferentes posições do relevo para ambos os usos do solo. Média de 5 repetições em três posições do relevo e três períodos de coleta. Letras maiúsculas diferentes indicam diferença pelo teste DGC 5%. As barras indicam o erro padrão das médias

4.2 Química do solo

As minhocas são organismos da macrofauna extremamente sensíveis às modificações das propriedades químicas do solo, tendo o pH ideal para sua sobrevivência entre 5,5 e 6,5 e o aporte de cálcio como um fator de favorecimento do desenvolvimento de espécies ativas no solo (FREITAS, 2007). Além destes fatores específicos, grande parte da macrofauna é diretamente influenciada pela quantidade de matéria orgânica presente no solo (LAVELLE et al., 2001).

Sendo assim, em decorrência de sua relevância à sobrevivência da macrofauna do solo serão apresentados e discutidos neste item somente os resultados de pH, matéria orgânica (MO) e cálcio (Ca). A caracterização química completa das topossequências pode ser observada em Anexo A.

A tabela 3 mostra os resultados dos valores p para os parâmetros fixos, indicando que o efeito dos três fatores analisados foram dependentes entre si, observado na interação significativa entre as variáveis.

Tabela 3 - Valores p resultantes da análise estatística para parâmetros químicos

	Parâmetros fixos (valor p)						
	Uso	Prof.	Posição	Uso * Prof.	Uso * Posição	Posição * Prof.	Uso * Posição* Prof.
pH H ₂ O	<0,0001	<0,0001	0,0025	<0,0001	<0,0001	0,0015	0,6670
MO	0,1729	<0,0001	<0,0001	0,0003	<0,0001	0,0214	0,0792
Ca	<0,0001	<0,0001	0,0896	0,1532	<0,0001	0,2019	0,2687

A Tabela 4 mostra os efeitos dos parâmetros aleatórios dentro do modelo. Segundo a tabela pode-se ver que os dados químicos representados possuem pouca influência da variabilidade temporal e das amostras coletadas, indicando que os valores não variam entre os períodos de coleta, tampouco entre as repetições coletadas. Contudo, para as três propriedades se observa maior variabilidade temporal que espacial, dado que os coeficientes período de coleta são maiores.

Tabela 4 – Variância obtida para os períodos de coleta e amostras coletadas

	Parâmetros aleatórios (variância)	
	Período de coleta	Repetição
pH H ₂ O	0,87	0,20
MO	1,65	0,0023
Ca	1,27	0,00016

A seguir são analisados os efeitos do uso do solo, da profundidade e posição no relevo, sobre cada propriedade química, sendo os gráficos gerados de acordo com as interações significativas entre os fatores evidenciados pelo modelo (Tabela 3). Interações pouco significativas não serão mostradas.

A determinação do pH em água evidenciou solos predominantemente ácidos, sendo os solos florestais mais ácidos que os solos sob pastagem em todas as profundidades e posições do relevo (Figura 15a e 15b). A interação entre profundidade e posição do relevo é apresentada sob a forma de um único gráfico indicando que o comportamento observado entre as variáveis é o mesmo para ambos os usos. Sendo assim, pode-se perceber que não há diferença entre as posições do relevo para as profundidades 0-0,1 e 0,1-0,2 m, sendo o pH ligeiramente maior na profundidade 0,2-0,3 m na posição T3 (Figura 15c).

Os valores de pH mais elevados em pastagem podem ser atribuídos ao efeito residual do fogo utilizado em 2006, uma vez que a queima da floresta eleva os valores de pH e Ca^{+2} , os quais podem permanecer elevados durante décadas (MCGRATH et al., 2001; ORRUTÉA, 2012) (Figura 15g).

A decomposição da serrapilheira e as secreções das raízes e dos indivíduos da fauna edáfica liberam material ácido no solo, que, juntamente com a ação da água da chuva, auxiliam na manutenção do ambiente predominantemente ácido dos solos florestais (QUAGGIO, 2000; WIETHÖLTER, 2000; MAFRA et al., 2008).

Além de sua atuação na acidificação dos solos florestais, a decomposição da serrapilheira influencia diretamente no conteúdo de MO presente no solo. Sua composição predominantemente folhosa e de baixa relação C/N nas pastagens (Figura 12b) favorece a decomposição, fazendo com que os teores de MO encontrados sejam superiores aos valores encontrados na floresta (Figura 15d). Com o aumento da profundidade do solo e o distanciamento da serrapilheira, os teores de MO são reduzidos para ambas as topossequências (Figura 15d).

Quanto às posições do relevo, as áreas sob pastagem apresentam maior quantidade de MO nas posições T1 e T2 (Figura 15e), favorecidas pela decomposição mais rápida da serrapilheira na pastagem, porém não foram encontradas diferenças significativas entre os usos do solo para a posição T3, provavelmente decorrente das propriedades do solo que estariam atuando sobre a decomposição da serrapilheira, os quais serão retomados e discutidos nos tópicos a seguir.

O comportamento da MO com relação às profundidades e posições do relevo é o mesmo para ambos os usos do solo, sendo portanto, apresentados sob a forma de um único gráfico (Figura 15f). No gráfico pode-se perceber que a quantidade de MO em ambas as topossequências é mais elevada para a posição T1, independentemente da profundidade analisada. Para as posições T2 e T3 a quantidade de MO não apresenta diferença significativa entre as profundidades de 0-0,1 e 0,1-0,2 m, porém pode-se observar diferença significativa para a profundidade 0,2-0,3 m sendo a posição T3 a que apresenta menor quantidade de MO.

Figura 15 - Propriedades químicas analisadas a) pH em água considerando a interação entre tipo de uso e profundidade do solo; b) pH em água considerando a interação entre os tipos de uso do solo e posição no relevo; c) pH em água considerando a interação entre posição do relevo e profundidade; d) MO considerando a interação entre uso do solo e profundidades do solo; e) MO considerando a interação entre uso do solo e as diferentes posições no relevo; f) MO considerando a interação entre profundidades do solo e posições do relevo; g) Ca⁺² considerando a interação entre tipo de uso e posições no relevo. Todos os dados apresentados foram obtidos pela média de 5 repetições em três posições do relevo e três períodos de coleta. Letras maiúsculas diferentes indicam diferença pelo teste DGC 5%. As barras indicam o erro padrão das médias

4.3 Granulometria

A distribuição das partículas observadas nas topossequências apresentou comportamento semelhante, com predomínio da fração areia em superfície e aumento da fração argila em profundidade, típico dos Argissolos encontrados em ambas as topossequências (Figura 16).

Para a posição T3 da pastagem pode-se perceber menor concentração de argila ao longo dos 0,3 m observados. A superfície apresenta concentração de argila menor que 100 g kg⁻¹ e aumenta em profundidade, porém permanecendo com concentrações menores que para as outras posições do relevo, não ultrapassando 250 g kg⁻¹ para a camada 0,2-0,3 m.

Apesar do aumento da argila em profundidade a distribuição de partículas do solo permanece predominante arenosa nos primeiros 0,3 m analisados.

Figura 16 - Distribuição das partículas em floresta e pastagem

4.4 Densidade de partícula

A análise de densidade de partícula indicou que ambas as topossequências possuem composição do solo homogênea, proveniente de mesmo material de origem e com menores valores em superfície decorrente da maior quantidade de material orgânico presente (BICALHO, 2011; LEPSCH, 2011) (Figuras 17 e 18).

Figura 17 - Densidade de partícula para as áreas de floresta

Figura 18 - Densidade de partícula para as áreas de pastagem

4.5 Densidade do solo

A tabela 5 mostra os valores *p* para os parâmetros fixos utilizados no modelo de densidade do solo (Ds), indicando que a profundidade influencia significativamente nos valores desta propriedade. Os efeitos de uso do solo e posição no relevo mostraram interação significativa, indicando que a análise destes parâmetros sobre a Ds deve ser realizada de forma conjunta.

Tabela 5 - Valores *p* resultantes da análise estatística para parâmetros densidade do solo

	Parâmetros fixos (valor <i>p</i>)						
	Uso	Prof.	Posição	Uso * Prof.	Uso * Posição	Posição * Prof.	Uso * Posição* Prof.
Densidade	<0,0001	<0,0001	0,3703	0,6635	0,0097	0,8342	0,3696

A Tabela 6 mostra os efeitos dos parâmetros aleatórios dentro do modelo. Segundo a tabela pode-se ver que os dados de Ds não sofrem influência do período de coleta, tampouco das repetições amostradas.

Tabela 6 - Variância obtida para os períodos de coleta e amostras coletadas

	Parâmetros aleatórios (variância)	
	Coleta	Amostra
Densidade	0,01	2,9 10 ⁻⁶

O comportamento da Ds com relação à profundidade do solo é semelhante para ambos os usos, portanto, será representado sob a forma de um único gráfico.

A Ds apresentou relação direta com a profundidade (Figura 19), sendo a camada superficial (0-0,1 m) aquela com menor densidade e a camada mais profunda (0,2-0,3 m) a de maior densidade, sem, no entanto, atingir os valores limitantes ao crescimento das raízes de $1,85 \text{ Mg m}^{-3}$ propostos por Reinert et al. (2008) para solos arenosos.

O aumento da densidade do solo em profundidade é decorrente da redução da quantidade de material orgânico, aumento do teor de argila e da mudança de estrutura neste sentido (PEQUENO et al., 2010; AZEVEDO e DALMOLIN, 2006; LAURINDO et al., 2009).

Com relação às posições do relevo não foram observadas diferenças significativas na Ds em T1 e T2 para ambos os usos do solo (Figura 20), provavelmente em decorrência da composição arenosa da fração mineral que garante menor compressibilidade do solo e assim maior resistência à compactação (LIMA e LIMA, 2004). Outros fatores também foram importantes na manutenção da densidade do solo nas áreas sob pastagem como a baixa carga animal, a ausência do uso de maquinários, a quantidade de MO presente e a presença de espessa camada de serrapilheira sobre o solo. Para Silva et al (2000) a manutenção da quantidade de resíduos em valores próximos a 1 Mg ha^{-1} promovem boa cobertura vegetal protegendo o solo dos impactos provocados pelo pisoteio animal ou tráfego de máquinas.

Para a posição T3, nota-se que a pastagem apresenta maior densidade que a floresta (Figura 20), decorrente da composição ligeiramente mais arenosa e menor quantidade de MO, comparada à floresta para a mesma posição do relevo (Figura 15f).

A Ds mais elevada na posição T3 da pastagem provoca mudança nas propriedades físicas e físico-hídricas prejudicando a decomposição da serrapilheira e consequentemente o conteúdo de MO no solo.

Figura 19 - Densidade do solo considerando as diferentes profundidades do solo para ambos os usos. Média de 5 repetições em três posições do relevo e três períodos de coleta. Letras maiúsculas diferentes indicam diferença pelo teste DGC 5%. As barras indicam o erro padrão das médias

Figura 20 - Densidade do solo considerando a interação entre uso do solo e posições do relevo. Média de 5 repetições em três posições do relevo e três períodos de coleta. Letras maiúsculas diferentes indicam diferença pelo teste DGC 5%. As barras indicam o erro padrão das médias

4.6 Umidade do solo

A tabela 7 apresenta os valores p obtidos para os parâmetros fixos utilizados no modelo de umidade do solo (U), indicando interação significativa entre uso do solo e profundidade e uso do solo e posição no relevo. Sendo assim, a análise destes parâmetros deve ser realizada de maneira conjunta.

Em relação aos parâmetros aleatórios do modelo (Tabela 8), a umidade possui forte relação com período de amostragem, conforme esperado, pois as coletas foram realizadas em período seco e úmido, e pouca variação entre as repetições coletadas.

Tabela 7 - Valores p resultantes da análise estatística para parâmetros de umidade do solo

	Parâmetros fixos (valor p)						
	Uso	Prof.	Posição	Uso * Prof.	Uso * Posição	Posição * Prof.	Uso * Posição* Prof.
Umidade	0,0298	0,0002	0,5693	0,0007	0,0020	0,1923	0,9926

Tabela 8 - Variância obtida para os períodos de coleta e amostras coletadas

	Parâmetros aleatórios (variância)	
	Coleta	Amostra
Umidade	3,87	0,67

Os valores de umidade do solo foram maiores para as áreas sob floresta que em pastagem (Figuras 21 e 22), provavelmente devido à presença de dossel nas áreas florestais, protegendo a superfície do solo dos raios solares e mantendo o microclima estável, reduzindo a evaporação e mantendo a temperatura estável ao longo do dia (SOUZA et al., 1996; SOUZA et al., 2002). Nas áreas florestais há maior homogeneidade da umidade, sem alterações entre as camadas superficiais e subsuperficiais, provavelmente decorrentes da menor evaporação em superfície e presença do sistema radicular mais profundo permitindo que a água seja percolada ao longo do perfil (Figura 22) (PREVEDELLO et al 2010; SILVA e LIBARDI, 2000).

Com relação às diferentes profundidades, não houve diferença significativa de U entre os usos do solo para a camada superficial (Figura 22), provavelmente em decorrência da espessa camada de serrapilheira presente no solo, com valores superiores a 1 Mg ha^{-1} (Figura 13) conforme sugerido por Silva et al (2000) e também pela elevada quantidade de MO presente (Figura 15e), acarretando em maior retenção da umidade nesta camada.

Entretanto, para as camadas mais profundas os valores de umidade diferem entre os usos do solo, com valores mais elevados observados para floresta (Figura 22), provavelmente decorrentes da presença de raízes que atuam em camadas mais profundas, permitindo melhor redistribuição da umidade nas áreas florestais. A presença das árvores na floresta também protege a floresta da incidência direta dos raios solares, minimizando a evaporação da água e

permitindo que esta permaneça por mais tempo no sistema, infiltrando em profundidade e mantendo o solo com umidade elevada, independentemente da profundidade analisada (PREVEDELO et al., 2010; SOUZA et al., 1996).

Figura 21 - Umidade do solo considerando a interação entre uso do solo e posições no relevo. Média de 5 repetições em três posições do relevo e três períodos de coleta. Letras maiúsculas diferentes indicam diferença pelo teste DGC 5%. As barras indicam o erro padrão das médias

Figura 22 - Umidade do solo considerando a interação entre uso do solo e profundidade do solo. Média de 5 repetições em três posições do relevo e três períodos de coleta. Letras maiúsculas diferentes indicam diferença pelo teste DGC 5%. As barras indicam o erro padrão das médias

4.7 Porosidade

Na tabela 9 estão representados os valores p para os parâmetros fixos utilizados no modelo de porosidade (PT), indicando que a profundidade influencia significativamente nos

valores de PT. Os efeitos do uso do solo e posição no relevo demonstraram interação significativa, indicando que a análise destes parâmetros sobre a PT deve ser realizada de forma conjunta.

Tabela 9 - Valores p resultantes da análise estatística para parâmetro PT

	Parâmetros fixos (valor p)						
	Uso	Prof.	Posição	Uso*	Uso*	Posição*	Uso*
				Prof.	Posição	Prof.	Posição*
							Prof.
PT	0,0466	< 0,0001	0,6319	0,7960	0,0242	0,8295	0,4384

A tabela 10 mostra os valores p observados para os parâmetros aleatórios do modelo indicando forte relação com o período de coleta e pouca variação entre as repetições coletadas.

Tabela 10 - Variância obtida para os períodos de coleta e amostras coletadas

	Parâmetros aleatórios (variância)	
	Período de coleta	Repetição
	PT	6.11
		$4,2 \cdot 10^{-3}$

A PT não apresentou diferenças significativas entre os usos do solo para as posições T1 e T2 (Figura 23a), conforme era esperado em decorrência das poucas mudanças observadas na densidade do solo.

Para a posição T3 foi detectada diferença significativa entre os usos, com menores valores de PT na pastagem, decorrente da maior densidade e menor teor de MO observados neste ponto. A menor agregação e estabilidade de agregados favorecida pela menor quantidade de MO em pastagem nesta posição do relevo favorecem a susceptibilidade deste solo à compressão, reduzindo assim a PT.

O comportamento da PT em relação à profundidade do solo não apresenta diferença entre os usos do solo sendo, portanto, apresentado sob a forma de um único gráfico (Figura 23b).

A PT foi maior para a camada superficial do solo, como consequência da maior quantidade de MO, textura mais arenosa e estrutura granular nesta camada, favorecendo assim

a porosidade (Figura 23b). As camadas subsuperficiais apresentaram aumento no teor de argila e estrutura em blocos subangulares, resultando em menores valores de porosidade.

Entretanto, cabe ressaltar que mudanças no volume, tamanho e conectividade entre os poros podem ocorrer sem que haja alterações na PT do solo (FERNANDES et al., 2006). Assim sendo, visando realizar uma avaliação mais precisa das modificações provocadas sobre a porosidade em decorrência da mudança de uso do solo, foram determinadas as proporções de macro e microporos para os solos estudados.

a)

b)

Figura 23 – Dados da PT. a) PT considerando a interação entre uso do solo e posição no relevo; b) PT em relação às diferentes profundidades do solo para ambos os usos. Média de 5 repetições em três posições do relevo e três períodos de coleta. Letras maiúsculas diferentes indicam diferença pelo teste DGC 5%. As barras indicam o erro padrão das médias

Na tabela 11 estão representados os valores p para os parâmetros fixos utilizados no modelo de macroporosidade e microporosidade.

Os dados de macroporosidade indicam que as análises devem ser realizadas de acordo com o uso e profundidade do solo (Tabela 11) sendo que os dados apresentam pouca variação temporal e espacial (Tabela 12).

Tabela 11 - Valores p resultantes da análise estatística para macroporos e microporos

	Parâmetros fixos (valor p)						
	Uso	Prof.	Posição	Uso*	Uso*	Posição*	Uso*
				Prof.	Posição	Prof.	Posição*
							Prof.
Macroporos	0,0011	< 0,0001	0,0578	0,1518	0,6244	0,6123	0,1663
Microporos	<0,0001	<0,0001	0,0002	0,0065	<0,0001	0,4456	0,2067

Tabela 12 - Variância obtida para os períodos de coleta e amostras coletadas

	Parâmetros aleatórios (variância)	
	Período de coleta	Repetição
Macroporos	1,02	$1,1 \cdot 10^{-4}$
Microporos	2,17	1,01

A macroporosidade do solo está relacionada à livre drenagem e à aeração do solo (BONINI et al., 2013). Assim como foi observado para a porosidade total, a camada superficial do solo (0-0,1 m) apresenta textura mais arenosa e estrutura granular, além de elevados teores de MO, favorecendo a formação de macroporosidade (Figura 24a). Com o aumento da profundidade, há redução dos teores de MO, incremento na quantidade de argila e modificações na estrutura do solo, aumentando a densidade e consequentemente, reduzindo a macroporosidade.

Com a substituição da floresta pela pastagem observou-se que a quantidade de macroporos é reduzida aproximando-se do valor crítico de $0,1 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ definido por Bonini et al. (2013) (Figura 24b). A redução dos macroporos é acompanhada pelo aumento da microporosidade que apresenta interação significativa entre uso do solo e profundidade e entre uso do solo e posição do relevo (Tabela 11), sendo a quantidade de microporos mais variável temporalmente que espacialmente (Tabela 12). O aumento dos microporos ocorre em

todas as profundidades e posições do relevo (Figura 24c e 24d), acarretando em poucas alterações na PT, porém podendo culminar em prejuízos à percolação de água no perfil.

Sendo assim, pode-se perceber que a análise da PT pode não aportar as informações necessárias para estudos sobre a qualidade do solo, uma vez que as mudanças de uso do solo podem alterar o tamanho e a continuidade entre os poros, sem, no entanto, refletir nos dados de PT.

Figura 24 – Dados de macro e microporosidade. a) Comportamento da macroporosidade considerando as diferentes profundidades do solo para ambos os usos; b) Macroporosidade considerando os tipos de uso do solo; c) Microporosidade considerando a interação entre uso do solo e profundidade; d) Microporosidade considerando a interação entre uso do solo e posição do relevo. Todos os dados apresentados foram obtidos pela média de 5 repetições em três posições do relevo e três períodos de coleta. Letras maiúsculas diferentes indicam diferença pelo teste DGC 5%. As barras indicam o erro padrão das médias

4.8 Análise da porosidade obtida pela micromorfometria

Buscando avaliar de maneira mais precisa as mudanças ocorridas na porosidade decorrentes da mudança de uso do solo, foi estudada a área ocupada pela macroporosidade e mesoporosidade em blocos indeformados de solo. Foi utilizada para isto a análise micromorfométrica, através da qual os poros são classificados de acordo com seu tamanho, formato e quantidade.

Os gráficos foram gerados relacionando-se a área ocupada pelos poros (ATP) e o número total de poros (NTP) com a forma e tamanho dos poros e foram realizadas comparações entre os usos do solo, profundidades e posição no relevo.

Para as áreas sob floresta, a posição T1 apresenta na superfície cerca de 24% da área do bloco ocupada por poros, sendo a maioria destes poros complexos grandes (Figura 25a). Na medida em que se aprofunda no perfil a área ocupada por poros é reduzida, porém permanece com valores acima de 20% (Figura 25b e 25c). Apesar da pouca redução da ATP observada com o aumento da profundidade pode-se perceber uma mudança no tipo de poros presentes com redução dos poros complexos grandes e aumento dos poros arredondados pequenos, médio e grandes, e alongados médios e grandes (Figuras 25b e 25c).

Para a posição T2 a camada superficial apresenta predomínio de poros complexos grandes e arredondados de tamanho médio e grande (Figura 25 d). Os poros alongados são de tamanho grande, porém representam pequena ATP.

Na medida em que se aprofunda no perfil, para a camada 0,1-0,2 m há redução da ATP com perda de poros complexos grandes, ligeiro aumento dos poros alongados grandes e aumento dos poros arredondados, principalmente de tamanho médio e grande (Figura 25 e).

Para a profundidade 0,2-0,3 (Figura 25 f) m há ligeiro aumento da ATP com relação à profundidade anterior com redução dos poros arredondados médios e grandes e ligeiro aumento dos complexos grandes.

A posição T3 apresenta comportamento semelhante ao observado para a posição anterior, com superfície dominada por poros complexos grandes, arredondados médios e grandes e alongados grandes (Figura 25 g). À medida que se aprofunda no perfil há redução da ATP, com redução dos poros complexos grandes e dos arredondados grandes (Figuras 25 h e 25 i).

Na análise da porosidade por micromorfometria pode-se observar que as modificações na macroporosidade das áreas florestais são representadas, principalmente por uma redução nos poros complexos grandes e aumento dos arredondados médios e grandes. Tal

comportamento pode ser atribuído às modificações nos teores de MO, textura e estrutura do solo.

As camadas superficiais apresentaram textura arenosa, com maiores teores de MO e formação de estrutura granular, favorecendo a presença de macroporos. Com o aumento da profundidade há incremento de argila, redução nos teores de MO e modificação da estrutura do solo, reduzindo a porosidade. Os maiores teores de argila e a estrutura em blocos subangulares observados na descrição morfológica dos compartimentos do solo (item 3.1) acarretam em menor quantidade e tamanho de poros, que passam a ser representados principalmente pelos microporos.

Figura 25 - Porosidade total nas áreas florestais considerando o tamanho e forma dos poros a) T1 0-0,1 m; b) T1 0,1-0,2 m; c) T1 0,2-0,3 m; d) T2 0-0,1 m; e) T2 0,1-0,2 m; f) T2 0,2-0,3 m; g) T3 0-0,1 m; h) T3 0,1-0,2 m; i) T3 0,2-0,3 m

Para as áreas sob pastagem o comportamento da porosidade assemelha-se ao observado nas áreas sob floresta, sendo a maior porosidade observada para a camada superficial, com predomínio de poros complexos grandes e arredondados (Figuras 26a, 26d e 26g).

A posição T1 não apresenta grandes diferenças entre a superfície e as camadas mais profundas, sendo a ATP em superfície próxima a 18% representada em sua maioria por poros complexos grandes e arredondados. Na medida em que se aprofunda no perfil pode-se perceber uma ligeira redução nos poros complexos grandes e aumento dos arredondados, decorrente da mudança de estrutura do solo de granular para blocos subangulares e do aumento de densidade em profundidade (Figura 26b e 26c).

Para a posição T2 a superfície apresenta predomínio de poros complexos grandes e arredondados (Figura 26d). Com o aumento da profundidade percebe-se uma redução dos poros complexos grandes e aumento dos poros arredondados grandes (Figura 26e).

A posição T3, assim como para as demais, apresenta superfície com valores mais elevados de ATP e predomínio de poros complexos grandes e arredondados (Figura 26g). Com o aumento da profundidade há redução da ATP, representada principalmente pela redução dos poros complexos grandes (Figuras 26h e 26i).

De maneira geral, o comportamento observado para a porosidade do solo é semelhante para ambos os usos, com predomínio de poros complexos grandes em superfície decorrente da presença de estrutura granular, favorecendo a aeração, condução de água e restringindo a retenção de água. À medida que nos aprofundamos no perfil há incremento de argila, estrutura em blocos e maior presença de poros arredondados, indicando melhor retenção de água que nas camadas superficiais.

a)

d)

g)

b)

e)

h)

Figura 26 - Porosidade total nas áreas de pastagem considerando o tamanho e forma de poros a) T1 0-0,1 m; b) T1 0,1-0,2 m; c) T1 0,2-0,3 m; d) T2 0-0,1 m; e) T2 0,1-0,2 m; f) T2 0,2-0,3 m; g) T3 0-0,1 m; h) T3 0,1-0,2 m; i) T3 0,2-0,3 m

Na comparação entre os usos pode-se perceber que, para a posição T1, a conversão de floresta em pastagem provoca redução da ATP em todas as profundidades, com redução da área ocupada por poros complexos grandes e aumento dos poros arredondados. Esta redução na ATP pode ser decorrente do pastejo eventual realizado na área, pois mesmo ocorrendo de maneira eventual e com baixa lotação animal a presença de animais, mesmo que por pouco tempo pode provocar uma redução da porosidade da área (BLANCO e LAL, 2008).

Para as posições T2 e T3 a mudança de uso do solo não provocou alterações muito significativas na distribuição dos poros, porém pode-se perceber nas camadas superficiais que as áreas sob floresta apresentam maior quantidade de poros arredondados grandes que a pastagem (Figuras 25d, 25g, 26d e 26g).

Nas camadas mais profundas do solo o comportamento entre T2 e T3 é bastante similar com distribuição mais equitativa entre a representatividade dos poros complexos grandes e arredondados.

A análise dos dados de NTP nos indica que na área sob floresta, para a posição T1, a camada superficial do solo apresenta número elevado de poros arredondados pequenos e médios, alguns alongados médios e grandes, e poucos poros complexos grandes, totalizando aproximadamente 200 poros (Figura 27a). Com o aumento da profundidade observa-se um aumento do número de poros para cerca de 700, decorrente da fragmentação de poros maiores, observado pela transformação de poros complexos grandes e alongados grandes em poros médios e aumento da quantidade de poros arredondados pequenos (Figuras 27b e 27c).

Este comportamento indica que, com o aumento da profundidade, da densidade e as alterações sofridas na estrutura do solo as alterações na porosidade ocorrem sobre o formato e tamanho dos poros, fragmentando poros maiores em poros de menor tamanho aumentando assim o NTP.

Para a posição T2 são observadas poucas variações entre as camadas 0-0,1 e 0,1-0,2 m permanecendo o NTP estável e com distribuição homogênea (Figura 27d e 27e). Para a camada 0,2-0,3 m há um aumento do NTP (Figura 27f), representado principalmente pelo aumento dos poros arredondados pequenos.

Para a posição T3 observa-se um aumento do NTP em profundidade, representado principalmente por um aumento dos poros arredondados pequenos, sendo observadas poucas alterações nos poros alongados e complexos de maior tamanho (Figura 27g, 27h e 27i).

O comportamento observado em floresta indica que com o aumento da profundidade há um aumento do NTP representado por uma fragmentação de poros complexos de maior tamanho em complexos menores e aumento do número de poros arredondados.

Figura 27 - Número total de poros nas áreas florestais considerando o tamanho e forma dos poros a) T1 0-0,1 m; b) T1 0,1-0,2 m; c) T1 0,2-0,3 m; d) T2 0-0,1 m; e) T2 0,1-0,2 m; f) T2 0,2-0,3 m; g) T3 0-0,1 m; h) T3 0,1-0,2 m; i) T3 0,2-0,3 m

Para as áreas sob pastagem pode-se observar que na posição T1 o aumento da profundidade não acarreta em mudanças expressivas no NTP (Figura 28a, 28b e 28c) com pouca variação em relação às quantidades, tipo e tamanho dos poros com o aumento da profundidade.

Para a posição T2 observa-se que a camada superficial apresenta grande quantidade de poros, em sua maioria representados por poros arredondados pequenos, alongados médios e complexos grandes (Figura 28d). Com o aumento da profundidade há uma redução do NTP decorrente da redução dos poros arredondados pequenos e complexos grandes (Figuras 28e e 28f).

Na posição T3 pode-se observar que a camada superficial apresenta elevado NTP com grande parte destes representada por poros arredondados pequenos, alongados médios e complexos grandes (Figura 28g). Para a camada 0,1-0,2 m observa-se um aumento do NTP decorrente do aumento do número de poros arredondados (Figura 28h). Na camada mais profunda o NTP é reduzido novamente atingindo distribuição de poros semelhante à observada para a camada superficial (Figura 28i).

Figura 28 - Número total de poros nas pastagens considerando o tamanho e forma dos poros a) T1 0-0,1 m; b) T1 0,1-0,2 m; c) T1 0,2-0,3 m; d) T2 0-0,1 m; e) T2 0,1-0,2 m; f) T2 0,2-0,3 m; g) T3 0-0,1 m; h) T3 0,1-0,2 m; i) T3 0,2-0,3 m

Analisando os gráficos de ATP e NTP para a posição T1 pode-se perceber que a conversão de floresta em pastagem, além de provocar uma redução da ATP em todas as profundidades também acarreta em uma perda de poros complexos grandes e aumento do NTP em superfície, representado pelo aumento dos poros arredondados. Para as camadas mais profundas há redução da ATP, porém sem mudanças representativas na distribuição do tipo de poros.

A conectividade entre os poros pode ser avaliada relacionando-se os gráficos que analisam ATP e NTP e também através da análise das imagens binárias utilizadas para análise micromorfométrica (Figuras 29, 30 e 31). O aumento do número de poros associado a uma redução da área ocupada por estes indica perda de conectividade entre os poros, ou seja, um número maior de poros passa a ocupar uma menor área nas imagens observadas.

A análise conjunta da ATP e NTP para a posição T1 mostra que a mudança de uso do solo provoca redução da conectividade entre os poros. Antes da conversão, a camada superficial da floresta apresentava poucos poros complexos de tamanho grande (Figura 25a), porém estes ocupavam grande área dentro das imagens analisadas (cerca de 20% da ATP) (Figura 27a). Com a conversão de floresta em pastagem, o número de poros complexos aumentou (Figura 26a), porém agora estes poros ocupam menor área dentro das imagens analisadas (cerca de 10% da ATP) (Figura 28a). A redução da conectividade entre os poros pode ser mais bem compreendida através da análise das imagens binárias que mostram que a conversão de floresta em pastagem provoca um adensamento do material do solo, com menor quantidade de poros observados na figura 29a e 29d. Para as camadas mais profundas também pode ser observado um adensamento do solo com perda de conectividade entre os poros após a mudança de uso (Figuras 29b e 29e e 29c e 29f).

Figura 29. Imagens binárias representando a porosidade do solo. Áreas escuras indicam material mineral e áreas claras porosidade. a) T1 Floresta 0-0,1 m, b) T1 Floresta 0,1-0,2 m, c) T1 Floresta 0,2-0,3 m, d) T1 Pastagem 0-0,1 m, e) T1 Pastagem 0,1-0,2 m, f) T1 Pastagem 0,2-0,3 m

A posição T2, assim como em T1 mostra que as principais diferenças são observadas para a camada 0-0,1 m. A conversão de floresta em pastagem resultou na redução da área de poros complexos de 15 para 12% e no aumento do número de poros arredondados e alongados de menor tamanho. Pode-se perceber que para uma área menor houve duplicação do número de poros medidos, com aparecimento de poros menores e menos interconectados.

A perda de conectividade e maior presença de poros menores para a posição T2 pode ser facilmente visualizada nas imagens binárias (Figura 30) nas quais as áreas sob pastagem apresentaram imagens ligeiramente mais adensadas, com maior quantidade de poros de menor tamanho que as imagens sob floresta.

Figura 30. Imagens binárias representando a porosidade do solo. Áreas escuras indicam material mineral e áreas claras porosidade. a) T2 Floresta 0-0,1 m, b) T2 Floresta 0,1-0,2 m, c) T2 Floresta 0,2-0,3 m, d) T2 Pastagem 0-0,1 m, e) T2 Pastagem 0,1-0,2 m, f) T2 Pastagem 0,2-0,3 m

Para a posição T3 as mudanças mais expressivas foram observadas no aumento do NTP após a conversão de floresta em pastagem, principalmente nas camadas 0-0,1 e 0,1-0,2

m. Este aumento expressivo no NTP não foi observado com a mesma intensidade na ATP, indicando que houve maior fragmentação dos poros com a transformação de poros maiores em poros de menor tamanho, reduzindo assim a conectividade entre os poros. Este comportamento pode ser observado nas imagens binárias que indicam adensamento do solo e redução da conectividade entre os poros, redução dos poros complexos e aumento dos arredondados (Figura 31).

Figura 31. Imagens binárias representando a porosidade do solo. Áreas escuras indicam material mineral e áreas claras porosidade. a) T3 Floresta 0-0,1 m, b) T3 Floresta 0,1-0,2 m, c) T3 Floresta 0,2-0,3 m, d) T3 Pastagem 0-0,1 m, e) T3 Pastagem 0,1-0,2 m, f) T3 Pastagem 0,2-0,3 m

A composição predominantemente arenosa dos solos em pastagem, associada à sua estrutura granular e grande quantidade de MO em superfície, boa cobertura vegetal, presença massiva de raízes superficiais das gramíneas e pastejo esporádico acarretam em modificações pouco expressivas nos valores de PT e ATP, principalmente para as posições T2 e T3.

Em profundidade é observada uma redução da ATP, principalmente em decorrência do incremento no teor de argila e da mudança da estrutura do solo, passando de granular em superfície para blocos subangulares em profundidade, com menores valores de porosidade.

Por meio das análises micromorfométricas da porosidade pode-se perceber que, apesar da ausência de mudanças expressivas na PT, a mudança de uso do solo provoca alterações no tipo, tamanho e conectividade entre os poros, podendo ocasionar problemas à circulação de água no perfil, reduzindo a condutividade hidráulica e o armazenamento de água em superfície, favorecendo o escoamento superficial e aumentando os riscos de erosão.

4.9 Curva de retenção de água

Os solos arenosos são compostos principalmente por grãos de quartzo, com pequena superfície específica e baixa capacidade de retenção e armazenamento de água. A presença de MO nestes solos aumenta sua capacidade de armazenamento de água, pois possui maior superfície específica, absorvendo e retendo mais água que outras partículas. A MO no solo também aumenta a agregação e a quantidade de macroporos presentes melhorando assim a condutividade hidráulica nos solos (SILVA et al., 2008; COOPER et al., 2012).

As análises de CRA foram analisadas em três períodos de coleta e para as áreas sob floresta não foram encontradas grandes variações entre os períodos de coleta, mas sim entre a camada superficial e subsuperficial (Figuras 32, 33 e 34). Os maiores teores de MO, a textura mais arenosa e estrutura granular observados na camada superficial favorecem a formação de macroporos responsáveis pela rápida drenagem de água, acarretando em maior inclinação da CRA superficial em relação ao eixo do potencial mátrico. A maior porosidade para a camada superficial também foi evidenciada nas análises micromorfométricas, as quais indicaram maior presença de poros complexos grandes nas áreas florestais, favorecendo a boa drenagem desta camada.

Pode-se perceber que as áreas sob floresta, independentemente da posição no relevo ou do período de amostragem, apresentam valores de umidade de saturação próximos a 0,35 kg kg⁻¹ (Figuras 32, 33 e 34) indicando menores variações na PT para este uso do solo, confirmando o que foi observado na análise estatística da PT.

Para as camadas subsuperficiais há uma aproximação entre as curvas até o potencial de -6 kPa, indicando estrutura e porosidade semelhantes, evidenciados nas descrições morfológicas e nos dados de micromorfometria, os quais apresentaram poucas variações na porosidade observada entre as profundidades 0,1-0,2 e 0,2-0,3 m. A partir do potencial de -6 kPa há uma separação entre as curvas, com as camadas mais profundas apresentando maiores retenções, atribuídas ao aumento da quantidade de argila, microporos e densidade do solo nestas camadas mais profundas (SUZUKI et al., 2012).

Figura 32 - Curva de retenção de água no solo sob floresta para período seco (julho/2012)

Figura 33 - Curva de retenção de água no solo sob floresta para período úmido (janeiro/2013)

Figura 34 - Curva de retenção de água no solo sob floresta para período úmido (março/2013)

A análise da curva de retenção de água no solo (CRA) para as áreas sob pastagem, assim como para as áreas de floresta, não indicam diferenças expressivas entre os períodos de coleta (Figuras 35, 36 e 37), mas sim entre as profundidades do solo. As camadas superficiais apresentam maior inclinação em relação ao eixo do potencial mátrico, atingindo valores de umidade de saturação mais elevados, decorrentes da boa estruturação do solo e elevada quantidade de macroporos favorecidos pelo elevado teor de MO, textura arenosa e estrutura granular.

O comportamento observado para a CRA corrobora com os dados observados na análise micromorfométrica, onde a camada superficial apresentou maior quantidade de poros complexos grandes em relação às camadas mais profundas.

As camadas subsuperficiais apresentam maior densidade, menor teor de MO e menor quantidade de macroporos, acarretando em menor inclinação das curvas em relação ao eixo do potencial mátrico (Figuras 35, 36 e 37). A aproximação entre as curvas indica estrutura semelhante entre estas camadas e, conseqüentemente, condições de retenção de água similar, o que pode ser comprovado nas descrições morfológicas e nos dados de micromorfometria, os quais apresentaram menor quantidade de poros complexos grandes e poucas variações na distribuição dos poros entre as camadas 0,1-0,2 e 0,2-0,3 m.

A análise da CRA para os menores potenciais (abaixo de -6 kPa) indicam o comportamento de retenção associado à quantidade de microporos (RESCK, 2000). O comportamento das curvas indica que o aumento da profundidade acarreta em valores de retenção ligeiramente superiores, representado, em sua maioria pela maior quantidade de argila em profundidade uma vez que a quantidade de microporos manteve-se relativamente estável independentemente da profundidade analisada.

As variações observadas na retenção de água entre as diferentes posições do relevo podem ser atribuídas às variações encontradas nos teores de MO e argila ao longo da topossequência que provocam mudanças no tipo e distribuição dos poros em cada uma das posições, acarretando em maior ou menor retenção de água. Um exemplo deste comportamento são os menores valores de retenção observados para a posição T3. Comparando esta posição com as posições T1 e T2 em pastagem T3 apresenta menor quantidade de MO, argila e microporos, reduzindo a retenção de água.

Figura 35 - Curva de retenção de água para pastagem durante o período seco (julho/2012)

Figura 36 - Curva de retenção de água para pastagem durante o período úmido (janeiro/2013)

Figura 37 - Curva de retenção de água para pastagem durante o período úmido (março/2013)

A comparação das CRA entre os usos do solo mostram que a floresta apresenta valores de umidade de saturação (θ_s) menos variáveis que a pastagem em superfície, indicando que as áreas sob floresta sofrem menos variações de estrutura, quantidade de MO e macroporosidade. Os valores de θ_s na pastagem variaram entre 0,3 e 0,4 kg kg^{-1} e para as áreas sob floresta mantiveram-se estáveis próximos a 0,35 kg kg^{-1} .

Para as camadas subsuperficiais são observadas ligeiras modificações entre floresta e pastagem, principalmente referentes às modificações observadas no tipo e tamanho dos poros encontrados. As áreas sob floresta apresentam maiores valores de umidade de saturação, inclusive para as camadas mais profundas, indicando que as áreas sob floresta apresentam maior quantidade de macroporos, representados por poros complexos grandes na análise micromorfométrica.

As áreas sob pastagem apresentam menos poros complexos grandes, alcançando menores valores de θ_s , principalmente nas camadas subsuperficiais. Estes dados também foram confirmados nos dados de umidade do solo que indica as áreas sob pastagem com menor umidade em todas as profundidades e posições do relevo.

A análise das CRA entre os usos nos indica que a conversão de floresta em pastagem acarreta em uma menor inclinação das curvas com relação ao eixo do potencial mátrico, denotando que há uma perda de macroporos, o que prejudica a circulação de água no perfil. Essa redução da macroporosidade também é observada nos dados de micromorfometria com a perda de poros complexos grandes o que pode ocasionar problemas às plantas e à fauna edáfica, pois a redução da macroporosidade afeta diretamente o local onde os organismos habitam, prejudicando seu desenvolvimento.

Com uma menor quantidade de macroporos a água que chega ao solo começa a percolar mais lentamente, reduzindo a velocidade de infiltração da água no solo podendo ocasionar acúmulo da água na superfície do solo, formação de escoamento superficial e, conseqüentemente, problemas de erosão.

4.10 Índice S

Os valores de índice S (Is) são determinados por meio do cálculo da inclinação da curva tangente ao ponto de inflexão da CRA. Tal índice adimensional foi proposto por (Dexter, 2004) para avaliação da qualidade do solo e está relacionado à textura, densidade do solo, teor de MO, microestrutura e crescimento de raízes. Nos estudos de Dexter o valor limitante ficou estabelecido em 0,035 abaixo do qual o crescimento e desenvolvimento das raízes são afetados, entretanto, para os solos brasileiros, Andrade e Stone (2009) determinaram 0,045 como sendo o valor limitante entre solos de boa qualidade física e solos com tendência a se tornar degradado. Segundo os mesmos autores, valores abaixo de 0,025 indicam solos totalmente degradados.

Na tabela 13 estão representados os valores *p* para os parâmetros fixos utilizados no modelo de Is. Os efeitos do uso do solo e profundidade indicaram interação significativa, sendo, portanto, a análise destes parâmetros sobre o Is realizada de maneira conjunta

Tabela 13 - Valores *p* resultantes da análise estatística para parâmetro índice S

	Parâmetros fixos (valor <i>p</i>)						
	Uso	Prof.	Posição	Uso*	Uso*	Posição*	Uso*
				Prof.	Posição	Prof.	Posição*
							Prof.
índice S	0,0232	< 0,0001	0,3149	0,0141	0,1465	0,9496	0,6520

A tabela 14 mostra os valores *p* observados para os parâmetros aleatórios do modelo indicando que os dados apresentam maior variação temporal que espacial.

Tabela 14 - Variância obtida para os períodos de coleta e amostras coletadas

	Parâmetros aleatórios (variância)	
	Período de coleta	Repetição
índice S	2,18	$9,4 \cdot 10^{-7}$

As áreas sob floresta apresentaram camada superficial com valores de índice S superiores ao valor limitante, porém as camadas mais profundas ficaram abaixo de 0,045 sem, no entanto, atingir valores inferiores a 0,025, indicando boa estrutura para desenvolvimento das raízes inclusive em profundidade, onde são encontradas as maiores densidades (Figura 38).

Os valores de índice S calculados para a pastagem permaneceram, em todos os casos, abaixo do valor considerado limitante para solos brasileiros, sendo, nas camadas subsuperficiais o solo considerado degradado.

As modificações no tipo e tamanho dos poros observados com o aumento da profundidade são refletidas nos valores de índice S, que sofrem queda significativa com o aumento da profundidade em decorrência dos menores valores de macroporosidade e menor quantidade de poros complexos grandes.

Na comparação entre os tipos de uso do solo pode-se perceber que a conversão de floresta em pastagem acarreta em uma redução nos valores de índice S, provocados pela redução da macroporosidade e da conectividade entre os poros, limitando a condução de água, o desenvolvimento das raízes, da fauna do solo e, conseqüentemente, a qualidade do solo.

Figura 38 - Valores de índice S considerando a interação entre uso do solo e profundidades do solo. Média de 5 repetições em três posições do relevo e três períodos de coleta. Letras maiúsculas diferentes indicam diferença pelo teste DGC 5%. As barras indicam o erro padrão das médias

De maneira geral, o que se pode observar através destas análises é que a conversão de floresta em pastagem provoca a remoção do dossel, modificando a composição e reduzindo a quantidade de MS encontrada sobre o solo. As alterações no tipo e quantidade do material presente sobre o solo modifica a agregação do material do solo reduzindo a quantidade de macroporos e a conectividade entre os poros. Estas alterações são facilmente visíveis nos menores valores de índice S observados para as pastagens.

A implantação das pastagens tem como efeito imediato sobre o solo o aumento nos valores de pH e Ca, decorrentes do efeito residual da incorporação das cinzas após a queima do material vegetal. O aporte de material vegetal homogêneo, de composição predominantemente folhosa e facilmente decomponível provoca o aumento das quantidades de MO no solo, que associados à redução da macroporosidade e aumento da quantidade de microporos aumenta os valores de retenção de água no solo.

Apesar das mudanças observadas no tamanho e tipos de poros presentes, a mudança de uso do solo não provocou mudanças significativas nos valores de Ds e PT, exceto para a posição T3 da pastagem, onde a Ds do solo é maior e a PT menor, em decorrência de sua localização, na parte baixa do relevo, apresentando condições de maior influência do curso d'água.

Assim sendo, pode-se perceber que a utilização das variáveis Ds e PT de avaliação global da qualidade do solo pode não ser a opção mais adequada para estudos sobre como a

mudança de uso afeta as propriedades físicas do solo, podendo ser substituída por atributos mais específicos como a relação entre macro e microporos, ou mesmo pela distribuição de poros obtida pela análise micromorfométrica.

4.11 Fauna do solo

Os dados referentes à fauna do solo serão apresentados a seguir em tópicos específicos para cada grupo.

Os primeiros dados apresentados serão referentes à macrofauna, contendo os dados de abundância referentes a todos os grupos da fauna encontrados no solo. Em seguida são apresentados os dados de riqueza taxonômica, calculados com base nos grupos presentes na macrofauna total.

Os táxons de alto nível foram separados e apresentados na seguinte sequência minhocas e estrutura de sua comunidade, coleópteras, formigas, isópteras e larvas.

Em decorrência da importância das atividades dos engenheiros do ecossistema sobre as propriedades físicas do solo, as mudanças provocadas pela conversão floresta – pastagem também foi analisada sobre esta variável, criada pela soma das abundâncias de minhocas, Isopteras e formigas.

Na tabela 15 estão apresentados os principais táxons encontrados sob floresta e pastagem sendo os táxons em **negrito** aqueles encontrados exclusivamente em uma das áreas.

Tabela 15 - Identificação dos táxons de alto nível encontrados nos dois tipos de uso solo. Os táxons identificados em negrito são exclusivos, não encontradas nos dois tipos de uso do solo

Táxons		
Pastagem	Floresta	Código
Coleoptera	Coleoptera	Cole
Formicidae	Formicidae	Formi
Isoptera	Isoptera	Isoptera
Hemiptera	Hemiptera	Hemipter
Dermaptera	Dermaptera	Dermapte
Aranea	Aranea	Aranea
Diplopoda	Diplopoda	Diplopod
Quilopoda	Quilopoda	Quilopod
Minhocas	Minhocas	Minhocas
Acari	Acari	Acari
Isopoda	Isopoda	Isopoda
Diplura	Diplura	Diplura
Pseudo-escorpinidae	Pseudo-escorpinidae	Pseudo-e
Blataria	Blataria	Blataria
Colembolla	Colembolla	Colembol
Thysanoptera	Thysanoptera	Thysanop
	Opilionida	Opilionida
	Schizomida	Schizomi
	Parasita	Parasita
	Siphonaptera	Siphonapt
	Psocoptera	Psocopte
	Cicadea	Cicadea
	Diptera	Diptera
	Hymenoptera	Hymenopt
	Crustacea	Crustace
	Symphyla	Symph
	Nicoletiidae	Nicole

A tabela 16 apresenta todas as morfoespécies de minhocas encontradas nas áreas amostradas sendo os indivíduos em negrito encontrados exclusivamente em um tipo de uso do solo e os juvenis, indivíduos com baixo grau de desenvolvimento não sendo possível determinar a espécie. As letras que acompanham as morfoespécies juvenis foram atribuídas em decorrência de características de diferenciação entre as mesmas.

Tabela 16 - Morfoespécies de minhocas encontradas em ambos os usos do solo. As morfoespécies em negrito são consideradas exclusivas para cada tipo de uso do solo

Pastagem		Floresta	
M1	Glossoscolecidae sp	M1	Glossoscolecidae sp
M2	Megascolecinae	M5	Juvenil L
M3	Glossoscolecidae sp2	M6	Juvenil M
M4	Acanthodrilidae	M7	Juvenil N
M9	Juvenil P	M8	Juvenil O
M10	Juvenil X	M10	Juvenil X
M11	Juvenil W	M11	Juvenil W
M12	Juvenil Y	M12	Juvenil Y
M13	Juvenil Z	M13	Juvenil Z
M18	Juvenil E	M14	Juvenil α
M20	Juvenil J	M15	Juvenil β
M21	Juvenil não identificável	M16	Juvenil γ
		M17	Juvenil F
		M19	Juvenil H
		M21	Juvenil não identificável

4.11.1 Macrofauna

Na Tabela 17 estão representados os valores p para os parâmetros fixos utilizados nos modelos para macrofauna total, indicando que há efeito significativo da posição do relevo sobre os dados de macrofauna. Os efeitos do uso do solo e profundidade indicaram interação significativa devendo a análise destes parâmetros sobre a macrofauna ser realizada de maneira conjunta.

Tabela 17 – Valores p resultantes da análise estatística para parâmetros da fauna do solo

Parâmetros fixos (valor p)							
	Uso	Prof.	Posição	Uso * Prof.	Uso * Posição	Posição* Prof.	Uso * Posição* Profundidade
Macrofauna total	0,1117	<0,0001	0,0020	<0,0001	0,2727	0,4464	0,1384

A Tabela 18 mostra os efeitos dos parâmetros aleatórios dentro do modelo, ou seja, indica o nível de estabilidade temporal e quanto cada repetição coletada aporta de variabilidade nos dados. Observa-se que a variância entre os períodos de coleta e as repetições é baixa, mostrando que essas variáveis influenciam pouco na variabilidade dos dados.

Tabela 18 - Variância obtida para os períodos de coleta e amostras coletadas

	Parâmetros aleatórios (variância)	
	Período de Coleta	Repetição
Macrofauna total	0,0900	0,0600

Para macrofauna total foi observado interação significativa entre uso e profundidade, o que implica que o efeito da mudança de uso do solo depende da profundidade analisada. A análise da macrofauna total por profundidade do solo indicou que a conversão de floresta em pastagem acarreta em modificações expressivas da macrofauna, principalmente na camada da serapilheira (Figura 39), concordando com o observado por Barros et al. (2008). A grande quantidade e diversidade de resíduos vegetais sobre a superfície do solo nas áreas florestais fornecem condições de sobrevivência a uma gama de organismos (Figura 12a), das mais variadas espécies, uma vez que estes encontram maior diversidade de alimentos e nichos para se desenvolverem (RUIZ et al., 2008).

De maneira inversa, as áreas sob pastagem possuem menor quantidade de serapilheira, sendo esta composta basicamente por folhas de gramíneas (Figura 12b), favorecendo o desenvolvimento de menor diversidade de espécies, em geral aquelas mais adaptadas a este material, capazes de suportar maior incidência de raios solares e elevadas temperaturas (BARROS et al., 2002; AQUINO et al., 2008; DAVIDSON et al., 2012; CARVALHO et al., 2013).

Para as camadas do solo não foram observadas diferenças significativas entre floresta e pastagem, provavelmente devido aos maiores teores de MO encontrada nas pastagens, a ausência de diferenças significativas de densidade do solo e desenvolvimento agressivo das gramíneas, permitindo assim a formação de um ambiente favorável ao desenvolvimento da macrofauna nas pastagens (Figura 39). Contudo, os diversos organismos incluídos na macrofauna possuem características ecológicas (tróficas e reprodutivas) muito diferentes entre si, o que pode acarretar em ausência de diferenças entre os usos quando considerados todos ao mesmo tempo, devido à compensação entre as abundâncias. Este fator será discutido mais adiante quando os grupos forem analisados separadamente.

Também foi observado efeito significativo da posição do relevo no total da macrofauna (Tabela 17). A distribuição da macrofauna nas diferentes posições do relevo foi a mesma para ambos os usos do solo, não havendo interações com outros fatores sendo,

portanto, apresentado somente um gráfico de distribuição da macrofauna ao longo da topossequência válido para ambos os usos (Figura 40).

Pode-se perceber por intermédio deste gráfico que a quantidade da macrofauna total é maior na posição de topo (T1), favorecida pela presença de maiores teores de MO para esta posição (Figura 15f). As posições T2 e T3 apresentaram menor quantidade de macrofauna presente provavelmente em decorrência das menores quantidades de MO oferecendo um ambiente menos favorável nestes pontos.

Figura 39 - Número total de indivíduos da macrofauna encontrada no solo considerando a interação entre uso do solo e profundidade. Média de 5 repetições em três posições do relevo e três períodos de coleta. Letras maiúsculas diferentes indicam diferença pelo teste DGC 5%. As barras indicam o erro padrão das médias

Figura 40 - Comportamento da macrofauna encontrada no solo considerando as diferentes profundidades do relevo em ambos os usos do solo. Média de 5 repetições em três posições do relevo e três períodos de coleta. Letras maiúsculas diferentes indicam diferença pelo teste DGC 5%. As barras indicam o erro padrão das médias

4.11.2 Riqueza taxonômica

A riqueza taxonômica é uma medida da quantidade de grupos taxonômicos presentes dentro da macrofauna. Os modelos criados ofereceram como resultado interação do efeito do uso do solo dependente da profundidade e também um efeito marginalmente significativo do uso do solo e posição no relevo (Tabela 19). Os valores p para os parâmetros aleatórios (Tabela 20) indicam que a variância entre os períodos de coleta e as repetições é baixa, sendo que estas variáveis influenciam pouco na variabilidade dos dados.

Tabela 19 - Valores p resultantes da análise estatística para parâmetros de riqueza taxonômica

	Parâmetros fixos (valor p)						
	Uso	Prof.	Posição	Uso * Prof.	Uso * Posição	Posição* Prof.	Uso * Posição* Profundidade
Riqueza taxonômica	<0,0001	<0,0001	0,0308	<0,0001	0,0520	0,1872	0,8221

Tabela 20 – Variância obtida para períodos de coleta e amostras coletadas

	Período de coleta	Amostra	Parâmetros aleatórios (variância)					
			Pasto			Floresta		
			Jul	Jan	Mar	Jul	Jan	Mar
Riqueza taxonômica	0,18	0,39	0,06	-0,01	-0,05	-0,03	-0,05	0,09

As áreas sob floresta apresentaram maior riqueza de macrofauna em todas as profundidades e posições analisadas (Figuras 41 e 42), favorecida pela maior quantidade e diversidade de resíduos vegetais. A presença de serrapilheira oferece ambiente com maior umidade e maior quantidade de macroporos, facilitando a formação de um microclima favorável à sobrevivência e proliferação da fauna edáfica (FERREIRA e MARQUES, 1998; TAPIA-CORAL et al., 1999; WARREN e ZOU, 2002; MENEZES et al., 2009).

Ambientes com diversidade de grupos taxonômicos possuem elevada competição entre eles, e, portanto, pouca abundância de indivíduos (PEREIRA et al., 2013). Este comportamento foi evidenciado na análise conjunta de macrofauna total e riqueza taxonômica, onde as áreas sob floresta e pastagem possuem a mesma abundância, porém maior riqueza na floresta.

A substituição de floresta por pastagem reduz a riqueza da macrofauna, prejudicando a estrutura ecológica e a sustentabilidade do ambiente. Ao perder diversidade de grupos presentes, o solo também perde resiliência, tornando-se mais vulnerável ao estresse e aos distúrbios em comparação com um solo mais diverso (LOBRY de BRUYN, 1997; LOBRY de BRUYN, 1999; BARRIOS, 2007). Além disso, a perda de diversidade pode afetar processos biológicos considerados chaves, como a decomposição da serrapilheira (BARRIOS, 2007).

Figura 41 - Riqueza de grupos taxonômicos para cada uso do solo nas diferentes posições do relevo. Os dados referentes aos grupos da macrofauna são resultado da média de 5 repetições em três posições do relevo e três períodos de coleta. Letras maiúsculas distintas indicam diferença estatística significativa pelo teste DGC 5%. As barras indicam o erro padrão das médias

Figura 42 - Riqueza de grupos taxonômicos para cada uso do solo nas diferentes posições do relevo. Os dados referentes aos grupos da macrofauna são resultado da média de 5 repetições nas três posições do relevo e três períodos de coleta. Letras maiúsculas distintas indicam diferença estatística significativa pelo teste DGC 5%. As barras indicam o erro padrão das médias

4.11.3 Minhocas

As minhocas são organismos de tamanho e comprimento muito variável, habitando quase todas as regiões do mundo, exceto áreas congeladas e desertos. Sua população varia em número, biomassa e diversidade e o tamanho das populações variam de acordo com características do ambiente como tipo de solo, pH, umidade e disponibilidade de matéria orgânica (EDWARDS, 2004).

Sua atividade é de extrema importância para o solo, pois fragmentam, consomem e transportam material orgânico, disponibilizando este material para outros organismos e enriquecendo o solo, além de formarem galerias, aumentando a porosidade, aeração e drenagem do solo (LAVELLE et al., 2001; EDWARDS, 2004).

O modelo criado oferece como resultado interação do efeito do uso do solo dependente da posição do relevo, e também um efeito significativo da profundidade sobre a quantidade de minhocas (Tabela 21). Os valores *p* para os parâmetros aleatórios (Tabela 22) indicam que as variáveis período de coleta e repetições coletadas influenciam pouco na variabilidade dos dados.

Tabela 21 – Valores *p* resultantes da análise estatística para parâmetros de minhocas

	Parâmetros fixos (valor <i>p</i>)						
	Uso	Prof.	Posição	Uso * Prof.	Uso * Posição	Posição* Prof.	Uso * Posição* Profundidade
Minhocas	0,0063	<0,0001	0,3340	0,2989	0,0254	0,0559	0,0531

Tabela 22 - Variância obtida para períodos de coleta e amostras coletadas

	Parâmetros aleatórios (variância)							
	Coleta	Amostra	Pasto			Floresta		
			Jul	Jan	Mar	Jul	Jan	Mar
Minhocas	0,18	$7,3 \cdot 10^{-5}$	-0,05	-0,02	0,07	-0,05	-0,02	0,07

Analisando as minhocas com relação à profundidade do solo em ambas as topossequências, a maior quantidade de minhocas foi encontrada na camada superficial (0-0,1 m), como consequência de sua estreita relação com MO, pH, U, Ds e macroporosidade (Lavelle et al., 2001) decrescendo à medida que se aprofunda no perfil (Figura 43). A menor quantidade de minhocas foi encontrada na serapilheira, conforme esperado, pois estes são organismos essencialmente edáficos, chegando à superfície quando as condições de solo não estão apropriadas à sua sobrevivência (RUIZ et al., 2008) (Figura 43).

Comparações entre os usos do solo e posições indicam que a pastagem possui maior quantidade de indivíduos que a floresta para as posições T1 e T2 (Figura 44), em decorrência das condições de presença de liteira de fácil decomposição, maiores teores de MO (RUIZ et al., 2008).

Na posição T3 esta relação é invertida, com maior quantidade de minhocas observadas para a floresta, provavelmente em decorrência dos menores teores de MO e maior densidade do solo em pastagem nesta posição do relevo.

Figura 43 - Número médio de indivíduos de minhocas nas diferentes profundidades para ambos os usos do solo. Os dados foram obtidos pela média de 5 repetições em três posições do relevo e três períodos de coleta. Letras maiúsculas diferentes indicam diferença pelo teste DGC 5%. As barras indicam o erro padrão das médias

Figura 44 - Número médio de minhocas encontradas nas diferentes posições do relevo para cada tipo de uso do solo. Os dados foram obtidos pela média de 5 repetições em três posições do relevo e três períodos de coleta. Letras maiúsculas diferentes indicam diferença pelo teste DGC 5%. As barras indicam o erro padrão das médias

4.11.4 Estrutura da comunidade de minhocas

Na Tabela 23 estão apresentados os índices de estrutura das comunidades para minhocas. A análise da diversidade (índices de Shannon e Simpson) indica que as áreas sob floresta possuem maior diversidade de minhocas que as áreas sob pastagem, apesar das diferenças não se apresentarem muito marcadas. Consequentemente, a pastagem apresentou uma comunidade de minhocas com valores de dominância (índice de Berger-Parker) ligeiramente superiores aos valores observados para floresta.

A riqueza de espécies de minhocas foi maior na floresta, a qual apresentou 15 espécies enquanto o pasto apresentou 11 espécies. A contagem de espécies exclusivas, ou seja, espécies que ocorreram somente em um dos tipos de uso, indica que em pastagem foram encontradas 6 espécies exclusivas enquanto na floresta, foram encontradas 9 espécies exclusivas.

A mudança de uso do solo, além de provocar redução na diversidade de espécies encontradas, pode acarretar no desaparecimento de espécies endêmicas das áreas florestais, e o favorecimento do desenvolvimento de espécies em pastagem, prejudicando a manutenção da diversidade genética da floresta Amazônica.

Tabela 23 – Valores de riqueza (r), diversidade (índice de Shannon e de Simpson) e dominância (índice de Berger-Parker) da comunidade de minhocas do solo

Uso		Riqueza		Diversidade		Dominância
		Espécies totais (r)	Espécies exclusivas	Shannon	Simpson	Berger-Parker
Pastagem	T1	7	<i>Megascolecidae</i> ,	1,29	0,39	0,59
	T2	7	<i>Glossoscolecidae</i> sp2,	1,37	0,32	0,46
	T3	3	<i>Acanthodrilidae</i> , Juvenis P, E, J	0,32	0,85	0,92
	Total	11	6	1,40	0,38	0,59
Floresta	T1	11	Juvenis L, M, N, O, α , β , γ , F, H	1,57	0,34	0,56
	T2	9		1,69	0,25	0,46
	T3	8		1,31	0,39	0,6
	Total	15	9	1,64	0,33	0,54

As minhocas são organismos chave na formação e funcionamento do solo, pois contribuem significativamente para a fragmentação e adesão da matéria orgânica ao solo, formação e estabilização dos agregados e formação de macroporos que podem atuar na infiltração de água e gases no solo.

As diferentes espécies de minhocas atuam sobre o solo de maneira distinta, dependendo de seu padrão de comportamento, fazendo com que a perda de riqueza e diversidade de um sistema torne-o menos resiliente, com maior vulnerabilidade aos distúrbios e incapaz de funcionar como um sistema mais diverso (LOBRY de BRUYN, 1997; EDWARDS, 2004).

Sendo assim, conhecendo a importância das minhocas no funcionamento do solo pode-se dizer que a perda de diversidade pode trazer prejuízos à biodiversidade, além de prejuízos à qualidade e funcionamento do solo.

4.11.5 Coleópteros

O modelo criado para coleópteros oferece como resultado interação do efeito uso do solo dependente da posição do relevo (Tabela 24). Os valores p para os parâmetros aleatórios (Tabela 25) indicam que as variáveis período de coleta e repetições coletadas influenciam pouco na variabilidade dos dados

Tabela 24 – Valores p resultantes da análise estatística para parâmetros de Coleoptera

Parâmetros fixos (valor p)							
Táxon	Uso	Prof.	Posição	Uso * Prof.	Uso * Posição	Posição* Prof.	Uso * Posição* Profundidade
Coleoptera	<0,0001	-	0,5796	-	0,0134	-	-

Tabela 25 - Variância obtida para períodos de coleta e amostras coletadas

Táxon	Parâmetros aleatórios (variância)							
	Coleta	Amostra	Pasto			Floresta		
			Jul	Jan	Mar	Jul	Jan	Mar
Coleoptera	$4,3 \cdot 10^{-07}$	$5,7 \cdot 10^{-5}$	0	0	0	0	0	0

Para a realização da análise estatística dos Coleópteros foram desconsideradas as profundidades, a fim de se obter a quantidade ideal de dados para a análise conforme explicado no item 3.3.1. A quantidade de coleópteros não apresenta diferenças significativas entre floresta e pastagem para a posição T1 (Figura 45), provavelmente em decorrência da grande quantidade de MO presente em pastagem nesta posição, formando um ambiente adequado para o crescimento dos coleópteros, apesar das menores condições de umidade (Figura 21).

Nas posições T2 e T3 a quantidade de coleópteros é maior na floresta (Figura 45), influenciado pela maior umidade, menor pH e menores valores de densidade que os observados na pastagem, favorecendo o desenvolvimento destes (MOUZINHO e FONSECA, 1998; SCHEFFLER, 2005; DOMÍNGUEZ, 2012).

Figura 45 - Número médio de indivíduos de Coleóptera nas diferentes posições do relevo para cada uso do solo. Os dados apresentados foram obtidos pela média de 5 repetições em três posições do relevo e três períodos de coleta. Letras maiúsculas diferentes indicam diferença pelo teste DGC 5%. As barras indicam o erro padrão das médias

4.11.6 Formigas

As formigas estão presentes em grande número no solo e, assim como as minhocas, modificam as propriedades físicas e químicas do solo, através do transporte de solo e material orgânico durante a construção de seus ninhos. Suas atividades influenciam a porosidade, aeração, infiltração e drenagem do solo, além da criação de habitats para organismos menores (RUIZ et al., 2008).

A análise das formigas deve ser realizada observando-se o tipo de uso do solo e a posição no relevo, parâmetros significativos para este grupo da fauna (Tabela 26). Os valores p para os parâmetros aleatórios (Tabela 27) indicam que as variáveis período de coleta e repetições coletadas influenciam pouco na variabilidade dos dados.

Tabela 26 – Valores p resultantes da análise para parâmetros de Formigas

Táxon	Parâmetros fixos (valor p)						
	Uso	Prof.	Posição	Uso * Prof.	Uso * Posição	Posição* Prof.	Uso * Posição* Profundidade
Formigas	<0,0001	-	0,0116	-	0,7799	-	-

Tabela 27 - Variância obtida para períodos de coleta e amostras coletadas

Táxon	Parâmetros aleatórios (variância)							
	Coleta	Amostra	Pasto			Floresta		
			Jul	Jan	Mar	Jul	Jan	Mar
Formigas	0,05	0,15	-0,06	0,14	-0,08	-0,24	1,1 10 ⁻⁰³	0,24

A análise estatística da abundância de formigas foi realizada desconsiderando-se o efeito da profundidade visando a obtenção da quantidade adequada de dados para realização da análise, conforme citado no item 3.3.1.

Analisando a quantidade de formigas em relação ao uso do solo, pode-se observar que a quantidade de formiga foi maior sob floresta que sob pastagem (Figura 46), como resultado da maior quantidade e heterogeneidade do material vegetal neste tipo de uso do solo. As formigas apresentam relação positiva com a cobertura vegetal, aumentando à medida que aumenta a quantidade e diversidade do material vegetal e reduzindo em ambientes antropizados (LOBRY de BRUYN, 1999; DIAS et al., 2008; MATHIEU et al., 2009). A análise das formigas nas diferentes posições do relevo indicou estreita relação com a quantidade de MS sendo as maiores quantidades de formigas encontradas nas posições T1 e T3, onde foi encontrada maior quantidade de MS (Figura 47).

Figura 46 - Número médio de formigas considerando os diferentes usos do solo. Os dados apresentados foram obtidos pela média de 5 repetições em três posições do relevo e três períodos de coleta. Letras maiúsculas diferentes indicam diferença pelo teste DGC 5%. As barras indicam o erro padrão das médias

Figura 47 - Número médio de indivíduos de formiga nas diferentes posições do relevo para ambos os usos do solo. Os dados apresentados foram obtidos pela média de 5 repetições em três posições do relevo e três períodos de coleta. Letras maiúsculas diferentes indicam diferença pelo teste DGC 5%. As barras indicam o erro padrão das médias

4.11.7 Isópteras

Os Isopteras são insetos sociais, organizados em colônias com diferentes castas, e por isso, estão presentes no solo em grandes quantidades. Estão localizados principalmente nos trópicos, influenciando diretamente na ciclagem de nutrientes, na fertilidade e porosidade do solo (RUIZ et al., 2008).

Para a análise estatística dos Isópteras foram desconsideradas as profundidades conforme descrito no item 3.3.1.. Nas análises para este grupo da fauna foi observado efeito significativo do uso do solo e da posição no relevo (Tabela 28) e pouca influência do período de coleta e das repetições amostradas na variabilidade dos dados (Tabela 29).

Tabela 28 – Valores *p* resultantes da análise estatística para parâmetros de Isoptera

Táxon	Parâmetros fixos (valor <i>p</i>)						
	Uso	Prof.	Posição	Uso * Prof.	Uso * Posição	Posição* Prof.	Uso * Posição* Profundidade
Isoptera	0,0010	-	0,0169	-	0,1883	-	-

Tabela 29 - Variância obtida para períodos de coleta e amostras coletadas

Táxon	Parâmetros aleatórios (variância)							
	Coleta	Amostra	Pasto			Floresta		
			Jul	Jan	Mar	Jul	Jan	Mar
Isoptera	$4,4 \cdot 10^{-10}$	$2,8 \cdot 10^{-5}$	0	0	0	0	0	0

A quantidade de Isópteras em pastagem é superior à quantidade em floresta (Figura 48), principalmente em decorrência das maiores quantidades de MO em pastagem e da pouca concorrência existente com outras espécies permitindo assim que os cupins se desenvolvam livremente (LIMA; COSTA-LEONARDO, 2007). Segundo (VALÉRIO, 2006) pastagens mais antigas podem apresentar infestações elevadas de Isópteras sem, no entanto, serem indicativos de degradação da área.

A análise de Isopteras nas diferentes posições do relevo indica que há um decréscimo na quantidade de indivíduos à medida que se caminha para as posições mais baixas do relevo devido, possivelmente, à redução na quantidade de MO nestes pontos (Figura 49).

Figura 48 - Número médio de Isopteras nos diferentes usos do solo. Os dados apresentados foram obtidos pela média de 5 repetições em três posições do relevo e três períodos de coleta. Letras maiúsculas diferentes indicam diferença pelo teste DGC 5%. As barras indicam o erro padrão das médias

Figura 49 - Número médio de Isopteras nas diferentes posições do relevo para ambos os usos do solo. Os dados apresentados foram obtidos pela média de 5 repetições em três posições do relevo e três períodos de coleta. Letras maiúsculas diferentes indicam diferença pelo teste DGC 5%. As barras indicam o erro padrão das médias

4.11.8 Larvas

Para a análise estatística das larvas foram desconsideradas as profundidades conforme descrito no item 3.3.1. Nas análises para este grupo da fauna foi observado efeito significativo do uso do solo (Tabela 30) e pouca influência do período de coleta e das repetições amostradas na variabilidade dos dados (Tabela 31).

Tabela 30 – Valores *p* resultantes da análise estatística para parâmetros de Larvas

Táxon	Parâmetros fixos (valor <i>p</i>)						
	Uso	Prof.	Posição	Uso * Prof.	Uso * Posição	Posição* Prof.	Uso * Posição* Profundidade
Larvas	0,0108	-	0,0606	-	0,6803	-	-

Tabela 31 - Variância obtida para períodos de coleta e amostras coletadas

Táxon	Parâmetros aleatórios (variância)							
	Coleta	Amostra	Pasto			Floresta		
			Jul	Jan	Mar	Jul	Jan	Mar
Larvas	$1,7 \cdot 10^{-5}$	$2,2 \cdot 10^{-5}$	$3,1 \cdot 10^{-10}$	$7 \cdot 10^{-11}$	$-3,8 \cdot 10^{-10}$	$1,6 \cdot 10^{-12}$	$2,6 \cdot 10^{-10}$	$-2,6 \cdot 10^{-10}$

Embora a quantidade de indivíduos encontrada para os dois tipos de uso do solo seja pequena, a análise da quantidade de larvas indicou diferença significativa entre os tipos de uso do solo, com maior quantidade de indivíduos sob pastagem (Figura 50). Para as diferentes posições do relevo o comportamento das larvas nas duas topossequência é o mesmo, sendo, portanto, apresentado sob a forma de um único gráfico no qual pode-se perceber predomínio de larvas na posição T1 (Figura 51).

A maior quantidade de MO, a baixa densidade do solo e o predomínio de poros complexos grandes para a posição T1 em ambas as topossequências favorece o estabelecimento e desenvolvimento das larvas nesta posição do relevo.

Figura 50 - Número médio de Larvas nos diferentes usos do solo. Os dados apresentados foram obtidos pela média de 5 repetições em três posições do relevo e três períodos de coleta. Letras maiúsculas diferentes indicam diferença pelo teste DGC 5%. As barras indicam o erro padrão das médias

Figura 51 - Número médio de Larvas nas diferentes posições do relevo para ambos os usos. Os dados apresentados foram obtidos pela média de 5 repetições em três posições do relevo e três períodos de coleta. Letras maiúsculas diferentes indicam diferença pelo teste DGC 5%. As barras indicam o erro padrão das médias

Para os grupos Diplopoda e Chilopoda não foram encontradas diferenças estatísticas significativas entre os usos do solo nem posições do relevo e, portanto, os dados não estão aqui representados.

4.11.9 Engenheiros do ecossistema

A análise dos engenheiros do ecossistema mostra efeito significativo da interação uso do solo e profundidade devendo estas variáveis ser analisadas em conjunto (Tabela 32). A variabilidade dos engenheiros do ecossistema não sofre influência do período de coleta nem das repetições coletadas (Tabela 33).

Tabela 32 – Valores p resultantes da análise estatística para parâmetros de Engenheiros do ecossistema

	Parâmetros fixos (valor p)						
	Uso	Prof.	Posição	Uso * Prof.	Uso * Posição	Posição* Prof.	Uso * Posição* Profundidade
Engenheiros	0,0006	<0,0001	0,1102	0,0332	0,1896	0,3156	0,2644

Tabela 33 - Variância obtida para períodos de coleta e amostras coletadas

	Parâmetros aleatórios (variância)							
	Coleta	Amostra	Pasto			Floresta		
			Jul	Jan	Mar	Jul	Jan	Mar
Engenheiros	$1,5 \cdot 10^{-7}$	$2 \cdot 10^{-4}$	0	0	0	0	0	0

Os engenheiros do ecossistema são indivíduos da fauna que atuam sobre o solo gerando porosidade por meio de suas atividades de escavação, translocação, alimentação e nidificação, criando galerias e ninhos que podem atuar como macroporos, facilitando a condução de água e ar para dentro do solo. Eles são representados por minhocas, Isópteras e formigas.

Para análise destes indivíduos a variável “engenheiros do ecossistema” foi obtida pela soma dos indivíduos dos referidos grupos e analisada a interação significativa entre uso e profundidade (Tabela 32). A influência do período de coleta e repetição coletada sobre a variabilidade dos engenheiros do ecossistema é pequena (Tabela 33).

Pode-se observar que para a camada serrapilheira foi encontrada maior quantidade de indivíduos sob floresta (Figura 52) favorecidos pela maior diversidade do material da serrapilheira, e proteção dos indivíduos à exposição aos raios solares provocada pelo dossel das árvores. Para as demais camadas do solo não foram observadas diferenças significativas em relação à quantidade de indivíduos observadas entre floresta e pastagem, independentemente da profundidade analisada. A maior quantidade de indivíduos foi encontrada na profundidade 0-0,1 m, reduzindo com o aumento da profundidade para ambos os usos.

A pouca diferença observada para a quantidade de engenheiros entre os usos do solo, somada à quantidade de MO no solo e à atuação das raízes das gramíneas, auxilia na compreensão de porque a mudança de uso do solo não acarretou em modificações expressivas na PT e Ds. As gramíneas possuem sistema radicular fasciculado, de crescimento agressivo e material vegetal facilmente decomponível, aumentando a quantidade de MO nas pastagens, tornando este um ambiente favorável ao desenvolvimento dos engenheiros, principalmente minhocas e Isopteras (RUIZ et al., 2008; KONDO et al., 2012; FREITAS et al., 2013).

Este comportamento das pastagens aos referidos grupos da fauna também pode ser observado no presente trabalho, onde a conversão de floresta em pastagem provocou aumento do número de Isopteras (Figura 48) e minhocas (Figura 44). Entretanto, estes dados devem ser analisados com cautela, uma vez que a quantidade de engenheiros é semelhante entre os usos,

porém com pastagem apresentando menor quantidade de formigas (Figura 46) e menor diversidade de minhocas (Tabela 23).

A redução na diversidade de engenheiros é acompanhada por uma modificação na morfologia, quantidade e tipo de poros presentes, com redução da macroporosidade, redução de poros complexos grandes e aumento dos arredondados, redução da retenção de água no solo e do índice S. Estes dados sugerem que apesar da quantidade de engenheiros ser mantida após a mudança de uso do solo, esta provoca uma perda na diversidade de indivíduos influenciando na distribuição dos poros e, conseqüentemente, em sua degradação.

Figura 52 - Número médio de engenheiros do ecossistema nas diferentes profundidades considerando os tipos de uso do solo. Os dados apresentados foram obtidos pela média de 5 repetições em três posições do relevo e três períodos de coleta. Letras maiúsculas diferentes indicam diferença pelo teste DGC 5%. As barras indicam o erro padrão das médias

Os resultados das análises univariadas referentes à fauna do solo mostram que a conversão de floresta em pastagem não provoca mudanças significativas na quantidade de macrofauna, exceto na camada de serrapilheira. Por outro lado esta conversão provoca o aumento da quantidade de minhocas em pastagem, com exceção da posição T3 onde foram encontrados menores valores de PT e maiores de Ds. A análise dos dados de abundância de organismos deve ser realizada com cautela, visto que a conversão de floresta em pastagem acarretou na redução da riqueza dos grupos encontrados na macrofauna e de minhocas.

Apesar da quantidade de indivíduos permanecer constante, há menor diversidade, o que poderia trazer sérias consequências à resiliência deste sistema.

A conversão de floresta em pastagem também acarreta em redução da quantidade de formigas para todas as posições e profundidades. Para coleópteros a conversão de floresta em pastagem acarreta em redução na quantidade de indivíduos, exceto para a posição T1 onde há maior quantidade de MO em pastagem, favorecendo a manutenção destes indivíduos nesta posição do relevo após a mudança de uso do solo.

Os grupos Isoptera e Larvas são favorecidos pela conversão de floresta em pastagem, embora os dados referentes às larvas tenham apresentado pouca diferença.

A junção dos dados de minhocas, Isopteras e formigas nos fornece os chamados engenheiros do ecossistema, os quais não apresentaram diferenças significativas entre os usos do solo, exceto para a camada de serrapilheira. Em floresta a camada de serrapilheira apresentou maior quantidade de engenheiros, em decorrência da maior quantidade e heterogeneidade da MS nas florestas.

4.12 Relações entre atributos do meio físico e a fauna do solo

Os dados das relações entre os atributos físicos e a fauna do solo serão apresentados a seguir ordenados na sequência em que foram realizados. Primeiramente serão apresentados os dados referentes à macrofauna utilizando-se as variáveis mais comumente utilizadas nas análises referentes à fauna do solo como PT e Ds.

Em seguida, sabendo que estas variáveis apresentaram diferenças pouco significativas entre floresta e pastagem, a variável PT foi substituída por um maior detalhamento da porosidade separando-a em macro e microporosidade.

De maneira análoga, conhecendo o fato de que a mudança de uso do solo altera não somente o tamanho, mas também o tipo de poros presentes no solo, as variáveis macro e microporosidade foram substituídas pela porosidade obtida pela análise micromorfométrica.

Em seguida, buscando facilitar a compreensão de como a mudança de uso atua nas diferentes profundidades do solo foram eliminadas as variações do relevo sendo considerados somente os dados de profundidade do solo. Os dados serão apresentados assim como anteriormente com as variáveis PT, macro e microporosidade e micromorfometria.

O mesmo procedimento foi realizado considerando-se as diferentes espécies de minhocas encontradas, com análise das três posições do relevo e profundidades incluindo-se

as variáveis PT, macro e microporosidade e micromorfometria e, em seguida considerando-se somente as diferentes profundidades.

4.12.1 Macrofauna total

Primeiramente foi realizada uma análise de correspondência canônica (ACC) utilizando as propriedades físicas e químicas do solo e a abundância dos táxons de alto nível da macrofauna, considerando os dois usos do solo, as três profundidades e três posições do relevo. A ACC mostra que o eixo 1 é correlacionado positivamente com as variáveis densidade do solo (Ds) e teor de argila (Arg) e negativamente por matéria orgânica (MO), CTC, porosidade total (PT) e índice S (Is) (Figura 53). O eixo 2 é correlacionado positivamente pela umidade (U) e negativamente por Ca e pH.

A análise do gráfico mostra que o eixo 1 é responsável pela separação entre as profundidades do solo, separando a camada superficial (0-0,1 m) das subsuperficiais (0,10-0,20 e 0,20-0,30). O eixo 2 é responsável por separar os dois tipos de uso do solo, sendo a floresta o sistema que apresenta valores mais elevados de Is e U e a pastagem o sistema com valores mais elevados de MO, Ca e pH.

As áreas sob floresta apresentam camada superficial fortemente relacionada com Is, PT e U, sendo encontrados Chilopodas, Diplopodas, Diplura e Isopodas, organismos altamente dependentes da porosidade uma vez que não são geradores de porosidade, mas sim organismos que habitam os poros preexistentes. As camadas subsuperficiais apresentaram relação com o teor de Arg, U e Ds onde foram encontrados Coleoptera, Formigas, Blatária e Larvas.

As áreas sob pastagem apresentaram superfície fortemente relacionada com PT, MO e Ca favorecendo o aparecimento de animais como Aranhas, Minhocas, Dermápteras e Ninfas. Já as camadas mais profundas apresentaram relação com pH e Ds onde foram encontrados Isópteras, organismos com capacidade para criação de porosidade e portanto, pouco dependentes dos valores de Ds.

As áreas florestais apresentaram maior diversidade de táxons que as pastagens, provavelmente favorecidas pelos maiores valores de Is, PT e U, fornecendo um ambiente com maior aeração propício ao desenvolvimento da macrofauna.

Em pastagem, apesar dos valores elevados de MO houve menor diversidade de organismos, provavelmente decorrente dos menores valores de U e Is, favorecendo a dessecação e menor aeração do ambiente, limitando o desenvolvimento da fauna edáfica.

Neste ambiente, os principais organismos encontrados foram aqueles considerados “engenheiros” e portanto, pouco dependentes da porosidade, principalmente minhocas na camada superficial (0-0,1 m) e Isopteras na camada subsuperficial (0,1-0,2 e 0,2-0,3 m).

Figura 53 - Análise de correspondência canônica relacionando o eixo 1 e 2, discriminando as áreas sob floresta e pastagem de acordo com os parâmetros físicos, químicos e os diferentes táxons da macrofauna. As variáveis ambientais estão representadas por flechas e as variáveis estão abreviadas sendo Is = índice S, PT = porosidade total, U = umidade, Arg = teor de argila, Ds = densidade do solo, CTC = capacidade de troca catiônica, MO = matéria orgânica, Ca = teor de Cálcio. Os usos do solo estão representados em verde para floresta e amarelo para pastagem e as profundidades estão representadas por círculo para 0-0,1 m, quadrado para 0,1-0,2 m e losango para 0,2-0,3 m. Para nome dos táxons consultar tabela 15.

Em seguida, a mesma análise foi realizada com substituição do valor de PT por quantidade de macroporos (Macro) e microporos (Micro) calculados pela CRA (Figura 54).

Pode-se perceber para este caso, que houve uma separação em relação ao eixo 1 no qual houve uma alocação dos locais de floresta junto à camada superficial da pastagem ao lado esquerdo do eixo 1 e ao lado direito do gráfico as camadas mais profundas da pastagem.

O eixo 1 está relacionado positivamente com micro, pH e Ds e negativamente com MO, macro, Is e U e o eixo 2 apresenta relação positiva com MO e negativa com U.

A camada superficial da floresta apresenta textura mais arenosa, estrutura granular, maiores quantidades de MO e maior heterogeneidade da serrapilheira, relacionando-se fortemente com a quantidade de macroporos e Is, sendo encontradas Formigas, Minhocas, Chilopodas, Aranhas, Isopodas, Dipluras e Diplópodas.

Em subsuperfície as áreas sob floresta são fortemente influenciadas pela U e Ds, criando ambientes mais favoráveis à sobrevivência de Formigas, Coleópteras, Blatárias e Larvas.

A camada superficial da pastagem apresenta forte relação com MO e pH, onde são encontrados Dermapteras, Hemípteras, Schizomidas, Minhocas, Formigas e Coleópteras. A alocação da camada 0-0,1 m da pastagem próxima aos locais de floresta demonstram que as camadas superficiais tanto de floresta quanto de pastagem possuem composição semelhante com textura arenosa, estrutura granular e elevados teores de MO, não apresentando diferença estatística significativa para Ds, U e quantidade de macrofauna total.

Em subsuperfície há forte relação com pH, Micro e Ds, sendo encontrados nestes locais indivíduos pertencentes aos Isopteras, com baixa dependência dos valores de Ds.

Figura 54 - Análise de correspondência canônica relacionando o eixo 1 e 2, discriminando as áreas sob floresta e pastagem de acordo com os parâmetros físicos, químicos e os diferentes táxons da macrofauna. As variáveis ambientais estão representadas por flechas e as variáveis estão abreviadas sendo Is = índice S, Macro = macroporos, Micro = microporos, U = umidade, Ds = densidade do solo, MO = matéria orgânica. Os usos do solo estão representados em verde para floresta e amarelo para pastagem e as profundidades estão representadas por círculo para 0-0,1 m, quadrado para 0,1-0,2 m e losango para 0,2-0,3 m. Para nome dos táxons consultar tabela 15.

Como última análise as variáveis macro e micro foram substituídas pela análise da área de poros obtida por micromorfometria com separação dos poros em arredondados, alongados e complexos por escala de tamanho (Figura 55).

Para esta análise percebe-se uma separação menos evidente entre floresta e pastagem, principalmente em relação às camadas mais profundas do solo, o que era esperado, visto que para estas camadas, a distribuição dos macro e mesoporos identificada na análise micromorfométrica não diferiu muito entre os usos (Figuras 25b, 25c, 25e, 25f, 25h, 25i e 26b, 26c, 26e, 26f, 26h e 26i). Cabe aqui ressaltar novamente que a análise micromorfométrica considera somente a distribuição de macro e mesoporos, sendo, portanto, a influência dos microporos desconsiderada na presente análise.

Com relação à floresta os pontos são alocados de acordo com a profundidade ao longo do eixo 1 com relação negativa com U, MO e Is e positiva com pH e Ds. Pode-se perceber que as camadas mais superficiais estão mais bem relacionadas com poros complexos grandes (acima de 5000 μm), Is e MO, apresentando ampla diversidade de organismos como

Minhocas, Chilopodas, Isopodas, Dipluras, Hemípteros, ninfas e Dermápteras. As camadas mais profundas (0,2-0,3 m) apresentam melhor relação com a Ds e poros de menor tamanho (complexos entre 1000-2000 μm) sendo encontradas Blatarias e Larvas.

Para a pastagem o escalonamento por profundidade é menos evidente que o observado para floresta sendo a camada superficial relacionada à quantidade de MO e as camadas mais profundas à Ds. Na pastagem foram encontrados principalmente Isopteras, Blatárias, Larvas e Dermápteras.

Figura 55 - Análise de correspondência canônica relacionando o eixo 1 e 2, discriminando as áreas sob floresta e pastagem de acordo com os parâmetros físicos, químicos e os diferentes táxons da macrofauna. As variáveis ambientais estão representadas por flechas e as variáveis estão abreviadas sendo Is = índice S, U = umidade, Ds = densidade do solo, MO = matéria orgânica, Arr = poros arredondados, Co = poros complexos. Os números que acompanham a definição dos poros são referentes ao tamanho dos poros sendo 1 = 1000-2000 μm , 2 = 2001-3000 μm , 3 = 3001-4000 μm , 4 = 4001-5000 μm , 5 = 5001-6000 μm , 6 = 6001-7000 μm , 7 = 7001-8000 μm e 8 = 8001-9000 μm . Os usos do solo estão representados em verde para floresta e amarelo para pastagem e as profundidades estão representadas por círculo para 0-0,1 m, quadrado para 0,1-0,2 m e losango para 0,2-0,3 m. Para nome dos táxons consultar tabela 15.

A inclusão dos dados de porosidade obtidos pela análise micromorfométrica aportou informações mais detalhadas não discerníveis nas análises de PT. A análise univariada da PT não indicou diferença significativa entre floresta e pastagem para as posições T1 e T2 e apresentou diferença significativa para a posição T3 em decorrência dos maiores valores de Ds para pastagem nesta posição.

A substituição da variável PT por macro e microporos mostra claramente que a floresta possui melhor relação com macroporos, sendo a camada superficial a que apresenta maior diversidade de espécies da fauna. À medida que se aprofunda no perfil a Ds e a quantidade de microporos aumentam e a quantidade de MO diminui, reduzindo a diversidade da fauna encontrada nas camadas mais profundas.

Para a pastagem percebe-se maior relação com pH, Ds e microporos, sendo a diversidade de fauna bastante reduzida, contando com Isopteras e Dermapteras.

A inclusão da porosidade obtida por análise micromorfométrica permite identificar que a mudança de uso do solo provoca alterações no tamanho dos poros com base na profundidade analisada. Ambos os usos do solo apresentam camada superficial composta por poros complexos grandes (acima de 5000 μm), apresentando melhores condições para o desenvolvimento de uma fauna mais diversa e camadas mais profundas composta por poros de menor tamanho, confirmando o observado por Gargiulo et al. (2011).

A maior quantidade de poros complexos grandes favorece os fluxos de ar, água e nutrientes no solo, fornecendo um ambiente mais adequado ao desenvolvimento da fauna. A substituição de florestas por pastagem acarreta em maior quantidade de poros complexos de menor tamanho, prejudicando estes fluxos e tornando o ambiente menos favorável à fauna. Além disso, a redução na conectividade entre os poros pode prejudicar a velocidade de infiltração e percolação de água, favorecendo o acúmulo em superfície e facilitando o processo erosivo.

Como uma tentativa de melhorar a compreensão de como a mudança de uso do solo pode influenciar em suas propriedades e características de distribuição da fauna, foram criadas tabelas denominadas “mínima resolução”. Nestas tabelas foram desconsideradas as posições do relevo, sendo calculado somente um valor para cada variável considerando as diferentes profundidades analisadas. Para isto foi realizada a média dos valores encontrados para cada variável em cada uma das posições do relevo.

A análise separa os usos do solo com relação ao eixo 2, o qual apresenta relação positiva com MO e pH e negativa com U (Figura 56). As áreas sob floresta apresentam relação com U e Is e as áreas sob pastagem com MO e pH.

O eixo 1 separa as profundidades do solo sendo relacionado positivamente com Ds e negativamente com PT e Is. As camadas superficiais da floresta (0-0,1 e 0,1-0,2 m) apresentam forte relação com Is e U sendo encontradas as maiores abundâncias de Coleópteros, Formigas, Diplopodas, Chilopodas, Isopodas, Aranhas, Dipluras e Dípteros. A

camada mais profunda possui maior relação com Ds sendo favorecido o desenvolvimento de Blatária e Larva.

A camada superficial da pastagem está fortemente relacionada com MO e pH sendo encontradas as maiores abundâncias de Minhocas e Dermápteras. Para as camadas mais profundas houve clara distinção entre floresta e pastagem visto que a pastagem apresenta relação com Ds e pH favorecendo o desenvolvimento de Isópteras e Larvas.

A mudança de uso do solo acarretou em mudanças nas características físicas do solo, principalmente nas relacionadas à U, PT, teor de MO, Ds e Is, tornando o solo das pastagens um ambiente menos favorável a coexistência de diversos indivíduos, sendo reduzida, a diversidade da fauna.

Figura 56 - Análise de correspondência canônica desconsiderando as diferentes posições do relevo. A ACC relaciona o eixo 1 e 2, discriminando as áreas sob floresta e pastagem de acordo com os parâmetros físicos, químicos e os diferentes táxons da macrofauna. As variáveis ambientais estão representadas por flechas e as variáveis estão abreviadas sendo Is = índice S, PT = porosidade total, U = umidade, Arg = teor de argila, Ds = densidade do solo, CTC = capacidade de troca catiônica, MO = matéria orgânica, Ca = teor de Cálcio. Os usos do solo estão representados em verde para floresta e amarelo para pastagem. Para nome dos táxons consultar tabela 15.

Em seguida a análise foi repetida substituindo-se a variável PT pelas variáveis macro e microporosidade (Figura 57).

Para esta análise percebe-se a mesma distribuição de táxons e sítios de coleta que a análise realizada através da PT, com nítida separação entre floresta e pastagem com relação ao eixo 2 e entre as profundidades com relação ao eixo 1.

A comparação desta análise com a realizada anteriormente nos permite ver que, além dos valores de Is e U na separação entre floresta e pastagem, temos também a macroporosidade, sendo esta melhor relacionada com as áreas sob floresta.

O eixo 1 apresenta relação positiva com Ds, micro e pH e negativa com macro, Is, MO e U. O eixo 2 apresenta relação positiva com MO, pH e micro e negativa com U.

A camada superficial da floresta (0-0,10 e 0,10-0,20 m) é fortemente relacionada com macro, Is e U e são encontradas maiores abundâncias de Formigas, Coleópteros, Diplópodos, Aranhas, Chilópodos, Isópodos, Dipluras, Dípteros, Cicadea e Opiliones. A camada 0,20-0,30 m está fortemente associada a U e Ds e apresenta maiores abundâncias de Blatária e Larva.

A camada superficial (0-0,10 m) da pastagem é fortemente influenciada pela quantidade de MO, macro e Is, alocada próxima à floresta, apresentando grande abundância de minhocas, ninfas e pseudo-escorpiões, enquanto as camadas mais profundas são influenciadas por pH, micro e Ds apresentando maior abundância de Larvas e Isópteras.

Figura 57 - Análise de correspondência canônica desconsiderando as diferentes posições do relevo. A ACC relaciona o eixo 1 e 2, discriminando as áreas sob floresta e pastagem de acordo com os parâmetros físicos, químicos e os diferentes táxons da macrofauna. As variáveis ambientais estão representadas por flechas e as variáveis estão abreviadas sendo Is = índice S, Macro = macroporos, Micro = microporos, U = umidade, Ds = densidade do solo, MO = matéria orgânica. Os usos do solo estão representados em verde para floresta e amarelo para pastagem. Para nome dos táxons consultar tabela 15.

Em seguida a mesma análise foi repetida substituindo-se a macro e microporosidade por dados de porosidade obtidos por análise micromorfométrica, com inclusão do formato e tamanho dos poros presentes em cada área (Figura 58). Percebe-se que a distribuição e divisão dos sítios é semelhante às ACCs realizadas anteriormente, porém esta análise aporta informações que as análises de PT e macro e microporos não trazem. Ao incluir os dados de tamanho e forma dos macroporos pode-se perceber que as áreas sob floresta apresentam poros de maior tamanho distribuídos entre arredondados grandes (1000, 3000 e 6000 μm) e complexos grandes (acima de 5000 μm).

A distribuição de poros maiores sob floresta favorecem os fluxos de ar, água e nutrientes favorecendo a manutenção de maior diversidade da fauna nestes locais. À medida que se aprofunda no perfil aumenta a densidade do solo e o tamanho dos poros e os teores de MO são reduzidos, reduzindo também a diversidade da fauna.

Para as áreas sob pastagem observa-se que a camada superficial (0-0,1 m) está fortemente relacionada com MO e poros complexos de 3000-4000 μm , favorecendo o desenvolvimento de minhocas e Dermapteras. Para as camadas mais profundas há predomínio de poros complexos e arredondados menores que 3000 μm favorecendo o desenvolvimento de Isopteras.

A redução no tamanho dos poros complexos em pastagem pode restringir a circulação de água e gases no solo, dificultando a sobrevivência de organismos da fauna mais exigentes quanto à oxigenação e U.

Figura 58 - Análise de correspondência canônica desconsiderando as diferentes posições do relevo. A ACC relaciona o eixo 1 e 2, discriminando as áreas sob floresta e pastagem de acordo com os parâmetros físicos, químicos e os diferentes táxons da macrofauna. As variáveis ambientais estão representadas por flechas e as variáveis estão abreviadas sendo Is = índice S, U = umidade, Ds = densidade do solo, MO = matéria orgânica, Arr = poros arredondados, Co = poros complexos. Os números que acompanham a definição dos poros são referentes ao tamanho dos poros sendo 1 = 1000-2000 μm , 2 = 2001-3000 μm , 3 = 3001-4000 μm , 4 = 4001-5000 μm , 5 = 5001-6000 μm , 6 = 6001-7000 μm , 7 = 7001-8000 μm e 8 = 8001-9000 μm . Os usos do solo estão representados em verde para floresta e amarelo para pastagem. Para nome dos táxons consultar tabela 15.

Nas análises realizadas em “mínima resolução” os sítios foram alocados sempre nas mesmas posições do gráfico, sendo as áreas sob floresta alocadas próximas aos valores elevados de Is, U e as áreas sob pastagem alocadas próximo aos pontos com elevados teores de MO, pH e Ds.

Para estas análises pode-se perceber que as diferentes posições do relevo tiveram grande influência sobre o tipo e quantidade de espécies da macrofauna presentes no solo, não devendo estas ser desconsideradas em análises sobre a fauna do solo.

A substituição da variável macroporosidade pelos dados de porosidade obtidos pela análise micromorfométrica aportou importantes informações a respeito do tamanho dos poros em cada tipo de uso do solo relacionando áreas com maior tamanho de poros à maior diversidade de fauna. As novas condições de porosidade encontradas na pastagem acarretam na perda de espécies mais exigentes e favorecimento de espécies mais adaptadas às condições de aeração e umidade mais restritas, representadas principalmente por minhocas, Dermapteras e Isopteras.

4.12.2 Minhocas

Sabendo do importante papel das minhocas como organismos que geram porosidade no solo estas foram separadas e identificadas, quanto possível, e de maneira análoga ao realizado para macrofauna, foi realizada a ACC para os indivíduos encontrados. Indivíduos distintos, porém com pouco desenvolvimento sexual para identificação foram numerados sequencialmente conforme seu aparecimento durante a análise das amostras coletadas. A identificação das morfoespécies de minhocas pode ser observada na tabela 16.

As análises foram conduzidas inicialmente considerando-se todas as posições do relevo e profundidades e utilizando-se da variável PT como a variável ambiental. Em seguida, esta foi substituída por macro e microporosidade e na sequência, pela porosidade obtida pela micromorfometria.

Considerando-se inicialmente a PT, percebe-se que os sítios analisados não apresentam clara diferenciação sendo a interpretação dos resultados mais complexa (Figura 59). Percebe-se que o eixo 1 relaciona-se positivamente com as variáveis MO, Ca, pH e em menor grau com PT. O referido eixo também relaciona-se negativamente com Ds e U. O eixo 2 correlaciona-se positivamente com Arg.

Para as áreas sob floresta as minhocas apresentaram relação pouco expressiva com Is e maior com umidade do solo, o que foi evidenciado pela maior quantidade de organismos relacionados a esta variável.

As áreas sob pastagem apresentaram melhor relação das minhocas com pH, MO e Ds.

A PT parece não ser uma variável muito representativa na separação entre os usos, uma vez que sua relação com as minhocas é baixa. As variáveis que mais influenciam na distribuição das minhocas são U, Ds, Arg, MO e pH.

Figura 59 – ACC realizada para as diferentes espécies de minhocas relacionando o eixo 1 e 2 discriminando as áreas sob floresta e pastagem de acordo com os parâmetros físicos, químicos e as diferentes espécies de minhocas. As variáveis ambientais estão representadas por flechas e as variáveis estão abreviadas sendo Is = índice S, PT = porosidade total, U = umidade, Arg = teor de argila, Ds = densidade do solo, MO = matéria orgânica, Ca = teor de Cálcio. Os usos do solo estão representados em verde para floresta e amarelo para pastagem e as profundidades estão representadas por círculo para 0-0,1 m, quadrado para 0,1-0,2 m e losango para 0,2-0,3 m. Para nome das morfoespécies consultar tabela 16.

Em seguida, como uma tentativa de tentar melhorar o entendimento do comportamento das espécies e variáveis após a mudança de uso do solo, a variável PT foi substituída pelas variáveis macro e microporosidade (Figura 60).

Para esta ACC houve uma melhor separação entre os sítios, principalmente com relação ao eixo 1, o qual correlaciona-se positivamente com Ds e U e negativamente com micro, pH e MO. Com relação ao eixo 2 há uma separação entre as profundidades do solo, com o referido eixo correlacionando-se positivamente com micro e Ds e negativamente com macro e Is.

As áreas sob floresta estão mais bem relacionadas com U, macroporos e Is apresentando maior abundância das morfoespécies de minhocas que apresentaram pouco desenvolvimento das estruturas reprodutivas sendo de difícil identificação taxonômica (por exemplo, **M5, 6 e 7**).

A profundidade 0-0,1 m apresentou forte relação com Is e macroporosidade, favorecendo 5 das 9 espécies de minhocas consideradas exclusivas para floresta (**M5, 14, 16, 17 e 19**). Para a camada 0,1-0,2 a relação é maior com U e Ds sendo encontrada nesta camada o restante das espécies exclusivas de minhocas (**M6, 7, 8, 10, 15**). A camada mais profunda também apresenta relação com U e Ds, porém as minhocas encontradas nesta profundidade não pode ser identificada e foi denominada como juvenil.

As áreas sob pastagem apresentaram melhor relação com MO, pH, microporos e Ds, sendo encontradas minhocas com melhor desenvolvimento das estruturas reprodutivas, possibilitando assim sua identificação. As minhocas **1 e 3** são pertencentes à Família Glossoscolecidae, a **2** é pertencente à Subfamília Megascolecidae e a **4** à Família Acanthodrilidae (Tabela 16).

A camada superficial da pastagem apresentou forte relação com MO e microporos abrigoando 5 das 6 espécies exclusivas para pastagem, sendo as espécies exclusivas identificadas em negrito (**M2, 3, 4, 9, 12,13, 18**). A camada 0,1-0,2 m apresentou relação com U e Ds apresentando uma espécie exclusiva (**M18, 20 e 21**). Para a camada mais profunda foi observada maior relação com Ds e pH e foram encontradas Glossoscolecidae, M11 (não identificada) e juvenis não identificáveis.

A forte associação de algumas morfoespécies de minhocas aos macro e microporos nos leva a sugerir que a presença e atividade de morfoespécies específicas estariam influenciando na formação de determinados tipos de poros nos ambientes analisados. As morfoespécies 5, 14, 16, 17 e 19 apresentaram forte associação com a quantidade de macroporos e foram encontradas exclusivamente nas áreas florestais, sugerindo que sua presença estaria favorecendo a maior ocorrência de macroporos em floresta. De maneira análoga, a presença das morfoespécies 2, 18 e 20 em pastagem, e sua forte associação com microporosidade estaria favorecendo a maior ocorrência deste tipo de poros nas pastagens.

Os resultados desta ACC mostraram que a inclusão das variáveis macro e microporosidade possibilitam uma melhor separação entre os usos e profundidades analisadas, indicando que para a análise das minhocas a utilização da variável PT pode não ser a opção mais adequada para identificação das modificações decorrentes da mudança de uso do solo.

Além disso, o uso da macro e microporosidade na ACC indicam que as espécies exclusivas de minhocas encontradas, tanto nas áreas sob floresta quanto sob pastagem estão alocadas nos primeiros 0,2 m do solo, mostrando que ações de manejo que alterem as condições do solo nesta camada podem levar à extinção da maioria destas espécies.

Figura 60 - ACC realizada para as diferentes espécies de minhocas relacionando o eixo 1 e 2 discriminando as áreas sob floresta e pastagem de acordo com os parâmetros físicos, químicos e as diferentes espécies de minhocas. As variáveis ambientais estão representadas por flechas e as variáveis estão abreviadas sendo Is = índice S, Macro = macroporos, Micro = microporos, U = umidade, Ds = densidade do solo, MO = matéria orgânica. Os usos do solo estão representados em verde para floresta e amarelo para pastagem e as profundidades estão representadas por círculo para 0-0,1 m, quadrado para 0,1-0,2 m e losango para 0,2-0,3 m. Para nome das morfoespécies consultar tabela 16.

Em seguida as variáveis macro e microporosidade foram substituídas pela classificação de poros através da micromorfometria (Figura 61). Para o caso da análise das minhocas, ao contrário da macrofauna não pode ser observada uma separação entre as

profundidades, sendo somente observada uma tendência de separação entre floresta e pastagem ao longo do eixo 2. A floresta apresenta melhor relação com teores de U e poros arredondados entre 6000 e 7000 μm e complexos maiores que 7000 μm e pouca influência do Is na distribuição das minhocas.

A forte relação das morfoespécies 5, 16, 17 e 19, exclusivas de áreas florestais com poros complexos grandes acima de 6000 μm pode indicar que a presença destas espécies estaria condicionando o aparecimento deste tipo de poros em floresta. Seguindo o mesmo raciocínio, os poros arredondados grandes (acima de 6000 μm) parecem ser atribuídos às atividades da morfoespécie 7.

A pastagem apresenta melhor relação com poros complexos até 4000 μm , MO e pH. A distribuição das espécies de minhocas não sofre variação do que foi observado para a análise anterior com a utilização dos macroporos, porém nesta análise não se pode observar o efeito da profundidade sobre a distribuição das minhocas como observado na análise anterior.

Da mesma maneira que o observado para as áreas sob floresta sob pastagem os poros complexos com tamanho entre 1000-2000 μm apresentam alta relação com as morfoespécies exclusivas 3, 18 e 20 e os complexos entre 2000-3000 μm com a morfoespécie 4, sugerindo que a presença destas espécies estaria favorecendo a formação de poros complexos de menor tamanho.

Figura 61 - ACC realizada para as diferentes espécies de minhocas relacionando o eixo 1 e 2 discriminando as áreas sob floresta e pastagem de acordo com os parâmetros físicos, químicos e as diferentes espécies de minhocas. As variáveis ambientais estão representadas por flechas e as variáveis estão abreviadas sendo Is = índice S, U = umidade, Ds = densidade do solo, MO = matéria orgânica, Arr = poros arredondados, Co = poros complexos. Os números que acompanham a definição dos poros são referentes ao tamanho dos poros sendo 1 = 1000-2000 μm , 2 = 2001-3000 μm , 3 = 3001-4000 μm , 4 = 4001-5000 μm , 5 = 5001-6000 μm , 6 = 6001-7000 μm , 7 = 7001-8000 μm e 8 = 8001-9000 μm . Os usos do solo estão representados em verde para floresta e amarelo para pastagem. Para nome das morfoespécies consultar tabela 16.

Buscando melhorar a compreensão de como as mudanças de uso do solo influenciam sobre as minhocas foram realizadas as mesmas análises anteriores, porém com ênfase às diferentes profundidades. Assim foi construída a tabela denominada “mínima resolução” na qual foram desconsideradas as posições do relevo, sendo calculado somente um valor para cada variável, considerando as diferentes profundidades analisadas.

Para a primeira análise percebe-se uma clara separação entre floresta e pastagem ao longo do eixo 1 e entre as profundidades ao longo do eixo 2 (Figura 62). O eixo 1 separa

floresta e pastagem na profundidade 0-0,1 m indicando que a floresta possui maiores valores de Is, U e PT favorecendo o desenvolvimento das minhocas 5, 14, 16, 17 e 19. A pastagem para a mesma profundidade apresenta maiores valores de pH, Ca e MO, favorecendo o desenvolvimento das minhocas pertencentes à família Megascolecidae (2), Glossoscolecidae (3) e Acanthodrilidae (4), além das juvenis 9, 12 e 13.

Para as camadas mais profundas do solo, tanto em floresta quanto em pastagem há maior relação com Ds e Arg. As áreas sob floresta possibilitaram o desenvolvimento das minhocas 6, 7, 8, 10, 15 e 21 enquanto as pastagens favoreceram o desenvolvimento das minhocas 10, 11, 18 e 21.

A mudança de uso do solo também provocou alterações na diversidade e quantidade de minhocas presentes em cada tipo de uso do solo. As áreas sob floresta apresentaram maior diversidade contando com 15 espécies das quais 9 foram espécies exclusivas de floresta (Tabela 23). As áreas sob pastagem apresentaram 11 espécies das quais 6 foram exclusivas, porém nas pastagens foi detectada maior quantidade de indivíduos, provavelmente como resultado dos maiores teores de MO e da menor quantidade de espécies presentes, reduzindo a competição intra-específica e favorecendo o desenvolvimento de maior quantidade de indivíduos na pastagem. Este comportamento também pode ser observado na análise univariada realizada para minhocas.

Figura 62 – Análise de correspondência canônica desconsiderando as diferentes posições do relevo. A ACC relaciona o eixo 1 e 2, discriminando as áreas sob floresta e pastagem de acordo com os parâmetros físicos, químicos e as diferentes espécies de minhocas. As variáveis ambientais estão representadas por flechas e as variáveis estão abreviadas sendo Is = índice S, PT = porosidade total, U = umidade, Arg = teor de argila, Ds = densidade do solo, MO = matéria orgânica, Ca = teor de Cálcio. Os usos do solo estão representados em verde para floresta e amarelo para pastagem. Para nome das morfoespécies consultar tabela 16.

Em seguida as análises foram repetidas substituindo-se a variável PT por macro e microporosidade e, para este caso também não foram observadas modificações em relação à alocação dos sítios de amostragem (Figura 63).

A substituição da variável PT por macro e microporosidade para ACC das minhocas em “mínima resolução” não aporta grandes informações que possam diferenciar os sítios de acordo com a distribuição das espécies. Este fato pode ser explicado pela simplificação das variáveis realizada na “mínima resolução”. Neste tipo de análise as posições do relevo são eliminadas, sendo esta realizada com relação às diferentes profundidades do solo. Como pode

ser observado nas análises univariadas, a PT (Figura 23b) e macroporosidade (Figura 24a) possuem estreita relação com a profundidade, sendo maior nas camadas superficiais do solo. Como para as ACCs realizadas para minhocas em “mínima resolução” as variáveis PT e macroporosidade separam os sítios de acordo com as profundidades ao longo do eixo 2 pode-se perceber que a inclusão da variável macroporosidade não aporta informações relevantes na separação dos nichos, uma vez que os dados de PT já foram suficientes para explicar a variação dos dados com relação à profundidade.

Figura 63 - Análise de correspondência canônica desconsiderando as diferentes posições do relevo. A ACC relaciona o eixo 1 e 2, discriminando as áreas sob floresta e pastagem de acordo com os parâmetros físicos, químicos e as diferentes espécies de minhocas. As variáveis ambientais estão representadas por flechas e as variáveis estão abreviadas sendo Is = índice S, Macro = macroporos, Micro = microporos, U = umidade, Ds = densidade do solo, MO = matéria orgânica. Os usos do solo estão representados em verde para floresta e amarelo para pastagem. Para nome das morfoespécies consultar tabela 16.

Em seguida, as variáveis macro e microporosidade foram substituídas pela porosidade obtida por análise micromorfométrica. Do mesmo modo observado para o caso dos macro e microporos, o detalhamento da porosidade realizado aqui não modificou a alocação dos sítios (Figura 64), pois estes já foram separados de maneira satisfatória com a utilização da PT.

Entretanto, a utilização da porosidade obtida por análise micromorfométrica aporta informações a respeito do tamanho dos poros encontrados em floresta e pastagem, indicando que as áreas sob floresta apresentam maior relação com poros complexos acima de 5000 μm e arredondados entre 1000 e 6000 μm e as áreas sob pastagem apresentam maior relação com poros complexos entre 1000 e 4000 μm .

No gráfico podem ser observadas associações entre tipos e tamanho de poros com as espécies de minhocas presentes. Os poros arredondados e complexos de maior tamanho foram associados com a superfície da floresta e as espécies de minhocas 5, 14, 16, 17 e 19, sendo possível sugerir a participação destas espécies na criação ou manutenção deste tipo de poros.

Na pastagem os poros complexos e de menor tamanho como complexos de 1000-2000 μm foram associados à minhoca 18, complexos de 2000-3000 μm às minhocas 2, 3, 4, 9 e 12, complexos de 3000-4000 μm à minhoca 13 e complexos de 4000 – 5000 μm às Glossoscilecidae, sendo estas espécies de minhocas as possíveis criadoras destes tipos de poros.

A substituição da floresta por pastagem acarreta na redução da diversidade de minhocas, alterando a distribuição de poros e causando a redução dos poros complexos grandes, principalmente poros complexos acima de 5000 μm . A modificação no tamanho dos poros pode ocasionar problemas à circulação de água e gases no perfil, indicando uma degradação do solo.

Figura 64 - Análise de correspondência canônica desconsiderando as diferentes posições do relevo. A ACC relaciona o eixo 1 e 2, discriminando as áreas sob floresta e pastagem de acordo com os parâmetros físicos, químicos e as diferentes espécies de minhocas. As variáveis ambientais estão representadas por flechas e as variáveis estão abreviadas sendo Is = índice S, U = umidade, Ds = densidade do solo, MO = matéria orgânica, Arr = poros arredondados, Co = poros complexos. Os números que acompanham a definição dos poros são referentes ao tamanho dos poros sendo 1 = 1000-2000 μm , 2 = 2001-3000 μm , 3 = 3001-4000 μm , 4 = 4001-5000 μm , 5 = 5001-6000 μm , 6 = 6001-7000 μm , 7 = 7001-8000 μm e 8 = 8001-9000 μm . Os usos do solo estão representados em verde para floresta e amarelo para pastagem. Para nome das morfoespécies consultar tabela 16.

Assim como observado para a ACC realizada para macrofauna total, as interpretações das ACCs realizadas para minhocas considerando-se todas as profundidades e posições do relevo são complexas, decorrentes do grande número de amostras e da variabilidade existente dentro de cada espécie utilizada para análise.

Ainda assim, pode-se perceber que nas análises realizadas incluindo as variáveis macro e microporosidade, a mudança de uso do solo acarreta em uma modificação nas espécies encontradas em cada tipo de uso, com espécies exclusivas para floresta e pastagem.

Entretanto, pode-se perceber que as diferentes posições do relevo possuem grande influência sobre a quantidade e tipo de espécies de minhocas presentes no solo, não devendo, portanto as posições topográficas ser desconsideradas nas análises das minhocas presentes no solo.

5 CONCLUSÕES

Os dados físicos do solo indicaram que, a implantação de pastagem em áreas antes florestadas, acarreta em redução da umidade, quantidade de macroporos, área total e conectividade entre os poros e índice S, podendo acarretar em problemas à circulação de água, gases e nutrientes no solo, confirmando parcialmente a hipótese 1.

A conversão inicial de floresta em pastagem foi realizada com o uso do fogo, resultando em maiores teores de Ca e pH em pastagem. Após a conversão, a quantidade e a composição da serrapilheira também foi modificada, com menor quantidade observada em pastagem e composição homogênea, predominantemente folhosa, favorecendo sua decomposição reduzindo o acúmulo e aumentando os teores de MO presentes neste tipo de uso do solo.

Nas análises referentes à fauna do solo pode-se perceber que a conversão de floresta em pastagem acarreta em redução da abundância da macrofauna na serrapilheira, redução da abundância de formigas e coleópteros no solo e também redução da abundância de minhocas na posição mais baixa do relevo. Além da redução na abundância de determinados grupos, a implantação da pastagem reduz a diversidade dos grupos da macrofauna e também de minhocas, tornando o ambiente de pastagem dominado por poucos grupos da fauna. Estas modificações reduzem a resiliência do solo tornando-o mais vulnerável aos distúrbios.

A floresta apresentou maiores valores de índice S e umidade, além de maior quantidade de macroporos, principalmente poros complexos acima de 5000 μm favorecendo o desenvolvimento de grupos como Quilópodos, Diplopodos, Coleópteros, Isópodos, Hemipteros, Formigas, Aranhas e Blatários. A conversão destes ambientes em pastagem favorece o desaparecimento das espécies relacionadas com a macroporosidade e o índice S, e o desenvolvimento de organismos menos dependentes da porosidade e mais dependentes de MO e pH como minhocas, Isopteros e Dermapteros. Estas transformações refletem negativamente nos processos que dependem da atuação da fauna edáfica como a ciclagem de nutrientes, o tamanho e tipo de poros, confirmando as hipóteses 2 e 3.

Apesar da mudança de uso do solo acarretar em poucas modificações à Ds e PT, variáveis tradicionalmente usadas em estudos da qualidade do solo, a quantificação da porosidade por tamanho foi imprescindível para a obtenção de melhores resultados na avaliação das mudanças físicas do solo. Isto se deve ao fato de que um melhor detalhamento da porosidade fornece informações mais completas sobre o tipo, tamanho e distribuição dos poros, dados não contemplados nas análises de PT e Ds.

As ACC indicaram que para estudos sobre a macrofauna e minhocas no solo as diferentes posições do relevo não devem ser desconsideradas visto que a diversidade e quantidade de organismos difere significativamente entre as posições analisadas.

Cabe aqui ressaltar que para o presente trabalho foi analisada a conversão de floresta em pastagem considerando uma pastagem sem utilização recorrente do fogo e maquinários e com pastejo ocasional e com baixa carga animal.

Desta forma, as conclusões aqui apresentadas devem ser tomadas como sinal de alerta à qualidade do solo. Se para este caso foram encontradas modificações expressivas na distribuição de poros e abundância e diversidade da fauna edáfica, ao somarmos à pastagem o uso do fogo e pastoreio, comuns às comunidades de assentados da Amazônia, estas diferenças podem ser magnificadas, acarretando em sérios problemas à degradação do solo e do ambiente.

REFERÊNCIAS

- AKAIKE, H. A new look at the statistical model identification. **IEEE Transactions on Automatic Control**. Washington, DC, v. 19, n. 6, p. 716-723, 1974.
- ALBUQUERQUE, M.P.; MACHADO, A.M.B.; MACHADO, A.F.; VICTORIA, F.C.; MORSELLI, T.B.G.A. Fauna edáfica em sistema de plantio homogêneo, sistema agroflorestal e em mata nativa em dois municípios do Rio Grande do Sul, Brasil. **Biociências** (On-line). Porto Alegre, v. 17, n. 1, , p. 59-66, 2010.
- ALEIXO, A.; ALBERNAZ, A.L.; GRELLE, C.A.V.; VALE, M. M.; RANGEL, T.F. Mudanças climáticas ea biodiversidade dos biomas brasileiros: passado, presente e futuro. **Natureza & Conservação**, Curitiba, v. 8, n. 2, p. 194-196, 2010,
- ALVES, D.S.; MORTON, D.C.; BATISTELLA, M.; ROBERTS, D.A.; SOUZA JÚNIOR, C. Taxas de Mudança e Padrões de Desmatamento e Uso da Terra na Amazônia Brasileira. **Geophysical Monographs**, Florida, v. 186, p.11-23, 2009.
- AMBIENTAL, C.C. Ciência e meio ambiente - O valor da biodiversidade amazônica. **Com Ciência Ambiental**, 2012. Disponível em: <<http://www.revistacca.com.br>>. Acesso em: 24 abr. 2014.
- ANDERSON, J.M.; INGRAM, J.S.I. **Tropical soil biology and fertility**: a handbook of methods. 2 ed. Wallingford: CAB International, 1993. 221p.
- ANDRADE, R.D.S.; STONE, L.F. Índice S como indicador da qualidade física de solos do cerrado brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, n. 4, p. 382-388, 2009.
- AQUINO, A.M.; SILVA, R.F.; MERCANTE, F.M.; CORREIA, M.E.F.; GUIMARÃES, M.D.; LAVELLE, P. Invertebrate soil macrofauna under different ground cover plants in the no-till system in the Cerrado. **European Journal of Soil Biology**, Issy les Moulineaux, v. 44, n. 2, p. 191-197, 2008.
- ARATANI, R.G. **Qualidade física e química do solo sob diferentes manejos e condição edafocliáticas no Estado de São Paulo**. 2008. 120p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2008.
- ARAÚJO, E.A.D.; KER, J.C.; NEVES, J. C. L.; LANI, J. L. Qualidade do solo: conceitos, indicadores e avaliação. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, Guarapuava, v. 5, n. 1, p. 187-206, 2012.
- ARAÚJO, E.A.; KER, J.C.; MENONÇA, E.S.; SILVA, I.R.; OLIVEIRA, E.K. Impacto da conversão floresta-pastagem nos estoques e na dinâmica do carbono e substâncias húmicas do solo no bioma Amazônico. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 41, n. 1, p. 103-114, 2011.
- ARSHAD, M.A.; LOWER, B.; GROSSMAN, B. Physical test for monitoring soil quality. In: DORAN, J. W. ; JONES, A.J. (Ed.). **Methods for assessing soil quality**. Madison: Soil Science Society of America, 1996. p.123-141.

AZEVEDO, A.D.; DALMOLIN, R.S. **Solos e ambiente: uma introdução**. Santa Maria: Pallotti, 2006. 100p.

BARBOSA, R.I.; FEARNSIDE, P.M. Erosão do solo na Amazônia: Estudo de caso na região do Apiaú, Roraima, Brasil. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 30, n. 4, p. 601-614, 2000.

BARETTA, D. **Fauna do solo e outros atributos edáficos como indicadores da qualidade ambiental em áreas com *Araucaria Angustifolia* no Estado de São Paulo**. 2007. 158p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

BARETTA, D.; SANTOS, J.C.P.; MAFRA, A.L. ; WILDNER, L.P.; MIQUELUTTI, D.J. Fauna edáfica avaliada por armadilhas de catação manual afetada pelo manejo do solo na região oeste catarinense. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v. 2, n. 01, , p. 97-106, 2003.

BARRIOS, E. Soil biota, ecosystem services and land productivity. **Ecological Economics**, Amsterdam, v. 64, n. 2, p. 269-285, 2007.

BARROS, E.; PASHANASI, B.; CONSTANTINO, R.; LAVELLE, P. Effects of land-use system on the soil macrofauna in western Brazilian Amazonia. **Biology and Fertility of Soils**, Heidelberg, v. 35, n. 5, p. 338-347, 2002.

BARROS, E.; CURMI, P.; HALLAIRE, V.; CHAUVEL, A.; LAVELLE, P. The role of macrofauna in the transformation and reversibility of soil structure of an oxisol in the process of forest to pasture conversion. **Geoderma**, Amsterdam, v. 100, n. 1/2, p. 193-213, 2001,

BARROS, E.; MATHIEU, J.; TAPIA-CORAL, S.; NASCIMENTNO, A.R.L.; LAVELLE, P. Comunidades da macrofauna do solo na Amazônia brasileira. In: MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O.; BRUSSAARD (Ed.). **Biodiversidade do solo em ecossistemas brasileiros**. Lavras: UFLA, 2008. Cap. 6, p.172-191.

BARROS, E.; GRIMALDI, M.; SARRAZIN, M.; CHAUVEL, A.; MITJA, D.; DESJARDINS, T.; LAVELLE, P. Soil physical degradation and changes in macrofaunal communities in Central Amazon. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 26, n. 2, p. 157-168, 2004.

BARROS, E.; NEVES, A.; BLANCHART, E.; FERNANDES, E.C.M.; WANDELLI, E.; LAVELLE, P. Development of the soil macrofauna community under silvopastoral and agrosilvicultural systems in Amazonia. **Pedobiologia**, Munich, v. 47, n. 3, , p. 273-280, 2003.

BENITO, N.P.; BROSSARD, M.; PASINI, A.; GUIMARAES, M.D.; BOBILLIER, B. Transformations of soil macroinvertebrate populations after native vegetation conversion to pasture cultivation (Brazilian Cerrado). **European Journal of Soil Biology**, Issy les Moulineaux, v. 40, n. 3/4, p. 147-154, 2004.

BERTOL, I.; ALMEIDA, J.A.; ALMEIDA, E.X.; KURTZ, C. Propriedades físicas do solo relacionadas a diferentes níveis de oferta de forragem de capim-elefante-anão cv. Mott. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 5, p. 1047-1054, 2000.

BICALHO, I.M. Um estudo da densidade do solo em diferentes sistemas de uso e manejo. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v.7, n.12, 9 p, 2011.

BLANCO, H.; LAL, R. **Principles of Soil Conservation and Management**. Alemanha: Springer, 2008. 620p.

BONINI, C.S.B.; MARCHINI, D.C.; ALVES, M.C.; ARRUDA, O.G.; PAZ-FERREIRO, J. Pore size distribution of a deeply excavated Oxisol after 19 years reclamation. In: EGU GENERAL ASSEMBLY CONFERENCE , 2013. Austria. **Abstracts...** Áustria, 2013, [s.n]

BORROR, D.J.; TRIPLEHORN, C.A.; JOHNSON, N.F. **An Introduction to the Study of Insects**. 6th ed. Orlando: Saunders College, 1992. 888p.

BOULET, R.; CHAUVEL, A.; HUMBEL, F.X.; LUCAS, Y. Analyse structural et cartographie en pédologie. I – Prise en compte de l'organisation bidimensionnelle de la couverture pédologique: les études de toposéquences et leurs principaux apports à la connaissance des sols. **ORSTOM**. Serie Pédologie, Bondy, v. 19, n. 4, p. 309-321, 1982.

ter BRAAK, C.J.; ŠMILAUER, P. CANOCO reference manual and CanoDraw for Windows user's guide: software for canonical community ordination (version 4.5). Section on Permutation Methods. **Microcomputer Power**, Ithaca, 2002. 500p.

ter BRAAK, C.J.; SMILAUER, P. **CANOCO reference manual and user's guide to Canoco for Windows**: software for canonical community ordination (version 4). 1998. 500p.

ter BRAAK, C.J.; VERDONSCHOT, P.F. Canonical correspondence analysis and related multivariate methods in aquatic ecology. **Aquatic Sciences**, Secaucus, v. 57, n. 3, p. 255-289, 1995.

BRANDÃO JÚNIOR, A.; SOUZA JÚNIOR, C.; PINTO, A.; AMARAL, P. Situação do desmatamento nos assentamentos de reforma agrária no Estado do Pará. Belém, IMAZON. 2013. p.34.

BROWN, G.G.; FRAGOSO, C. (Ed.). **Minhocas na América Latina**: biodiversidade e ecologia. Londrina: Embrapa Soja, 2007. 545p.

BROWN, G.G.; PASINI, A.; BENITO, N.P.; AQUINO, A.M.; CORREIA, M.E.F. Diversity and functional role of soil macrofauna communities in Brazilian no tillage agroecosystems: A preliminary analysis. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON MANAGING BIODIVERSITY IN AGRICULTURAL ECOSYSTEMS, 2001. Montreal. **Proceedings...** 2001. p.8-10.

CARNEIRO, M.A.C.; SOUZA, E.D.; REIS, E.F.; PEREIRA, H.S.; AZEVEDO, W.R. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 1, p. 147-157, 2009.

- CARVALHO, S.P.; SOUZA, J.R.D.S.; MAKINO, M. Observações e estimativas de propriedades térmicas do solo sob floresta e pastagem no leste da Amazônia. **Revista Brasileira de Meteorologia**, Rio de Janeiro, v. 28, n. 3, p. 331-340, 2013.
- CASTRO, S.S.; COOPER, M.; SANTOS, M.C.; VIDAL-TORRADO, P.; CURI, N.; MARQUES, J.J.; GUILHERME, L.R.G.; LIMA, J.M.; LOPES, A.S.; ALVAREZ, V.V. H. **Micromorfologia do solo: bases e aplicações**. Viçosa: SBCS. 2003, p. 107-164 (Tópicos em ciência do solo,3.)
- CHAUVEL, A.; GRIMALDI, M.; BARROS, E.; BLANCHART, E.; DESJARDINS, T.; SARRAZIN, M.; LAVELLE, P. Pasture damage by an Amazonian earthworm. **Nature**, Reino Unido, v. 398, n. 6722, p. 32-33, 1999.
- COLLIER, K.J.; QUINN, J.M. Land-use influences macroinvertebrate community response following a pulse disturbance. **Freshwater Biology**, West Sussex, v. 48, n. 8, p. 1462-1481, 2003.
- COOPER, M.; VIDAL-TORRADO, P. Caracterização morfológica, micromorfológica e físico-hídrica de solos com horizonte B nítico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 4, p. 581-595, 2005.
- COOPER, M.; ROSA, J.D.; MEDEIROS, J.C.; OLIVEIRA, T.C.; TOMA, R.S.; JUHÁSZ, C.E.P. Hydro-physical characterization of soils under tropical semi-deciduous forest. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 69, n. 2, p. 152-159, 2012,
- COPSERVIÇOS/APAEP. **Plano de recuperação do projeto de assentamento agroextrativista Praia Alta Piranheira**. Nova Ipixuna, 2009. 179p.
- COSTA, R.C. **Pagamento por serviços ambientais : limites e oportunidades para o desenvolvimento sustentável da agricultura familiar na Amazônia Brasileira**. 2008. 246p. Tese (Doutorado em Ciência Ambiental) - Universidade de São Paulo, São Paulo. 2008.
- CPT. Conflitos no Campo. In: CANUTO, A.; LUZ, C.R.S.; LAZZARIN, F. (Ed.). **Conflitos no campo**. Goiânia: CPT, 2013. 188p.
- CSIRO. **The Insects of Australia**. New York: Cornell University Press, 1991. 1137p.
- DALMOLIN, R.S.D.; TEN CATEN, A. Uso da terra dos biomas brasileiros e o impacto sobre a qualidade do solo. **ENTRE-LUGAR**, Dourados, v. 3, n. 6, p. 181-193, 2013.
- DAVIDSON, E.A.; ARAUJO, A.C.; ARTAXO, P.; BALCH, J.K.; BROWN, I.F.; BUSTAMANTE, M.M.C.; COE, M.T.; DEFRIES, R.S.; KELLER, M.; LONGO, M.; MUNGER, J.W.; SCHROEDER, W.; SOARES, B.S.; SOUZA, C.M.; WOFSY, S.C. The Amazon basin in transition. **Nature**, Reino Unido, v. 483, n. 7388, p. 232-232, 2012.
- DELFINA, M.C.; TESTON, J.A. Arctiinae (Lepidoptera, Arctiidae) ocorrentes em uma área de pastagem na Amazônia Oriental em Altamira, Pará, Brasil. **Acta Amazônica**, Manaus, v.43, n.1, p. 81-90, 2013.

DEXTER, A. Soil physical quality: Part I. Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth. **Geoderma**, Amsterdam, v.120, n.3, p. 201-214, 2004.

DI RIENZO, J.; GUZMÁN, A.; CASANOVES, F. A multiple-comparisons method based on the distribution of the root node distance of a binary tree. **Journal of Agricultural, Biological, and Environmental Statistics**, New York, v. 7, n. 2, p. 129-142, 2002.

DI RIENZO, J.; CASANOVES, F.; BALZARINI, M.G.; GONZALES, L.; TABLADA, M.; ROBLEDO, C.W.; **InfoStat versión 2013**. Grupo InfoStat, Córdoba, 2013. Disponível em: <<http://www.infostat.com.ar>>. Acesso em: 03 out. 2013.

DIAS, N.S.; ZANETTI, R.; SANTOS, M.S.; LOUZADA, J.; DELABIE, J. Interação de fragmentos florestais com agroecossistemas adjacentes de café e pastagem: respostas das comunidades de formigas (*Hymenoptera, Formicidae*). **Iheringia**. Série Zoologia, Porto Alegre, v. 98, n. 1, p. 136-142, 2008.

DOMÍNGUEZ, A. **La macrofauna edáfica y el proceso de descomposición de residuos vegetales como indicadores de sustentabilidad de los manejos agrícolas de la Pampa Húmeda**. 2012. 264p. Tese (Doutorado em Biologia) - Facultad de Ciencias Exactas, Físico-químicas y Naturales, Universidad Nacional de Río Cuarto, Río Cuarto, 2012.

DORAN, J.W.; PARKIN, T.B. Defining and assessing soil quality. Defining soil quality for a sustainable environment, **Soil Science Society of America**, Madison, n. 35, Special publication, p. 1-21, 1994.

EDWARDS, C.A. (Ed.). **Earthworm ecology**. 2nd ed. Boca Raton: CRC Press, 2004. 424p.

EMBRAPA. **Aspectos ecológicos**. Colombo: Embrapa florestas. 2014. Disponível em: <<http://www.cnpf.embrapa.br/pesquisa/efb/aspec.htm>>. Acesso em: 27 jan. 2014.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2 ed. Brasília: Embrapa, 2006. 353p.

EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Manual de métodos de análises de solo**. 2 ed. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.

FAO. **Global Forest Resources Assessment Update 2005: Terms and Definitions**. Roma, 2005. 34p.

FEARNSIDE, P. M. Desmatamento na Amazônia brasileira: história, índices e consequências. **Megadiversidade**, Belo Horizonte: CI Brasil, v. 1, n. 1, 2005. Disponível em <<http://www.conservacao.org/publicacoes/megadiversidade01.php>>. Acesso em: 12 fev. 2012.

FEARNSIDE, P.M. Desmatamento na Amazônia: dinâmica, impactos e controle. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 36, p. 395 - 400, 2006.

FERNANDES, C.; CORÁ, J.E.; BRAZ, L.T. Alterações nas propriedades físicas de substratos para cultivo de tomate cereja, em função de sua reutilização. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 24, n. 1, p. 94-98, 2006.

FERREIRA, R. L.; MARQUES, M.G.S.M.M. A fauna de artrópodes de serrapilheira de áreas de monocultura com *Eucalyptus* sp. e mata secundária heterogênea. **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, Londrina, v. 27, n. 3, p. 395-403, 1998.

FERREIRA, L.V.; VENTICINQUE, E.; ALMEIDA, S. O desmatamento na Amazônia ea importância das áreas protegidas. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 19, n. 53, p. 157-166, 2005.

FISCH, G.; MARENGO, J.A.; NOBRE, A.C. **Clima da Amazônia**. São José dos Campos: INPE, 2013. 14p.

FLINT, A.L.; FLINT, L.E. Particle Density. In: DANE, J.H. ; TOPP, C. (Ed.). **Methods of soil analysis: Pt4: - physical methods**. Madison: S.S.S.A., 2002. cap. 2 p. 229 - 240.

FREITAS, D.A.F.; SILVA, M.L.N.; CARDOSO, E.L.; CURI, N. Índices de qualidade do solo sob diferentes sistemas de uso e manejo florestal e cerrado nativo adjacente. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 43, n. 3, p. 417-428, 2012.

FREITAS, D.E.F.; SILVA, M.L.N.; CURI, N.; SILVA, M.A.; OLIVEIRA, A.H.; SILVA, S.H.G. Physical Indicators of Soil Quality in Oxisols Under Brazilian Cerrado. In: SORIANO, M.C.H. **Soil processes and current trends in quality assessment**. Rijeka, InTech, 2013. cap. 3, p. 87-110

FREITAS, R.L.A. **Uso e ocupação da terra no Projeto de Assentamento Agroextrativista Praialta Piranha - Nova Ipixuna através de imagens de satélite**. 2007. 47p. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Agrônômica) - Universidade Federal do Pará, Marabá, 2007.

GARGIULO, L.; MELE, G.; TERRIBILE, F. Soil fauna activity and soil porosity: characterization by micromorphological image analysis. In: **EGU General Assembly Conference Abstracts**, 2011, Áustria. s.n.p.

GARNIER-SILLAM, E.; BRAUDEAU, E.; TESSIER, D. Rôle des termites sur le spectre poral des sols forestiers tropicaux. Cas de *Thoracotermes macrothorax* Sjöstedt (*Termitinae*) et de *Macrotermes mülleri* (Sjöstedt)(*Macrotermitinae*). **Insectes Sociaux**, Basel, v. 38, n. 4, p. 397-412, 1991.

GEE, G. W.; OR, D. Particle-Size Analysis. In: CAMPBELL, G.S.; HORTON, R.; JURY, W.A.; NIELSEN, D.R.; ES, H.M. van.; WIERENGA, P.J.; DANE, J.H.; TOPP, G.C. (Eds.). **Methods of soil analysis. Pt4: Physical methods**. Madison: Soil Science Society of America, 2002. cap. 2, p.278-283.

GENUCHTEN, M.T. van. A Closed-form Equation for Predicting the Hydraulic Conductivity of Unsaturated Soils. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v. 44, n. 5, p. 892-898, 1980.

GHOSH, P.K.; SAHA, R.; GUPTA, J.J.; TAMESH, T.; DAS, A.; LAMA, T.D.; MUNDA, G.C.; BORDOLOI, J.S.; VERMA, M.R.; NGACHAN, S.V. Long-term effect of pastures on

soil quality in acid soil of North-East India. **Soil Research**, Collingwood, v. 47, n. 4, p. 372-379, 2009,

GIRACCA, E.M.N.; ANTONIOLLI, A.I.; ELTZ, F.L.F.; BENEDETTI, E.; LASTA, E.; VENTURINI, S.F.; VENTURINI, E.F.; BENEDETTI, T.I. Levantamento da meso e macrofauna do solo na microbacia do Arroio Lino, Agudo/RS. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v. 9, n. 3, p. 257-261, 2003.

GOMES, M.A.F.; FILIZOLA, H.F. **Indicadores físicos e químicos de qualidade de solo de interesse agrícola**. Agência CNPTIA, Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente. 2006. 8p.

GUEDES, G.R.; QUEIROZ, B.L.; BARBIERI, A.F.; VANWEY, L.K. Ciclo de vida domiciliar, ciclo do lote e mudança no uso da terra na Amazônia Brasileira: revisão crítica da literatura. **Revista Brasileira de Estudos de População**, Campinas, v. 28, n. 1, p. 231-240, 2011.

HOFFMAN, R.L.; GOLOVATCH, S.I.; ADIS, J.; de MORAIS, J.W. Diplopoda. In: ADIS, J. (Ed.). **Amazonian Arachnida and Myriapoda**. Moscou: PENSOFT, 2002. p. 505–533.

HOMMA, A.K.; CARVALHO, R.D.A.; MENEZES, A. **Extrativismo e plantio racional de cupuaçuzeiros no sudeste paraense: transição inevitável**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2001. 24p.

HURTIENNE, T.P. Agricultura familiar na Amazônia Oriental: Uma comparação dos resultados da pesquisa socioeconômica sobre fronteiras agrárias sob condições históricas e agroecológicas diversas. **Novos Cadernos NAEA**, Belém, v. 2, n.1, p. 75-94, 1999.

IBGE. **Censo demográfico 2010: características da população**. Brasília, 2010. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 10 jan. 2014.

IBGE. **Dados de vegetação**. Brasília, 2014. Disponível em: <ftp://geofp.ibge.gov.br/mapas_tematicos/mapas_murais/vegetacao.pdf>. Acesso em: 20 mar. 2014.

INCRA. **Números da reforma Agrária: Famílias assentadas**. Brasília, 2013. Disponível em: <<http://www.incra.gov.br/>>. Acesso em: 20 jan. 2014.

INMET. **Dados meteorológicos estação Marabá**. Brasília, 2014. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/>>. Acesso em: 20 mar. 2014.

JUHÁSZ, C.E.P.; COOPER, M.; CURSI, P.R.; KETZER, A.O.; TOMA, R.S. Savanna woodland soil micromorphology related to water retention. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 64, n. 4, p. 344-354, 2007.

JUHÁSZ, C.E.P.; CURSI, P.R.; COOPER, M.; OLIVEIRA, T.C.; RODRIGUES, R.R. Dinâmica físico-hídrica de uma topossequência de solos sob savana florestada (cerradão) em Assis, SP. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, n. 3, p. 401-412, 2006.

KONDO, M.K.; ALBUQUERQUE, C.J.B.; WENDLING, B.; SILVA, P.B.; CARDOSO, M.M. Efeito de coberturas vegetais sobre os atributos físicos do solo e características agrônômicas do sorgo granífero. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 28, n. 1, p. 33-40, 2012.

LAL, R. Effects of macrofauna on soil properties in tropical ecosystems. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 24, n. 1, p. 101-116, 1988.

LAL, R.; SHUKLA, M.K. **Principles of soil physics**. New York: CRC Press, 2005. 682p.

LAURINDO, M.C.O.; NÓBREGA, L.H.P.; PEREIRA, J.O.; MELO, D.; LAURINDO, E. L. Atributos físicos do solo e teor de carbono orgânico em sistemas de plantio direto e cultivo mínimo. **Energia na Agricultura**, Viçosa, v. 17, p. 367-374, 2009.

LAVELLE, P. Faunal activities and soil processes: adaptive strategies that determine ecosystem function. **Advances in Ecological Research**, Maryland Heights, v. 27, p. 93-132, 1997. ISSN 0065-2504.

LAVELLE, P.; BARROS, E.; BLANCHART, E.; BROWN, G.; DESJARDINS, T.; MARIANI, L.; ROSSI, J. -P.; SOM management in the tropics: Why feeding the soil macrofauna? **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v. 61, n. 1/2, p. 53-61., 2001.

LAVELLE, P.; BIGNELL, D.; LEPAGE, M.; WOLTERS, W.; ROGER, P.; INESON, P.; HEAL O.W.; DHILLION, S. Soil function in a changing world: the role of invertebrate ecosystem engineers. **European Journal of Soil Biology**, Issy les Moulineaux, v. 33, n. 4, p. 159-193, 1997,

LAVELLE, P.; DECAËNS, T.; AUBERT, M.; BAROT, S.; BLOUIN, M.; BUREAU, F.; MARGERIE, P.; MORA P.; ROSSI, J. -P. Soil invertebrates and ecosystem services. **European Journal of Soil Biology**, Issy les Moulineaux, v. 42, p. 3-15, 2006.

LAWRENCE, J.F.; HASTINGS, A.M.; DALLWITZ, M.J.; PAINE, T.A.; ZURCHER, E. J. **Bettles of the world: a key and information system for families and subfamilies**. Canberra: CSIRO Publishing. 2002, p. 779-1002.

LE TOURNEAU, F.-M.; BURSZTYN, M. Assentamentos rurais na Amazônia: contradições entre a política agrária ea política ambiental. **Ambiente & Sociedade**, Campinas, v. 13, n. 1, p. 111-130, 2010,

LEE, K.; FOSTER, R. Soil fauna and soil structure. **Soil Research**, Collingwood, v. 29, n. 6, p. 745-775, 1991,

LEPSCH, I.F. **19 lições de pedologia**. São Paulo: Oficina de textos, 2011. 456p.

LIMA, C.R.L.; LIMA, T.P.H.V. Heterogeneidade da compactação de um latossolo vermelho-amarelo sob pomar de laranja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 3, p. 409-414, 2004.

LIMA, D.; POZZOBON, J. Amazônia socioambiental: sustentabilidade ecológica e diversidade social. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 19, n. 54, p. 45-76, 2005.

- LIMA, J.T.; COSTA-LEONARDO, A.M. Recursos alimentares explorados pelos cupins (Insecta: Isoptera). **Biota Neotropica**, Campinas, v. 7, n. 2, p. 243-250, 2007.
- LOBRY DE BRUYN, L.A. The status of soil macrofauna as indicators of soil health to monitor the sustainability of Australian agricultural soils. **Ecological Economics**, Amsterdam, v. 23, n. 2, p. 167-178, 1997.
- LOBRY DE BRUYN, L. Ants as bioindicators of soil function in rural environments. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 74, n. 1, p. 425-441, 1999.
- LUDEWIGS, T.; D'ANTONA, A.O.; BRONDÍZIO, E.S.; HETRICK, S. Agrarian structure and land-cover change along the lifespan of three colonization areas in the Brazilian Amazon. **World Development**, v. 37, n. 8, p. 1348-1359, 2009.
- MACEDO, M.C.M. Degradação de pastagens: conceitos e métodos de recuperação. In: Simpósio sobre a sustentabilidade do leite no Brasil, 1999, Goiânia. **Anais...** Goiânia: Embrapa Gado de Leite, 1999. p. 137-150.
- MACEDO, M.C.M. Degradação de pastagens, alternativas de recuperação e renovação, e formas de mitigação. In: ENCONTRO DE ADUBAÇÃO DE PASTAGENS DA SCOT CONSULTORIA-TEC-FÉRTIL, 2013, Ribeirão Preto. **Anais...** Ribeirão Preto :Embrapa Gado de Corte. Bebedouro: Scot Consultoria, 2013. p. 158-181.
- MAFRA, A.L.; GUEDES, S.F.F.; KLAUBERG, O.F.; SANTOS, J.C.P.; ALMEIDA, J. A.; ROSA, J.D. Carbono orgânico e atributos químicos do solo em áreas florestais. **Revista Árvore**, Viçosa v. 32, n. 2, p. 217-224, 2008.
- MAHAR, D.J.; DUCROT, C.E. **Land-use zoning on tropical frontiers**: emerging lessons from the Brazilian Amazon. Washington: Economic Development Institute of the World Bank, 1998, 25p.
- MARTINS, P.F.S.; PEREIRA, T.Z.S. Cattle-raising and public credit in rural settlements in Eastern Amazon. **Ecological Indicators**, Amsterdam, v. 20, , p. 316-323, 2012.
- MATHIEU, J.; ROSSI, J. -P.; GRIMALDI, M.; MORA, P.; LAVELLE, P.; ROULAND, C. A multi-scale study of soil macrofauna biodiversity in Amazonian pastures. **Biology and Fertility of Soils**, Heidelberg, v. 40, n. 5, p. 300-305, 2004,
- MATHIEU, J.; GRIMALDI, M.; JOUQUET, P.; ROULAND, C.; LAVELLE, P.; DESJARDINS, T.; ROSSI, J.-P. Spatial patterns of grasses influence soil macrofauna biodiversity in Amazonian pastures. **Soil Biology & Biochemistry**, Killington, v. 41, n. 3, p. 586-593, 2009,
- MBOUKOU-KIMBATSA, I.M.C.; BERNHARD-REVERSAT,F.; LOUMETTO, J.J. Change in soil macrofauna and vegetation when fast-growing trees are planted on savanna soils. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 110, n. 1, p. 1-12, 1998,
- MCGRATH, D.A.; SMITH, C.K.; GHOLZ, H.L.; OLIVEIRA, F.A. Effects of land-use change on soil nutrient dynamics in Amazonia. **Ecosystems**, Nova Iorque, v. 4, n. 7 p. 625-645, 2001.

MELO, F.V.; BROWN, G.; CONSTANTINO, R.; LOUZADA, J.N.C.; LUIZÃO, F.J.; MORAIS, J.W.; ZANETTI, R. A importância da meso e macrofauna do solo na fertilidade e como biondicadores. **Boletim Informativo da SBCS**, Viçosa, p. 39, 2009.

MENDONÇA-SANTOS, M.L.; SANTOS, H.G.; COELHO, M.R.; BERNARDI, A.C.C.; MACHADO, P.L.P.A.; MANZATTO, C.V.; FIDALGO, E.C.C. Solos e Ocupação das Terras na Amazônia Brasileira. In: MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O.; BRUSSAARD, L. (Ed.). **Biodiversidade do Solo em Ecossistemas Brasileiros**. Lavras: UFLA, 2008. cap. 3, p.67-116.

MENEZES, C.E.G.; CORREIA, M.E.F.; PEREIRA, M.G.; BATISTA, I.; MENEZES, K. R.; COUTO, W.H. Macrofauna edáfica em estádios sucessionais de floresta estacional semidecidual e pastagem mista em Pinheiral (RJ). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 6, p. 1647-1656, 2009.

MICHELOTTI, F. Luta pela Terra e Assentamentos no Sudeste do Pará. In: ENCONTRO DA REDE DE ESTUDOS RURAIS. 3., 2008, Campina Grande. **Resumos...** Campina Grande, 2008. [s.n].

MICHELOTTI, F.; RIBEIRO, B.; SOUZA, H.; FREITAS, R.L.A. O agrário em questão: uma leitura sobre a criação dos assentamentos rurais no Sudeste do Pará. In: ENCONTRO DA REDE DE ESTUDOS RURAIS, 2., 2007, Rio de Janeiro. **Resumos...** Rio de Janeiro, 2007. .

MISCHIS, C.C.D. Las lombrices de tierra (Annelida: Oligochaeta) de la provincia de Córdoba, Argentina. **Academia Nacional de Ciencias**, Córdoba, Ar, v. 59, n. 3/4, 1991. p. 197-237.

MOUZINHO, J.R.C.; FONSECA, C. Contribuição ao estudo da Passalidofauna (Coleoptera, Scarabaeoidea, Passalidae) em uma área de terra firme da Amazônia Central. **Acta Zoológica Mexicana**, Veracruz, v. 73, p. 19-44, 1998,

MURPHY, C.P. **Thin section preparation of soils and sediments**. Berkhamsted: A.B. Academic Publishing, 1986. 149p.

MURPHY, C.P.; BULLOCK, P.; TURNER, R.H. The measurement and characterization of voids in soil thin sections by image analysis. Pt I: Principles and techniques. **Journal of Soil Science**, Chichester, v. 28, p. 498-508, 1977,

OLIVEIRA, M.G. **Manejo florestal comunitário da Andiroba (*Carapa guianensis*, Aublet): integrando o conhecimento local à pesquisa-ação no Sudeste do Pará**. 2008. 55 p. Monografia (Trabalho de conclusão do curso de Agronomia) - Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Pará, Marabá. 2008.

OLIVEIRA, M.N.D. **Funcionamento físico-hídrico do solo em duas topossequências sob floresta e pastagem em sistema agroextrativista na Amazônia Oriental**. 2013. 169p. Tese (Doutorado em Ciências) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2014.

OLIVEIRA, T.K. Sistemas Integrados na Amazônia Brasileira: Experiências Demonstrativas e Resultados de Pesquisa. In: SISTEMAS AGROFLORESTAIS E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL 10 ANOS DE PESQUISA, 2013, Campo Grande. **Anais...**Campo Grande: SAF's Embrapa Gado de Corte, 2013. [s.n.]

ORRUTÉA, A.G. **Qualidade dos solos sob diferentes manejos na Amazônia meridional, município de Cacoal (RO)**. 2012. 67p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

PAUDEL, B.R.; UDAWATTA, R.P.; FREMER, R.J.; ANDERSON, S.H. Soil quality indicator responses to row crop, grazed pasture, and agroforestry buffer management. **Agroforestry Systems**, Dordrecht, v. 84, n. 2, p. 311-323, 2012,

PEQUENO, P.L.L.; SCHLINDWEIN, J.A.; LOCATELLI, M.; CHAGAS, F. Avaliação da densidade do solo em áreas com cafeeiro robusta arborizado em Rondônia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 33., 2010. Uberlândia. **Anais...** Uberlândia: Editora, 2010. [s.n.]

PEREIRA, G.H.A.; PEREIRA, M.G.; ANJOS, L.H.C.; AZEVEDO, T.A.; MENEZES, C. E.G. Decomposição da serrapilheira, diversidade e funcionalidade de invertebrados do solo em um fragmento de floresta atlântica. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 29, n. 5, p. 1317-1327, 2013.

PEREIRA, L.A. Chilopoda. In: MORRONE, J. J., COSCAROÓN, S. (Ed.). **Biodiversidad de Artrópodos Argentinos: una perspectiva biotaxonómica**. La Plata: Sur. Argentina, 1998, 608p.

PREVEDELLO, J.; DETTMER, M.S.; VOGELMANN, E.S.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M.; FONTANELA, E. Infiltração da água em um Argissolo sob floresta de eucalipto e campo nativo. In: REUNIÃO SUL-BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO, 2010. Santa Maria **Resumos....**Santa Maria, 2010. [s.n.]

QUAGGIO, J.A. **Acidez e calagem em solos tropicais**. Campinas: IAC, 2000. 111p.

RAFAEL, J.A.; MELO, G.A.R.; CARVALHO, C.J.B.; CASARI, S.A.; CONSTANTINO, R. **Insetos do Brasil: diversidade e taxonomia**. Ribeirão Preto: Holos, 2012. 796p.

RAIJ, B. **Análise química do solo para fins de fertilidade**. Campinas: Fundação Cargill, 1987. 170p.

REICHERT, J.; REINERT, D.; BRAIDA, J. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Ciência & Ambiente**, Santa Maria, v. 27, p. 29-48, 2003.

REINERT, D.J.; REICHERT, D.J.; VEIGA, M.; SUZIKI, L.E.A.S. Qualidade física dos solos. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 16., 2006. **Anais...** Aracaju, 2006. [s.n.]

REINERT, D.J.; ALBUQUERQUE, J.A.; REICHERT, J.M.; AITA, C.; ANDRADA, M. M.C. Limites críticos de densidade do solo para o crescimento de raízes de plantas de cobertura em Argissolo Vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 5, p. 1805-1816, 2008.

RESCK, D.V.S. Perspectivas do uso e manejo dos solos no Cerrado. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 13., 2000. Ilhéus. **Resumos...** Ilhéus: CEPLAC/CEPEC, 2000. [s.n.]

REYNOLDS, W.D.; BOWMAN, B.T.; DRURY, C.F.; TAN, C.S.; LU, X. Indicators of good soil physical quality: density and storage parameters. **Geoderma**, Amsterdam, v. 110, n. 1, p. 131-146, 2002,

RINGROSE-VOASE, A.J. Micromorphology of soil structure: description, quantification, application. **Australian Journal of Soil Research**, Collingwood, v. 29, p. 777-813, 1991.

RIUTTA, T.; SLADE, E.M.; BEBBER, D.P.; TAYLOR, M.E.; MALHI, Y.; RIORDAN, P.; MACDONALD, D.W.; MORECROFT, M.D. Experimental evidence for the interacting effects of forest edge, moisture and soil macrofauna on leaf litter decomposition. **Soil Biology and Biochemistry**, Kidlington, v. 49, p. 124-131, 2012.

RIVERO, S.; ALMEIDA, O.; ÁVILA, S.; OLIVEIRA, W. Pecuária e desmatamento: uma análise das principais causas diretas do desmatamento na Amazônia. **Nova Economia**, Belo Horizonte, v. 19, n. 1, p. 41-66, 2009.

RODRIGUES, M.S. **O sistema de criação de bovinos no assentamento agroextrativista Praialta Piranheira: importância e diversidade**. 2005. 107p. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso de Agronomia) - Universidade Federal do Pará, Marabá, 2005.

ROSSI, J. -P.; MATHIEU, J.; COOPER, M.; GRIMALDI, M. Soil macrofaunal biodiversity in Amazonian pastures: Matching sampling with patterns. **Soil Biology & Biochemistry**, Kidlington, v. 38, n. 8, p. 2178-2187, 2006,

ROUSSEAU, G.X.; DEHEUVELS, O.; RODRIGUEZ ARIAZ, I.; SOMARRIBA, E. Indicating soil quality in cacao-based agroforestry systems and old-growth forests: The potential of soil macrofauna assemblage. **Ecological Indicators**, Amsterdam, v. 23, p. 535-543, 2012.

ROUSSEAU, L.; FONTE, S.J.; TÉLLEZ, O.; HOEK, R. van der.; LAVELLE, P. Soil macrofauna as indicators of soil quality and land use impacts in smallholder agroecosystems of western Nicaragua. **Ecological Indicators**, Amsterdam, v. 27, p. 71-82, 2013,

RUIZ, N.; LAVELLE, P.; JIMÉNEZ, J. **Soil Macrofauna field manual**. Roma: FAO, 2008. 101p.

SANTOS, D.; PEREIRA, D.; VERÍSSIMO, A. **O Estado da Amazônia: uso da terra**. Belém: Imazon, 2012. 70p.

SANTOS, R.D.; LEMOS, R.C.; SANTOS, H.G.; KER, J.C.; ANJOS, L.H. ; SHIMIZU, S.H. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002. 84p.

SCANLON, B.R.; ANDRASKI, B.J.; BILSKIE, J. Miscellaneous methods for measuring matric or water potential. In: DANE, J.H. ; TOPP, C.G. (Ed.). **Methods of soil analysis. Pt4: physical methods**. Madison, Wisconsin: S.S.S. America, 2002, cap. 3, p. 645-670.

SCHEFFER, P.Y. Dung beetle (Coleoptera: *Scarabaeidae*) diversity and community structure across three disturbance regimes in eastern Amazonia. **Journal of Tropical Ecology**, Cambridge, v. 21, n. 1, p. 9-19, 2005.

SERRÃO, E.A.; TOLEDO, J.M.; ANDERSON, A.B. **The search for sustainability in Amazonian pastures. Alternatives to deforestation**: steps towards sustainable use of the Amazon rain forest. New York: Columbia University Press, 1990. p. 195-214.

SILVA JUNIOR, C.A.D.; BOECHAT, C.L.; CARVALHO, L.A.D. Atributos químicos do solo sob conversão de floresta amazônica para diferentes sistemas na região norte do Pará, Brasil. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 28, n. 4, p. 566-572, 2012.

SILVA, A.P.; KAY, B.D.; PERFECT, E. Characterization of the least limiting water range of soils. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 58, n. 6, p. 1775-1781, 1994.

SILVA, E.B.; LIBRADI, P.L. **Movimento de solutos e caracterização hidráulica de um solo por meio do permeâmetro a disco**. Piracicaba: USP, 2000. 107p.

SILVA, F.F.; SILVA, O.F.; CENTURION, J.F.; ARATANI, R.G.; ANDRIOLI, F.F.; ANDIOLI, I. Propriedades físicas de um Latossolo Vermelho cultivado no sistema plantio direto. **IRRIGA**, Botucatu. 2008, p. 191-204.

SILVA, R.C.D.S.; ALMEIDA, J.C.R.; BATISTA, G.T.; FORTES NETO, P. Os indicadores físicos, químicos e biológicos da qualidade do solo e da sustentabilidade dos ambientes naturais. **Repositório Eletrônico Ciências Agrárias**, Coleção Ciências Ambientais, 2011. p. 1-13. Disponível em: <<http://www.agro.unitau.br>>. Acesso em: 18 abr. 2014.

SILVA, V.D.; REINERT, D.J.; REICHERT, J. Densidade do solo, atributos químicos e sistema radicular do milho afetados pelo pastejo e manejo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, p. 191-199, 2000.

SNIF. **Sistema Nacional de Informações Florestais**. 2005, Disponível em <<http://www.florestal.gov.br/snif/recursos-florestais/definicao-de-floresta>>. Acesso em: 27 de jan. 2014.

SOUZA, J.R.S.; LOPES, A.F.; COHEN, J.C.P.; COSTA, A.C.L. Variabilidade da temperatura e umidade em solos sob floresta, pastagem e manguezal, no leste da Amazônia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 12., 2002. Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz de Iguaçu, 2002, [s.n.].

SOUZA, J.R.S.; PINHEIRO, F.M.A.; ARAUJO, R.L.C.; PINHEIRO JÚNIOR, H.S.; HODNETT, M.G. Temperature and moisture profiles in soil beneath forest and pasture areas in eastern Amazonia. In: GASH, J.H.C.; NOBRE, C.A.; ROBERTS, J.M.; VICTORIA, R. L. (Ed.). **Amazonian deforestation and climate**. Chichester: John Wiley, 1996. cap. 6. p. 125-137.

SPAROVEK, G. **A qualidade dos assentamentos da reforma agrária brasileira**. São Paulo: Páginas & Letras, 2003. 204p.

STEFANOSKI, D.C.; SANTOS, G.G.; MARCHÃO, R.L.; PETTER, F.A.; PACHECO, L. P. Soil use and management and its impact on physical quality. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, n. 12, p. 1301-1309, 2013.

SUZUKI, L.E.A.S.; LIMA, C.L.R.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M.; PILLON, C.N. Condição estrutural de um argissolo no Rio Grande do Sul, em floresta nativa, em pastagem cultivada e em povoamento com eucalipto. **Ciência Florestal**, Santa Maria v. 22, n. 4, p. 833-843, 2012.

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

TAPIA-CORAL, S.C.; LUIZÃO, F.J.; WANDELLI, E. Macrofauna da liteira em sistemas agroflorestais sobre pastagens abandonadas na Amazônia Central. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 29, n. 3, p. 477-495, 1999.

TOWNSEND, C.R.; COSTA, N.L.; PEREIRA, R.G.A. Aspectos econômicos da recuperação de pastagens na amazônia brasileira. **Amazônia Ciência e Desenvolvimento**, Belém, v. 5, n. 10, p. 24, 2010.

VALÉRIO, J.R. **Cupins-de-montículo em pastagens**. Campo Grande: Embrapa Gado de Corte, 2006. 1v.

VEIGA, J.D.; TOURRAND, J. **Pastagens cultivadas na Amazônia Brasileira: situação atual e perspectivas**. Belém: Embrapa, 2001. 36p.

VELÁSQUEZ, E.; FONTE, S.J.; BAROT, S.; GRIMALDI, M.; DESJARDINS, T.; LAVELLE, P. Soil macrofauna-mediated impacts of plant species composition on soil functioning in Amazonian pastures. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 56, p. 43-50, 2012.

VELHO, O.G. **Frentes de expansão e estrutura agrária: estudo do processo de penetração numa área da Transamazônica**. Rio de Janeiro: Zahar, 1972. 178p.

VENTURIERI, A.; FIGUEIREDO, R.O.; WATRIN, O.S.; MARKEWITZ, D. Utilização de imagens Landsat e CBERS na avaliação da mudança do uso e cobertura da terra e seus reflexos na qualidade da água em microbacia hidrográfica do município de Paragominas,

Pará. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 21., 2005. Goiânia, v. 12, 2005. p. 1127-1134.

VERÍSSIMO, A.; BARRETO, P.; MATTOS, M.; TARIFA, R.; UHL, C. Logging impacts and prospects for sustainable forest management in an old Amazonian frontier: the case of Paragominas. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 55, n. 1, p. 169-199, 1992.

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

WALLWORK, J.A. Ecology of soil animals. **Ecology of Soil Animals**, Michigan: McGraw Hill, 1970. 283p.

WANDER, M.M.; DRINKWATER, L.E. Fostering soil stewardship through soil quality assessment. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 15, n. 1, , p. 61-73, 2000.

WARREN, M.W.; ZOU, X. Soil macrofauna and litter nutrients in three tropical tree plantations on a disturbed site in Puerto Rico. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 170, n. 1, p. 161-171, 2002.

WIETHÖLTER, S. Manejo da fertilidade do solo no sistema plantio direto: experiência nos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 2000.Santa Maria. **Resumos...** Santa Maria:UFSM, 2000. 1CD-ROM.

WOLFINGER, R. Covariance structure selection in general mixed models. Communications in statistics. **Simulation and Computation**, Philadelphia, v. 22, n. 4, p. 1079-1106, 1993,

ANEXOS

ANEXO A – Tabela dos valores *p* para os parâmetros fixos referentes às análises químicas. Os gráficos construídos são referentes aos valores *p* significativos (DGC 5%).

Parâmetros fixos (valor <i>p</i>)							
	Uso	Prof.	Posição	Uso*	Uso*	Posição*	Uso*
				Prof.	Posição	Prof.	Posição*
							Prof.
pH (KCl)	0,0036	<0,0001	0,2534	<0,0001	0,0752	0,1709	0,2969
H+Al	0,9256	0,0063	<0,0001	0,9385	<0,0001	0,7783	0,3361
Al	0,0026	<0,0001	0,0006	0,1353	0,0001	0,0035	0,7581
K	0,1755	<0,0001	<0,0001	0,0026	<0,0001	0,0312	0,1646
P	0,2116	<0,0001	0,5332	0,5965	0,2942	0,0856	0,8851
Mg	0,0157	<0,0001	<0,0001	0,0212	<0,0001	0,0618	0,1411