UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas
Departamento de Geografia
Programa de Pós-Graduação em Geografia Física

Geraldo José Diogo Filho

**A atividade de minhocas e sua influência nos solos de uma
vertente do Planalto Atlântico Paulista sob florestas primárias**

Versão corrigida

São Paulo
2017

Geraldo José Diogo Filho

**A atividade de minhocas e sua influência nos solos de uma
vertente do Planalto Atlântico Paulista sob florestas primárias**

Versão corrigida

Dissertação apresentada à Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo, para a obtenção de Título de Mestre em Ciências, na Área de Geografia Física.

Orientador: Prof. Dr. José Pereira de Queiroz Neto

De acordo:

São Paulo
2017

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Catalogação na Publicação
Serviço de Biblioteca e Documentação
Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo

D591a Diogo Filho, Geraldo José
 A atividade de minhocas e sua influência nos
 solos de uma vertente do Planalto Atlântico Paulista
 sob florestas primárias / Geraldo José Diogo Filho
 ; orientador José Pereira de Queiroz Neto. - São
 Paulo, 2017.
 116 f.

Dissertação (Mestrado)- Faculdade de Filosofia,
Letras e Ciências Humanas da Universidade de São
Paulo. Departamento de Geografia. Área de
concentração: Geografia Física.

1. Topografia. 2. Solos. 3. Minhocas. 4.
Biogênese. 5. Bioturbação. I. Queiroz Neto, José
Pereira de, orient. II. Título.

Nome: Geraldo José Diogo Filho

Título: A atividade de minhocas e sua influência nos solos de uma vertente do Planalto Atlântico Paulista sob florestas primárias

Dissertação apresentada à Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Ciências, na Área de Geografia Física.

Aprovado em:

Banca Examinadora

Prof. Dr.: _____
Instituição: _____
Julgamento: _____
Assinatura: _____

Prof. Dr.: _____
Instituição: _____
Julgamento: _____
Assinatura: _____

Julgamento: _____ Assinatura: _____

Prof. Dr. José Pereira de Queiroz Neto
Orientador

À dona Santa, que tinha tanta graça e alegria

A todas as formas de vida perdidas para a obtenção dos dados na
elaboração dessa pesquisa

AGRADECIMENTOS

Esse trabalho não existiria sem a ajuda e a colaboração, inestimáveis, de algumas pessoas que foram essenciais para sua concretização. Deste modo, sou grato:

Ao professor José Pereira de Queiroz Neto, que me abriu as portas da pós-graduação e me permitiu ter contato com sua preciosa experiência de pesquisa em solos, pela forma que conduziu a orientação e pelo conhecimento transmitido. E, de maneira especial, pela aprazível companhia que preencheu com sabedoria e descontração a convivência durante esses três anos.

Ao professor Andreas Attila de Wolinsk Miklós, que primeiro me apresentou à pedologia e me ensinou a ver os solos de maneira viva, dando igual valor tanto ao aspecto científico e objetivo desse ramo do conhecimento quanto à sua beleza e magia.

Aos meus pais por todo amor, cuidado e suporte imagináveis. Às minhas irmãs pela presença e atenção constantes.

Aos amigos e colegas que me ajudaram física e emocionalmente nos trabalhos de campo: Adriano Pimentel, Amanda Nascimento, André Barreiros, Rafael Gregoletti e Susan Viana. Ao meu pai, pela mesma contribuição.

Ao amigo Marcelo Próspero, pela parceria e ajuda sem as quais a conclusão desse trabalho não seria possível, pela revisão ortográfica do texto, pelo auxílio durante o tratamento dos dados no Excel e na formatação final da dissertação.

À Natalia Gallo Albuquerque e a André Barreiros, pela assistência na confecção da documentação cartográfica.

Aos colegas do grupo Nostradamos, pelas valiosas recomendações nas nossas reuniões semanais.

À Júlia Henning, por ter conseguido os fragmentos que me faltavam da edição francesa da obra “Recherches sur les formes naturelles de l’humus et leur influence sur la végétation et le sol”, de P. E. Müller, junto ao Museu de História Natural de Paris.

A Rodrigo Ferraz Moreira, funcionário da SABESP, que me disponibilizou os dados de precipitação da estação meteorológica da Represa Ribeirão do Campo e as bases georreferenciadas do Sistema Produtor Rio Claro.

À Dra. Marie Bartz, pela identificação taxonômica das minhocas.

Aos colegas do Conjunto Residencial da USP (CRUSP) e da república Biosfera, em Piracicaba, pelos momentos compartilhados.

A todos os amigos e professores que me acompanharam e me guiaram, de algum modo, ao longo da minha formação.

Ao Museu Zoológico da USP, que forneceu a autorização para a realização dessa pesquisa na Estação Biológica de Boraceia, e a seus funcionários pela solicitude e atenção com que me atenderam.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pela concessão da bolsa de estudos através do Programa de Pós-Graduação em Geografia Física desta instituição.

“Filho, já não chega de bosta?”

Papai, me ajudando a coletar coprólitos em campo

RESUMO

A atividade de minhocas e sua influência nos solos de uma vertente do Planalto Atlântico Paulista sob florestas primárias

O tema desta pesquisa é a influência da atividade de minhocas no solo de uma vertente do Planalto Atlântico Paulista. O local estudado está cercado por áreas de preservação ambiental, possui florestas primárias em bom estado de conservação e apresenta clima quente com precipitações acima dos 2.000 mm por ano. Foi feito um levantamento das comunidades de anelídeos a partir de três diferentes técnicas de extração. Os organismos coletados foram identificados em nível de espécie e sua distribuição foi analisada ao longo da topografia. Demonstrou-se uma variação das populações de minhocas nos três setores da vertente, com maiores densidades no sopé e menores no topo. Verificou-se que há uma intensa atividade desses organismos no solo e que eles não se distribuem igualmente no perfil vertical, concentrando-se em algumas camadas, às vezes superficiais às vezes subsuperficiais, de acordo com o tipo de solo. Observou-se também a presença de espécies exóticas nas áreas antrópicas. Foi constatado que a atividade desses organismos modifica a morfologia (bioagregação) e também os atributos físicos (macroporosidade; bioporos) e químicos do solo (teores de matéria orgânica e dos nutrientes P, K⁺, Ca²⁺ e Mg²⁺; soma de bases; capacidade de troca catiônica), influenciando diversos processos pedológicos. Com seus comportamentos ecológicos (alimentar e construtor), as minhocas criam galerias, canais e produzem dejeções, ajudando na aeração do solo, na dinâmica hídrica e no processo de ciclagem dos nutrientes. Apesar do papel que desempenham na formação da cobertura pedológica, a maior parte dos levantamentos de solo não contempla os agregados biogênicos, por este motivo, demos ênfase especial à descrição destas morfologias.

Palavras-chave: topografia, cobertura pedológica, oligoquetas, biogênese, bioturbação.

ABSTRACT

The activity of earthworms and their influence on the soil of an Atlantic Plateau hill slope in São Paulo State under primary forests

The focus of this research is the activity of earthworms and their influence on the soil of an Atlantic Plateau hill slope in São Paulo State. Our area of study is surrounded by environmental preservation areas, it has primary forests in good conditions, warm climate and precipitations above 2,000 mm per year. Three different extraction techniques were used for the survey of annelid communities. The collected organisms were identified at the species level and its distribution was analyzed along the topography. We found a variation of earthworm populations in the three sectors of the slope, with the highest densities in the foothills and lower densities in the top. There is an intense activity of these organisms in the soil and they are not equally distributed in the vertical profile, concentrating on a few layers, sometimes in topsoil, sometimes in subsoil. We also observed the presence of exotic species in disturbed areas. The activity of soil fauna changes the morphology (bioaggregation), the physical (macroporosity), and chemical (P, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺ and organic matter dynamics, sum of bases and cation exchange capacity) attributes of soil, affecting many pedological processes. With their feeding and builder ecological behaviors, earthworms create galleries, channels and produce casts, helping in soil aeration, the water dynamics and nutrient cycling processes. Despite the role they play in the formation of soil mantle, most of the ground surveys does not include the biogenic aggregates, therefore, we gave special emphasis on the descriptions of such morphologies.

Keywords: topography, pedological coverage, oligochaetes, biogenesis, bioturbation.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
2.1	A fauna do solo e a bioturbação.....	19
2.2	As minhocas.....	22
2.3	Comportamento ecológico dos anelídeos e suas relações com o solo	27
3	CAMINHOS DA PESQUISA	30
3.1	Área de estudo	30
3.2	Trabalhos de campo e levantamento dos dados	35
3.3	Disposição dos pontos de amostragem	36
3.4	Amostragem das oligoquetas	36
3.4.1	Extração física	38
3.4.2	Extração comportamental	38
3.4.3	Extração qualitativa	38
3.5	Fixação dos organismos.....	39
3.6	Estabelecimento das médias das densidades populacionais e da biomassa de minhocas por setor	39
3.7	Taxonomia e análise dos dados da fauna.....	40
3.8	Descrição morfológica dos solos	41
3.9	Estrutura e agregados biogênicos	41
3.10	Avaliação da morfologia dos agregados	41
3.11	Os atributos físicos e químicos	42
3.12	Serrapilheira acumulada.....	43
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	44
4.1	Resultados dos organismos coletados.....	44
4.1.1	TSBF.....	45
4.1.2	Comportamental	50
4.1.3	Qualitativo	51
4.1.4	Análise dos dados: taxonomia, riqueza e abundâncias.....	54
4.1.5	Índices Estatísticos	57
4.2	Caracterização geral da vegetação, da serrapilheira e dos solos em campo	58
4.2.1	Topo.....	59
4.2.1.1	Vegetação	59
4.2.1.2	Solos	60
4.2.2	Meia Encosta	65
4.2.2.1	Vegetação	65
4.2.2.2	Solos	66

4.2.3	Sopé	70
4.2.3.1	Vegetação	70
4.2.3.2	Solos	70
4.3	Estruturas e feições biogênicas no solo	74
4.3.1	Os coprólitos.....	76
4.3.2	Os pedotúbulos	80
4.3.3	Avaliação da morfologia dos agregados.....	85
4.4	Atributos físicos e químicos	91
4.4.1	Densidade do solo.....	91
4.4.2	Umidade do solo.....	91
4.4.3	Granulometria.....	91
4.4.4	Atributos químicos	93
4.4.5	Análise da serrapilheira	94
4.5	Interpretação de alguns processos pedológicos face aos dados levantados.....	95
4.5.1	Topo.....	97
4.5.2	Meia Encosta	99
4.5.3	Sopé.....	102
5	CONCLUSÕES	106
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	108

1 INTRODUÇÃO

“Não há nada grande ou pequeno na natureza”

Vladimir Ivanovich Vernadsky

O tema desta dissertação de mestrado surgiu a partir de uma matéria obrigatória do currículo do bacharelado em Geografia da Universidade de São Paulo (DG-USP), fornecida pelo professor Andreas Attila de Wolinsk Miklós em 2006. As interessantes aulas e trabalhos de campo desse curso me apresentaram o importante, mas quase sempre negligenciado, papel desempenhado pela fauna na gênese das formações superficiais. Por assim dizer, meu contato inicial com a pedologia foi concomitante ao conhecimento da biodinâmica do solo¹.

A esse evento, seguiram duas contribuições do mesmo modo importantes:

As atividades realizadas junto ao Laboratório de Pedologia da USP (Laboped), coordenado pelo professor José Pereira de Queiroz Neto, a respeito da Análise Estrutural da Cobertura Pedológica (AECP), me colocaram em contato com uma visão tridimensional do solo, alargando minha compreensão deste corpo natural que não se organiza apenas enquanto perfil vertical, com a sucessão dos horizontes, mas que também pode passar por processos de transformação lateral ao longo da topografia.

Em paralelo às discussões no Laboped, fui aluno em duas disciplinas da pós-graduação que tratavam da pedofauna: “Tópicos Avançados em Ciência do Solo”, na Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ), com os professores Dilmar Baretta (Universidade do Estado de Santa Catarina), Elena Velasquez (Universidade Nacional da Colômbia), George Gardner Brown (Empapa Florestas) e Patrick Lavelle (Universidade de Paris 6), e “Taxonomia, Biologia e Ecologia de Oligoquetas”, na Universidade Federal do Paraná (UFPR), em Curitiba, com os professores Georg Gardner Brown, Marie Bartz (Universidade Positivo) e Samuel James (Universidade do Iowa).

¹ Miklós (1992) considera que o comportamento dos organismos estabelece um funcionamento biodinâmico no solo. Na superfície, os processos hidrogeoquímicos induzem a dissociação da matéria (dissolução, migração de argilas, erosão mecânica superficial), enquanto, em profundidade, eles alteram as rochas e promovem a formação de minerais secundários e seus agregados. Já os animais desagregam este material, transportando-o à superfície, onde promovem novamente a associação da matéria (produção de estruturas biominerais: canais, câmaras, dejeções, microagregação). Essas forças opostas permitem um balanço entre perdas e ganhos de material.

No primeiro curso, um trabalho de campo foi realizado no distrito de Assistência em Rio Claro-SP, onde se pôde coletar representantes da macrofauna em três sistemas de uso da terra: Monocultura de Cana-de-Açúcar, Pastagem e Vegetação Natural. O intuito era verificar como as práticas agrícolas e a retirada da cobertura vegetal natural podem alterar a ecologia dos solos. Os indivíduos coletados foram triados em campo e, após treinamento em sala de aula, identificados pelos alunos em grandes grupos taxonômicos: *Araneae*, *Blattodea*, *Chilopoda*, *Coleoptera*, *Diplopoda*, *Diptera*, *Gastropoda*, *Hemiptera*, *Heteroptera*, *Homoptera*, *Hymenoptera*, *Isopoda*, *Isoptera*, *Leptodoptera*, *Mermithidae*, *Myriapoda*, *Pseudoscorpionida*.

O curso da UFPR adotou uma abordagem semelhante, diferentes procedimentos de coleta foram realizados para a amostragem dos anelídeos no campo, em sítios sob: Vegetação Primária (Floresta Ombrófila Mista – Mata de Araucárias e Campos Naturais), Vegetação Secundária em estado de Regeneração, Cultivo de Soja e Gramado. Como o conteúdo dessa disciplina era focado nas oligoquetas, pode-se trabalhar com um maior detalhamento taxonômico, chegando ao nível das espécies.

Durante o tratamento dos dados na ESALQ e na UFPR, verificou-se a repetição de um padrão similar, com maiores diversidades taxonômicas nas áreas sob floresta e densidades populacionais mais elevadas nas pastagens. Posteriormente, foi constatado que outros pesquisadores já haviam observado a mesma tendência, descrevendo que, após o desmatamento e a mudança no uso do solo, ocorre uma diminuição na riqueza da macrofauna que pode ser acompanhada pelo aumento da densidade populacional de representantes específicos que se adaptam melhor às novas condições ambientais com a ausência da cobertura vegetal primária.

Castilho (2004) verificou no estado do Pará que a diversidade de oligoquetas é maior em ambientes florestais comparados com outros sistemas de uso do solo. Steffen (2012) demonstrou que ecossistemas naturais do Rio Grande do Sul apresentam menores quantidades de minhocas exóticas e que a diversidade de exemplares nativos diminui onde a vegetação original foi retirada.

Partindo do pressuposto de que a riqueza e a diversidade das espécies podem variar de acordo com o local de amostragem e que o uso da terra afeta de

fato esses fatores, optou-se então, por estudar um ambiente com florestas em bom estado de conservação, sob uma dinâmica próxima a seu estado natural e onde houvesse uma baixa intervenção antrópica.

Ao mesmo tempo, por conta do meu histórico no Laboped, ao analisar os resultados de nossas coletas, comparei as condições físicas dos lugares de amostragem de Assistência e de Curitiba e me deparei com o fato de que, nos dois casos, os pastos situavam-se em condições topográficas muito parecidas: áreas de baixada, com terrenos mais sujeitos à ação da água.

Conversando com um dos professores, presente nos dois cursos, questionei se a diferença de solos em cada local não teria alguma influência nas populações dos invertebrados e ele respondeu de forma categórica que não, pois as minhocas não queriam saber se estavam em um Latossolo ou em um Argissolo, uma vez que essa diferença não alterava em nada a ocorrência dos animais. Enquanto pedólogo em formação, sua fala não me pareceu muito convincente e verossímil.

Ao longo da revisão bibliográfica, foi constatado que, em geral, nos estudos sobre a pedofauna, o relevo não é considerado. Ao enfatizar a importância de pesquisas integradas sobre o solo, Lavelle (2000, 2009) resgata todos os fatores de formação estabelecidos por Dokuchaev, não mencionando, curiosamente, a topografia. Este fato demonstra como esta área foi pouco explorada, uma vez que o autor é uma das maiores autoridades em ecologia do solo no mundo.

Deste modo, surgiu o questionamento se a distribuição dos invertebrados não estaria mais relacionada às variações de solo, que por sua vez podem ser condicionadas pela posição topográfica, do que ao seu uso específico. Contudo, se os autores que trabalham com organismos, referências nacionais e internacionais no tema, davam pouca importância às diferentes classes de solo e à sucessão genética entre seus horizontes no perfil, menos ainda deveriam cogitar sobre as implicações da variação desse corpo natural ao longo das vertentes.

Portanto, como pareciam ser evidentes as conexões existentes entre os solos, os organismos que nele habitam e a topografia, decidiu-se por investigar esta lacuna, associando assim, mesmo que de maneira parcial, alguns elementos da dinâmica lateral da cobertura pedológica, fornecidos pelos trabalhos da AECP, e as questões relativas à biologia do solo propriamente dita, na medida em que na literatura nenhum autor tratou desta relação.

Esta pesquisa foi realizada na Estação Biológica de Boracéia (EEB) do Museu Zoológico da Universidade de São Paulo, que possui 96 ha protegidos desde 1954 (TRAVASSOS FILHO; CAMARGO, 1958). No seu entorno, entre as bacias dos rios Claro e Guaratuba, encontra-se o Sistema Produtor Rio Claro, uma reserva de mananciais da Sabesp, composta por 16.450 ha de matas primárias preservadas, que por sua vez está nas imediações do Parque Estadual Serra do Mar. Cooper (2009) ressalta a importância do estudo da dinâmica natural do solo, em ambientes florestais e pouco modificados, uma vez que há carência deste tipo de informação.

A Mata Atlântica está, intimamente, ligada à história da ocupação do território nacional. Além de ser muito povoada, sua paisagem passou por diversas fases de exploração econômica, sofrendo as consequências das atividades agropastoris e da pressão urbana (FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA; INPE 2001). No passado, ela abrangia uma área de 1.290.000 km². Estima-se que hoje restem apenas 12% de sua cobertura original, incluindo tanto os sítios bem preservados como os de vegetação secundária (RIBEIRO et al., 2009). Pesquisas nesse patrimônio natural podem contribuir com sua conservação tendo em vista sua riqueza, pequena área preservada e fragilidade.

Face às intervenções antrópicas, e por se encontrar bastante fragmentada, ela é considerada uma das áreas prioritárias de proteção no mundo (MYERS et al., 2000). A perda de habitat, a introdução de variedades exóticas e a contaminação por poluentes são importantes desafios a serem enfrentados pela sociedade (DAVIES; GASTON; MARGULES 2001; HONG; LEE, 2006; MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT, 2005).

A associação de fatores abióticos e bióticos faz com que esse bioma possua inúmeras espécies endêmicas e apresente a maior diversidade arbórea do planeta, atingindo o recorde de 450 variedades de angiospermas registradas em um hectare de floresta (VARJABEDIAN, 2010). Esta pesquisa justifica-se pela necessidade de se caracterizar os solos em condições próximas à original, estabelecendo-se relações entre ele e a atividade de sua fauna associada.

Duas teses foram realizadas dentro da EBB por alunos do DG-USP, membros do Laboped: uma sobre solos (ROSSI, 1999) e outra sobre geomorfologia (DE OLIVEIRA, 2003). Estes trabalhos foram úteis para o reconhecimento e caracterização do meio físico do local, porém nenhum deles tratou da atividade

biológica. Espera-se assim que esta pesquisa aprofunde o conhecimento sobre as dinâmicas ambiental e dos solos do Planalto Atlântico e da Serra do Mar.

Rossi (1999) adverte que o porte da vegetação no Planalto Atlântico varia ao longo do relevo, com matas em estágio de regeneração nas porções mais altas e íngremes, com áreas mais densas e árvores maiores em setores menos declivosos, e aparecendo ainda florestas de porte baixo, com 8 metros de altura, nos terrenos aluviais que margeiam a rede de drenagem. O autor também descreve a associação de classes de solos em topossequências sobre gnaisses no planalto (Cambissolos, Espodossolos, Neossolos), sobre granitos na escarpa da Serra do Mar (Cambissolos, Gleissolos, Neossolos) e nos sedimentos flúviomarinheiros da planície litorânea (Espodossolos, Gleissolos e Organossolos).

Miklós (1992) observou que cupins e formigas predominavam no topo de uma vertente em Botucatu sobre a alteração de arenito, e que as minhocas eram mais comuns no terço inferior, com solos formados a partir do basalto. Neste caso, as texturas dos materiais resultantes do processo de alteração dessas rochas poderiam selecionar invertebrados adaptados a determinadas condições granulométricas.

A diferença do material de origem, as classes texturais, a circulação hídrica, o porte da vegetação (com padrões de dosséis variáveis que determinam a entrada da luminosidade), a quantidade e a composição da serrapilheira não são fatores desprezíveis, pois compõem dinâmicas ambientais particulares que podem influenciar na distribuição das populações da fauna.

O objetivo deste trabalho foi caracterizar a atividade das minhocas e sua influência nos solos de uma vertente do Planalto Atlântico Paulista sob vegetação primária. Para tanto, procedeu-se com o levantamento da quantidade de indivíduos, da densidade populacional, da biomassa e da diversidade de minhocas em três posições topográficas diferentes: topo, meia encosta e sopé.

Nosso intuito é entender de que modo a atividade destes animais influencia na organização estrutural do solo através de seus comportamentos ecológicos (alimentar e construtor) e a maneira que ela altera os atributos do solo na paisagem. Visa-se compreender os processos de biogênese das estruturas: como os agregados são criados e qual o papel que eles desempenham na cobertura pedológica do ponto de vista físico, da fertilidade e das dinâmicas de circulação atmosférica (troca gasosa: $O_2 - CO_2$) e hídrica.

Em contrapartida, pretende-se também verificar como a dinâmica dos solos e as propriedades a eles relacionadas (dinâmica da água, morfologia do terreno, aporte de nutrientes, sucessão dos horizontes) influenciam na distribuição das variedades de minhocas em cada setor da vertente.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

“A vida apresenta uma totalidade indivisível e indissolúvel na qual todas as partes estão interligadas entre si e com o meio inerte da biosfera”

Vladimir Ivanovich Vernadsky

2.1 A fauna do solo e a bioturbação

Existe uma grande variedade de organismos que vive no solo ou que mantém relações estreitas com ele. Cada uma dessas formas de vida exerce uma função particular no ecossistema: produção, fragmentação e decomposição da matéria orgânica, disponibilização de nutrientes para as plantas, controle de populações através da predação, além de poderem causar doenças (BACHELIER, 1978; LAVELLE; SPAIN, 2005; MIKLÓS, 1995, 2012; SCHAETZL; ADERSON, 2005).

A pedosfera é moldada continuamente pela biota que nela habita, pois esta é capaz de modificá-la física e quimicamente ao criar estruturas bioplasmadas a partir de seus metabolismos, impondo dinâmicas próprias na paisagem (MIKLÓS, 2012). Há desde táxons que permanecem apenas uma parte de seu ciclo vital no solo, como por exemplo as larvas de dípteras, até aqueles que passam toda sua existência em seu interior, como algumas espécies de minhocas (BACHELIER, 1978).

Determinados animais são capazes de se locomover através da estrutura do solo, escavando-o em busca de alimento e abrigo. Outros são mais limitados e somente se movimentam através dos poros (biológicos ou não) e dependem do tamanho, da distribuição e da interconexão desses caminhos para se deslocarem. Parte da biota apenas movimenta e rearranja as partículas minerais, uma outra parte as digere (LAVELLE; SPAIN, 2005; SCHAETZL; ADERSON, 2005).

Por mais que os invertebrados do solo tenham um impacto per capita relativamente pequeno, numa perspectiva global eles são bastante representativos e atuantes nos mais variados ecossistemas terrestres. Além da enorme diversidade de espécies, também são notáveis os dados de densidade populacional e da biomassa de alguns grupos, em especial na zona tropical (MEYSMAN; MIDDELBURG; HEIP, 2006).

A energia solar interceptada pela terra é um dos fatores que condiciona ocorrência da pedofauna, de modo que as abundâncias dos organismos são muito maiores na zona intertropical do que nas latitudes altas e médias. O potencial

energético do aporte vegetal também influencia na distribuição vertical desses animais, havendo uma diminuição progressiva em suas populações em profundidade, onde há menos matéria orgânica (BACHELIER, 1978).

Algumas populações se destacam por sua capacidade de interferência no meio (HOLE, 1981; ODUM, 1983; HOLT; LEPAGE, 2000). Cupins, formigas e minhocas desempenham funções reguladoras “insubstituíveis na aeração, agregação, fertilização, transferência de matéria e renovação dos solos a partir da alteração das rochas” (MIKLÓS, 1995). Eles, assim como as larvas de besouros, compõem a macrofauna do solo que abrange os invertebrados que passam no mínimo um ciclo de vida sob a terra ou na serrapilheira e que possuem diâmetro corpóreo superior a 10 mm (LAVELLE; SPAIN, 2005; OLIVEIRA; BROWN; SALVADOR, 2003).

Na ecologia, estes animais são denominados de “engenheiros do ecossistema” tendo em vista o papel que desempenham nos processos pedogenéticos (LAVELLE et al., 1997). O conceito de “engenheiros de ecossistema” foi proposto em 1994 por Jones, Lawton e Shachak, referindo-se aos “organismos que direta ou indiretamente modulam a disponibilidade de recursos para outras espécies” podendo “criar, manter ou modificar habitats” (p. 374). O poder de intervenção destes animais varia conforme a densidade populacional, a extensão da área de atuação e a persistência das morfologias criadas por cada espécie ao longo do tempo.

As alterações provocadas a partir de estruturas e tecidos próprios a cada indivíduo são consideradas autogênicas. É o caso da influência das árvores ou de recifes de corais no substrato em que se fixam. As alogênicas ocorrem quando uma espécie transporta materiais e tecidos externos a si na composição de estruturas novas. É o caso, por exemplo, da associação de matéria orgânica e minerais primários e secundários promovida pela pedofauna.

As partes aéreas (galhos, folhas, flores e frutos) e subterrâneas (raízes) das plantas, assim como a atividade dos “engenheiros de ecossistema”, são agentes reguladores que criam ambientes no solo. Estes diferem entre si quanto suas formas, dinâmicas e funções. Os domínios funcionais são áreas formadas por um conjunto de estruturas biogênicas características. Lavelle (2002) descreve cinco domínios: sistema da liteira, rizosfera, termitosfera, myrmecosfera e drilosfera. Os

dois últimos correspondem às esferas de ações das formigas e das minhocas, respectivamente.

Cada ser vivo tem a capacidade de movimentar tamanhos de partículas específicas, através de diversos mecanismos. Durante o retrabalhamento ou transporte destes materiais, ocorre uma seleção dos grãos que, ao serem deslocados, e muitas vezes depositados na superfície, formam um “biomanto” (SOIL SURVEY STAFF, 1975 apud JOHNSON, 1990; JOHNSON, D. L.; DOMIER, JOHNSON, D. N., 2005). Charles Darwin foi o primeiro cientista a tratar desse processo em três artigos (1838; 1840; 1844). Nestes trabalhos ele observa a ação das minhocas na criação de um horizonte superficial composto por materiais finos, desprovido de rochas, descrevendo a ação desses organismos na gênese do horizonte A, o qual denominava “terra vegetal”. Anos mais tarde o célebre naturalista retorna a este tema em sua última obra, intitulada “A formação da terra vegetal a partir da ação das minhocas” de 1881, na qual calcula um remonte vertical de 2 a 4 kg de dejeções por m², equivalente a 5 mm por ano.

Lee (1992) afirma que desde o lançamento dos trabalhos de Darwin, pouco interesse foi dado ao tema e que os raros estudos que trataram da biogênese do solo foram vistos com maus olhos pelos pedólogos tradicionais, embora as minhocas, dentre outros invertebrados, sejam muito ativas nos horizontes A e B, e, às vezes, até abaixo deste. Após Darwin, o fenômeno da bioturbação só passou a ser investigado de maneira sistemática no final do século XX (MEYSMAN; MIDDELBURG; HEIP, 2006). Arqueólogos, em especial, têm olhado para este processo, uma vez que ele conduz ao soterramento de peças depositadas na superfície e pode ajudar na datação de sítios antigos (DE MELLO ARAÚJO, 1995).

A bioturbação diz respeito ao retrabalhamento e à dispersão de materiais em solos ou em sedimentos por qualquer forma de vida. Ela nem sempre implica em homogeneização, podendo provocar também a reorganização e a diferenciação das camadas. Quando atua na formação e na manutenção dos diferentes horizontes, estabelecendo uma ordem no perfil, ela é proanisotrópica. Quando causa uma desordem ocasional, promovendo o revolvimento e a desuniformização de camadas antes organizadas, ela é proisotrópica (JOHNSON et al., 1987).

2.2 As minhocas

As minhocas fazem parte do filo Annelida, subfilo Clitellata, classe Oligochaeta, ordem Haplotoxida, subordem Lumbricina. Existem 20 famílias, 693 gêneros e estima-se a existência de 6.000 espécies, das quais 3.700 foram descritas. As espécies mais conhecidas são as “peregrinas”, que foram dispersas pelas migrações humanas, sobretudo através da agricultura, enquanto as endêmicas são menos estudadas (LEE 1985; 1992; LAVELLE; SPAIN, 2005; SCHAETZL; ANDERSON, 2005).

Do ponto de vista anatômico, estes animais têm o corpo formado por vários anéis. O número de segmentos pode variar dentro de cada espécie, mas em geral são constantes e também marcam a disposição de seus órgãos internos. A maior parte das espécies nasce com um número de anéis fixos e o crescimento se dá pelo alargamento dessas estruturas. O formato corpóreo pode ser cilíndrico, quadrangular, achatado ou mesmo irregular (BOUCHÉ, 1972; SIMS; GERARD, 1985).

Figura 2.1 – Caracteres internos e morfologia externa da minhoca (RIGHI, 1966): A (ânus), B (boca), C (cerdas), CC (células cloragógenas), CE (ceco intestinal), CO (coração lateral), CL (citóforo), DP (ducto prostático), E (esôfago), EP (espermateca), F (faringe), FM (faixas musculares), GL (glândulas linfáticas), GP (glândula da próstata), GS (glândula sanguínea), GSP (gânglio supra-faríngeo), I (intestino), MO (moela), P (prostômio), PD (poros dorsais), S (septo), VC (vaso circular), VD (vaso dorsal), VS (vesícula seminal), VSI (vaso supra-intestinal)

A parte anterior de seus corpos é chamada de prostômio, onde se localiza a boca, por meio do qual elas capturam alimentos e escavam. O clitelo é parte do corpo responsável pela produção dos casulos, que nutrem os embriões até que eles eclodam. Essa estrutura é composta por células epidérmicas glandulares e pode ter a forma anelar ou em cela (Figura 2.2 e Figura 2.3). Na parte posterior do corpo, localiza-se o ânus e a maior parte do intestino (LJUNGSTRÖM, 1970; EDWARDS; LOFT, 1972).

Figura 2.2 – *Pontoscolex corethurus*: visão ventral da região anterior, com clitelo em forma de cela (SIMS; GERARD, 1985)

Figura 2.3 – *Amynthes gracilis*: visão ventral da região anterior, com clitelo em forma de anel (SIMS; GERARD, 1985)

A sistemática se utiliza das características morfológicas externas e internas para a identificação das espécies. Dentre elas a presença ou ausência de poros, o arranjo do prostômio (Figura 2.4), a posição do clitelo nos segmentos do corpo, o padrão das cerdas (Figura 2.5), o tamanho e a localização dos poros masculinos e femininos e das espermatecas, a posição do coração, dos testículos, da próstata e das câmaras copulatórias nos metâmeros, assim como a presença ou ausência de moela e das glândulas calcíferas. Estas metabolizam e regulam o nível de cálcio, magnésio e fósforo no sangue (BOUCHÉ, 1972; BACHELIER, 1978).

Há desde grupos com cerdas grandes, que transmitem um efeito de aspereza no contato, até aqueles com cerdas pequenas e quase imperceptíveis, que dão uma sensação lisa ao toque. Do ponto de vista filogenético, se supõe que a classe das

oligoquetas (poucas cerdas) evoluiu das poliquetas (muitas cerdas) quando passaram a habitar ambientes lamacentos a cerca de 600 milhões de anos atrás, adaptando-se, gradativamente, a viver em locais mais secos.

Figura 2.4 – Diferentes formas do prostômio, nas visões dorsal e lateral (BOUCHÉ, 1972)

Figura 2.5 – Padrões de distribuição das cerdas nas minhocas (BACHELIER, 1978)

As poliquetas utilizam-se de suas cerdas para a locomoção no meio aquático, pois são sobretudo marinhas. Estas são seres mais primitivos, dioicos, têm estado larval e casulos com gema e albume (EDWARDS; LOFT, 1972; LAVELLE; SPAIN, 2005). No Brasil, existem 18 famílias de oligoquetas, 13 no Estado de São Paulo, dentre as quais nove são terrestres e o restante, aquáticas (RIGHI, 1999).

As minhocas são hermafroditas e podem se reproduzir tanto por partenogênese ou de maneira biparental (Figura 2.6). Os órgãos reprodutores se localizam na parte anterior ao clitelo. Elas não apresentam estágio larval intermediário e, do ponto de vista morfológico, seus casulos dão origem a indivíduos similares a um adulto, exceto pelo desenvolvimento dos órgãos sexuais, que, em

geral, demoram de 5 a 8 meses para atingir o estado de maturidade, e do clitelo, que pode aparecer na juventude e ser perdido na velhice (EDWARDS; LOFT, 1972; BACHELIER, 1978; RIGHI, 1966). Elas têm a capacidade de regeneração, especialmente na parte posterior do corpo (LJUNGSTRÖM, 1970).

Figura 2.6 – Pareamento para reprodução biparental (*Eisenia fétida*). Museu Britânico de História Natural. In: (SIMS & GERARD, 1985)

Em geral, as espécies que vivem apenas no interior do solo não possuem melanina (Figura 2.7). Já as que habitam, se alimentam ou excretam na superfície podem ser totalmente pigmentadas (Figura 2.8). Algumas possuem coloração apenas na parte anterior do corpo, outras possuem manchas ou tonalidades diferentes nas regiões dorsal, ventral ou no clitelo. A cor varia entre o preto, o marrom, o vermelho, o amarelo e até o azul.

Figura 2.7 – Minhoca sem pigmentação em agregado do solo (foto do autor)

Figura 2.8 – Minhoca pigmentada saindo de um agregado do solo (foto do autor)

Apesar de não possuírem olhos, algumas células fotorreceptoras, presentes em maior número na parte anterior do corpo, são sensíveis à luz e a maior parte das espécies tem hábitos noturnos. A respiração ocorre por difusão através do tecido epidérmico úmido e, ao atingir o sangue que contém hemoglobina, o oxigênio é transportado para outras regiões do corpo, pois não há órgãos respiratórios especializados (BOUCHÉ, 1972; BACHELIER, 1978).

O sistema digestório é simples, composto por boca, faringe, esôfago, moela e intestino. Além do ânus, o sistema excretor também é formado pelos nefrídios, órgãos pelos quais elas eliminam a urina, composta por amônia e ureia, e que estão presentes em quase em todos os metâmeros. Ao se deslocarem, elas liberam uma secreção mucosa pela pele. Este material contém altos teores de nitrogênio, que lubrifica as galerias e une as partículas minerais nas paredes dos canais (BOUCHÉ, 1972).

Figura 2.9 – Exemplares de minhocas com aproximadamente 20 cm de comprimento. Nota-se a coloração clara da parte anterior do corpo (sobretudo no indivíduo mais próximo à régua). A cor escura no restante do corpo é por causa do solo no interior de seu intestino (foto do autor)

Apresentam comportamento onívoro, pois consomem desde material vegetal (raízes, folhas, frutos e sementes), tecidos em decomposição (saprófagas), restos de animais mortos (necrófagas) e dejeções, em especial de herbívoros (coprófagas). Costumam selecionar o que ingerem, preferindo substâncias mais ricas em alguns elementos como cálcio e nitrogênio. Também consomem protozoários, nematoides, ácaros e colêmbolos, assim como diversos micro-organismos. Além de possuírem

enzimas digestivas, também ocorrem relações simbióticas com a microbiota no interior de seus intestinos (SIMS; GERARD, 1985; RIGHI, 1999).

As oligoquetas possuem vários predadores, dentre eles coleópteros, quilópodes, pássaros, toupeiras, texugos, lesmas, sanguessugas. Há também alguns parasitas internos, como bactérias, fungos, protozoários, platelmintos, nematoides e larvas de dípteras. Elas também podem competir por espaço com outros invertebrados da macrofauna (EDWARDS; LOFT, 1972; HAMOUI, 1990).

2.3 Comportamento ecológico dos anelídeos e suas relações com o solo

Os solos de textura média podem apresentar condições mais favoráveis para a propagação dos anelídeos, comparado aos arenosos, que têm baixa capacidade de retenção de água, e aos muito argilosos que, quando mal drenados, podem se tornar anaeróbicos. As oligoquetas são capazes de sobreviver em áreas com concentrações de oxigênio inferior a 10%, e toleram níveis de CO₂ superior a 50% (EDWARDS & LOFT, 1972; VANNIER, 1971 apud BACHELIER, 1978; HAMOUI, 1990).

A água corresponde de 75 a 90% de seu peso corporal e elas são raras em ambientes com menos de 900 mm de chuva por ano ou em locais com estação seca mais longa do que cinco meses. Em um dia, elas podem liberar para o meio até 60% do peso corporal em líquidos, por isso precisam estar sempre em ambientes úmidos. Nos períodos de estiagem, entram em diapausa, tornando-se inativas, e podem perder até 70% do volume de água de seus corpos. Em alemão, elas são denominadas de “vermes da chuva” (*regenwürmer*), possivelmente pela afinidade que têm com a água (EDWARDS & LOFT, 1972; AVEL, 1959 apud BACHELIER, 1978; LAVERACK, 1963 apud BACHELIER, 1978; SIMS & GERARD, 1985; FRAGOSO & LAVELLE 1992).

No que diz respeito ao comportamento ecológico, agrupam-se as minhocas em três categorias:

As epígenas se alimentam na serrapilheira, têm pigmentação dorsal, vermelha ou rosácea, e vivem nos primeiros cinco centímetros do solo (nos troncos em decomposição, em bromélias e na liteira). Por não escavarem, têm a musculatura reduzida e apresentam movimentos espasmódicos para espantarem predadores. A habilidade de regeneração é baixa e não têm diapausa. O

desmatamento pode causar a extinção local desse grupo (SIMS; GERARD, 1985; FRAGOSO; LAVELLE 1992; LEE, 1992).

As anécicas vivem no solo, dejetam em superfície e se alimentam da serrapilheira e dos minerais primários e secundários enquanto escavam. Elas têm a musculatura bem desenvolvida e possuem pigmentação ântero-dorsal, fazendo canais verticais ou semi-verticais. Apresentam coloração preta, marrom ou iridescente. Seus corpos são muito contrácteis e elas se locomovem rapidamente através das galerias. A diapausa é comum e muitas vezes obrigatória. Têm tamanho moderado a grande e suportam melhor o desflorestamento (SIMS; GERARD, 1985; FRAGOSO; LAVELLE 1992; LEE, 1992).

As endógenas não possuem pigmentação, são lentas e vivem no interior do solo, escavando lateralmente. Possuem diâmetro corporal delgado ou moderado e tamanho pequeno, têm a musculatura forte. São geófagas, mas podem se alimentar de raízes (fitofagia), e excretam em profundidade (SIMS; GERARD, 1985; FRAGOSO; LAVELLE 1992; LEE, 1992).

As diferenças morfológicas e fisiológicas são respostas ao ambiente em que vivem e algumas espécies podem apresentar características de mais de um grupo (SIMS; GERARD, 1985; FRAGOSO; LAVELLE 1992; LEE, 1992). A distribuição da ocorrência das espécies epígenas, anécicas e endógenas varia conforme as características do solo, como a textura, a disponibilidade da matéria orgânica e a qualidade da serrapilheira. Sob condições adversas (estiagem, temperaturas extremas), tanto as anécicas quanto as endógenas são capazes de migrar para áreas mais profundas do solo, em busca de condições térmicas e de umidade mais apropriadas (Darwin 1881).

Na diapausa, param de se alimentar e esvaziam seus intestinos, produzindo um muco no qual se envolvem para reduzir a desidratação. Os indivíduos adultos são muito sensíveis a flutuações climáticas, já os casulos suportam melhor as secas e a temperaturas frias (EDWARDS; LOFT, 1972; SIMS; GERARD, 1985).

Os buracos verticais permanentes da espécie *Lumbricus terrestris* (Linnaeus, 1758) na Grã-Bretanha podem medir mais de 3 metros de profundidade, enquanto os canais de algumas minhocas tropicais da família Megoscolecidae, podem ser mais profundos e atingir até 15 metros nas áreas sob estação seca prolongada (SIMS; GERARD, 1985, p.27)

Mudanças no uso do solo, com o desflorestamento, afetam particularmente as espécies epígenas que se alimentam da liteira em deterioração e as anécicas em

menor grau. Já as espécies endógenas são menos afetadas, a curto prazo, pelas mudanças provocadas pelo desmatamento, uma vez que são capazes de aproveitar os recursos alimentares de baixa qualidade em profundidade, “através de um processo digestivo mais eficiente que envolve interações mutualísticas com a microflora” no interior de seus intestinos (CURRY, 1998).

O grau de acidez do solo pode ser um fator limitante para algumas espécies, uma vez que estes animais são menos comuns em ambientes com pH abaixo de 4,5 e ausentes sob pH menor que 3,5. As espécies de minhocas tropicais toleram temperaturas entre 7,5°C e 38°C. Substratos com altas quantidades de cálcio, magnésio e nitrogênio, e que apresentam relação C/N abaixo de 20, favorecem sua ocorrência (BACHELIER, 1978; CURRY, 1998).

As minhocas estão entre os organismos que mais contribuem para a biomassa total do solo nos mais variados ecossistemas, porém são incomuns sob desertos, sob neve e gelo constantes e onde não há vegetação (EDWARDS & LOFT, 1972). Bachelier (1978) encontrou em um solo orgânico da França 470 minhocas/m², a 50 cm de profundidade, o que corresponde a uma biomassa de 4,5 t de minhoca hidratada/ha, equivalente à quantidade de 51 carneiros. Em Botucatu-SP, contabilizou-se 243 minhocas/m² (BERNARDES & MIKLÓS, 1994).

Fragoso & Lavelle (1992), ao pesquisarem as comunidades de minhocas nas florestas tropicais úmidas da América Central e do Sul, da África Central e Ocidental, do México e do sudeste da Ásia, constataram que estes invertebrados se concentram majoritariamente nos primeiros 10 cm do solo. Dentre a macrofauna do solo, os autores verificaram que as minhocas representam, nas áreas que estudaram, a maior biomassa (51% do total) e a terceira maior abundância (9% do total), atrás das formigas (23%) e dos cupins (37%).

3 CAMINHOS DA PESQUISA

“É duro para a mente compreender a quantidade colossal de matéria-viva que é criada e que se decompõe a cada dia (...). Quem pode calcular o número de indivíduos continuamente nascendo e morrendo? É mais difícil do que o problema de Arquimedes sobre contar os grãos de areia (...). Esse número, para o padrão breve da vida humana, certamente ultrapassa os grãos de areia no mar”

Vladimir Ivanovich Vernadsky

3.1 Área de estudo

A área de estudo situa-se no município de Salesópolis, a sudeste de Mogi das Cruzes, próximo à borda da Serra do Mar (Figura 3.1). Apesar de ficar nas adjacências de grandes centros urbanos e do cinturão verde da região metropolitana de São Paulo, ela tem a particularidade de estar encravada dentro de áreas destinadas à conservação ambiental.

A vertente pesquisada possui orientação norte-sul e foi definida com base na análise de cartas topográficas nas escalas 1:10.000 (EMPLASA, 1981), 1:50.000 (IGGSP, 1971), no uso de imagens de satélites e em trabalhos de campo para o reconhecimento do terreno (Figura 3.2 e Figura 3.3). Diversas observações foram feitas para a seleção de uma área que apresentasse três setores bem definidos: topo, meia encosta e sopé. Também verificamos se a acessibilidade aos pontos de amostragem era viável. Tendo em vista sua posição geográfica, com a face voltada para o sul, ela recebe menos iluminação solar e pode apresentar um microclima mais frio do que a porção norte, contudo essa variável não foi medida em campo.

Conforme o perfil topográfico (Figura 3.4), observa-se que a encosta escolhida possui cerca de 200 metros de comprimento, com topo e sopé posicionados nas altitudes aproximadas de 880 e 830 metros, respectivamente. O desnível altimétrico se acentua ao longo de uma distância curta de 35 metros na meia encosta, que é bastante íngreme e apresenta uma queda acentuada de 25 metros. O topo é relativamente plano e o sopé apresenta uma declividade suave.

A região insere-se na unidade geomorfológica do Planalto Atlântico/Alto Tietê, com relevos de denudação sujeitos a atividades erosivas intensas, apresentando morros médios e altos de topos convexos; as altitudes médias variam entre 750 e 900 metros (ROSS; MOROZ, 1997). O substrato geológico faz parte do Embasamento Cristalino Pré-Cambriano do Escudo Atlântico, composto por rochas do Grupo Açungui, predominando granitos-gnaisses e xistos (ALMEIDA, 1974; CAMPANHA; HENS, PONÇANO, 1994).

**Figura 3.1 – Proximidade da área de estudos com a borda da Serra do Mar.
Elaborado pelo autor, 2016. Fontes: IBGE, Google**

**Figura 3.2 – Traçado A-B da vertente estudada sobre imagem de satélite.
Organizado pelo autor, 2016. Fonte: Google**

Figura 3.3 – Vista do alojamento da EBB com a vertente estudada ao fundo (foto do autor)

Figura 3.4 – Perfil topográfico da vertente estudada com a delimitação dos três setores

As classes de solos mais comuns são os Argissolos, Cambissolos e Neossolos (IBGE, 2005; OLIVEIRA et al, 1999; ROSSI; QUEIROZ NETO, 2001). A cobertura vegetal é de Floresta Ombrófila Densa Montana (IBGE, 2012). Segundo a classificação de Köppen, o clima é o tropical úmido (Cfa), sem estação seca e apresenta médias anuais térmicas e pluviométricas de 17,9°C e 2.018 mm/ano, respectivamente (CUSTÓDIO FILHO, 1989).

Rossi (1999), ao calcular o balanço hídrico em três postos meteorológicos no entorno da EBB (Bertioga, Biritiba Mirim e Salesópolis), no período entre 1975 e 1999, verificou um excedente hídrico anual médio de 1.132,9 mm, sem ter registrado nenhum déficit, inclusive nos meses mais secos. A 6 km da área de amostragem, na Represa Ribeirão do Campo, a SABESP (2016) possui uma estação meteorológica que monitora o nível de água do reservatório e mede a pluviosidade. Segundo os dados de janeiro de 2011 a dezembro de 2015, houve uma precipitação média anual de 2.311,2 mm, com uma diminuição sazonal das chuvas durante o período do inverno (Figura 3.5).

Figura 3.5 – Gráfico da média de chuvas de 01/2011 a 12/2015.
Fonte: SABESP (Compilado pelo autor)

Ao longo do ano das coletas (2015), houve uma queda nas precipitações a partir do mês de abril (com 263,4 mm) que se segue ao longo do inverno até atingir o índice mais baixo registrado no mês de agosto (com 34,8 mm), conforme pode ser observado no gráfico abaixo (Figura 3.6). As coletas das minhocas foram realizadas no período de maior atividade desses organismos no solo, que coincide com o final

da estação quente e úmida (BACHELIER, 1978), o que na área de amostragem correspondeu ao final do mês de abril.

Figura 3.6 – Precipitações mensais e anual em 2015
Fonte: SABESP (Compilado pelo autor)

3.2 Trabalhos de campo e levantamento dos dados

Há duas formas de estudar a atividade biológica no solo. Uma delas é investigar as comunidades dos organismos em questão: levantar dados de densidade, biomassa, riqueza de espécies, comportamento ecológico. A outra é examinar os produtos de seus comportamentos metabólicos, os registros deixados no solo: influência na morfologia (bioagregação, homogeneização ou diferenciação de horizontes), na física (aumento da macroporosidade com os canais) e na química (incorporação de matéria orgânica). Ao longo dos procedimentos aplicados neste trabalho, procuramos avaliar estas duas possibilidades.

Mediante a apresentação dos objetivos e das atividades que seriam desenvolvidas ao longo desta dissertação, a seção de pesquisa do Museu Zoológico da USP, que administra a EBB, forneceu a autorização para realização das visitas de campo no local. Depois, em atendimento à legislação do Ministério do Meio Ambiente, foi obtida a licença para coleta de material biológico e de solos junto ao Sistema de Autorização e Informação em Biodiversidade – SISBIO do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade – ICMBIO.

3.3 Disposição dos pontos de amostragem

Foram traçados três transectos em zig-zag, transversais à encosta, em cada setor da vertente. Cada um dos traçados formava quatro triângulos equiláteros. Dos vértices dessa forma geométrica, equidistantes à 20 metros, foi retirado um bloco TSBF (3.4.1 **Extração física**). No interior desses triângulos, foi feita uma amostragem comportamental (3.4.2 **Extração comportamental**), totalizando nove amostras TSBF e quatro comportamentais em cada setor. Uma trincheira foi aberta por transecto para a caracterização dos solos (3.8 **Descrição morfológica dos solos**). Na Figura 3.7, está apresentado o esquema da distribuição dos pontos de coleta do TSBF, do procedimento comportamental e das trincheiras abertas para a descrição morfológica do solo. Tal esquema amostral foi aplicado no topo, na meia encosta e no sopé da vertente.

Figura 3.7 – Esquema com a disposição dos pontos de amostragem

3.4 Amostragem das oligoquetas

Para a coleta dos organismos, foram realizados 3 procedimentos complementares de extração: dois físicos (TSBF e qualitativo) e um comportamental (AZEVEDO et al, 2010; BARETTA et al, 2007; VASCONCELLOS et al, 2013).

As coletas do TSBF (3.4.1 **Extração física**) foram realizadas transversalmente ao perfil A-B da vertente estudada, que possui cobertura florestal primária. Os levantamentos comportamentais (3.4.2 **Extração comportamental**) foram feitos na

mesma vertente, porém, em alguns dos pontos de amostragem, a vegetação estava sob efeito de bordadura produzido pela estrada de acesso à EBB (consideramos sob efeito de borda toda área florestal distante até 20 metros de zonas desmatadas). Além de complementar os dados obtidos com o TSBF, visávamos testar a eficiência da solução de cebola para a extração dos anelídeos nos solos do local.

Por sua vez, as extrações qualitativas (**3.4.3 Extração qualitativa**) não foram realizadas na mesma encosta, mas em seu entorno, dentro da mesma bacia. O intuito deste levantamento foi expandir o raio das coletas anteriores e, assim, complementar os dados da riqueza de espécies.

Figura 3.8 – Gabarito de 25x25 cm para o auxílio da retirada do monólito (foto do autor)

Figura 3.9 – Primeiro volume retirado do TSBF, com profundidade de 10 cm (foto do autor)

Figura 3.10 – Triagem manual dos organismos visíveis a olho nu (foto do autor)

Figura 3.11 – Volume de solo com muitos cupins no horizonte superficial do topo (foto do autor)

3.4.1 Extração física

O método TSBF (*Tropical Soil Biology and Fertility*), estabelecido por Anderson e Ingram (1993), consiste na escavação de monólitos com dimensão de 25x25x30 cm, com auxílio de uma pá reta e faca para o corte da matéria vegetal superficial e das raízes em profundidade (Figura 3.8 e Figura 3.9). Este material foi ensacado, levado ao laboratório da EEB, disposto em bandejas e triado manualmente (Figura 3.10 e Figura 3.11). Vinte e sete monólitos foram extraídos no total, nove em cada posição topográfica, cada um deles dividido entre as camadas de 0-10, 10-20 e 20-30 cm de profundidade. Um monólito possui a área superficial de 0,0625 m² e um volume total de 18.750 m³ de solo. Deste modo, foi amostrado 0,5625 m² ou 168.750 m³ de solo em cada setor da vertente. Para uma boa representatividade nas coletas da fauna, recomenda-se a extração de nove TSBF por hectare de área amostrada.

3.4.2 Extração comportamental

Consiste na aplicação de uma substância irritante no solo que provoque o deslocamento dos organismos para a superfície, de onde então são capturados. Steffen (2012) demonstrou que a eficiência do extrato de cebola para a coleta de minhocas em solo de textura argilosa é similar à solução extratora padrão de formaldeído em concentração de 5%, com as vantagens de ser atóxico e acessível. A solução de extrato de cebola na concentração 175 g/L foi aplicada em doze pontos de 50x50 cm, quatro em cada posição topográfica, totalizando 1 m² amostrado em cada setor da vertente.

3.4.3 Extração qualitativa

Com o intuito de complementar as amostragens supracitadas e na busca de encontrar uma diversidade maior de espécies, que talvez não fosse alcançada com as extrações físicas e comportamentais, também foi feito um levantamento qualitativo nas proximidades da vertente estudada. Para tanto, realizamos dez escavações de 50x50x50 cm em barrancos na beira da estrada, dispostas de maneira aleatória, mas respeitando as três posições topográficas previamente estabelecidas: topo (curvas de nível > 875 m), meia encosta (curvas de nível entre 875 e 850 m) e sopé (curvas de nível < 850 m). Tinha-se a intenção de coletar quatro pontos em cada setor para perfazer 1 m² de amostragem, como foi feito na

extração comportamental, porém esta quantidade só foi possível no sopé e na meia encosta. No topo, só foram concretizadas duas amostragens, devido à falta de barrancos acessíveis neste nível topográfico no entorno imediato da área de estudo.

3.5 Fixação dos organismos

As minhocas presentes no solo e na serrapilheira sobrejacente de cada bloco TSBF, assim como aquelas retiradas a partir da solução irritante de cebola e no levantamento qualitativo, foram mortas em uma solução de álcool 50%, inicialmente, e depois fixadas em álcool absoluto para posterior identificação taxonômica. Uma das formas de classificação das oligoquetas é através da morfologia do prostômio (parte anterior do corpo dos anelídeos). As minhocas tendem a retrair esta estrutura quando são mortas em solução de álcool altamente concentrada, dificultando a posterior identificação. Por isso, utilizou-se primeiramente uma solução diluída para só depois transferi-las para o álcool absoluto, no qual foram preservadas.

3.6 Estabelecimento das médias das densidades populacionais e da biomassa de minhocas por setor

Os invertebrados coletados foram quantificados e pesados no Laboped, obtendo-se os dados da densidade populacional (minhocas/m²) e da biomassa (gramas/m²) nas três posições topográficas para todos os procedimentos de amostragem.

Para o estabelecimento da densidade média de indivíduos (minhocas/m²) com o TSBF, em primeiro lugar contou-se o número de organismos coletados em cada monólito. A área de um monólito TSBF é de 0,0625 m² (25x25 cm) e extraíram-se 9 monólitos por setor da vertente, totalizando a área amostrada de 0,5625 m² em cada posição topográfica. Em seguida, o número de indivíduos total coletado por setor foi dividido pela área total amostrada (0,5625 m²), obtendo-se o valor da densidade populacional média (minhocas/m²) no setor. Para a biomassa média de indivíduos (g/m²), foi repetido o mesmo método, considerando desta vez a massa dos anelídeos ao invés da quantidade de indivíduos.

Tanto para o procedimento comportamental quanto para o qualitativo, a área amostrada correspondia a 0,25 m² (50x50 cm). Como foram amostrados 4 pontos, totalizou-se a área de 1 m² amostrado por setor da vertente para cada técnica de extração. Deste modo, os indivíduos coletados nos quatro pontos foram contados e

somados, obtendo-se assim o valor de indivíduos/m² em cada setor. Para a biomassa média de indivíduos (g/m²), fez-se o mesmo processo, considerando-se, porém, a massa total das minhocas.

3.7 Taxonomia e análise dos dados da fauna

Os organismos adultos foram classificados, em colaboração com a bióloga e taxonomista de oligoquetas Dra. Marie Bartz, em nível de família, gênero e espécie, quando possível, a partir das características morfológicas, segundo as descrições de Righi (1990, 1995), Pavero (1994) e Blakemore (2002). Após a taxonomia, determinaram-se, de acordo com Baretta (2011) e Odum, (1983):

- Riqueza de espécies (S): número de espécies encontradas nas amostragens;
- Abundância (N): quantidade total de organismos coletados e que puderam ser identificados ao nível de espécie;
- Índice de dominância (Di): representa a dominância da espécie i, ou seja, a quantidade de indivíduos da espécie i (Qi) sobre a abundância (N):

$$D_i = \frac{Q_i}{N}$$

- Índice de Dominância de Simpson (D): mede a probabilidade de dois organismos, sorteados ao acaso, pertencerem à mesma espécie. Este índice varia de 0 a 1. Quanto mais próximo do valor de $\left(\frac{1}{S}\right)$, mais bem distribuídos estão os indivíduos entre as espécies encontradas. Ele foi calculado por meio da seguinte fórmula, que assume que o segundo indivíduo só é sorteado da amostra após a devolução do primeiro ao conjunto:

$$D = \sum_{i=1}^S D_i^2$$

- Índice de Equitabilidade (E): expressa a distribuição dos organismos amostrados entre as diferentes espécies. Ele também varia de 0 a 1. Quanto mais próximo de 1, mais uniformemente distribuídos estão os organismos entre as diferentes espécies, ou seja, as espécies possuem abundâncias (número de indivíduos) semelhantes. Quanto mais próximo de 0, mais divergentes são as abundâncias, ou seja, mais indivíduos estão concentrados em poucas espécies. Ele foi calculado por meio da seguinte fórmula:

$$E = \frac{1}{\overline{D}} \frac{1}{S}$$

Juntas, essas variáveis fornecem um panorama da diversidade, que é uma função da riqueza e da equitabilidade. Quanto maior forem as duas, ou seja, quanto mais espécies ocorrerem na área e mais bem distribuídos estiverem os indivíduos entre as espécies, maior será a diversidade do ambiente amostrado.

3.8 Descrição morfológica dos solos

Trincheiras foram abertas no topo, na meia encosta e no sopé da vertente para a observação macromorfológica de três perfis que representassem as condições pedológicas em cada setor no qual os anelídeos foram coletados. A descrição vertical das características dos horizontes (profundidade, cor, estrutura, textura e consistência) foi realizada segundo o “Manual Técnico de Pedologia” (IBGE, 2007). Visou-se obter indicações sobre os processos dinâmicos atuais e passados responsáveis pela formação e diferenciação dos solos na paisagem, contudo, sem procurar estabelecer e explicar as relações morfogenéticas da sucessão lateral desses solos ao longo da topografia.

3.9 Estrutura e agregados biogênicos

A maior parte dos manuais de descrição morfológica do solo não fazem referências específicas aos agregados de origem biológica. Visando enriquecer a descrição morfológica tradicional, demos ênfase às feições produzidas pela pedofauna, destacando, especialmente, as morfologias oriundas da atividade das minhocas, como canais, câmaras e coprólitos. Também procuramos observar qual a relação destas estruturas biogênicas com a dinâmica das raízes e da água no perfil.

As dejeções desses invertebrados foram coletadas, medidas e fotografadas. Análises da composição física e química destas estruturas também foram conduzidas com o intuito de entender a relação existente entre a morfologia e a composição dos agregados do solo com a atividade metabólica das minhocas.

3.10 Avaliação da morfologia dos agregados

A morfologia dos agregados superficiais foi avaliada de acordo com a metodologia descrita por Velásquez et al. (2007) que recomenda a retirada de um

cubo de solo, a partir da superfície, com dimensão de 10x10x10 cm. Todavia, fizemos uma modificação nesta indicação e extraímos este volume não apenas dos primeiros 10 cm do solo, mas de cada horizonte descrito morfologicamente nos três perfis de solo estudados.

O volume coletado destes materiais foi triado e dividido em seis categorias: agregados biogênicos (AB), agregados de raízes (AR), agregados físicos (AF), solo não agregado (SNA), rochas (R) e material orgânico - galhos, flores, folhas, frutos e raízes (MO). Após a separação manual destas estruturas, elas foram registradas em fotografias e pesadas em balança de precisão no Laboped para obtenção da proporção em que aparecem em cada cubo (TOPOLIANTZ; PONGE; VIAUX, 2000; VELÁSQUEZ; LAVELLE; ANDRADE, 2007; MELO JUNIOR, 2012).

3.11 Os atributos físicos e químicos

Conforme as normas da Embrapa (1997), em cada horizonte dos três perfis foram coletados:

- Três anéis volumétricos para a obtenção da densidade aparente do solo e das umidades gravimétrica e volumétrica. Os anéis foram secos em estufa a 105°C por 24 horas.

I. A densidade aparente foi calculada pela fórmula:

$$\text{Densidade aparente (g/cm}^3\text{)} = \frac{b}{c}$$

II. A umidade gravimétrica foi determinada pela fórmula:

$$\text{Umidade gravimétrica} = 100 \times \frac{(a-b)}{b}$$

III. A umidade volumétrica foi obtida pela fórmula:

$$\text{Umidade volumétrica} = 100 \times \frac{(a-b)}{c}$$

Em que:

a = peso da amostra úmida (g)

b = peso da amostra seca (g)

c = volume do anel (cm³)

- Amostras de solo para a determinação da composição granulométrica (areia total, silte e argila). A argila foi determinada pela técnica do densímetro (Bouyoucos), com uso de solução dispersante NaOH 0,1 mol L⁻¹ mais

(NaPO_3)₆ 0,015 mol L⁻¹. A areia total (diâmetros entre 2 e 0,05 mm) foi determinada por pesagem, após a lavagem em peneira, e o silte pela diferença entre a areia e a argila (EMBRAPA, 2011). As análises foram feitas no Laboratório de Análise de Solos da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – ESALQ.

- Amostras do solo para as seguintes análises químicas: pH (H₂O) e KCl; matéria orgânica, bases trocáveis (Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, P); acidez (Al³⁺, H⁺, Al³⁺). Os procedimentos analíticos utilizados foram: pH (H₂O) e KCl mol L⁻¹; extraiu-se os elementos P e K⁺ com solução de H₂SO₄ 0,0125 mol/L + HCl 0,05 mol/L (Mehlich 1), a determinação foi feita em espectrofotômetro de emissão atômica; Ca²⁺ e Mg²⁺ foram extraídos com Acetato de Amônio 1 mol L⁻¹ e os teores determinados em espectrofotômetro de absorção atômica; Al³⁺ foi extraído com KCl 1 mol L⁻¹; H+Al foi extraído com Ca(CH₃COO)₂ .H₂O 0,5 mol L⁻¹ e determinado por titulometria. As análises foram feitas no Laboratório de Análise de Solos da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – ESALQ. Utilizaram-se também os índices: Soma de bases (S): Ca + Mg + K + Na; Capacidade de troca catiônica (CTC): S + Al + H; Saturação por bases (V%): S/T.100; Saturação por Al (m%): 100. Al / (S + Al).

3.12 Serrapilheira acumulada

O material vegetal acumulado em superfície foi coletado para análise, nos locais das três trincheiras, estabelecendo-se os seguintes parâmetros: pH, densidade, umidade (resíduo orgânico a 60-65°C, a 110°C e total) e matéria orgânica total. As análises foram feitas no Laboratório de Tecido Vegetal da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – ESALQ. O pH foi extraído em CaCl₂ 0,01M; matéria orgânica total e resíduo mineral por combustão em mufla.

Também foram feitas análises dos seguintes nutrientes: nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre e do carbono. Estas análises foram feitas no Laboratório de solos da Universidade Federal de Viçosa. Os procedimentos utilizados foram: digestão nítrico-perclórica (P, K, Ca, Mg, S); digestão sulfúrica - Kjeldahl (N). O fósforo e o enxofre foram determinados por espectrofotômetro a 725 nm, o potássio, por fotômetro de chama, e o cálcio e magnésio, por espectrômetro de absorção atômica.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

"Na biosfera, a água não pode ser separada da vida e a vida não pode ser separada da água. É difícil estabelecer onde a influência da água termina e onde a influência da matéria viva começa"

Vladimir Ivanovich Vernadsky

4.1 Resultados dos organismos coletados

As condições de coleta e as densidades populacionais em cada procedimento amostral

Ainda que a EBB possua vegetação primária em bom estado de conservação, observou-se em campo um certo grau de perturbação. Algumas trilhas foram realizadas na região e muitas palmeiras (*Euterpe edulis*) estavam cortadas pela ação ilegal de palmiteiros. Vestígios de um acampamento, inclusive, foram encontrados no interior da floresta.

Ademais, a mata foi derrubada para passar a tubulação que transporta água da represa da Sabesp até uma estação de tratamento situada na entrada da Reserva do Rio Claro. Ao longo desta adutora a cobertura vegetal é composta por gramíneas. Uma estrada de acesso à represa também atravessa o parque e, ao longo dela, constatou-se a presença de algumas plantas exóticas, em pequeno número, dos gêneros *Pinus* e *Eucalyptus*.

A USP também possui edificações no local, como alojamentos para pesquisadores, laboratório e uma casa que servia de residência para o vigia do parque. Na fachada desta, existe um canteiro com algumas plantas ornamentais e ervas, e na parte dos fundos há um pequeno pomar. A construção das benfeitorias, as vias de acesso (estrada e adutora), assim como a passagem da fiação elétrica, produzem um efeito de bordadura na floresta derrubada. À parte disso, o local permanece pouco modificado.

Após a seleção da área de estudo e constatada a presença de anelídeos no local, precisávamos averiguar se a hipótese da variação da densidade de organismos de acordo com a topografia se confirmava. Por esse motivo, coletar os invertebrados foi a primeira atividade de campo a ser realizada, antes mesmo do reconhecimento do solo. Dois campos foram realizados com esse intuito, um de 22 a 27 de abril de 2015 e outro de 01 a 03 de maio de 2015.

4.1.1 TSBF

Condições de amostragem em três ambientes distintos:

topo, meia encosta e sopé

As amostragens com o TSBF apresentaram especificidades em cada setor da vertente. Ao longo do levantamento e triagem dos organismos no campo, foram obtidas algumas indicações a respeito da dinâmica dos solos em cada uma das três posições topográficas, como a distribuição dos materiais, o padrão de raízes e a circulação hídrica.

O solo do topo possuía um material solto, poroso, macio e seco. Características que, por um lado, facilitavam a remoção do monólito. No entanto, o sistema radicular denso impedia que a pá reta penetrasse no solo e, por isso, foi preciso cortar este material vegetal que atravessava a área interna do gabarito (25x25 cm) para que os 30 cm de profundidade pudessem ser retirados. Muitos golpes de facão e machadinha foram aplicados nas raízes, algumas com diâmetro superior a 4 cm. Esta ação gerava uma movimentação intensa no solo, o que talvez possa ter afastado alguns organismos devido à agitação mecânica provocada (Figura 4.1 e Figura 4.2).

Figura 4.1 – Profundidade do monólito TSBF de 30 cm no solo do topo (foto do autor)

Figura 4.2 – Tamanho das raízes que atravessavam o interior do volume do TSBF no topo (foto do autor)

Figura 4.3 – Feições hidromórficas no primeiro volume do TSBF (0-10 cm) na meia encosta (foto do autor)

Figura 4.4 – Circulação hídrica lateral nas paredes do volume de solo retirado com o TSBF na meia encosta (foto do autor)

Figura 4.5 – Material arenoso no segundo volume de solo (10-20 cm) no sopé (foto do autor)

Figura 4.6 – Preenchimento por água no espaço deixada pela retirada do TSBF no solo do sopé (foto do autor)

As raízes na meia encosta eram semelhantes ao topo, em quantidade e espessura. Havia muitos calhaus e matacões de gnaiss que se encontravam nos primeiros centímetros de profundidade. Por conta da declividade acentuada, há um intenso transporte lateral de materiais em superfície, inclusive de fragmentos rochosos grandes. O solo era mais raso, muito úmido, possuía feições hidromórficas e quando retirávamos o monólito, após alguns minutos, a água começava a circular e preenchia, gradativamente, parte do volume deixado pela escavação. O material não sofria tanta agitação com o corte das raízes, comparado ao topo, porque ele era mais compacto e denso (Figura 4.3 e Figura 4.4).

No sopé, a maior parte das raízes estavam localizadas nos primeiros centímetros do solo, junto ao material que compõe o horizonte superficial. Cortá-las, mais uma vez, foi um empecilho para a retirada dos monólitos. No horizonte subjacente, havia uma camada arenosa com muitos calhaus, o que também dificultava na coleta dos blocos entre os 10 e 20 cm de profundidade (Figura 4.5).

Em alguns locais, abaixo dos 20 cm, jazia uma camada muito endurecida, na qual era impossível retirar o último volume do TSBF. Assim como na meia encosta, havia muita água circulando no interior do solo do sopé. Conforme os monólitos eram retirados, prontamente o buraco era preenchido por água (Figura 4.6).

Distribuição das densidades populacionais e da biomassa de minhocas com o TSBF

Processadas as informações (3.6 Estabelecimento das médias das densidades populacionais e da biomassa de minhocas por setor), obteve-se a densidade populacional de 12, 16 e 23 minhocas por m² no topo, na meia encosta e no sopé, respectivamente (Tabela 4.1 e Figura 4.7).

Tabela 4.1 – Quantidade e biomassa de minhocas obtidas com o TSBF nos três setores da vertente estudada: T (topo), ME (meia encosta), S (sopé)

Amostra	Profundidade			Total	Ind./m ²	Biomassa (g)	Biomassa/m ² (g/m ²)
	0-10 cm	10-20 cm	20-30 cm				
T1	1			1	16	0,32	5,12
T2							
T3			1	1	16	0,30	4,80
T4			4	4	64	1,67	26,72
T5			1	1	16	0,19	3,04
T6							
T7							
T8							
T9							
ME1		1		1	16	0,30	4,80
ME2		2	2	4	64	0,70	11,20
ME3	1			1	16	0,20	3,20
ME4			1	1	16	0,40	6,40
ME5		1		1	16	0,20	3,20
ME6							
ME7							
ME8		1		1	16	0,10	1,60
ME9							
S1	6	1		7	112	1,12	17,92
S2							
S3	1			1	16	0,13	2,08
S4	2			2	32	0,10	1,60
S5							
S6	1		1	2	32	0,50	8,00
S7		1		1	16	0,68	10,88
S8							
S9

Figura 4.7 – Gráfico com as médias das densidades populacionais de minhocas em cada setor da vertente, obtida com o TSBF

A suspeita foi confirmada: não apenas havia uma variação nas densidades de acordo com a topografia, mas também repetiu-se o mesmo padrão verificado nas amostragens das disciplinas que cursei em Piracicaba e em Curitiba, com as maiores densidades localizadas no terço inferior da vertente.

Apesar da diferença nas densidades populacionais obtidas em cada setor da vertente, os dados da biomassa exibiram um padrão diferente. Topo e sopé apresentaram biomassas muito parecidas com 4,41 e 4,50 gramas de minhocas/m², respectivamente, enquanto a meia encosta apresentou 3,38 g de minhocas/m² (Figura 4.8). Ainda que o sopé possuísse uma densidade de indivíduos quase duas vezes maior do que a densidade do topo, as duas biomassas foram equivalentes. Isso aconteceu porque em um dos monólitos do topo foram retiradas quatro minhocas grandes e o peso delas aumentou os valores médios da biomassa para este setor. O peso médio de cada minhoca (biomassa total / número de indivíduos) no topo, na meia encosta e no sopé foi de 0,41, 0,37 e 0,34 gramas, respectivamente.

Figura 4.8 – Gráfico de médias da biomassa por setor da vertente (g/m²) obtido com o TSBF

Também observamos que as minhocas não estavam distribuídas de maneira uniforme nas três profundidades do TSBF (Figura 4.9). No topo, 14% das minhocas foram encontradas na camada de 0-10 cm e 86% na camada de 20-30 cm. Na meia encosta 11% dos organismos estavam na camada de 0-10 cm, 56% na camada de 10-20 cm e 33% na camada de 20-30 cm. No sopé, 77% encontravam-se na camada de 0-10 cm, 15% na camada de 10-20 cm e 8% na camada de 20-30 cm. Portanto, topo e sopé apresentaram padrões opostos, o primeiro com uma densidade de minhocas maior em profundidade e o segundo com densidades mais elevadas em superfície.

Figura 4.9 – Gráfico da distribuição dos organismos em porcentagem de acordo com a profundidade em que foram encontrados no TSBF em cada setor da vertente

4.1.2 Comportamental

Condições dos pontos de amostragens e densidade de minhocas encontradas

Durante as amostragens comportamentais, encontramos minhocas apenas no sopé, em uma área florestal de bordadura, sob influência da estrada de acesso. No topo, a solução de cebola era absorvida pelos primeiros 10 cm do solo. Tudo abaixo desta região permanecia seco, tamanha era a capacidade de retenção de líquidos daquele material superficial. Tendo em vista que no topo, com o TSBF, a maioria dos anelídeos foram encontrados a partir dos 20 cm de profundidade, pode ter ocorrido que a solução irritante não atingiu a zona onde os organismos se concentram neste setor.

A declividade da meia encosta não permitia que a solução de cebola penetrasse no solo. Ela tendia a escorrer lateralmente, por isso tentamos nivelar o terreno para impedir esse escoamento superficial e aplicar a técnica de coleta, porém a saturação do solo nessa porção da vertente, aliada à sua maior densidade e compacidade dificultaram a infiltração do líquido.

No sopé, onde foram localizadas as maiores densidades populacionais com o TSBF, o procedimento comportamental funcionou bem. Descobrimos uma densidade de 18 indivíduos/m² e uma biomassa de 4,3 g/m² (Tabela 4.2). O terreno mais aplainado deste setor, bem como o fato da maior parte das minhocas terem sido encontradas nos primeiros dez centímetros do solo com o TSBF, justificam o procedimento comportamental ter sido bem sucedido nesta posição topográfica.

Tabela 4.2 – Quantidade e biomassa de minhocas obtidas com o procedimento comportamental (solução de cebola) nos três setores da vertente estudada

Amostra	Total	Ind./m ²	Biomassa (g)	Biomassa/m ² (g/m ²)
T1				
T2				
T3				
T4				
ME1				
ME2				
ME3				
ME4				
S1	4	16	0,90	3,62
S2	14	56	3,37	13,48
S3				
S4				

4.1.3 Qualitativo

Condições dos pontos de amostragens

As condições ambientais nos locais do levantamento qualitativo eram bem distintas das da área com vegetação primária de onde coletamos os monólitos do TSBF. Havia algum grau de perturbação antrópica: corte de estrada, aterros de terraplenagem e zonas de bordadura florestal. Os locais não possuíam cobertura florestal e apresentavam, sobretudo, plantas herbáceas ou gramíneas. Por isso, os problemas com as raízes, que tivemos durante a extração do TSBF, não se repetiram nas amostragens qualitativas. As vertentes também estavam orientadas para outras direções (Figura 4.10).

Figura 4.10 – Pontos das amostragens qualitativa sobrepostos sobre carta topográfica: T (Topo), ME (Meia Encosta), S (Sopé), M (Minhocuçu) e E (Estrada).

Fonte: EMPLASA (organizado pelo autor)

Além das escavações nos barrancos e cortes de estrada fizemos mais duas coletas:

Na frente do alojamento da EBB passa uma estrada de terra. Sobre essa via de acesso, observamos o deslocamento de várias minhocas em um final de tarde. Como estes anelídeos tinham uma coloração escura, diferindo muito das espécies sem pigmentação que havíamos encontrado até então nas áreas florestais,

coletamos 15 indivíduos, identificados nos pontos de amostragem pela letra E (Figura 4.10).

Nos barrancos da estrada de acesso também avistamos muitos canais de minhocaçu. Decidimos escavar estas estruturas, cuidadosamente, para ver se conseguíamos achar algum exemplar inteiro desse animal. Conseguimos capturar apenas um representante. O mesmo aparece identificado na imagem dos pontos de amostragem pela letra M (Figura 4.10).

Tanto as coletas na estrada (E) como a do minhocaçu (M) foram feitas apenas para a identificação taxonômica e posterior estimativa da diversidade de espécies na área de estudo. Como estas coletas ocorreram por acaso e não obedeceram um padrão de amostragem por área definida (como nos demais casos), elas não foram incorporadas aos dados quantitativos de densidade.

No topo, encontramos uma densidade de apenas 6 indivíduos/m². Na meia encosta foram encontrados 82 indivíduos/m², e no sopé, 119 indivíduos/m² (Tabela 4.3 e Figura 4.11). O padrão observado no TSBF, com o aumento da densidade de minhocas na baixa vertente, foi repetido mais uma vez. Realizamos menos amostragens no topo dos morros, pois não havia barrancos de estrada nesta posição topográfica. Deste modo, fizemos escavações em dois locais onde havia muita raiz (zona de bordadura) e que estavam próximos a uma área florestada. Por esta área ser pequena, não conseguimos um distanciamento mínimo de 20 metros para realizarmos as outras duas escavações.

Tabela 4.3 – Quantidade e biomassa de minhocas obtidas com o levantamento qualitativo na bacia estudada

Amostra	Total	Ind./m ²	Casulos	Casulos/m ²	Biomassa (g)	Biomassa/m ² (g/m ²)
T1	2	8	1	4	0,95	3,80
T2	1	4			0,53	2,12
ME1	21	84	6	24	6,56	26,24
ME2	15	60	3	12	5,22	20,88
ME3	12	48	3	12	4,90	19,59
ME4	34	136	1	4	15,07	60,28
Estrada (E)	15	–	–	–	10,11	–
S1	6	24	1	4	4,95	19,78
S2	30	120	4	16	14,42	57,68
S3	51	204	2	8	20,18	80,72
S4	32	128	6	24	22,35	89,42
Minhocaçu (M)	1	–	–	–	19,74	–

Figura 4.11 – Densidade de minhocas por setor no qualitativo

Com relação à biomassa, o topo, o sopé e a meia encosta apresentaram valores de 2,76g/m², 31,75g/m² e 61,90 g/m², respectivamente (Figura 4.12). As 15 minhocas encontradas na estrada (E) tinham uma biomassa de 10,10 gramas no total, e o único exemplar de minhocuçu coletado pesava 19,74 gramas e media cerca de 35 cm (Figura 4.13).

Figura 4.12 – Biomassa de minhocas por setor no qualitativo

Por curiosidade, calculamos o peso médio de cada minhoca com base em todos os indivíduos coletados nos três procedimentos (TSBF, comportamental e qualitativo), encontrando o valor de 0,41 gramas. Deste modo, a título de comparação, segundo nosso levantamento, um minhocuçu de 35 cm possui a

biomassa equivalente a 48 minhocas. Portanto, o impacto da atividade metabólica de um único minhocuçu se equipara à atividade metabólica de muitas minhocas de tamanho médio.

Figura 4.13 – Minhocuçu (*Glossoscolex sp.1*) encontrado na meia encosta no levantamento qualitativo

Ainda que as amostragens com o TSBF e a qualitativa tenham repetido um padrão parecido, com o aumento da densidade de minhocas no terço inferior da vertente, os dois dados não são comparáveis entre si. Isso porque foram usadas técnicas diferentes para a coleta dos organismos e também devido ao ambiente de amostragem na área com mata bem preservada ser muito diferente dos locais onde havia um certo grau de influência humana no meio físico (cebola e qualitativo).

4.1.4 Análise dos dados: taxonomia, riqueza e abundâncias

Ao somar os três procedimentos de coletas (TSBF, comportamental e qualitativo) encontramos uma abundância de 265 minhocas. Dentre elas, 161 foram classificadas ao nível de espécie² (60,7%), uma descrita até o nível de gênero (0,4%) e 57 até o nível de família (21,5%). O restante dos organismos (46) não tinha

² Somente estes organismos, identificados ao nível da espécie, foram considerados na abundância para a determinação dos índices estatísticos.

atingido o estágio de maturidade adequado para sua identificação no momento da coleta e foram agrupados na categoria “juvenis” (17,4%), por serem indivíduos subadultos, que não desenvolveram todas as suas estruturas reprodutivas.

Tabela 4.4 – Resumo das espécies encontradas em cada procedimento

	TSBF	Comportamental	Qualitativo
<i>Amyntas gracilis</i>		X	X
<i>Fimoscolex sp. 1</i>	X		X
<i>Fimoscolex sp. 2</i>			X
<i>Fimoscolex sp. 3</i>	X		
<i>Fimoscolex sp. 4</i>	X		
<i>Glossoscolex sp. 1</i>			X
<i>Pontoscolex corethrurus</i>		X	X
Riqueza	3	2	5
Riqueza total	7 espécies		

Obtivemos uma riqueza (S) de sete espécies no total (Tabela 4.4): *Amyntas gracilis*, *Glossoscolex sp.1*, *Fimoscolex sp. 1*, *Fimoscolex sp.2*, *Fimoscolex sp. 3*, *Fimoscolex sp. 4* e *Pontoscolex corethrurus*. Com o TSBF, foi encontrada uma riqueza de três espécies: uma no topo (*Fimoscolex sp. 1*), uma na meia encosta (*Fimoscolex sp. 3*) e duas no sopé (*Fimoscolex sp. 1* e *Fimoscolex sp. 4*), todas elas nativas. Com a amostragem comportamental, foi encontrada uma riqueza de duas espécies, ambas exóticas, presentes apenas no sopé: *Amyntas gracilis* e *Pontoscolex corethrurus*. No qualitativo, foi encontrada uma riqueza de cinco espécies: *Amyntas gracilis* (na estrada); *Glossoscolex sp.1* (o minhocuçú); *Fimoscolex sp. 1*, *Fimoscolex sp.2* e *Pontoscolex corethrurus* (nos barrancos).

A espécie *Fimoscolex sp. 1*, foi a mais amplamente difundida, pois foi capturada no topo, com o TSBF, e nos três setores do levantamento qualitativo. As duas espécies exóticas, *Amyntas gracilis* e *Pontoscolex corethrurus*, só ocorreram nas zonas antropicamente alteradas (área de bordadura da floresta ou áreas desmatadas nas vias de acesso da EBB).

O procedimento comportamental foi o que extraiu a menor abundância (Tabela 4.5), com 13 indivíduos, todos concentrados no sopé. Em seguida veio o TSBF, com 14 indivíduos: três no topo, três na meia encosta e oito no sopé (Tabela 4.6). Depois o qualitativo, com 134 indivíduos, dos quais 109 pertenciam à espécie *Pontoscolex corethrurus* e 15 à espécie *Amyntas gracilis*, portanto, apesar da elevada abundância, 92,5% dos animais eram exóticos. Assim, se não houvesse a ocorrência de espécies exóticas na área, teríamos obtido uma abundância de apenas 10 minhocas no levantamento qualitativo.

Tabela 4.5 – Abundância de minhocas encontradas em função da espécie para cada procedimento

	TSBF	Comportamental	Qualitativo
<i>Amyntas gracilis</i>		7	15
<i>Fimoscolex sp. 1</i>	6		4
<i>Fimoscolex sp. 2</i>			5
<i>Fimoscolex sp. 3</i>	3		
<i>Fimoscolex sp. 4</i>	5		
<i>Glossoscolex sp. 1</i>			1
<i>Pontoscolex corethrurus</i>		6	109
Abundância	14	13	134
Abundância total		161	

Tabela 4.6 – Abundância de minhocas encontradas em função da espécie para cada setor da vertente com o TSBF

	Topo	Meia Encosta	Sopé
<i>Fimoscolex sp. 1</i>	3		3
<i>Fimoscolex sp. 3</i>		3	
<i>Fimoscolex sp. 4</i>			5
Abundância	3	3	8
Abundância TSBF		14	

As espécies exóticas foram encontradas apenas nos levantamentos qualitativo e comportamental, em pontos de amostragem antropicamente modificados, como barrancos de estrada, aterros e zonas desmatadas para a passagem da fiação elétrica. Nestes locais, também foi registrada a presença de

muitos casulos (Tabela 4.3 e Figura 4.14), o que não ocorreu nas áreas florestais preservadas. Logo, pode-se supor que a velocidade de reprodução das espécies invasoras é mais acelerada do que a das nativas e que, após o desmatamento, as novas condições ambientais favorecem a proliferação e o adensamento populacional desses indivíduos.

Figura 4.14 – Casulos de minhocas encontrados em câmaras no interior do solo. Estas estruturas não ficam na base do canal, mas penduradas no topo (foto do autor)

Figura 4.15 – Minhocas pequenas, enroladas umas sob as outras. A maior parte faz parte da espécie *Pontoscolex corethrurus* (foto do autor)

A *Pontoscolex corethrurus* (Müller, 1857) é uma espécie peregrina, que faz parte da família *Glossocolecidae*, endêmica do Planalto das Guianas na América do Sul, mas que se espalhou por quase todo o planeta (RIGHI, 1871; 1984). Já a *Amyntas gracilis* (Kinberg, 1867), também peregrina, faz parte da família *Megascolecidae* e é nativa da Ásia, ocorrendo nas elevadas altitudes no Paquistão, Índia, Bangladesh Sri Lanka, Burma, Tailândia e sudoeste da China (SIMS; GERARD, 1985).

4.1.5 Índices Estatísticos

O levantamento qualitativo apresentou um Índice de Equitabilidade igual a 0,296 (Tabela 4.7). Dentre as cinco espécies encontradas, 81,3% pertenciam à espécie *Pontoscolex corethrurus* e 11,2% à espécie *Amyntas gracilis*. Deste modo, os organismos não estão uniformemente distribuídos entre as diferentes espécies, havendo uma concentração maior em apenas dois dos cinco grupos. Isso explica o baixo Índice de Equitabilidade encontrado.

Com as amostragens comportamentais, ocorreu o oposto: o Índice de Equitabilidade ficou alto, bem próximo de um (igual a 0,994), uma vez que os

organismos estão bem distribuídos entre as duas espécies encontradas com esta técnica.

Com o TSBF, o Índice de Equitabilidade total, levando-se em conta os três setores, foi igual a 0,933, o que indica que as minhocas também estão distribuídas de maneira uniforme entre as três espécies encontradas. Ao considerar cada setor separadamente, tanto no topo quanto na meia encosta, só havia uma espécie (riqueza igual a um, nas duas posições topográficas), por isso o Índice de Dominância de Simpson e o Índice de Equitabilidade ficaram ambos iguais a 1. Já no sopé, o Índice de Equitabilidade obtido foi de 0,941, o que mostra a equivalente distribuição de minhocas entre as duas espécies do setor.

Tabela 4.7 – Resumo dos índices estatísticos obtidos

		Riqueza (n° de espécies)	Abundância (n° de minhocas)	Índice de Dominância de Simpson	Índice de Equitabilidade
	Qualitativo	5	134	0,677	0,296
	Comportamental	2	13	0,503	0,994
TSBF	Topo	1	3	1	1
	Meia Encosta	1	3	1	1
	Sopé	2	8	0,531	0,941
	Total TSBF	3	14	0,357	0,933
	TOTAL (3 procedimentos)	7	161	0,535	0,267

Ao comparar o resumo dos índices estatísticos, podemos verificar que apenas o levantamento qualitativo resultou em um Índice de Equitabilidade baixo, inferior a 30%, enquanto os demais ficaram todos acima dos 90%. Isso ocorreu porque as espécies exóticas, que só apareceram no levantamento qualitativo, eram mais abundantes frente às espécies nativas. O Índice de Equitabilidade geral, considerando os três procedimentos, foi baixo porque o qualitativo teve um peso muito grande no total, devido à sua maior abundância de indivíduos.

4.2 Caracterização geral da vegetação, da serrapilheira e dos solos em campo

Três trabalhos de campo foram realizados para descrição morfológica do solo e para coleta de amostras para análises, o primeiro entre 03 e 07 de junho, o

segundo entre 16 e 18 de outubro e o último entre 20 e 22 de novembro de 2015, período compreendido entre o final do outono e da primavera.

As observações sobre os estratos da vegetação, o tamanho dos troncos, o padrão das raízes, o acúmulo da serrapilheira, assim como a dinâmica dos solos foram realizados continuamente durante todas as visitas realizadas na EBB. Apresentamos a seguir uma caracterização geral da vegetação, da serrapilheira e dos solos em cada setor estudado.

4.2.1 Topo

4.2.1.1 Vegetação

Figura 4.16 – Aspecto geral do bosque no topo, com árvores espaçadas, e sub-bosque pouco desenvolvido. Nota-se também o acúmulo de serrapilheira na superfície do solo (foto do autor)

O topo apresenta um bosque mais estável e desenvolvido, com dossel fechado, sem a existência de clareiras. O sub-bosque não é denso e permite o fácil transitar em seu interior (Figura 4.16). No geral os troncos são retilíneos, bem espaçados, possuem diâmetros maiores, se comparados aos outros dois setores, e sem a presença de líquens associados (Figura 4.17). Não havia árvores tombadas no local, o que pode ser atribuído ao solo mais profundo e ao terreno plano.

Figura 4.17 – Tronco das árvores do topo com poucos líquens e fungos (foto do autor)

4.2.1.2 Solos

No primeiro volume do solo, no horizonte O, há uma camada de 3 cm de serrapilheira composta por restos vegetais em diferentes estágios de decomposição, em que há desde folhas frescas, recém caídas, até um material um pouco mais fragmentado, mas com as estruturas ainda discerníveis, no qual as raízes, abundantes e finas (<2 mm) fixam suas estruturas (Figura 4.18 e Figura 4.19).

Figura 4.18 – Horizonte O: Fragmentos da matéria orgânica acumulada em diferentes estágios de decomposição (foto do autor)

Figura 4.19 – Sistema radicular que se desenvolve na serrapilheira ainda não totalmente decomposta (foto do autor)

A camada de solo abaixo, o horizonte A1, apresenta uma estrutura fraca com grãos simples (de ½ até 3 mm), misturada a restos vegetais do horizonte O (Figura 4.20 e Figura 4.21). As raízes das plantas são abundantes e de tamanho médio

(<5 mm). Em seguida, no horizonte A2, observa-se uma estrutura granular, em tamanho de médio a grande (entre 1 e 10 mm), com agregados angulosos e de coloração bruno escura (Figura 4.22). As raízes são abundantes, de muito finas a grossas (<10 mm).

Figura 4.20 – Densidades de raízes finas no horizonte A1 (foto do autor)

Figura 4.21 – Estrutura fraca e muito pequena do horizonte A1 (foto do autor)

Figura 4.22 – Morfologia dos agregados superficiais do horizonte A2 (foto do autor)

Figura 4.23 – Detalhe das raízes do horizonte A2 (foto do autor)

No horizonte B, a estrutura deixa de ser granular para formar blocos subangulares, com agregados um pouco maiores do que na camada superior (até 20 mm) e mais arredondados. A cor passa para um bruno acinzentado muito escuro, denotando ainda forte influência da matéria orgânica (Figura 4.24). As raízes são menos abundantes do que nas camadas superficiais e são de tamanho fino a muito grossas (>10 mm).

Na camada subjacente, no horizonte BC, observa-se uma estrutura em blocos subangulares grandes (40 mm). Nota-se a presença de muitos fragmentos de rochas pequenos (<20 mm). Foram encontradas concreções ferruginosas consolidadas

(Figura 4.29) concêntricas/arredondadas (entre 1 e 40 mm). Este material férrico também recobre os fragmentos de rocha grandes (> 25 cm), como visto na Figura 4.27. Há poucas raízes nesta camada e elas são, em geral, muito grossas, como no horizonte B. O solo é pouco profundo e a trincheira descrita possuía pouco mais de 80 cm de profundidade.

Figura 4.24 – Morfologia dos agregados superficiais do horizonte B (foto do autor)

Figura 4.25 – Detalhe das raízes no horizonte B (foto do autor)

Figura 4.26 – Estrutura dos agregados em blocos subangulares do horizonte BC (foto do autor)

Figura 4.27 – Fragmento de gnaiss recoberto com concreções ferruginosas (foto do autor)

Figura 4.28 – Fragmentos de rocha pequenos do horizonte BC (foto do autor)

Figura 4.29 – Petroplintita do horizonte BC (foto do autor)

Descrição morfológica do solo no campo - Topo

Figura 4.30 – Visão geral do perfil de solo (foto do autor)

Perfil 1: Topo

Coordenadas: 23°39'5,81" S e 45°53'19,82" O

Uso Atual: Floresta

Altitude: 880 m

Relevo Local: plano

Relevo Regional: ondulado, forte ondulado

Drenagem: bem drenado, acentuadamente drenado

Vegetação Primária: Floresta Tropical

Horizonte O: 0-2 cm. Serrapilheira em diferentes estágios de decomposição, desde folhas frescas, recém caídas, até um material um pouco mais fragmentado; transição abrupta e plana. Raízes abundantes e finas.

Horizonte A1: 2-7 cm; preto (10YR 2/1, úmida); textura: orgânica, orgânica fibrosa; estrutura: fraca, muito pequena, grãos simples; consistência seca: solta; consistência úmida: solta; não plástica, não pegajosa; transição clara e plana. Raízes abundantes e médias.

Horizonte A2: 7-19 cm; cor: bruno muito escuro (10YR 2/2, úmida); textura: média, estrutura: moderada, média a grande granular; consistência seca: ligeiramente dura; consistência úmida: friável, ligeiramente plástica, ligeiramente pegajosa; transição gradual e ondulada. Raízes abundantes e grossas.

Horizonte B: 19-53 cm; bruno-acinzentado muito escuro (10YR 3/2, úmida); textura: média; estrutura: forte, média, blocos subangulares; consistência seca: ligeiramente dura; consistência úmida: friável, ligeiramente plástica, ligeiramente pegajosa; transição gradual e plana. Raízes comuns de tamanho médio a muito grossas.

Horizonte BC: 53-82 cm; cor: bruno amarelado (10YR 4/6 úmida); cascalhenta (calhaus e matacões), textura: média; estrutura: moderada, pequena a média, blocos subangulares; consistência seca: ligeiramente dura; consistência úmida: friável, ligeiramente plástica, ligeiramente pegajosa; transição gradual. Concreção ferruginosa frequente, grande, dura, arredondada e vermelha. Poucas raízes, muito grossas.

4.2.2 Meia Encosta

4.2.2.1 Vegetação

Na meia encosta destaca-se a abundância de lianas, cipós e trepadeiras. Comparados ao topo, em geral, as espécies possuem troncos mais finos. Como a encosta é bastante íngreme, há inúmeras árvores tombadas, o que provoca a abertura de várias clareiras no dossel (Figura 4.31 e Figura 4.32). O sub-bosque é muito denso (Figura 4.33). Por conta disso, o deslocamento no extrato inferior da mata é dificultado. Muitas plantas projetam suas raízes para manter a estabilidade do seu tronco em relação ao terreno declivoso (Figura 4.34).

Figura 4.31 – Clareiras no dossel da cobertura vegetal (foto do autor)

Figura 4.32 – Árvores tombadas na meia encosta (foto do autor)

Figura 4.33 – Sub-bosque adensado na meia encosta (foto do autor)

Figura 4.34 – Raízes projetadas para compensar a declividade (foto do autor)

Figura 4.35 – Floraturbação: árvores tombadas são comuns ao longo da meia encosta, o que provoca um intenso revolvimento do solo pela vegetação (foto do autor)

4.2.2.2 Solos

Não há muita serrapilheira acumulada nesta porção da vertente, a não ser detrás das árvores em relação ao declive (Figura 4.36). Há muitos fragmentos rochosos grandes na superfície. A queda de árvores provoca um processo de bioturbação no solo, pois revolve uma quantidade significativa de materiais (Figura 4.35).

O horizonte A tem agregados granulares (5 a 10 mm), mas também apresenta blocos subarredondados com tamanho de 20 mm (Figura 4.38). Devido a sua estrutura, ele possibilita a infiltração vertical da água. O horizonte BCg sofre influência de um lençol suspenso que circula lateralmente em relação à topografia. Neste material hidromórfico de coloração glei, encontram-se muitas dejeções de minhocuçus com diâmetro de 15 mm e dispostos nas três dimensões do perfil (Figura 4.39). Nas paredes destes canais biogênicos, preenchidos ou não por dejeções, são abundantes as feições de oxidação.

Há uma camada de solo avermelhada logo abaixo, no horizonte BC, que não possui estrutura aparente. Neste volume, ocorrem concreções ferruginosas, assim como no solo do topo, porém, aqui, elas aparecem em forma de “fragmentos” (Figura 4.40 e Figura 4.41). O solo tem aproximadamente 70 cm de profundidade e é mal drenado. Há muitas rochas com diâmetro maior do que 20 cm ao longo de todo

o perfil, desde a superfície até a base. As raízes são mais abundantes no primeiro horizonte do solo.

Figura 4.36 – Acúmulo de solo e de matéria orgânica montante do tronco e das raízes da árvore (foto do autor)

Figura 4.37 – Fragmentos de rochas na superfície do solo da meia encosta (foto do autor)

Figura 4.38 – Agregados do solo no horizonte A da meia encosta (foto do autor)

Figura 4.39 – Agregados biogênicos: dejeções de minhocuçus no horizonte hidromórfico (BCg) da meia encosta (foto do autor)

Figura 4.40 – Fragmento de concreção ferruginosa no interior da estrutura do solo no horizonte BC da meia encosta (foto do autor)

Figura 4.41 – Detalhes dos fragmentos de concreções ferruginosas presentes no horizonte BC da meia encosta (foto do autor)

Descrição morfológica do solo no campo - Meia Encosta

Perfil 2: Meia encosta

Coordenadas: 23°39'8,37" S
e 45°53'19,59" O

Uso Atual: Floresta

Altitude: 860 m

Relevo Local: forte ondulado

Relevo Regional: ondulado,
forte ondulado

Drenagem: mal drenado

Vegetação Primária: Floresta
Tropical

Figura 4.42 – Sucessão de três camadas no solo da meia encosta: Horizontes A (escuro), BCg (cinza) e BC (amarelado) (foto do autor)

Horizonte O: 0-1 cm. A serrapilheira não é abundante na superfície do solo, a não ser à montante dos troncos e do sistema radicular das árvores, onde ela se acumula. Presença de calhaus e matacões. Por vezes, este horizonte está ausente em determinadas condições de microrrelevo.

Horizonte A: 1-14 cm; cor: vermelho-escuro-acinzentado (2,5YR 3/2); textura: arenosa; estrutura: moderada, grande a muito grande, granular e com blocos subangulares grandes; consistência seca: macia; consistência úmida: muito friável, ligeiramente plástica, ligeiramente pegajosa; transição clara e ondulada. Raízes abundantes de tamanho médio a muito grossas. Presença de calhaus e matacões.

Horizonte BCg: 14-23 cm; cor: cinzento-esverdeado-escuro (gley: 4/10Y), mosqueado abundante, médio a grande, vermelho-amarelado (5YR 4/6), mosqueado abundante, médio a grande, bruno-avermelhado-claro (2,5YR 7/4); textura: arenosa; sem estrutura aparente; consistência seca: ligeiramente dura; consistência úmida: friável, ligeiramente plástica, ligeiramente pegajosa; transição clara e plana. Cor dos coprólitos de minhocuçus: preta (10YR 2/1). Poucas raízes e finas. Presença de calhaus e matacões.

Horizonte BC: 23-74 cm; cor: bruno-avermelhado (2,5YR 5/3); cascalhenta; textura: média; sem estrutura aparente; consistência seca: ligeiramente dura;

consistência úmida: friável, ligeiramente plástica, ligeiramente pegajosa; transição gradual. Concreções ferruginosas frequentes, grande, dura, laminar, vermelha. Poucas raízes e finas. Presença de calhaus e matacões.

4.2.3 Sopé

4.2.3.1 Vegetação

O sopé, por sua vez, possui muitas epífitas. Os troncos das árvores estão tomados por líquens e algas (Figura 4.43 e Figura 4.44). Chama atenção o número de bromélias, tanto no solo quanto nos extratos superiores da vegetação (Figura 4.45). Apesar do terreno mais plano, como no topo, as árvores aparentam estar instáveis no substrato, pois há muitas espécies tombadas ou inclinadas em relação à superfície do solo (Figura 4.46).

Figura 4.43 – Troncos do sopé repletos de fungos, líquens e algas (foto do autor)

Figura 4.44 – Troncos do sopé repletos de fungos, líquens e algas (foto do autor)

Figura 4.45 – Grande quantidade de bromélias nos troncos das árvore do sopé (foto do autor)

Figura 4.46 – Aspecto geral do bosque no sopé, com árvores tombadas e inclinadas em relação à superfície (foto do autor)

4.2.3.2 Solos

No sopé, há um maior acúmulo de serrapilheira comparado ao topo. As raízes da vegetação se projetam inclusive para fora do horizonte. O, na superfície, não adentrando em profundidade no solo, o que gera instabilidade às plantas que nem sempre estão com os troncos perpendiculares ao substrato (Figura 4.47).

O horizonte A tem estrutura fraca, de textura arenosa e coloração bastante escura. Há um predomínio de raízes finas e médias nesta camada, que estão associadas aos agregados do solo (Figura 4.48 a Figura 4.50). O sistema radicular quase não penetra no horizonte E, logo abaixo, composto por um material arenoso e acinzentado, no qual se encontram calhaus quartzosos, e que forma uma transição irregular em relação ao horizonte adjacente (Figura 4.51 e Figura 4.52).

Figura 4.47 – Raízes grossas e comuns entre a serrapilheira no sopé (foto do autor)

Figura 4.48 – Estrutura grumosa do horizonte A do sopé, com algumas raízes grossas superficiais (foto do autor)

Figura 4.49 – Sistema radicular que mantém a agregação do horizonte A do sopé (foto do autor)

Figura 4.50 – Tamanho de raízes no horizonte A do sopé (foto do autor)

Figura 4.51 – Material arenoso do horizonte E do sopé (foto do autor)

Figura 4.52 – Calhaus quartzosos no horizonte E arenoso do sopé (foto do autor)

Enquanto cavávamos e chegávamos ao terceiro volume de solo, o enxadão não era capaz de aprofundar o perfil, tamanha sua dureza. Utilizamos um martelo para tentar escavar um pouco mais e as batidas do martelo neste material geravam faíscas. Percebemos, durante a abertura da trincheira, que o horizonte E, onde se encontram alguns calhaus, assenta-se sobre um material endurecido, escuro-avermelhado, com características de um “*ortstein*”. Nota-se um escurecimento do material no topo desta camada, com uma transição irregular (Figura 4.53). Possivelmente, está associado a um processo de podzolização que não pôde ser investigado para demonstração neste trabalho. Por problemas de logística, não conseguimos coletar amostras da última camada nem descrevê-la morfológicamente, pois no dia em que a trincheira foi aberta choveu muito à tarde, e na manhã seguinte o local estava cheio de água.

Figura 4.53 – Transição irregular entre os horizontes (foto do autor)

Descrição morfológica do solo no campo - Sopé

Figura 4.54 – Sucessão de três horizontes muito distintos no solo do sopé (foto do autor)

Perfil 3: Sopé

Coordenadas: 23°39'12,37" S e 45°53'19,30" O

Uso Atual: Floresta

Altitude: 840 m

Relevo Local: plano

Relevo Regional: ondulado, forte ondulado

Drenagem: muito mal drenado

Vegetação Primária: Floresta Tropical

Horizonte O: 0-3 cm. Acúmulo de serrapilheira, em geral de folhas frescas, recém-caídas; transição abrupta e plana. Raízes abundantes e finas. Raízes abundantes e muito grossas.

Horizonte A: 3-12 cm; cor: preto (10YR 2/1); textura: arenosa; estrutura: fraca, pequena, grãos simples; consistência seca: solta; consistência úmida: solta, não plástica, não pegajosa; transição clara e ondulada. Raízes abundantes, de finas a muito grossas.

Horizonte E: 12-21 cm; cor: cinzento (10YR 6/1); textura: arenosa; estrutura: sem agregação; consistência seca: solta; consistência úmida: solta, não plástica, não pegajosa; transição clara e irregular. Presença de calhaus. Poucas raízes, médias.

Horizonte B: 21-... cm: horizonte duro, que não foi descrito morfológicamente. Presença de matacões. Nota-se um escurecimento do material no topo desta camada, possivelmente associado a um processo de podzolização que não pôde ser investigado para demonstração neste trabalho.

4.3 Estruturas e feições biogênicas no solo

Pouco se fala sobre as estruturas biogênicas nos manuais de coleta e descrição morfológica de solos. Por esse motivo, não pudemos nos guiar apenas por esses materiais na condução deste estudo. Resolvemos verificar, em alguns desses textos, o que cada um diz sobre o processo de agregação promovido pela fauna.

Nas 84 páginas do “Manual de descrição e coleta de solo no campo”, há apenas a seguinte recomendação, de duas linhas, a respeito deste tema: “Indique a ação de outros organismos como minhocas, cupins, formigas, tatus etc., nos respectivos horizontes, anotando o local de máxima atividade e a distribuição pela área” (LEMOS; SANTOS, 1996, p. 62).

No livro “Praticando Geografia: técnicas de campo e laboratório em geografia e análise ambiental”, há um capítulo sobre as técnicas em pedologia escrito por diversos professores do Departamento de Geografia da USP. Neste material, os autores também mencionam os fatores biológicos, dividindo-os entre influência dos vegetais superiores, da fauna e dos micro-organismos. A respeito da fauna, especificamente, é dito: “O papel da fauna é homogeneizar o material do solo, as diferenças de material intemperizado provenientes de diferentes rochas são apagadas pela ação da fauna” (MANFREDINI et al., 2005, p. 96).

O Manual Técnico de Pedologia do IBGE (2007, n.p.) indica que a atividade biológica é um dos aspectos a ser observado na descrição dos solos da seguinte maneira:

Refere-se à ação de pequenos organismos como minhocas, cupins, formigas, e outros organismos, na massa de solo. Devem ser registrados os locais de máxima atividade e a distribuição nos horizontes. Tais registros devem ser feitos no item “Observações”, posicionado após a descrição morfológica de raízes.

Ainda que os agregados biogênicos exerçam uma influência direta na pedogênese, sobretudo na zona tropical, onde são mais abundantes, a descrição morfológica dos solos, em geral, não contempla estas estruturas que nem mesmo são consideradas pelo “Sistema Brasileiro de Classificação do Solo”. Apesar de este reconhecer que a presença da vida é um dos fatores que diferencia o solo dos demais substratos terrestres e afirmar que “Todas as características morfológicas são relevantes para a caracterização e classificação dos solos”, para o mesmo, as estruturas biogênicas não são “particularmente indispensáveis” (SIBCS, 2013, p. 109).

Nesse breve levantamento bibliográfico, fica claro que os manuais para descrição dos solos no campo, não oferecem muitos subsídios ao estudante de como proceder com a descrição e interpretação da atividade biológica. Contudo, na nossa área de estudo, eram muitas as feições biogênicas, e estas parecem efetivamente participar em diversos processos pedogenéticos.

Melo Júnior (2012), em sua dissertação de mestrado, propôs uma possível sistematização das estruturas biogênicas dentro da descrição morfológica do solo, organizada por tipo (granular, cilíndrico, blocos irregulares e globular) e classe (muito pequena, pequena, média, grande e muito grande). O autor descreve que os coprólitos das minhocas apresentam a superfície externa anelada composta pelo encaixe sucessivo de formas côncavas (no sentido do trato digestivo) e convexas (no sentido oposto), em formato cilíndrico (dejeções internas) ou em blocos irregulares (dejeções externas).

Tipo → Classe ↓	Granular	Cilíndrica ($> \emptyset$)	Blocos Irregulares	Globular
Muito pequena	$< 1\text{ mm}$	$< 4\text{ mm}$	$< 10\text{ mm}$	-
Pequena	1 a $< 2\text{ mm}$	4 a $< 8\text{ mm}$	10 a $< 20\text{ mm}$	10 a $< 25\text{ mm}$
Média	2 a $< 5\text{ mm}$	8 a $< 12\text{ mm}$	20 a $< 30\text{ mm}$	25 a $< 35\text{ mm}$
Grande	5 a $< 10\text{ mm}$	12 a $< 16\text{ mm}$	30 a $< 40\text{ mm}$	-
Muito grande	$> 10\text{ mm}$	$> 16\text{ mm}$	$> 40\text{ mm}$	-

Figura 4.55 – Tipos e classes de estruturas biogênicas (Mello Junior, 2002, p. 15)

Figura 4.56 – Aspectos macroscópicos das estruturas biogênicas (Mello Junior, 2002, p. 20)

Nessa pesquisa, encontramos duas morfologias que são resultado da atividade das minhocas no solo: coprólitos e pedotúbulos.

4.3.1 Os coprólitos

As dejeções coletadas em campo estavam divididas em dois tipos, o cilíndrico e os blocos irregulares. Os blocos irregulares, apesar de já terem perdido parte de suas características morfológicas, ainda apresentavam algumas formas que remetiam a sua origem biológica, como a estrutura cilíndrica e alguns anéis. Eles variaram entre as classes média (de 20 a 30 mm) e muito grande (>40 mm), diferindo igualmente em relação à cor da matriz do solo. A forma cilíndrica variou quanto a cor e entre as classes pequena (entre 4 e 8 mm) e muito grande (>16 mm), como pode ser visto entre a Figura 4.57 e a Figura 4.60.

Figura 4.57 – Agregados biogênicos em blocos irregulares de tamanho médio, nos quais notam-se as formas suavizadas, arredondadas e sem pontas (foto do autor)

Figura 4.58 – Agregado biogênico em blocos irregulares de tamanho muito grande, no qual notam-se as formas suavizadas, arredondadas e sem pontas (foto do autor)

Figura 4.59 – Agregados biogênicos: dejeções externas em forma cilíndrica e em tamanho pequeno. Percebe-se a coloração similar ao solo, sem a incorporação de matéria orgânica aparente (foto do autor)

Figura 4.60 – Agregados biogênicos: dejeções externas em forma cilíndrica e em tamanho pequeno. Percebe-se a coloração similar ao solo, sem a incorporação de matéria orgânica aparente (foto do autor)

Nas dejeções cilíndricas internas de tamanho grande, as superfícies eram lisas, sem anéis aparentes e exibiam aspectos distintos em suas paredes. Algumas tinham coloração escura, provavelmente dejeções frescas, excretadas há pouco

tempo (Figura 4.61), enquanto outras, mais antigas, já tinham passado por processos biogeoquímicos no solo, dada a oxidação do Fe, visível em uma película avermelhada que os recobria (Figura 4.62).

Figura 4.61 – Dejeções frescas de cor escura (foto do autor)

Figura 4.62 – Dejeções antigas de cor avermelhada (foto do autor)

Os coprólitos são, amiúde, mais escuros que o solo no qual se encontram (Figura 4.63). Muitas vezes eles têm a cor similar ou mais escura que o horizonte superficial (10YR 2/1), indicando a incorporação da matéria orgânica às camadas minerais (Figura 4.64). Quando a matriz do solo é clara, o desenho da dejeção fica bastante evidente no horizonte, contudo, nas camadas superficiais, orgânicas ou organominerais, de coloração preta, este contraste não é sempre evidente (Figura 4.65).

Figura 4.63 – Dejeção cilíndrica muito grande com cor mais escura que a matriz do solo (foto do autor)

Figura 4.64 – Dejeção em bloco irregular de tamanho grande com a incorporação de matéria orgânica ao horizonte mineral (foto do autor)

Figura 4.65 – Estrutura cilíndrica claramente perceptível de uma dejeção da mesma cor do solo (foto do autor)

Uma outra característica interessante é que, comumente, as raízes da vegetação seguem o caminho preferencial dos coprólitos (Figura 4.66). Isso se deve à abertura de espaço no solo promovida pelas minhocas com suas galerias, o que facilita a penetração do sistema radicular, bem como à composição das dejeções, que são mais ricas em nutrientes.

Figura 4.66 – Raízes que acompanham as dejeções das minhocas (foto do autor)

Consumindo solo, as minhocas destroem sua estrutura inicial para, em seguida, criar uma nova. Suas dejeções são compostas por coloides minerais e orgânicos (o plasma) e por grãos minerais e restos vegetais resistentes à digestão (esqueleto). No início da digestão, a liteira é triturada pelas contrações musculares da moela com o auxílio da areia ingerida, que ajuda na fragmentação. Associada a quebra física, vem a atividade microbiótica e a ação de enzimas e secreções produzidas no intestino, que formam, junto com as argilas, os agentes de ligação entre os materiais. A parte posterior do intestino é mais seca e já começa a “compactar” o material. Quando ele é excretado, o plasma coagula, cimentando o esqueleto (ROBERT; BERTHELIN, 1986; SHIPITALO; PROTZ, 1989; BAROIS et al., 1993; EDWARDS; SHIPITALO, 1998).

Na região tropical, a produção de fezes varia entre 50 e 2.600 t/ha/ano, que corresponde à movimentação de uma camada de 10 cm de altura entre seis meses e 30 anos. As minhocas assimilam menos de 10% do material que ingerem. Suas fezes, ricas em nutrientes, podem ser digeridas novamente por outras minhocas ou por outros animais coprófagos (BAL, 1982; LEE, 1985). Os ciclos de ingestão e dejeção, associados à influência dos fatores climáticos, acabam por fragmentar os bioagregados, que se tornam menores com o tempo (LEE, 1992).

Estima-se um aporte anual de nitrogênio ao solo pela atividade das minhocas, dependendo do tamanho de suas populações, via dejeções ou através de tecidos mortos, da ordem de 1 a 100 kg/ha/ano. Por meio da passagem sucessiva dos restos vegetais em seu trato intestinal, as minhocas ajudam a baixar a relação C/N. Elas também excretam carbonato de cálcio acumulado em suas glândulas calcíferas, e já foi registrada a neutralização de solos ácidos por esse processo. Seus coprólitos são geralmente mais ricos em magnésio e cálcio trocáveis do que o solo do entorno, têm maior disponibilidade de fósforo e também a CTC mais alta (WIECEK; MESSENGER, 1972 apud BACHELIER, 1978; BACHELIER, 1978; SIMS; GERARD, 1985; LEE, 1992; CURRY, 1998; PARMELEE et. al., 1998; RIGHI, 1999).

Ao atuarem na fragmentação dos restos vegetais, as oligoquetas promovem boas condições para a proliferação da microbiota decompositora. Bactérias nitrificantes são muito numerosas em seus excrementos (SIMS & GERARD, 1985; RIGHI, 1999; SCHAEZTL & ADERSON, 2005). Quando frescas, suas dejeções “contêm de 10^3 a 10^4 mais micro-organismos do que o solo circundante” (RIGHI, p. 17, 1999). Como estas formas de vida não podem se locomover, elas dependem do

transporte das minhocas, que as ingerem em um local e em seguida as depositam em outro. Portanto, a bioturbação não tem efeito apenas na dispersão de partículas sólidas minerais, mas também nos integrantes da microflora e microfauna (BACHELIER, 1978, MEYSMAN, 2006). Além disso, o remonte mineral vertical causado pelas espécies que dejetam em superfície soterra a liteira, tornando-a mais facilmente “decomposta pela biota do solo” (LEE, 1992, p. 1767).

A coerência estrutural dos coprólitos depende do efeito “cola” das substâncias produzidas pelas bactérias em seu interior e das hifas e fungos que crescem neles (LYNCH; BRAGG, 1985; LEE, 1992). Para Bachelier, “a resistência dos agregados está ligada à estabilização desses produtos pela síntese microbiana e notadamente ao crescimento das ligações entre polissacarídeos e as superfícies minerais” (1978, p.51). O sistema radicular, sobretudo quando muito denso, ajuda na manutenção da coesão dos excrementos. Já foi registrada a formação de cutans nas paredes dessas estruturas e estes também podem contribuir com sua estabilização (ALLISON FRANKLIN, 1968 apud BACHELIER 1978).

Os componentes orgânicos são parcialmente preservados no cerne dos bioagregados, pois “o movimento lento da água e do ar no interior das dejeções inibem as reações bioquímicas” (EDWARDS & SHIPITALO, 1998, p. 149). Além disso, as dejeções “facilitam a estabilização dos ácidos húmicos”, pois “estes ácidos entram no complexo coloidal que envolve as partículas minerais” (BACHELIER, 1978, p. 160).

4.3.2 Os pedotúbulos

Quanto aos pedotúbulos, além da variação no tamanho (raio médio), alguns eram preenchidos por dejeções, as crotovinas³, e outros não, os canais (Figura 4.67 e Figura 4.68). Segundo Bachelier (1978), as minhocas só evacuam em galerias abandonadas. Em algumas destas estruturas, de tamanho menor, notava-se o contorno cilíndrico que secou em forma mais ou menos contorcida (Figura 4.69 e Figura 4.70) e que apresentavam coloração diferente da matriz do solo. Canais biogênicos também foram encontrados no meio de anéis volumétricos (Figura 4.71 e Figura 4.72).

³ Crotovinas são canais antigos preenchidos por materiais provenientes de outros horizontes do solo por meio de processos físicos ou biológicos (CURI, 1993).

Figura 4.67 – Pedotúbulos de um minhocúçu (foto do autor)

Figura 4.68 – Dois pedotúbulos paralelos em um bloco de solo. O da esquerda está preenchido por dejeções e o da direita está vazio (foto do autor)

Figura 4.69 – Agregados biogênicos: dejeções internas nas quais se vê a estrutura dos coprólitos. Percebe-se a coloração escura com a incorporação de matéria orgânica ao horizonte mineral (foto do autor)

Figura 4.70 – Agregados biogênicos: dejeções internas nas quais se vê a estrutura dos coprólitos. Percebe-se a coloração escura com a incorporação de matéria orgânica ao horizonte mineral (foto do autor)

Figura 4.71 – Anel volumétrico com estrutura de um coprólito cilíndrico de tamanho muito grande (foto do autor)

Figura 4.72 – Anel volumétrico com estrutura de um coprólito cilíndrico de tamanho médio (foto do autor)

As feições oxidadas são muito comuns nas paredes dos canais. O espaço entre o material excretado e a galeria permite a troca gasosa entre o solo e a atmosfera, promovendo a oxidação dos materiais na área do entorno da dejeção (Figura 4.73 e Figura 4.74). Este fenômeno não foi registrado apenas no solo, mas também na parede de fragmentos rochosos margeados por coprólitos (Figura 4.75). Kretzschmar e Monestiez (1992) ponderam que esses dutos biogênicos contribuem com a renovação do O_2 e remoção do CO_2 do solo, por isso, a bioturbação exerce uma força contrária à criação de zonas anaeróbicas.

Figura 4.73 – Solo oxidado nas paredes de um pedotúbulo (foto do autor)

Figura 4.74 – Feições de oxidação nas paredes de um pedotúbulo (foto do autor)

Figura 4.75 – Oxidação da rocha por onde passava um pedotúbulo (foto do autor)

Figura 4.76 – Coprólitos com cores escuras diferentes da matriz do solo. Observam-se diversas feições oxidativas nos limites entre a dejeção e o solo (foto do autor)

A circulação nas cavidades biogênicas é diferente da circulação nos outros poros, pois os canais são ricos em nutrientes, matéria orgânica e micro-organismos, consistindo em locais ideais para o desenvolvimento radicular. As soluções quimicamente ricas em material húmico que percolam no perfil através dessas galerias ajudam a manter a fertilidade do solo em profundidade (BACHELIER, 1978). Ademais, “o muco secretado através das cutículas epidérmicas das minhocas, frequentemente observáveis nas paredes dos canais, têm demonstrado neutralizar o pH dos ambientes muito ácidos ou alcalinos” (EDWARDS & SHIPITALO, 1998, p. 155).

Figura 4.77 – Canal de anelídeo onde pode ser verificada a deposição de secreção mucosa em suas paredes (foto do autor)

Figura 4.78 – Canal de anelídeo onde pode ser verificada a deposição de secreção mucosa em suas paredes (foto do autor)

Segundo Lee, “a maioria dos macroporos são escavados pela fauna do solo e geralmente pelas minhocas” (1992, p. 1766). Kretzchmar afirma que “os canais de minhocas são estruturas consolidadas que permanecem abertas até quando a umidade do solo está em altos níveis” (1998, p.164). A circulação da água na matriz do solo é mais modesta quando comparada a circulação nos canais dos anelídeos (SMETTEM, 1992).

Figura 4.79 – Detalhe de uma minhoca e de um canal que ela fez no solo (foto do autor)

Figura 4.80 – Minhoca com metade do corpo dentro de um agregado. Nota-se a mudança da cor ao longo do corpo, sendo a parte posterior mais escura (foto do autor)

Blanchart et al. (1997), constataram que os macroagregados produzidos por estes animais na Costa do Marfim modificam a densidade do solo, melhoram sua porosidade e favorecem a infiltração da água. Mello Júnior (2012) cita o trabalho de Lopes Assad (1987) que registrou galerias de minhocas com extensões superiores a 40 metros por m³ em solos da França.

Tamanha rede de drenagem biogênica influencia os fluxos das soluções ao longo das vertentes, modificando padrões de circulação verticais ou laterais, em profundidade ou superficiais. Enquanto as espécies endógenas contribuem com a circulação hídrica lateral, pois fazem canais horizontais, as anécicas ajudam na infiltração vertical das soluções.

Na Figura 4.81, apresentamos um resumo das dimensões reais de coprólitos e pedotúbulos encontrados em campo.

Coprólitos	Cilíndricos	3,5 mm (muito pequeno)	15 mm (grande)	20 mm (muito grande)	25x15 mm (muito grande)
	Blocos irregulares	20 mm (médio)	80 mm (muito grande)		
	Pedotúbulos (canais)	4 mm	22 mm		

Figura 4.81 – Exemplos de tamanhos de dejeções e de canais de anelídeos encontrados, em escala real

4.3.3 Avaliação da morfologia dos agregados

Os volumes de solo coletados com o cubo (Figura 4.82 e Figura 4.83) foram separados visualmente com base nas seguintes características: os agregados biogênicos são formados por cupins, formigas e minhocas, possuem faces arredondadas, são mais escuros que o solo do entorno e apresentam maior resistência à pressão entre os dedos. Os agregados de raízes aparecem associados a estas estruturas, são facilmente esboroados e menores. Os agregados físicos

também são mais frágeis e apresentam formas geométricas angulosas (TOPOLIANTZ; PONGE; VIAUX, 2000; VELÁSQUEZ et al., 2007).

Figura 4.82 – Cubo de 10x10x10 cm para o levantamento da morfologia dos agregados (foto do autor)

Figura 4.83 – Cubo de 10x10x10 cm para o levantamento da morfologia dos agregados (foto do autor)

No solo do horizonte A do topo, os agregados biogênicos (AB) e os de raízes (AR) compõem 62% da massa do solo. A massa da matéria orgânica (MO) correspondia a 22% do total. Na camada adjacente (B), havia bem menos matéria orgânica, pois a influência das raízes e da serrapilheira era menor, contudo os agregados biogênicos eram abundantes e formavam 69% da massa do solo. No último volume de solo do topo (BC), o material era compacto, sem fragmentos soltos e 64% de sua massa era de agregados físicos (AF) e 36% de rochas (R). Nota-se um aumento significativo na massa do solo coletado com os cubos entre os horizontes A (218 g) e B (999 g). O horizonte BC tinha massa similar ao B (1.001 g).

Figura 4.84 – Exemplos de agregados de raiz (foto do autor)

Figura 4.85 – Exemplos de agregados de raiz (foto do autor)

Figura 4.86 – Agregados físicos (horizonte BC do topo) (foto do autor)

Figura 4.87 – Agregado físico com formato anguloso e feições hidromórficas e oxidativas no horizonte BCg da meia encosta (foto do autor)

A quantidade de matéria orgânica no horizonte superficial (A) da meia encosta (46,13 g) foi muito parecida com aquela encontrada no solo do topo (47,81 g). O solo não agregado (SNA) e os agregados físicos correspondiam a 41% da massa total. Os agregados biogênicos, de raízes e a matéria orgânica eram responsáveis por 54% da massa. Havia uma pequena quantidade de rochas (5%). No horizonte adjacente (BCg), 97% da massa era formado por um material compactado, sem estrutura aparente, exceto nos coprólitos (3%), claramente discerníveis nesta camada. A quantidade do solo não agregado também foi alta no horizonte BC (92%) e o restante da massa (8%) era de rochas. O horizonte A da meia encosta também tinha uma massa elevada, com 1.160 g. Os horizontes BCg e BC da meia encosta possuíam 1.517 g e 1.715 g, respectivamente.

No sopé, são as raízes que mantêm a maior parte da agregação do solo (47% da massa) no horizonte A. Os agregados biogênicos (18%) são pouco discerníveis e, dada a elevada umidade do ambiente, dificilmente secam e se estabilizam no solo. Os agregados físicos e o solo não agregado formam 18% da massa nesta camada. O horizonte A do sopé apresentou quase o dobro da massa em matéria orgânica (82,02 g), comparado ao A da meia encosta e do sopé. A massa do horizonte A do sopé (894,52 g) era mais leve do que o horizonte A da meia encosta (1.160,08 g) e bem mais pesada do que o horizonte A do topo (218,12 g). O horizonte E era composto basicamente por areia e seu volume era formado por solo não agregado, este cubo apresentou a maior massa (1.634,19 g).

Tabela 4.8 – Resumo da massa, em gramas, do cubo de solo e das estruturas encontradas em cada horizonte

	Horizonte	AF	AB	AR	SNA	R	MO	Total (g)
TOPO	A		82,18	54,14	32,49	1,50	47,81	218,12
	B		685,25	42,30	259,67		11,82	999,04
	BC	636,56				364,35	0,23	1.001,14
ME	A	340,86	416,76	166,00	135,71	54,63	46,13	1.160,08
	BCg		38,60		1.478,71		0,59	1.517,89
	BC				1.584,08	131,62		1.715,70
SOPÉ	A	87,69	158,29	424,99	141,53		82,02	894,52
	E				1.626,60	5,39	2,20	1.634,19

A separação entre as morfologias dos agregados nem sempre é evidente. Em alguns casos, os agregados biogênicos, de raízes e os físicos se confundem, pois há no solo um processo contínuo de formação e destruição destas estruturas por processos biológicos, físicos e químicos. Às vezes, o produto final pode apresentar características de mais de uma categoria (AB, AR, AF, R, MO, SNA). Basta considerar que é possível verificar estruturas nos perfis de solo que são resultado de dinâmicas ambientais pretéritas, como as concreções ferruginosas encontradas nos horizontes BC do topo e da meia encosta, e que, na maior parte das vezes, o processo de agregação é poligenético.

Contudo a técnica é simples, de fácil execução e apresenta resultados interessantes, fornecendo um bom panorama sobre as estruturas do solo quando relacionadas a outras observações sobre a atividade biológica e sobre a dinâmica dos solos a partir da descrição morfológica tradicional. Como foi constatado no topo da vertente, há uma atividade significativa da fauna abaixo dos primeiros 10 cm do solo. Portanto, pode ser interessante aplicar esse procedimento nos demais horizontes em profundidade e não apenas na superfície do solo, como sugerem os autores.

Por um lado, a retirada dos cubos parece ser eficiente em volumes muito uniformes, pois o conteúdo presente nesse volume cúbico da amostra pode ser extrapolado para todo o horizonte ou camada. Contudo, nas camadas pouco homogêneas, onde há um processo atual de homogeneização dos horizontes pela ação da fauna, a técnica isolada, sem a descrição morfológica completa do solo, não explica a complexidade da dinâmica das estruturas biogênicas com o resto do perfil.

Os registros da atividade biológica podem representar uma pequena porcentagem em relação ao volume do cubo, mas têm uma importância maior no

contexto da cobertura pedológica. Isso foi observado no horizonte hidromórfico da meia encosta (BCg). A proporção em peso dos coprólitos em relação ao peso total do cubo é muito pequena (3%), mas o papel que estes agregados desempenham naquele perfil, em associação com os bioporos, do ponto de vista da pedogênese, é muito grande: favorecimento da troca gasosa e da circulação de soluções, incorporação de matéria orgânica em profundidade e homogeneização do horizonte A e do horizonte BCg.

Quanto ao processo de agregação promovido pelos anelídeos, as estruturas podem permanecer ou não estáveis no solo em função do regime hídrico. Por mais que as minhocas sejam mais abundantes no sopé do que nos outros setores, como apresentamos ao discutir as densidades populacionais nos três setores da vertente, seus agregados não se conservam naquele solo, enquanto registro de suas atividades metabólicas de alimentação/dejeção. Eles se desintegram antes de atingirem a estabilidade, tamanha a influência da umidade neste setor.

No momento em que são expelidos, esses materiais ainda estão muito umectados (Figura 4.88 e Figura 4.89). Se essas dejeções são feitas em local seco, elas se estabilizam e são conservadas no solo, tornando-se componentes estruturais importantes. Deste modo, o regime climático, a sazonalidade, com a possível alternância de estação seca e úmida, além da dinâmica da água na cobertura pedológica, determinam a persistência dos agregados biogênicos ou a sua desintegração.

Figura 4.88 – Dejeção fresca em um agregado (foto do autor)

Figura 4.89 – Minhoca expelindo solo úmido na minha mão (foto do autor)

Figura 4.90 – Coprólito na meia encosta se desfazendo pela ação da umidade do ambiente (foto do autor)

Figura 4.91 – A umidade do ambiente não permite a estabilização de um coprólito depositado na superfície do solo no sopé, sobre a serrapilheira (foto do autor)

Os processos hidrogeoquímicos de dissociação dos agregados são mais atuantes no terço inferior da vertente (Figura 4.91), que tem mais água do que na parte superior. Neste local, os agregados biogênicos são mantidos parcialmente, ainda que possam ser fragmentados por processos físicos (de hidratação/dissolução e ressecamento) e biológicos (quando são escavados e fraturados por outros organismos), resultando, assim, na estrutura granular muito abundante e característica do solo do topo.

Ruellan, Dosso e Fritsch (1989) e Ruellan e Dosso (1993) agruparam quatro níveis de organização da cobertura pedológica: as organizações elementares, as assembleias, os horizontes e os sistemas pedológicos, que correspondem, respectivamente, aos agregados, ao conjunto de morfoestruturas, à visão vertical e à visão lateral do solo na paisagem. Com base nas observações e descrições feitas até aqui, podemos afirmar que a atividade das minhocas está, de algum modo, presente em todos esses níveis ao longo da vertente, transformando os materiais a partir de seus metabolismos.

4.4 Atributos físicos e químicos

4.4.1 Densidade do solo

Os horizontes A ($0,52 \text{ g/cm}^3$) e B ($0,83 \text{ g/cm}^3$) do topo, e o A ($0,74 \text{ g/cm}^3$) do sopé foram os que apresentaram as menores densidades da vertente. Estes valores são próximos às densidades dos solos húmicos e devem-se à matéria orgânica abundante nestas camadas. Os horizontes A e BCg da meia encosta apresentaram densidades muito similares de 1 g/cm^3 e $1,17 \text{ g/cm}^3$, com um aumento para $1,64 \text{ g/cm}^3$ no horizonte BC, que apesar de ter menos areia do que os demais horizontes deste perfil (A e BCg), é bastante compactado. A maior densidade no horizonte E do sopé ($1,72 \text{ g/cm}^3$) deve-se ao peso das partículas de areia, que compõem 90% de seu volume (Tabela 4.9).

4.4.2 Umidade do solo

No topo, há um aumento na umidade no horizonte B (36%) em relação ao A (31%), seguido pelo BC (27%), mais seco. Na meia encosta, ocorre uma queda na umidade entre os horizontes superficiais A e BCg (30% e 26%, respectivamente), chegando a apenas 14% no horizonte BC. Já no sopé, o horizonte A é o que possui a maior umidade da vertente (39%), contrariamente, o horizonte subjacente (E) teve a menor umidade (11%), dado o material arenoso que o compõe e que não tem a capacidade de retenção de água (Tabela 4.9).

Tabela 4.9 – Atributos físicos (densidade e umidade) obtidos com os anéis volumétricos

Setor	Horizonte	Umidade Gravimétrica (%)	Umidade Volumétrica (%)	Densidade (g/cm^3)
TOPO	A	31,5	40,6	0,526
	B	36,8	58,6	0,831
	BC	27,1	49,6	1,108
ME	A	30,7	55,3	1,033
	BCg	26,6	51,6	1,169
	BC	14,8	35,6	1,641
SOPÉ	A	39,5	60,0	0,740
	E	11,0	27,4	1,720

4.4.3 Granulometria

Com base na descrição morfológica e nas análises granulométricas dos horizontes ao longo da vertente (Tabela 4.10), os solos têm textura arenosa. Os horizontes A2 e B do topo foram os que apresentaram as menores porcentagens de

areia (com 53% e 55%, respectivamente) e as maiores porcentagens de argila (20% e 17%, respectivamente). Este setor foi o que apresentou a maior quantidade de materiais finos na vertente. Chama atenção a quantidade de areia no horizonte A1 do topo (62%), valor mais elevado do que o encontrado no horizonte de alteração BC do mesmo perfil (60%).

Os coprólitos analisados têm quantidades de areia muito similares a dos horizontes superficiais (A e BCg) do perfil no qual se encontram na meia encosta, porém o horizonte BCg tem um pouco mais de argila do que as dejeções. Neste caso, não há uma seletividade em relação ao tamanho das partículas sólidas do solo por parte dos organismos. Porém, como consideramos apenas a areia total, seria interessante analisar suas demais frações (muito grossa, grossa, média, fina e muito fina) para ver se há uma preferência em relação ao tamanho das partículas consumidas pelas minhocas.

Darwin (1881) assinala que o consumo de areia é comum entre minhocas grandes e que estes materiais têm o papel de ajudar a fragmentar, através do atrito no interior do trato digestivo, a matéria orgânica, auxiliando em sua digestão. Também é bastante razoável que para minhocas menores esta seleção granulométrica seja mais evidente, apesar de não termos realizado análises granulométricas das dejeções de tamanho pequeno nesta ocasião.

Em geral, há um aumento do teor de areia e um decréscimo dos teores de silte e argila do topo à meia encosta. Os horizontes A e E do sopé são compostos por 84% e 90% de areia respectivamente, sendo os volumes com a granulometria mais grosseira da vertente.

Tabela 4.10 – Dados da granulometria e da classe textural dos horizontes estudados e dos coprólitos

Setor	Horizontes	AT (g/kg)	Silte (g/kg)	Argila (g/kg)	Classe de Textura
TOPO	A1	623	250	126	arenosa
	A2	531	267	203	média-arenosa
	B	553	269	178	média-arenosa
	BC	602	246	152	média-arenosa
ME	A	730	194	76	arenosa
	BCg	717	185	98	arenosa
	Coprólitos	723	200	76	arenosa
	BC	679	169	152	média-arenosa
SOPÉ	A	847	102	50	arenosa
	E	903	60	37	arenosa

4.4.4 Atributos químicos

Os atributos químicos, apresentados na Tabela 4.11, indicam que todos os solos são fortemente ácidos, com pH abaixo de 4,8. O valor de pH mais baixo ocorreu no horizonte A1, com 3,8. A saturação por Al é, em geral, maior que 84%, exceto no horizonte A do sopé (35%) e nos coprólitos (64%) do horizonte BCg da meia encosta, caracterizando toxidez por esse elemento. A saturação por bases é muito baixa, com o maior valor no horizonte A do sopé (11%), seguido pelos coprólitos (7%). Os teores de matéria orgânica foram elevados no horizonte A1 do topo (213 g/kg), depois no A do sopé (196 g/kg) e, em seguida, nos coprólitos (133 g/kg). Estes têm mais matéria orgânica do que o horizonte A deste perfil (44 g/kg), o que denota a eficiência de determinados grupos ecológicos de anelídeos em incorporar matéria orgânica no interior do solo. Os valores de matéria orgânica mais baixos foram registrados nos horizontes E do sopé (5 g/kg) e BCg da meia encosta (15 g/kg). As dejeções das minhocas também apresentaram a CTC mais alta, comparada aos horizontes do perfil da meia encosta, o que se deve ao seu caráter orgânico e húmico.

Tabela 4.11 – Atributos químicos dos perfis estudados e das dejeções (coprólitos)

	TOPO				MEIA ENCOSTA				SOPÉ	
Horizontes	A1	A2	B	BC	A	BCg	dejeções	BC	A	E
pH H ₂ O	3,8	4,1	4,7	5,1	4,4	4,8	4,8	4,8	4,2	5,4
pH KCl	3,3	3,9	4,3	4,5	3,8	4	3,6	4,1	3	3,7
MO (g/kg)	213	58	46	27	44	15	133	8	196	5
P (mg/kg)	4	2	2	2	3	2	5	1	47	1
K ⁺ (cmolc/kg)	2	0,9	0,5	<0,3	0,9	<0,3	0,7	<0,3	4,1	<0,3
Ca ²⁺ (cmolc/kg ¹)	<2	<2	<2	<2	<2	<2	7	<2	9	<2
Mg ²⁺ (cmolc/kg)	9	2	1	<1	2	<1	5	<1	29	<1
Al ³⁺	86	44	27	11	20	11	23	9	23	<1
H+Al (cmolc/kg)	348	212	163	88	106	45	158	31	326	<10
SB (cmolc/kg)	12	2,9	1,5	0,2	3,9	0,2	12,7	0,2	42,1	0
CTC (cmolc/kg)	360	214,9	164,5	88,2	109,9	45,2	170,7	31,2	368,1	4
V (%)	3	1	1	0	4	0	7	1	11	0
m (%)	88	94	95	98	84	98	64	98	35	0

Como pode ser visto na Tabela 4.11, o horizonte A do sopé apresentou os maiores valores para os nutrientes potássio e magnésio (29 e 4,1 mmol/kg), seguido pelo A1 do topo (9 e 2 mmol/kg) e depois pelos coprólitos (5 e 0,7 mmol/kg) do BCg da meia encosta. Já para os elementos cálcio e fósforo, também houve um pico no horizonte A do sopé (9 mmol/kg e 47 mg/kg), seguido pelos coprólitos para o cálcio (7 mmol/kg), e pelos coprólitos e horizonte A1 do topo para o fósforo (5 e 4 mg/kg).

4.4.5 Análise da serrapilheira

Tabela 4.12 – Análises físicas da serrapilheira e da matéria orgânica total (ESALQ)

	TOPO		MEIA ENCOSTA		SOPÉ	
	Base Seca (65 °C)	Base Úmida	Base Seca (65 °C)	Base Úmida	Base Seca (65 °C)	Base Úmida
pH (CaCl₂ 0,01 M)	-	5,1	-	5	-	4,8
Densidade (g/cm³)	-	0,08	-	0,11	-	0,13
Umidade (60 - 65°C)	-	16,38%	-	34,43%	-	53,71%
Umidade (110°C)	-	7,04%	-	5,32%	-	3,99%
Umidade Total	-	23,42%	-	39,75%	-	57,70%
Resíduo Mineral Insolúvel	2,14%	1,79%	4,09%	2,68%	0,99%	0,46%
Resíduo Mineral	2,00%	1,67%	3,77%	2,47%	3,35%	1,55%
Resíduo Mineral Total	4,14%	3,46%	7,85%	5,15%	4,34%	2,01%
MO Total	87,44%	73,12%	84,03%	55,10%	87,04%	40,29%

Tabela 4.13 – Análise dos nutrientes da serrapilheira, em dag/kg (UFV)

	TOPO	ME	SOPÉ
N	2,009	2,04	1,406
P	0,061	0,077	0,061
K	0,154	0,183	0,198
Ca	0,644	1,069	1,481
Mg	0,259	0,276	0,342
S	0,21	0,276	0,2
C	54,783	51,719	54,931
C/N	27,27	25,35	39,07

Quanto as análises da serrapilheira acumulada (Tabela 4.12 e Tabela 4.13), observa-se a diminuição do pH e o aumento da densidade e da umidade no material vegetal do topo em direção ao sopé. Percebe-se, ao mesmo tempo, na análise dos

nutrientes, o aumento na quantidade dos elementos potássio, cálcio e magnésio longitudinalmente na encosta, atingindo os maiores valores no sopé. Este setor apresenta a maior relação C/N da vertente, indicando que a decomposição da matéria orgânica e o processo de mineralização são mais lentos.

4.5 Interpretação de alguns processos pedológicos face aos dados levantados

Conforme visto na descrição morfológica (**4.2 Caracterização geral da vegetação, da serrapilheira e dos solos em campo**), a encosta apresenta condições ambientais características e solos com propriedades distintas em cada posição topográfica. Esta diferenciação também ocorre na cobertura vegetal, o que já havia sido descrito por Rossi (1999). A quantidade de líquens e musgos presentes nos troncos das árvores, a abundância de bromeliáceas no sopé, assim como as feições hidromórficas em alguns horizontes pedológicos são indicadores da maior quantidade de água presente na atmosfera e no solo do terço inferior da vertente.

A variedade de espécies vegetais com constituição de dossel e ciclo de vida específicos acarreta em diferentes padrões de disponibilização de material, que é utilizado como alimento e abrigo, conduzindo à especialização funcional da biota do solo (ANTONIOILLI et al., 2006).

Figura 4.92 – Massas de ar carregadas de umidade chegam várias vezes ao dia, alterando a visibilidade na área de estudo (foto do autor)

Como pôde ser observado nos dados climatológicos apresentados na Figura 3.5 e na Figura 3.6 (**3 CAMINHOS DA PESQUISA**), a EBB está inserida em uma região com elevados índices de precipitação. No ano de 2015, choveu 2.451 mm e a média dos últimos cinco anos foi de 2.211 mm. Apesar de o local apresentar uma diminuição das chuvas no período do inverno, não há déficit hídrico em nenhuma estação. Alguns autores destacam a presença de nevoeiro e garoa que elevam a umidade nas baixadas das vertentes dessa região (KUHLMANN, 1953; COUTINHO 1962; RIZZINI 1979). Soma-se a essa maior umidade atmosférica no sopé, a umidade do solo, que aumenta na direção da várzea em função do fluxo hídrico lateral.

Figura 4.93 – Água barrenta que preencheu a trincheira da meia encosta após um dia de chuva (foto do autor)

Figura 4.94 – Água rica em matéria orgânica e de coloração escura que preencheu a trincheira do sopé após um dia de chuva (foto do autor)

Por um lado, a distribuição das comunidades de minhocas é um produto da dinâmica dos solos ao longo da vertente, tendo em vista que as restrições físicas e químicas podem condicionar a reprodução de suas populações (KRETZSCHMAR; MONESTIEZ, 1992). Contudo, por apresentar um comportamento metabólico ativo, na medida em que criam agregados, movimentam materiais sólidos minerais e orgânicos e abrem espaços para circulação atmosférica e hídrica, os anelídeos também acabam por modificar o meio natural, favorecendo inclusive a alimentação, a locomoção e a respiração de outros organismos, participando assim de modo decisivo na evolução da cobertura pedológica.

Suas dejeções têm morfologias semelhantes aos agregados granulares e grumosos dos horizontes superficiais, que são constituídos de matéria orgânica muito fragmentada associada aos componentes minerais do solo. A quantidade de nutrientes nestas estruturas ou é muito similar, ou, para alguns elementos, superior

a quantidade encontrada nos horizontes superficiais, indiciando o enriquecimento do solo em profundidade através da incorporação de matéria orgânica, o que torna propício o desenvolvimento vegetal.

4.5.1 Topo

Em nossa área de estudo, observamos que, no topo, uma porção do sistema radicular se desenvolve na serrapilheira que ainda não foi totalmente decomposta, tamanha a eficiência na ciclagem dos nutrientes. Na zona tropical, a diversidade biológica e a elevada produção de biomassa proporcionam uma rápida assimilação dos elementos químicos e quase todos os nutrientes são reaproveitados (TOWNSEND, 2008).

Toutain (1984) observa dois tipos de aportes vegetais ao solo: o foliar e o radicular. Este é formado por tecidos mortos que coexistem com as raízes vivas. Nas raízes velhas, a relação C/N é muito alta. Já em raízes finas esta relação é próxima de 20. Quando vivas, estas estruturas produzem polissacarídeos que conduzem à atividade da microflora e também “são responsáveis por uma certa estruturação do solo” (1984, p. 254).

Quanto aos aportes foliares, as análises físicas da serrapilheira explicitam a menor umidade do material vegetal no topo. Em condições aeróbicas, a matéria orgânica do solo é instável e oxida, gerando como produto água e dióxido de carbono. Durante a transformação da liteira, ocorre a combinação de dois processos antagônicos: na mineralização ocorre a redução dos materiais vegetais para os componentes minerais e na humificação são formados compostos altamente polimerizados e resistentes a degradação (PREVOT, 1970 apud BACHELIER, 1978; SCHAETZL & ANDERSON, 2005).

Durante o processo de decomposição, uma parte dos nutrientes (N, P, K, Ca e S) é liberada na forma iônica, NH_4^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} e SO_4^{2-} , podendo ser prontamente assimilados pelas plantas outra vez (VAN BREEMEN & BUURMAN, 2002). Grande parte da matéria orgânica do solo é mineralizada com a formação desses solutos inorgânicos. O que não é reabsorvido pelas plantas é levado com a drenagem. Deste modo, a maior parte dos nutrientes retorna ao solo via serrapilheira e se concentra nos primeiros horizontes do perfil. Porém, quando há bioturbação, esses elementos também podem ser transportados para zonas mais profundas, como foi visto nas análises químicas dos coprólitos (Tabela 4.11).

Uma parte menor da matéria orgânica é transformada em húmus. Temperaturas quentes e umidade elevada são fatores que contribuem com a formação desse material amorfo. A fauna do solo está diretamente ligada ao processo de humificação e as minhocas são um dos grupos mais eficazes na biodegradação foliar (TOTAIN, 1981). Ácaros, isópodes e diplópodes também contribuem com a quebra do material vegetal superficial. Alguns organismos, como os colêmbolos, podem se alimentar das dejeções da macrofauna, fragmentando esses macroagregados biogênicos em estruturas menores (RUSEK, 1985). De acordo com Schaetzl e Anderson, “múltiplos ciclos de ingestão, fragmentação, mistura e excreção devem ocorrer para que toda a liteira esteja finamente dividida” (2005, pg. 45). Na ausência da fauna, a serrapilheira também se degrada, liberando nutrientes no processo, contudo esses elementos são mais facilmente lessivados, pois sob a ação dos organismos eles são repartidos no solo, via pedoturbação, e parcialmente estocados no interior das bioestruturas (BACHELIER, 1978).

No que tange à morfologia dos agregados, observa-se um aumento do tamanho das estruturas em profundidade. Além do solo bem estruturado, uma característica marcante é a presença de um sistema radicular bastante denso, possivelmente um terço do perfil corresponde às raízes. Estas só são menos abundantes no horizonte BC.

Observamos algumas características interessantes, como a presença de um horizonte A1 de coloração preta, formado por agregados submilimétricos. Esta estrutura microagregada está associada à atividade da mesofauna do solo, como ácaros e colêmbolos, que atuam no processo de fragmentação e decomposição da matéria orgânica acumulada (TOTAIN, 1981).

Lavelle e Spain (2005) descrevem que as dejeções da mesofauna são morfologicamente instáveis, muito ácidas e que, ao entrarem em contato com as soluções do solo, elas liberam ácidos orgânicos que contribuem com o intemperismo, deixando como subproduto um material residual de textura arenosa. A quantidade de areia encontrada no horizonte A1 com as análises granulométricas (Tabela 4.10) pode estar relacionada a este fenômeno.

A partir do horizonte A2 (bruno muito escuro), os agregados ficam maiores, em especial no horizonte B (bruno acinzentado muito escuro). Lavelle e Spain op. cit., também relatam que os agregados produzidos pela macrofauna são mais estáveis e impedem a lixiviação dos nutrientes que permanecem preservados no

interior dessas estruturas. Já o horizonte BC (bruno-amarelado) recebe um pouco menos de influência da matéria orgânica (Tabela 4.11).

O solo é muito bem drenado, bastante poroso e as cores dos horizontes de matiz preta ou bruno (10 YR) indicam condições oxidativas. Não há nenhum mosqueamento ou feições hidromórficas. Nessas condições de estabilidade, os processos físicos e químicos não são tão agressivos na destruição das estruturas biogênicas (macroagregação), permitindo que elas permaneçam no perfil.

A fauna do solo exerce papéis importantes como a criação de bioporos (canais, câmaras) que favorecem a infiltração da água, reduzindo o escoamento superficial e consequentemente a erosão (EDWARDS & SHIPITALO, 1998). Suas dejeções contribuem com a agregação do solo e seus metabolismos atuam diretamente na decomposição da serrapilheira e na incorporação da matéria orgânica aos horizontes minerais. Os coprólitos também mantêm uma certa fertilidade do perfil, uma vez que a maior parte da circulação hídrica ocorre nos interstícios dos bioagregados, impedindo a perda dos nutrientes do interior dos excrementos (VAN BREEMEN & BUURMAN, 2002).

A maior quantidade de minhocas encontradas a partir dos 20 cm de profundidade no topo pode estar relacionada a maior umidade desta camada, assim como a maior quantidade das frações finas encontradas no volume do solo. Nesta posição topográfica, diferentemente dos outros setores, não foi encontrado nenhum representante ou registros no solo da atividade de minhocuçus (dejeções ou canais), sendo possível que estes animais só ocorram no terço inferior da vertente.

4.5.2 Meia Encosta

Neste setor, é notável a influência da flora no solo. Por um lado, o sistema radicular da vegetação desempenha uma força contrária aos processos erosivos superficiais, na medida em que as plantas funcionam como uma barreira contentora que impede o transporte longitudinal de minerais e de matéria orgânica do topo em direção ao sopé. Por conta da declividade acentuada, a energia de transporte é alta.

Por outro lado, a queda de árvores promove um intenso revolvimento do solo, com a criação de cavidades e a formação de montículos de terra compostos por materiais provenientes de diferentes horizontes do perfil. Esse fenômeno é típico de ambientes florestais e tem um impacto maior quando as árvores caem com suas raízes mais ou menos intactas, carregando em suas estruturas pivotantes um

considerável volume de solo (JOHNSON, 1990). Isso acaba gerando buracos no local e também um revolvimento de materiais subsuperficiais que vão parar na superfície do solo, inclusive fragmentos rochosos grandes, que são comuns neste setor da vertente (Figura 4.95).

Figura 4.95 – Exemplo de floraturbação com o tombamento de uma árvore e soerguimento do material do solo preso às raízes, deixando um buraco no local (foto do autor)

A floraturbação é um processo de movimentação e mistura do solo promovido pela vegetação. Ela pode ocorrer em diversos níveis: com a expansão das raízes, com o desmoronamento ou preenchimento de seus canais, com a perturbação dos volumes do solo a partir da agitação das partes aéreas das plantas, promovida pelo vento e pelo desenraizamento gerado com o tombamento de árvores (SCHAETZL, 1986; 1990).

O horizonte superficial do solo (A), vermelho-escuro-acinzentado (2,5 YR 3/2), é mais poroso, dada sua estrutura formada por agregados granulares, e permite a circulação de soluções. O horizonte BCg, sem estrutura aparente e menos permeável, encontra-se sob regime de saturação sazonal indicado pela cor cinzento-esverdeado-escuro (gley: 4/10Y) e corroborado pelos dados de precipitação apresentados sobre a área, no qual a quantidade de chuvas é significativa, atrelado ao fato de não haver déficit hídrico. Presume-se que as precipitações drenam no

solo do topo e são translocadas lateralmente ao longo da meia encosta através de um lençol suspenso localizado no topo do horizonte BC, bruno avermelhado (2,5 YR 5/3), de textura média-arenosa, mais denso e com menos umidade (Tabela 4.9 e Tabela 4.10).

A mudança de cor entre os três volumes (A, BCg e BC) evidencia a dissolução e a perda de ferro, na forma reduzida, nos horizontes superficiais, assim como a transformação vertical da estrutura do solo com a passagem de uma camada com agregados granulares (A) para uma forma mais maciça (BCg e BC), sugerindo a alteração estrutural causada pela perda dos óxidos de ferro a partir do topo do BC. Este apresenta restrições ao fluxo vertical de soluções, tornando a circulação lateral importante.

O fenômeno de gleização é muito característico nos horizontes superficiais, tendo em vista que a demanda por oxigênio pela atividade biológica diminui em profundidade. Ainda que ele seja mais comum em solos de textura fina, que dificultam a difusão do oxigênio através da troca gasosa com a atmosfera, ele também pode ocorrer em solos de textura arenosa, que têm uma superfície específica menor, fazendo com que os materiais sejam reduzidos mais rapidamente (SCHAETZL & ANDERSON, 2005).

A quantidade de matéria orgânica presente nas dejeções encontradas é o dobro da soma da matéria orgânica de todos os horizontes do perfil (Tabela 4.11), o que pode impulsionar a atividade microbiológica. Ao mesmo tempo, o solo é muito ácido e apresenta condições redutoras que limitam parcialmente a respiração dos organismos, que são os principais consumidores do oxigênio disponível nos poros ou dissolvidos na água do solo.

Em solos com baixa capacidade de difusão de gases e nos quais a disponibilidade de oxigênio é menor que seu consumo pela biota, se houver presença de Fe (III), Mn (IV) e Mn (III), por meio de reações bioquímicas, estes cátions podem ser reduzidos (ganhando elétrons) pela atividade dos micro-organismos heterótrofos e anaeróbicos, passando à forma Fe (II) e Mn (II). Na ordem de redução, encontram-se: nitrato, manganês, ferro e sulfatos (VAN BREEMEN & BUURMAN, 2002). Segundo Robert e Berthelin, o ciclo geoquímico do Fe é majoritariamente um ciclo biológico (1986).

Ao contrário do Fe (III), que é imóvel, o Fe (II) pode ser translocado na solução do solo pela gravidade ou pela capilaridade, podendo reoxidar e precipitar

novamente na presença de oxigênio em outra camada do solo ou em outro local distante de onde foi reduzido/mobilizado (ROSSI; QUEIROZ NETO, 2002). Concentrações de Fe (III) e Mn (IV) podem ocorrer ao longo dos poros do solo, como ocorreu nas paredes dos canais de anelídeos, registrados no horizonte BCg hidromórfico, deste setor topográfico, com mosqueados abundantes de tamanho médio a grande nas cores vermelho-amarelado (5YR 4/6) e bruno-avermelhado-claro (2,5YR 7/4).

Darwin (1881) e Müller (1887) relataram que elementos oxidados passam à forma reduzida e se tornam acinzentados após passarem pelo trato digestivo das minhocas. Por estes motivos, a atividade das minhocas pode estar contribuindo com o processo biogeoquímico de redução dos materiais e com perda de ferro, ao mesmo tempo em que a rede de galerias que elas fazem ao longo do perfil possibilitam, de um lado, a drenagem mais rápida das soluções e, de outro, a oxidação dos elementos através da troca gasosa que promovem com a atmosfera.

Assim como no solo do topo, nesta condição topográfica, só encontramos minhocas pequenas. Contudo, o registro da atividade de minhocuçus é amplamente difundido através de canais e dejeções muito grandes (como descrito na parte **4.3 Estruturas e feições biogênicas no solo**). Estes organismos atuam na homogeneização do horizonte A e BCg, incorporando material vegetal neste último, consistindo em uma bioturbação proisotrópica.

4.5.3 Sopé

O solo do sopé apresenta uma sucessão com três volumes bastante distintos. As análises químicas apresentaram elevada relação C/N para o material vegetal acumulado no horizonte O (Tabela 4.13). A umidade total da serrapilheira do sopé é 2,5 vezes maior do que no topo (Tabela 4.12). Ambientes muito úmidos retardam a decomposição da matéria orgânica, o que torna o solo bastante ácido, diminuindo a atividade microbiológica (BUURMAN, 1984).

Abaixo do horizonte A, de textura arenosa e cor preta (10YR 2/1), jaz uma camada acinzentada (10YR 6/1), com mineralogia dominada por grãos de quartzo que perderam o revestimento dos óxidos de Fe e da matéria orgânica, e onde os íons mono e bivalentes foram lixiviados, apresentando a soma de bases nula (Tabela 4.11).

Este ambiente geoquímico de alteração provoca a solubilização dos minerais secundários através da acidólise (MELFI; PEDRO, 1978). Os ácidos orgânicos podem destruir os silicatos através desse processo (LAVELLE; SPAIN, 2005). A base do horizonte E, tem um limite irregular, com a formação de pequenas línguas. Ao longo dessas línguas, a coloração do solo é mais escura e o volume abaixo está bastante cimentado (Figura 4.53).

Nas condições restritivas de pH baixo (Tabela 4.11 e Tabela 4.12) e umidade elevada (Tabela 4.9), os ácidos orgânicos solúveis de baixo peso molecular formam quelatos com o Fe (III) e o Al (III) que, uma vez em solução, tornam-se mobilizáveis no perfil do solo. Estes compostos organometálicos são então translocados de uma zona eluvial e em seguida imobilizados novamente no topo do horizonte B (DE CONINCK, 1980; LUNDSTRÖM et. al., 2000). Os ácidos de baixo peso molecular são em grande parte produtos de secreções orgânicas, seja da flora ou da fauna (ROBERT; BERTHELIN, 1986). De acordo com Lavelle; Spain “o dióxido de carbono produzido pela respiração e através de outros processos metabólicos pode promover a hidrólise ácida, a alcalinização, a oxido-redução ou ácido complexissólise” (2005, p. 159).

A podzolização é um fenômeno comum em ambientes com clima frio, onde a atividade biológica do solo é baixa por conta das temperaturas, e sob vegetações que produzem substâncias de longa residência e de difícil decomposição (SCHAETZL & ANDERSON, 2005, BUURMAN, P.; JONGMANS 2005). Contudo, os elevados índices de precipitação (Figura 3.5 e Figura 3.6) associados a um lençol freático alto, dada à posição na vertente, assim como os volumes arenosos encontrados na granulometria (Tabela 4.10), que têm baixa capacidade em neutralizar os ácidos orgânicos quelatizantes, que por sua superfície específica menor são mais facilmente desprovidos dos íons metálicos oxidáveis que os recobrem, são fatores que favorecem a perda de nutrientes e o transporte do ferro, do alumínio e dos solutos orgânicos no perfil do sopé, dando origem à sucessão dos horizontes observada nesta posição topográfica, mesmo na região tropical.

Figura 4.96 – O ferro que é dissolvido e translocado ao longo da vertente aflora na água, com cor metálica, no solo do sopé (foto do autor)

Langmaid (1963) relatou a invasão de minhocas em Espodossolos ácidos e virgens da América do Norte, indicando sua tolerância a ambientes com o pH baixo, e também demonstrou o desaparecimento dos horizontes orgânicos antes acumulados sobre estes solos, assim como um intenso processo de bioturbação que provocou o espessamento, com estrutura grumosa, e o escurecimento do horizonte A pela ação desses vermes. Björkhem e Jongerius [19--] observaram a influência dos anelídeos na macroporosidade do horizonte B espódico de solos da Suécia, assim como na macroagregação do horizonte organomineral superficial.

Mafra et. al. (2002), ao estudar a transformação de um Latossolo em Espodossolo na região equatorial, destaca o papel das minhocas na gênese do horizonte A da planície hidromórfica do rio Negro (Amazonas). No presente estudo, foi observado que o horizonte A é fortemente influenciado pela atividade dos anelídeos. Apesar de o solo ser bastante ácido, ele também é muito úmido e possui maiores teores de nutrientes comparado com os outros três setores da vertente, o que pode estar influenciando na distribuição desses organismos nesta posição topográfica.

Entre os horizontes O e A, a bioturbação é proisotrópica, na medida em que a liteira é biodegradada pela ação das oligoquetas, causando a uniformização dessas duas camadas. Por outro lado, como estes animais estão concentrados nos

primeiros 10 cm do solo, eles efetuam uma pedoturbação proanisotrópica, na medida em que retrabalham de maneira contínua o horizonte A, sem afetar diretamente o horizonte eluvial subjacente.

Cabe aqui ressaltar que o estudo dos agregados biogênicos por si só não forneceria indicativos da atividade das minhocas no solo do sopé. A pluviosidade anual e a umidade elevadas atuam na dissociação dessas estruturas superficiais que, enquanto não secam e atingem a estabilidade, ficam sujeitas a desagregação face a ação da água e do tempo, tendo em vista também que são compostas por granulometrias arenosas. As maiores quantidades de areia nos solos do terço inferior da vertente podem estar, de algum modo, relacionadas com a maior atividade da pedofauna nesta área, uma vez que, segundo o Serviço de Levantamento de Solo americano, “se um biomanto foi retrabalhado muitas vezes, a perda de argila pode ser significativa” (SOIL SURVEY STAFF, 1975, p. 21 apud JOHNSON, 1990).

Enfim, ao avaliar a distribuição e a atividade de minhocas, atribuímos a estes organismos a função de importantes fatores pedogenéticos. As oligoquetas alteram a estrutura e a composição dos solos na vertente, modificando-o física e quimicamente. O comportamento construtor, observado na abertura de canais e na produção de dejeções, promove a aeração, a circulação hídrica, o deslocamento de materiais orgânicos e minerais e a formação de agregados, contribuindo de forma significativa com o desenvolvimento e transformação das formações superficiais. Portanto, o metabolismo das oligoquetas cria estruturas que impõem dinâmicas próprias no nível dos agregados, das morfoestruturas, dos horizontes ou camadas verticais e da sucessão lateral dos solos na vertente.

5 CONCLUSÕES

“A vida não é um fenômeno externo ou acidental da crosta terrestre. Ela está intimamente ligada à estrutura da crosta, faz parte de seu mecanismo e cumpre funções de primordial importância para a existência deste mecanismo”

Vladimir Ivanovich Vernadsky

A vertente apresenta três ambientes distintos do ponto de vista da vegetação, das características do solo e da dinâmica da água. As minhocas não se distribuem igualmente em cada setor topográfico, sendo mais abundantes no solo hidromórfico do sopé.

Como mostram os resultados, há uma influência indireta da topografia nas populações dos anelídeos, na medida em que ela pode condicionar a variação dos solos ao longo da encosta (além da condição hídrica e dos padrões da vegetação), o que afeta diretamente suas comunidades. Esta constatação é inédita na bibliografia. Ademais, a sucessão entre os horizontes de cada solo também influencia na distribuição vertical desses organismos nos perfis investigados.

Constatou-se um impacto do uso do solo nas comunidades de minhocas, pois as intervenções antrópicas (construções, desmatamento, vias de acesso) estão promovendo a invasão de espécies exóticas na EBB (*Amyntas gracilis* e *Pontoscolex corethrurus*) e uma perturbação nos padrões de distribuição, com abundâncias muito maiores entre os organismos não nativos.

Ao mesmo tempo em que as condições bióticas e abióticas influenciam na dinâmica das oligoquetas, suas atividades metabólicas atuam na ciclagem de nutrientes, na construção de galerias e canais, na homogeneização dos volumes e na diferenciação dos horizontes. Ao modificar a estrutura, a composição e a organização dos materiais, a fauna contribui diretamente com a gênese dos solos.

Diversos processos pedológicos, senão todos, que ocorrem nos perfis estudados são intermediados ou produtos diretos da atividade biológica e não podem ser explicados isoladamente sem a presença da vida. A descrição morfológica tradicional faz vistas grossas à biogênese e não fornece elementos que deem conta de identificar e explicar a complexidade das interações fauna-solo.

Tendo em vista que o procedimento de extração pode influenciar nos dados, o uso de técnicas complementares de coletas é recomendado para se estimar a diversidade das espécies.

Um panorama mais completo da atividade biológica no solo é obtido pela associação de técnicas de extração dos animais que permitem estimar os dados de abundância, densidade populacional, biomassa e riqueza de suas populações, com os procedimentos de descrição e de análises dos registros que os animais deixam no solo.

As amostragens das minhocas foram realizadas a partir da divisão da vertente em três posições topográficas. Porém, a separação entre topo, meia encosta e sopé pode não delimitar exatamente os três solos que foram encontrados e considerados como característicos de cada setor, existindo uma zona de passagem entre um e outro. Assim, alguns pontos de coleta localizavam-se em uma área de transição entre o solo da meia encosta e o do sopé, por exemplo. Um outro problema é que, nas amostragens do TSBF, a retirada dos monólitos de dez em dez centímetros é arbitrária. Essas profundidades nem sempre correspondem aos limites exatos entre um volume pedológico e outro, apesar de, em alguns casos neste trabalho, existir uma correspondência aproximada.

Portanto, em pesquisas futuras, seria interessante realizar: (a) uma Análise Estrutural da Cobertura Pedológica, com o levantamento da topografia, da distribuição dos solos e da sucessão dos volumes mais detalhados; (b) coletas dos animais de acordo com as camadas do solo, respeitando seus horizontes; (c) amostragens de outros representantes da macrofauna (isoptera, hymenoptera, coleoptera) para ver como suas distribuições variam ao longo da encosta; (d) analisar o papel que cada grupo da macrofauna desempenha no solo e correlacionar a interação desses grupos entre si na vertente; (e) descrever e demonstrar a importância da atividade desses organismos para a evolução da cobertura pedológica; (f) investigar o fenômeno da bioturbação a partir de uma perspectiva biogeoquímica; (g) estudar a distribuição e ocorrência das plantas em cada setor da vertente, para ver se há uma variação significativa das espécies nas respectivas posições topográficas.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, F.F.M. **Fundamentos geológicos do relevo paulista**. São Paulo Série Teses e Monografias - 14, USP, 1974, 110 p.
- ANDERSON, J. M. & J. I. INGRAM. 1993. **Tropical soil biology and fertility, a handbook of methods**. 2th ed. Wallingford: CAB, 1993, 221 p.
- ANDERSON, J. M. Why should we care about soil fauna? **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 8, p. 835-842, 2009.
- ANTONIOLLI, I.Z.; CONCEIÇÃO, P.C.; BOCK, V.; PORT, O.; SILVA, D.M.; SILVA, R.F. Método alternativo para estudar a fauna do solo. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 16, n. 4, p. 407-417, 2006.
- AZEVEDO, P. T. M., G. G. BROWN, D. BARETTA, A. PASINI & D. H. NUNES. Populações de minhocas amostradas por diferentes métodos de coleta (elétrico, químico e manual) em ecossistemas da região de Londrina, Paraná, Brasil. **Acta Zoológica Mexicana**, número especial 2, p. 79-93, 2010.
- BACHELIER, G. **La faune des sols. Son écologie et son action**. Orstom. Init. Doc. Tech. n. 38, 1978, 391 p.
- BAL, L. Zoological Ripening of Soils. Centre for Agricultural Publishing and Documentation, Wageningen. **Agricultural Research Reports**, v. 850, 1982.
- BARETTA, D., SANTOS, J. C. P., SEGAT, J. C., GEREMIA, E. V., OLIVEIRA FILHO, L. C. I., & ALVES, M. V. Fauna edáfica e qualidade do solo. In: **Tópicos em Ciência do Solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, v. 7, p. 119-170, 2011.
- BARETTA, D.; BROWN, G. G.; JAMES, S. W.; & CARDOSO, E. J. B. N. Earthworm populations sampled using collection methods in Atlantic forests with *Araucaria angustifolia*. **Scientia Agricola**, v. 64, n. 4, p. 384-392, 2007.
- BAROIS, I. et al. Transformation of the soil structure through *Pontoscolex corethrurus* (Oligochaeta) intestinal tract. **Geoderma**, v. 56, n. 1-4, p. 57-66, 1993.
- BASHKIN, V. N. **Modern Biogeochemistry**. Kluwer Academic Publishers, 2003.
- BERNARDES, F. F. & MIKLÓS, A. A. de W. Comportamento reprodutor, produção de coprólitos e densidade populacional de *Pontoscolex corethrurus* (Minhoca mansa). **II Simpósio de Inic. Cient. USP/CNPq**. Resumos, 1994.
- BERTHELIN, J.; LEYVAL, C.; TOUTAIN, F. Biologie des sols. Rôle des organismes dans l'altération et l'humification. **Pédologie**, v. 2, p. 143-237, 1994.
- BJÖRKHEM, U.; JONGERIUS, A. Micromorphological observation in some podzolized soils from central Sweden, p. 320-332, [19--]

BLAKEMORE, R. J. Cosmopolitan Earthworms—an Eco-Taxonomic Guide to the Peregrine Species of the World, 506 pp. **CD-ROM monograph, VermEcology**, Canberra, 2002.

BLANCHART, E. Restoration by earthworms (Megascolecidae) of the macroaggregate structure of a destructured savanna soil under field conditions. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 24, n. 12, p. 1587-1594, 1992.

BLANCHART, E.; LAVELLE, P.; BRAUDEAUS, E.; LE BISONAIS, Y.; VALENTIN, C. Regulation of soil structure by geophagous earthworm activities in humid savannas of Côte d'Ivoire. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 29, p. 431-439, 1997.

BOUCHÉ, M. B. Lombriciens de France: écologie et systématique. 1972.

BOULET, René. Análise estrutural da cobertura pedológica e cartografia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 21. A responsabilidade social da ciência do solo. Campinas: SBPC, 1988, p.79-90.

BROWN, George G. How do earthworms affect microfloral and faunal community diversity? In: **The Significance and Regulation of Soil Biodiversity**. Springer Netherlands, 1995. p. 247-269.

BUURMAN, P.; JONGMANS, A. G. Podzolisation and soil organic matter dynamics. **Geoderma**, v. 125, n. 1, p. 71-83, 2005.

BUURMAN, Peter (Ed.). **Podzols**. New York: Van Nostrand Reinhold Company, 1984, 450p.

CAMARGO, O. A.; MONIZ, A.; JORGE, J.; VALADARES, J. **Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do Instituto Agronômico de Campinas: boletim técnico nº 106**. Campinas: Instituto Agronômico, 1986.

CAMPANHA, G. A.; ENS, H. H.; PONÇANO, E.; Waldir L. Análise morfotectônica do Planalto do Juqueriquerê, São Sebastião (SP). **Brazilian Journal of Geology**, v. 24, n. 1, p. 32-42, 1994.

CASTILHO, S. C. de P. **Influência da transformação floresta - pastagem nos atributos do solo em área de agricultura familiar no oeste do Estado do Pará**. Tese de doutorado. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2014, p.140.

COOPER, M. **O funcionamento do solo e a sua influência nas relações entre o solo e a vegetação nativa**. Tese de livre docência. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2009.

COUTINHO, L. M. Contribuição ao conhecimento da ecologia da mata pluvial tropical. **Boletim da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras, Universidade de São Paulo. Botânica**, n. 18, p. 5-219, 1962.

CURI, N. Vocabulário de ciência do solo. **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, 1993.

CURRY, J. P. Factors affecting earthworm abundance in soils. p. 37-64. . In: **Earthworm ecology**. Clive A. Edwards (Ed), CRC Press LCC, 1998, 389 p.

CUSTÓDIO FILHO, A. Flora da Estação Biológica de Boracéia: Listagem de espécies. **Revista do Instituto Florestal**, 1. p.161-199, 1989.

DARWIN, C. R. 1844. On the origin of mould. Gardeners' **Chronicle and Agricultural Gazette no. 14** (6 April): 218, 1844. Disponível em: <http://darwin-online.org.uk/content/frameset?itemID=F1665&viewtype=text&pageseq=1> Acesso em: 14/08/2015

DARWIN, C. R. On the formation of mould. [Read 1 November 1837] **Proceedings of the Geological Society of London 2**, p. 574-576, 1838. Disponível em: <http://darwin-online.org.uk/content/frameset?viewtype=text&itemID=F1648&pageseq=1> Acesso em: 11/08/2015

DARWIN, C. R. On the formation of mould. [Read 1 November 1837] **Transactions of the Geological Society**, 1840, p. 505-509. Disponível em: <http://darwin-online.org.uk/content/frameset?itemID=F1655&viewtype=text&pageseq=1> Acesso em: 13/08/2015

DARWIN, C. R. **The formation of vegetable mould: through the action of worms, with observations on their habits**. London: John Murray, 1881, 326 p.

DAVIES, K.F.; C. GASCON; C.R. MARGULES. Habitat fragmentation, p. 81-97. In: M.E. SOULÉ & G.H. ORINAS (Eds). **Conservation biology. Research priorities for the next decade**. Washington, D.C., Island Press, 2001, 307 p.

DE CONINCK, F. Major mechanisms in formation of spodic horizons. **Geoderma**, v. 24, n. 2, p. 101-128, 1980.

DE MELLO ARAUJO, A. G. Peças que descem, peças que sobem e o fim de Pompéia: algumas observações sobre a natureza flexível do registro arqueológico. **Revista do Museu de Arqueologia e Etnologia**, n. 5, p. 3-25, 1995.

DE OLIVEIRA, D. **A captura do alto Rio Guaratuba: uma proposta metodológica para o estudo da evolução do relevo na Serra do Mar, Boracéia-SP**. Tese de Doutorado. Departamento de Geografia, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, Universidade de São Paulo, 2003, p.130.

EDWARDS, C. A; LOFTY, J. R. **Biology of earthworms**, 1972.

EDWARDS, W. M.; SHIPITALO, M. J. Consequences of earthworms in agricultural soils: aggregation and porosity. p. 147-161 In: **Eartworm ecology**. Clive A. Edwards (Ed), CRC Press LCC, 1998, 389 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUARIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUARIA - EMBRAPA. Sistema brasileiro de classificação de solos. **Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Rio de Janeiro**, 2013, 306 p.

EMPRESA PAULISTA DE PLANEJAMENTO METROPOLITANO - EMPLASA **Carta topográfica na escala 1:10000**. Folha Fazenda Florestal do Rio Grande, articulação 6332, índice de nomenclatura: SF 23YDV1SOB, São Paulo, 1981.

FRAGOSO, C; LAVELLE, P. Earthworm communities of tropical rain forests. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 24, n. 12, p. 1397-1408, 1992.

FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA & INPE. **Atlas dos remanescentes florestais da Mata Atlântica e ecossistemas associados no período de 1995-2000**. São Paulo, Fundação SOS Mata Atlântica, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2001, 55p.

HAMOUI, V. Estudo do desenvolvimento de pontoscolex corethrurus (muller, 1857) (Oligochaeta, Glossoscolecidae). Dissertação de mestrado, 1990.

HOLE, F. D. Effects of animal on soil. **Geoderma**. v. 25, 1981, p.75-112.

HOLT, John A.; LEPAGE, Michel. Termites and soil properties. In: **Termites: evolution, sociality, symbioses, ecology**. Springer Netherlands, p. 389-407, 2000.

HONG, S.K. & J.A. LEE. Global environmental changes in terrestrial ecosystems. International issues and strategic solutions: introduction. **Ecological Research**, v. 21, n. 6, p. 783-787, 2006.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA-IBGE. **Manual Técnico da vegetação brasileira**. 2 ed. Rio de Janeiro, 2012, 271 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA-IBGE. **Manual Técnico de Pedologia**, 2 ed. Rio de Janeiro, 2007, 316 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA-IBGE. **Mapas Interativos**, 2005. Disponível em: <http://mapas.ibge.gov.br>. Acesso em 06/03/2015.

INSTITUTO GEOGRÁFICO E GEOLÓGICO DE SÃO PAULO (IGGSP). **Carta topográfica na escala 1:50000 de Salesópolis**, folhas SF23YDV1 e SF23YDV3, São Paulo, 1971.

JOHNSON, D. L. Biomantle evolution and the redistribution of earth materials and artifacts. **Soil Science**, v. 149, n. 2, p. 84-102, 1990.

JOHNSON, D.; WATSON-STEGNER, D.; JOHNSON, D. N.; SCHAETZL, R. J. Proisotropic and proanisotropic processes of pedoturbation. **Soil Science**, v. 143, n. 4, p. 278-292, 1987.

JOHNSON, D. L.; DOMIER, J. E. J.; JOHNSON, D. N. Reflections on the nature of soil and its biomantle. **Annals of the Association of American Geographers**, v. 95, n. 1, p. 11-31, 2005.

JONES, C. G; LAWTON, J. H; SHACHAK, M. **Organisms as ecosystem engineers. Ecosystem Management.** Springer New York, p. 130-147, 1994.

KRETZSCHMAR, A. Caractérisation microscopique de l'activité des lombriciens endogés. In: **Réunion internationale de micromorphologie des sols**, 7, p. 325-330, 1987.

KRETZSCHMAR, A. Earthworm interactions with soil organization. p. 163-176. In: **Eartworm ecology.** Clive A. Edwards (Ed), CRC Press LCC, 1998, 389 p.

KRETZSCHMAR, A.; MONESTIEZ, P. Physical control of soil biological activity due to endogeic earthworm behaviour. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 24, n. 12, p. 1609-1614, 1992.

KUHLMANN, E. Os grandes traços da fitogeografia do Brasil. **Bol. geogr.**, v. 11, p. 618-28, 1953.

LANGMAID, K. K. Some effects of earthworm invasion in virgin podzols. **Canadian Journal of Soil Science**, v. 44, n. 1, p. 34-37, 1964.

LAVELLE, P. Ecological challenges for soil science. **Soil Science**, v. 165, n. 1, p. 73-86, 2000.

LAVELLE, P. Ecology and the challenge of a multifunctional use of soil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 8, p. 803-810, 2009.

LAVELLE, P.; PASHANASI, B.; CHARPENTIER, F.; GILOT, C., ROSSI, J. P.; DEROUARD, L.; BERNIER, N. Large-scale effects of earthworms on soil organic matter and nutrient dynamics. Earthworm ecology, 10. p. 103-122. In: **Eartworm ecology.** Clive A. Edwards (Ed), CRC Press LCC, 1998, 389 p.

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

LAVELLE, P; SPAIN, A. V. **Soil ecology.** Springer Science & Business Media, 2005.

LAVELLE, P. Functional domains in soils. **Ecological research**, v. 17, n. 4, p. 441-450, 2002.

LEE, K. E. Some trends and opportunities in earthworm research or: Darwin's children—the future of our discipline. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 24, n. 12, p. 1765-1771, 1992.

LEE, K. E. **Earthworms: their ecology and relationships with soils and land use.** London: Academic Press Inc., 1985, 411 p.

LEMOES, R. C; SANTOS, R. D. **Manual de descrição e coleta de solo no campo.** 3º ex. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1996, 84p.

LJUNGSTRÖM, P. O. et al. Introduction to the study of earthworm taxonomy. **Pedobiologia**, v. 10, p. 265-285, 1970.

LUNDSTRÖM, Ulla S.; VAN BREEMEN, Nico; BAIN, D. The podzolization process. A review. **Geoderma**, v. 94, n. 2, p. 91-107, 2000.

LYNCH, J. M.; BRAGG, Elaine. Microorganisms and soil aggregate stability. In: **Advances in soil science**. Springer New York, 1985. p. 133-171.

MAFRA, A. L.; MIKLÓS, A. A. W.; VOLKOFF, B.; MELFI, A. J. Pedogênese numa seqüência Latossolo-Espodossolo na região do alto rio Negro, Amazonas. **Revista brasileira de ciência do solo**, v. 26, n. 2, p. 381-394, 2002.

MANFREDINI, S., FURIAN DIAS, S. M., QUEIROZ NETO, J. P., OLIVEIRA, D., FERREIRA, R. Técnicas em Pedologia, p. 85-98. In: VENTURI, LAB (Org.). **Praticando Geografia**, 1, 2005.

MELFI, A. J.; PEDRO, G. Considerações sobre os mecanismos geoquímicos envolvidos na alteração superficial e sua repartição no Brasil. **Revista Brasileira de Geociências, São Paulo**, v. 8, p. 11-22, 1978.

MELO JÚNIOR, H. B. **Estruturas biogênicas em latossolos de chapadões, Uberlândia – MG**. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Uberlândia, 2012, 41 p.

MERMUT, A. R. Faunal influence on soil microfabrics and other soil properties. **Quaestiones Entomologicae**, v. 21, p. 505-608, 1985.

MEYSMAN, F. JR; MIDDELBURG, J. J; HEIP, C. H. Bioturbation: a fresh look at Darwin's last idea. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 21, n. 12, p. 688-695, 2006.

MIKLÓS, A. A. W. **Biodynamique d'une couverture pédologique dans la région de Botucatu**. Brésil. Thèse de doctorat. Université Paris VI. Académie de Sciences de Paris, 1992, p.438.

MIKLÓS, A. A. W. Biogênese do solo. **Revista do Departamento de Geografia-USP**, Volume Especial 30 Anos, p. 190-229, 2012.

MIKLÓS, Andreas Attila Wolinsk. Conceito Ecológico do Solo: O Papel da Biodiversidade na Organização e Dinâmica da Cobertura Pedológica. Curso de Agricultura Ecológica, 1995.

MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT. **Ecosystems and human well-being**. Washington: Island Press, 2005.

MÜLLER, P. E. **Recherches sur les formes naturelles de l'humus et leur influence sur la végétation et le sol**. Berger-Levrault et Cie, Paris-Nancy, 1889, 351 p.

MYERS, N., MITTERMEIER, R.A., MITTERMEIER, C.G., FONSECA, G.A.B.; KENT, J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, v. 403, n. 6772, p. 853-858, 2000.

ODUM, E.P. Ecologia. Rio de Janeiro, Guanabara Koogan S. A., 1983. 434 p.

OLIVEIRA, J. D.; CAMARGO, M. D.; ROSSI, M.; CALDERANO, F, B. **Mapa pedológico do Estado de São Paulo: legenda expandida**. Campinas: Instituto Agrônômico, 1999.

OLIVEIRA, L.J.; BROWN, G.G. & SALVADOR, J.R. Corós como pragas e engenheiros do solo em agroecossistemas. In: **Workshop o uso da macrofauna edáfica na agricultura do século xxi: a importância dos engenheiros do solo**, p. 76-86, 2003.

PAPAVERO, N. **Fundamentos Práticos de Taxonomia Zoológica**. Coleções, Bibliografia, Nomenclatura. 2ª ed., Editora da Universidade de São Paulo, SP, 1994. 285 p.

RIBEIRO, M.C.; J.P. METZGER; A.C. MARTENSEN; F.J. PONZONI & M.M. HIROTA.. The Brazilian Atlantic Forest: How much is left, and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation. **Biological conservation**, v. 142, n. 6, p. 1141-1153, 2009.

RIGHI, G. 1984. Pontoscolex (oligochaeta, Glossoscolecidae) a new evaluation. Suud. Neotrop. Fauna envir, 19: 159-177.

RIGHI, G. 1995. Oligochaeta (Annelida). Diversidade e agroecologia, 1999.

RIGHI, G. **Colombian earthworms**. In: Van Der Hammen, T. (Ed), Studies on Tropical Andean Ecosystems. Cramer (Borntraeger), Berlin-Stuttgart, v 4, p. 485-607, 1995.

RIGHI, G. Invertebrados. A minhoca. Instituto Brasileiro de Educação, Ciência e Cultura, 1966.

RIGHI, G. **Minhocas de Mato Grosso e de Rondônia**. Brasília: CNPq/AED. Relatório de Pesquisa 12. Programa Polo Noroeste, 1990.

RIGHI, G.. Sobre a Família Glossoscolecidae (Oligochaeta) no Brasil. Arquivos de Zoologia, S. Paulo 20. (1): 1-95. 1971

RIZZINI, C. T. **Tratado de fitogeografia do Brasil: aspectos ecológicos, sociológicos e florísticos**. Âmbito Cultural, 1997.

ROBERT, M.; BERTHELIN, J. Role of Biologicaland Biochemical Factors in Soil Mineral Weathering. **Interactions of soil minerals with natural organics and microbes**, n. interactionsofs, p. 453-495, 1986.

ROSS, J.L.; MOROZ, F.C. **Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo**. Escala 1:500000, v.1, eds: FFLCH-USP, IPT, FAPESP, 1997.

ROSSI, M. **Fatores formadores da paisagem litorânea: a bacia do Guaratuba, São Paulo - Brasil**. Tese de Doutorado. Departamento de Geografia, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, 1999, 168 p.

ROSSI, M.; QUEIROZ NETO, J. P. Evolução de espodossolo ferrocárbico em gleissolo háplico no planalto da Serra do Mar, Rio Guaratuba (SP). **Revista brasileira de ciência do solo**, v. 26, n. 2, p. 407-415, 2002.

ROSSI, M.; QUEIROZ NETO, J. P. Relações solo/paisagem em regiões tropicais úmidas: o exemplo da Serra do Mar em São Paulo, Brasil. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 14, p. 11-23, 2001.

RUELLAN, A.; DOSSO, M. **Regard sur le sol**. Paris: UREF, 1993.

RUELLAN, A.; DOSSO, M.; FRITSCH, E. L'analyse structurale de la couverture pédologique. **Science du sol**, v. 27, n. 4, p. 319-334, 1989.

RUSEK, J. Soil microstructures – contriubiton on specific soil oranisms. *Quaestiones Entomologicae*, v. 21, p. 497-514, 1985.

SABESP. COMPANHIA, DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO. Índices de precipitação do Sistema Produtor Rio Claro. Disponível em: www.sabesp.com.br. Acesso em 24/04/2016.

SCHAETZL, R. J. Complete soil profile inversion by tree uprooting. **Physical Geography**, v. 7, n. 2, p. 181-189, 1986.

SCHAETZL, R. J., BURNS, S. F., SMALL, T. W., & JOHNSON, D. L. TREE Uprooting: review of types and patterns of soil disturbance. **Physical Geography**, v. 11, n. 3, p. 277-291, 1990.

SCHAETZL, R. J; ANDERSON, S. Soil genesis and geomorphology. Cambridge University Press, 2005, 817 p.

SHIPITALO, M. J.; PROTZ, R. Chemistry and micromorphology of aggregation in earthworm casts. **Geoderma**, v. 45, n. 3-4, p. 357-374, 1989.

SIMS, R. W.; GERARD, B. M. **Earthworms: Keys and Notes for the Identification and Study of the Species**. Brill Archive, 1985.

SMETTEM, K. RJ. The relation of earthworms to soil hydraulic properties. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 24, n. 12, p. 1539-1543, 1992.

STEFFEN, G. P. K. **Diversidade de minhocas e sua relação com ecossistemas naturais e alterados no estado do Rio Grande do Sul**. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Maria, 2012, 208 p.

TOPOLIANTZ, S.; PONGE, J. F.; VIAUX, P. Earthworm and enchytraeid activity under different arable farming systems, as exemplified by biogenic structures. **Plant and Soil**, v. 225, n. 1-2, p. 39-51, 2000.

TOUTAIN, F. **Biologie des sols**. Livre Jubilaire du Cinquantenaire, AFES, 1934-1984, p. 253-271, 1984.

TOUTAIN, F. Les humus forestiers; structures et modes de fonctionnement. 1981.

TOWNSEND, A. R.; ASNER, G. P.; CLEVELAND, C. C. The biogeochemical heterogeneity of tropical forests. **Trends in ecology & evolution**, v. 23, n. 8, p. 424-431, 2008.

TRAVASSOS FILHO, L. & CAMARGO, H.F.A. A Estação Biológica de Boracéia. **Arquivos de Zoologia do Estado de São Paulo**, 11, p. 1-21, 1958.

VAN BREEMEN, N; BUURMAN, P. **Soil formation**. New York: Kluwer Academic publishers, 2002, 404 p.

VARJABEDIAN, R. Lei da Mata Atlântica: retrocesso ambiental. **Estudos avançados**, v. 24, n. 68, p. 147-160, 2010.

VASCONCELLOS, R. L., SEGAT, J. C., BONFIM, J. A., BARETTA, D., CARDOSO, E. J. Soil macrofauna as an indicator of soil quality in an undisturbed riparian forest and recovering sites of different ages. **European Journal of Soil Biology**, v. 58, p. 105-112, 2013.

VELÁSQUEZ, E.; LAVELLE, P.; ANDRADE, M. GISQ, a multifunctional indicator of soil quality. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 39, p. 3066-3080, 2007.

VELÁSQUEZ, E.; PELOSI, C.; BRUNET, D.; GRIMALDI, M., MARTINS, M.; RENDEIRO, A. C.; LAVELLE, P. This ped is my ped: visual separation and near infrared spectra allow determination of the origins of soil macroaggregates. **Pedobiologia**, v. 51, n. 1, p. 75-87, 2007.5