



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
CENTRO DE CIÊNCIAS DA MATEMÁTICA E DA NATUREZA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA – PPGG/UFRJ

**FORMAS DE HÚMUS NA IDENTIFICAÇÃO DO ESTADO
FUNCIONAL DE FRAGMENTOS FLORESTAIS NA BACIA
HIDROGRÁFICA DO BONFIM, PETRÓPOLIS - RJ**



FERNANDO AMARO PESSOA

Orientador

Evaristo de Castro Junior

Rio de Janeiro

2013/2

**FORMAS DE HÚMUS NA IDENTIFICAÇÃO DO ESTADO FUNCIONAL DE
FRAGMENTOS FLORESTAIS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO BONFIM,
PETRÓPOLIS - RJ**

Fernando Amaro Pessoa

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ciência (Geografia).

Orientador: Evaristo de Castro Junior

Rio de Janeiro

2013/2

**FORMAS DE HÚMUS NA IDENTIFICAÇÃO DO ESTADO FUNCIONAL DE
FRAGMENTOS FLORESTAIS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO BONFIM,
PETRÓPOLIS - RJ**

Fernando Amaro Pessoa

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ciência (Geografia).

Aprovada por:

Prof. Dr. Evaristo de Castro Junior – Orientador (UFRJ)

Prof^a. Dr^a. Irene Garay (UFRJ)

Dr. Fabiano de Carvalho Balieiro (Embrapa – Solos)

Prof. Dr. André de Souza Avelar (UFRJ)

Rio de Janeiro

2013/2

Ficha Catalográfica

Pessoa, Fernando Amaro

Formas de húmus na identificação do estado funcional de fragmentos florestais na bacia hidrográfica do Bonfim, Petrópolis – RJ. UFRJ/Programa de Pós-Graduação em Geografia, 2013.

132 p.

Dissertação de mestrado – Universidade Federal do Rio de Janeiro / Programa de Pós-Graduação em Geografia, 2013.

1. Fragmentação Florestal 2. Formas de Húmus 3. Ciclagem de nutrientes

Agradecimentos

Nessa vida nada é feito sozinho. Por isso sou muito grato a todos que participaram desta etapa tão importante em termos acadêmicos e pessoais. Com certeza nem todos serão citados, mas o que importa mesmo é que saibam o quanto foram decisivos e importantes, cada um de sua maneira, para o desenvolvimento da presente pesquisa. Agradeço em especial a alguns deles.

Aos meus pais Luiz Octávio e Marta, que proporcionaram toda a base para que eu chegasse à conclusão desta etapa e motivação dada pelo entusiasmo de ambos quando ficam sabendo das “novidades”. Meu pai com sua determinação de vida e dedicação à família e também ao seu jardim, entendendo tanto de húmus quanto eu. Minha mãe pelo exemplo de pessoa que é, com muita calma e sabedoria.

Aos meus irmãos Leandro e Luiza, “Pessoas” fundamentais em minha vida. Meu irmão que me mostrou todo o caminho a ser seguido na universidade, sendo o meu grande exemplo. Minha irmã pela felicidade que representa para toda família, minha companheira. Sem contar que essa dissertação reflete todo um modelo de vida que fomos desenvolvendo sem perceber, com muitas trilhas, dias de praia e agora, mergulhos. Juntos somos melhores.

À minha querida esposa Renata, presente em todos os momentos, motivadora essencial para que tudo desse certo, sempre elogiando muito a dissertação que ficou de acordo com suas palavras “tão bonita”.

Amo todos vocês.

Ao meu orientador e amigo Prof. Evaristo, que se destaca por sua humildade diante de uma universidade repleta de vaidades e competitividade, o qual contribui de maneira decisiva para o meu crescimento desde o início da graduação. Muito obrigado companheiro!

Ao grande amigo geógrafo Fernando Cesário, o qual tenho o prazer de ter como companheiro de pesquisa, pessoa fundamental para toda a trajetória acadêmica percorrida até aqui. Muito obrigado pela força nos trabalhos de campo - que se tornaram dias de grande debate acadêmico - e nas análises estatísticas. Estamos juntos.

À professora Irene Garay, por ser a grande mentora dos estudos sobre formas de húmus no Brasil. Além de toda ajuda fornecida nas discussões dos resultados, se demonstrando uma pessoa extremamente acessível e disposta a colaborar.

À Embrapa – Solos, com destaque para o pesquisador Fabiano Balieiro, que fez contribuições fundamentais no exame de qualificação, sempre disposto a colaborar e possibilitou a realização das análises químicas e de granulometria.

À professora Naíse, por me acompanhar em toda minha trajetória acadêmica.

À professora Josilda, exemplo de simplicidade e determinação, a qual participa de maneira decisiva em meu crescimento pessoal e acadêmico. Agradeço por todas as oportunidades oferecidas.

Ao professor Avelar, pelas importantes contribuições no exame de qualificação e na defesa.

Ao PARNASO, através da bióloga Cecília Cronemberguer, por ter viabilizado a realização da pesquisa, incentivando e inserindo o trabalho aos demais realizados no parque.

A todos os companheiros do NESAG. Nathalia pelo papel fundamental nas coletas e triagem da serapilheira. Bruno, que possui a nossa base operacional no Bonfim. E todos os demais parceiros de pesquisa – Márcio D'Arrochella, Felipe Soter, Felipe Alves, Tiago Paradela, dentre outros – que levam em frente o NESAG.

Às pesquisadoras do NEMPHE – Sarah Lawall, Camila Inhan e Patrícia Mota, por compartilharem do interesse pela bacia do Bonfim e toda ajuda fornecida em campo e elaboração de mapas.

Aos motoristas do IGEO, que viabilizaram todos os trabalhos de campo necessários, com muito empenho e camaradagem.

Enfim, muito obrigado a todos!

FORMAS DE HÚMUS NA IDENTIFICAÇÃO DO ESTADO FUNCIONAL DE FRAGMENTOS FLORESTAIS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO BONFIM, PETRÓPOLIS - RJ

Resumo

Com o intuito de compreender o funcionamento de remanescentes florestais da Mata Atlântica inseridos numa mesma bacia hidrográfica, porém em diferentes matrizes de uso, foram utilizados indicadores funcionais - formas de húmus – que permitiram traçar inferências sobre os processos de produção e decomposição, numa perspectiva inter e intra-fragmento. As formas de húmus compreendem a matéria orgânica pouco decomposta sobreposta ao solo mineral, bem como o material orgânico misturado às partículas minerais do horizonte A. Sua estrutura é o reflexo das interações entre os componentes bióticos (vegetação e organismos decompositores) e abióticos (tipos de solo, relevo, clima etc.), o que permite entender o papel da vegetação e do ambiente físico no processo de decomposição e, assim, no funcionamento do ecossistema. Os fragmentos estudados se encontram na bacia hidrográfica do Bonfim, no município de Petrópolis, região serrana do Rio de Janeiro, onde são observadas relevantes áreas de vegetação em estágios sucessionais distintos, geridas por uma série de unidades de conservação ali presentes, tais como o Parque Nacional da Serra dos Órgãos, onde parte da bacia estudada está inserida. Nela, foram escolhidos três (3) fragmentos ou “situações” florestais inseridos em diferentes matrizes (uso do solo), que contemplem a diversidade de paisagens geográficas presentes na unidade espacial trabalhada. Em cada fragmento foram estabelecidas duas parcelas de 10 metros de comprimento por 5 metros de largura (50 m²), uma na borda do fragmento e outra no interior, aproximadamente a 50 metros da borda, de acordo com as particularidades de cada fragmento, a fim de caracterizar a influência da matriz e seu possível efeito de borda. Dentro de cada parcela foram estabelecidos pontos amostrais aleatórios para as diferentes coletas. Os resultados obtidos mostram que as formas de húmus caracterizam fragmentos florestais, evidenciando a heterogeneidade do seu funcionamento. As parcelas do fragmento urbano e a interior do rural apresentaram formas de húmus do tipo Dysmoder; o tipo Eumoder foi encontrado na borda do urbano e no interior do rural; a borda do rural foi classificada como Eumull. Tal distinção evidenciou a influência de perturbações antrópicas nestes ecossistemas. Assim, apesar de estarem próximos e localizados numa mesma bacia hidrográfica, os fragmentos florestais estão sujeitos a diferentes perturbações, em função da matriz a qual estão inseridos, do grau de isolamento em que se encontram e do quanto estão sujeitos a atividades antrópicas.

HUMUS FORMS IN IDENTIFICATION OF FUNCTIONAL STATE FOREST FRAGMENTS IN THE CATCHMENT BONFIM, PETRÓPOLIS - RJ

Abstract

Aiming to understand the forest remnants functioning of the Atlantic Forest inserted in the same watershed, but in different matrices of use, have been used functional indicators - forms of humus - which allowed us to draw inferences about the processes of production and decomposition in an international perspective and intra-fragment. The forms of humus include little decomposed organic matter overlapped to the mineral soil as well as organic material mixed with mineral particles from the horizon A. Its structure is a reflection of the interactions between biotic components (vegetation and decomposing organisms) and abiotic (soil types, topography, climate etc.) which allows to understand the role of vegetation and physical environment in the process of decomposition and thus in ecosystem functioning. The fragments studied are in the watershed of Bonfim, in Petrópolis, mountain region of Rio de Janeiro, where they are found relevant areas of vegetation in different successional stages, managed by a series of conservation units present there, such as the Park the Organ Mountains national, where part of the study area is located. In it were chosen three (3) fragments or forest "situations" inserted into different matrices (land use) which cover the diversity of geographical landscapes present in the spatial unit worked. In each fragment were established two installments of 10 feet long by 5 feet wide (50 m²), one at the edge of the fragment and another within approximately 50 meters from the edge, according to the particularities of each fragment in order to characterize the influence of the matrix and its possible edge effect. Inside each portion were in established random sample points for different samples. The obtained results show that the forms humus characterize forest fragments, demonstrating the heterogeneity of its functioning. The portions of the fragment interior of the urban parnaso and shapes presented on the type humus Dysmoder; the type Eumoder has been found on the edge of the urban and rural inside, the rural edge was classified as Eumull. This distinction showed the influence of human disturbance in these ecosystems. Thus, despite being near located and within the same watershed, forest fragments are subject to different disturbances, depending on the matrix which are inserted, the isolation degree in which they find and how much they are subject to human activities.

Lista de Figuras

Figura 1: Mapa dos remanescentes florestais da Mata Atlântica 2008-2010 no estado do Rio de Janeiro (SOS MATA ATLÂNTICA e INPE, 2011).....	12
Figura 2: Representação esquemática do paradigma em cascata da decomposição, de acordo com Garay e Kindel (2001).....	22
Figura 3: Esquema representativo da interação vegetação/solo, destacando-se os horizontes do perfil húmico em diferentes estádios de decomposição. (KINDEL <i>et al.</i> , 2003).....	25
Figura 4: Transformação biológica da serapilheira observada no campo (ZANELLA <i>et al.</i> , 2011b).	28
Figura 5: Mapa de Localização da Bacia Hidrográfica do Bonfim (SILVA, 2013).....	37
Figura 6: Representações paisagísticas concentradas nos compartimentos da bacia (LAWALL, 2010).	38
Figura 7: Zonas de Ocupação Temporária no PARNASO. ZOT 1: Áreas não regularizadas ocupadas por residências no vale do Bonfim. (ICMBio, 2008)	42
Figura 8: Área Estratégica Interna Bonfim. (ICMBio, 2008)	43
Figura 9: Área Estratégica Externa Bonfim (sobre imagem SPOT). (ICMBio, 2008)	43
Figura 10: Delimitações do PARNASO com destaque para a área da bacia que contempla o vale do Bonfim excluída do novo limite proposto. A – Limite antigo do Parnaso; B – Nova delimitação do Parnaso, excluindo a área ocupada da Bacia do Bonfim; C – Vista aérea da área ocupada por atividades agrícolas na Bacia do Bonfim. (SILVA, 2013, adaptado de ICMBio, 2008)	45
Figura 11: Recorte do Mapa Geológico do Parque Nacional da Serra dos Órgãos descrita no Projeto Carta Geológica do Estado do Rio de Janeiro (DRM/RJ) na escala de 1:50.000, com ênfase na bacia do Bonfim (ICMBio, 2008).	46
Figura 12: Perfil Topográfico da bacia hidrográfica do Bonfim referente ao baixo, médio e alto curso - orientação SO-NE (SILVA, 2013).	48
Figura 13: Perfil longitudinal do rio Bonfim (SILVA, 2013).	49
Figura 14: Localização dos fragmentos estudados na bacia hidrográfica do Bonfim.	51
Figura 15: Representação esquemática das parcelas instaladas nos fragmentos.	52
Figura 16: “Fragmento Urbano” (Acervo NESAG - IGEO/UFRJ).	53
Figura 17: “Fragmento Rural” (Acervo NESAG - IGEO/UFRJ).....	53

Figura 18: “Fragmento PARNASO” (Acervo NESAG - IGEO/UFRJ).....	54
Figura 19: Medição da circunferência do tronco à altura do peito – CAP (Acervo NESAG - IGEO/UFRJ).....	56
Figura 20: Densiômetro Esférico Convexo utilizado para a obtenção do percentual de cobertura do dossel (Acervo NESAG - IGEO/UFRJ).....	57
Figura 21: Coletor de serapilheira instalado nas parcelas (Acervo NESAG - IGEO/UFRJ)...	58
Figura 22: Coleta do material orgânico de superfície – serapilheira (Acervo NESAG - IGEO/UFRJ).....	59
Figura 23: Coleta de solo com utilização de anéis de Koppec (Acervo NESAG - IGEO/UFRJ).....	60
Figura 24: Coletas de solo realizadas após a retirada do estoque de serapilheira (Acervo NESAG - IGEO/UFRJ).....	61
Figura 25: Descrição morfológica em campo das formas de húmus (Acervo NESAG - IGEO/UFRJ).....	62
Figura 26: Sequência das camadas das formas de húmus (Acervo NESAG - IGEO/UFRJ).	62
Figura 27: Variáveis da Estrutura Florestal (Altura Estimada; DAP; Área Basal e Volume de madeira) nas duas parcelas: extrato arbóreo (10 x 10 m) e sub-bosque (5 x 5 m).....	69
Figura 28: Ordenação NMS das variáveis de estrutura florestal das parcelas estudadas. A fração da variância total para cada axis está indicada entre parênteses. Os ângulos e as distâncias dos vetores centrais indicam a direção e a força da correlação entre as variáveis do solo e a ordenação.	71
Figura 29: Ordenação NMS das variáveis de estrutura florestal das parcelas PB e PI. A fração da variância total para cada axis está indicada entre parênteses. Os ângulos e as distâncias dos vetores centrais indicam a direção e a força da correlação entre as variáveis do solo e a ordenação.	72
Figura 30: Ordenação NMS das variáveis de estrutura florestal das parcelas RB e PB. A fração da variância total para cada axis está indicada entre parênteses. Os ângulos e as distâncias dos vetores centrais indicam a direção e a força da correlação entre as variáveis do solo e a ordenação.	73
Figura 31: Produção total mensal durante o período da pesquisa (agosto/2012 a janeiro/2013) nos fragmentos estudados.	80
Figura 32: Ordenação NMS das variáveis de produção foliar das parcelas estudadas. A fração da variância total para cada axis está indicada entre parênteses. Os ângulos e as distâncias dos vetores centrais indicam a direção e a força da correlação entre as variáveis do solo e a ordenação.	81

Figura 33: Valores de pH nas parcelas amostradas nas duas profundidades.	83
Figura 34: Teores de Cálcio nas parcelas amostradas nas duas profundidades.	84
Figura 35: Valores da soma de bases (S) nas parcelas amostradas nas duas profundidades.	85
Figura 36: Valores da capacidade de troca catiônica (C.T.C.) nas parcelas amostradas nas duas profundidades.	86
Figura 37: Camadas das formas de húmus nas parcelas estudadas – coleta de inverno.	95
Figura 38: Ordenação NMS das variáveis de formas de húmus das parcelas estudadas – coleta de inverno. A fração da variância total para cada axis está indicada entre parênteses. Os ângulos e as distâncias dos vetores centrais indicam a direção e a força da correlação entre as variáveis do solo e a ordenação.	96
Figura 39: Camadas das formas de húmus nas parcelas estudadas – coleta de verão.	100
Figura 40: Ordenação NMS das variáveis de formas de húmus das parcelas estudadas – coleta de verão. A fração da variância total para cada axis está indicada entre parênteses. Os ângulos e as distâncias dos vetores centrais indicam a direção e a força da correlação entre as variáveis do solo e a ordenação.	101
Figura 41: Peso total das formas de húmus nas coletas de inverno e verão.	105
Figura 42: Ordenação NMS das variáveis de formas de húmus das parcelas estudadas – coletas de inverno e verão. A fração da variância total para cada axis está indicada entre parênteses. Os ângulos e as distâncias dos vetores centrais indicam a direção e a força da correlação entre as variáveis do solo e a ordenação.	107
Figura 43: Centróides calculados da ordenação dos dados das camadas das formas de húmus – coletas de inverno e verão.	108

Lista de Tabelas

Tabela 1: Horizontes diagnósticos e atributos ambientais dos tipos de formas de húmus em ambientes temperados (Adaptado de ZANELLA <i>et al.</i> , 2011a, p. 22).....	32
Tabela 2: Modelo utilizado para a descrição morfológica das formas de húmus (Adaptado de Zanella <i>et al.</i> , 2011a e b).....	63
Tabela 3: Análise comparativa borda x interior dos fragmentos florestais (Estrutura da Vegetação do Extrato Arbóreo - CAP $\geq$ 15 cm).....	67
Tabela 4: Análise comparativa borda x interior dos fragmentos florestais (Estrutura da Vegetação do Sub-bosque – CAP < 15 cm).	68
Tabela 5: MRPP da ordenação da estrutura florestal entre as áreas de estudo.	72
Tabela 6: Análise comparativa borda x interior do fragmento urbano (Produção Foliar – Litterfall).	76
Tabela 7: Análise comparativa borda x interior do fragmento rural (Produção Foliar – Litterfall).	77
Tabela 8: Análise comparativa borda x interior do fragmento parnaso (Produção Foliar – Litterfall).	78
Tabela 9: Análise comparativa inter-fragmentos florestais da Produção Foliar – Borda e Interior.	79
Tabela 10: MRPP da ordenação da produção foliar entre as áreas de estudo.	82
Tabela 11: Classificação dos solos amostrados em Eutróficos ou Distróficos de acordo com a porcentagem de saturação em bases (V%).....	87
Tabela 12: Descrição geral da fertilidade do solo e granulometria (0 - 5 cm).	90
Tabela 13: Descrição geral da fertilidade do solo e granulometria (5 – 10cm).	91
Tabela 14: Análise comparativa Borda x Interior (Inverno) intra-fragmento florestal da camada holorgânica.....	94
Tabela 15: MRPP da ordenação das camadas das formas de húmus das parcelas estudadas – coleta de inverno.	97
Tabela 16: Análise comparativa Borda x Interior (Verão) intra-fragmento florestal da camada holorgânica.	99

Tabela 17: MRPP da ordenação das camadas das formas de húmus das parcelas estudadas – coleta de verão.....	102
Tabela 18: Análise comparativa intertemporal (Inverno x Verão) intra-fragmento florestal da camada holorgânica - Borda.....	104
Tabela 19: Análise comparativa intertemporal (Inverno x Verão) intra-fragmento florestal da camada holorgânica – Interior.....	106
Tabela 20: MRPP da ordenação das formas de húmus das parcelas estudadas – coletas de inverno e verão.	109
Tabela 21: Taxas de decomposição (k) – correspondentes aos seis meses de coletas de produção - das parcelas estudadas.	109

SUMÁRIO

1 – Introdução	1
2 – Hipóteses e Objetivos	4
2.1 – Objetivos Gerais	4
2.2 – Objetivos Específicos.....	4
3 - Revisão Bibliográfica.....	5
3.1 - O estudo da biodiversidade: motivações e desafios numa abordagem sistêmica	5
3.2 - A Mata Atlântica.....	10
3.3 - A Fragmentação Florestal e o Efeito de Borda.....	14
3.4 – Indicadores Funcionais Globais	18
3.5 – A ciclagem de nutrientes em ecossistemas florestais: o processo de decomposição	20
3.6 –Formas de Húmus	24
4 – Área de Estudo.....	36
5.1 – Histórico de ocupação e uso do solo e relevância da Bacia do Bonfim	39
5.2 – Características geográficas da Bacia do Bonfim	46
6 – Operacionalização da Pesquisa	50
6.1 - Escolha dos fragmentos e estabelecimento das parcelas.....	50
6.2 – Coletas de Amostras, Levantamentos de Campo e Análises Laboratoriais.....	55
6.2.1- Caracterização da Estrutura da Vegetação	56
6.2.2 – Percentual de Cobertura do Dossel	57
6.2.3 - Camada Holorgânica	58
6.2.4 - Camada Hemiorgânica	60
6.2.5 – Classificação das Formas de Húmus	61
6.3 – Análise dos resultados:.....	64
7 – Resultados e Discussões	65

7.1 - Estrutura Florestal	66
7.2 - Produção Foliar (" <i>Litterfall</i> ")	74
7.3 - Fertilidade e granulometria do solo.	83
7.4 - Formas de Húmus.....	92
7.4.1 – Classificação das Formas de Húmus.....	111
8 – Considerações Finais.....	117
9 - Referências Bibliográficas.....	121

1 – Introdução

As mudanças ambientais podem ser consideradas como uma das questões mais importantes do mundo atual. Neste contexto, destacam-se as regiões tropicais, por abrigarem as maiores taxas de biodiversidade e, ao mesmo tempo, serem as mais afetadas pelo processo de desflorestamento.

No Brasil, merece destaque a Mata Atlântica, o mais afetado dos seus biomas, tendo sido reduzido a menos de 10% de sua cobertura original (SOS MATA ATLÂNTICA e INPE, 2011). Este bioma é atualmente formado por um mosaico de fragmentos florestais de diferentes formas e tamanhos, espalhados em meio a sistemas antrópicos, o que evidencia o caráter dinâmico da paisagem, tanto no espaço quanto no tempo. A conservação e a recuperação dos recursos naturais remanescentes da Mata Atlântica dependem, assim, de uma política de gestão dos fragmentos florestais. Porém, para se efetuar a gestão dos fragmentos florestais, é preciso conhecer não apenas o seu tamanho e forma, contiguidade a outros fragmentos e tipo de habitat matriz, mas, principalmente, o seu estado funcional. A associação do tipo de fragmento com seu histórico e com o conhecimento do funcionamento e da estrutura de seus componentes biológicos é essencial para guiar programas de conservação (GARAY, 2001).

Nesta perspectiva, percebe-se que sistemas naturais, inseridos nas paisagens, conformam a unidade de avaliação da biodiversidade ao nível de ecossistema, em que a fragmentação afeta o funcionamento dos ecossistemas com diversos níveis hierárquicos de diversidade.

Da mesma maneira, as interações entre o meio ambiente rural ou urbano e os sistemas biológicos possibilitam ou não a sustentabilidade dos componentes da biodiversidade interna dos diferentes ecossistemas, interferindo assim em seu funcionamento. Em ambos os casos, a avaliação da diversidade ao nível de ecossistema implica necessariamente considerar uma unidade geográfica espacial, em que a bacia hidrográfica se destaca, tendo em vista a visão sistêmica do ambiente implícita na adoção desta unidade espacial, além de ser entendida como célula básica de análise ambiental, permitindo conhecer e avaliar seus diversos

componentes e os processos e interações que nela ocorrem (BOTELHO e SILVA, 2004).

A estruturação da paisagem ocasionada pela atividade humana pode, em si também, estar à base de uma diferenciação das unidades ecossistêmicas, com destaque para os efeitos de borda resultantes de tal processo. Como exemplo, podemos citar as diferenças no padrão de funcionamento de ecossistemas florestais inseridos em matrizes distintas numa mesma bacia hidrográfica.

Diante do apresentado, a fim de buscar padrões de funcionamento de remanescente florestais a partir do estudo das formas de húmus, foram escolhidos três fragmentos na bacia hidrográfica do Bonfim, a qual se apresenta como uma unidade espacial representativa em termos de diversidade de matrizes em que estes fragmentos se inserem, sendo um no contexto urbano, um no contexto rural e um no interior do Parque Nacional da Serra dos Órgãos (PARNASO).

Para isso, foram utilizados indicadores que permitem traçar inferências sobre os processos de produção e decomposição da matéria orgânica – formas de húmus, cuja caracterização permitirá o aprofundamento do conhecimento existente sobre a influência de diferentes matrizes em fragmentos inseridos numa mesma bacia hidrográfica e em condições fisiográficas semelhantes. Pretende-se, com isso, testar a utilização de particularidades do subsistema de decomposição – diferenças das variáveis entre os sistemas - para a avaliação ambiental (KINDEL 2001; GARAY e KINDEL, 2001; KINDEL e GARAY, 2001; CASTRO JR, 2002; PELLENS, 2002; PEREIRA, 2005; NORONHA, 2006; PESSOA *et al.*, 2012; MIRANDA, 2013; D'ARROCHELLA, 2013).

O funcionamento dos ecossistemas pode ser reconhecido como ocorrendo em três subsistemas: o subsistema produtor, o subsistema de herbivoria e consumidores secundários associados, e o subsistema decompositor. A integridade do ecossistema é mantida quando há um equilíbrio nas transferências de matéria e energia entre eles e pode ser medida através de processos e fluxos que ocorrem entre a produção e a decomposição da matéria orgânica (SWIFT *et al.*, 1979). Nos ecossistemas florestais, o subsistema produtor é sobretudo constituído pelas

árvores, embora não se possa descartar a importância de algas, epífitas, lianas e ervas. O subsistema decompositor, por sua vez, é formado por todo o material produzido pela vegetação e os organismos que atuam em sua decomposição. Este material ao cair no solo florestal vai constituir uma camada de serapilheira que com o ataque da fauna e dos microorganismos será decomposta e reciclada (ODUM, 1971; SWIFT *et al.*, 1979; GARAY e SILVA, 1995; PONGE, 2003, 2013; ZANELLA *et al.*, 2011a, 2011b). Assim, indicadores como estrutura da vegetação, qualidade dos aportes epígeos e características das formas de húmus podem fornecer uma síntese sobre o funcionamento do ecossistema.

As formas de húmus permitem, em síntese, trabalhar interações que ocorrem no nível ecossistêmico, e não sobre espécies individuais (PONGE, 2013).

De acordo com Christofolletti (1999), os estudos mais voltados para a área da Geografia Física preocupam-se com o estudo da organização espacial dos sistemas ambientais físicos, também denominados de *geossistemas*. Assim, estudar a variabilidade espacial de processos funcionais ecossistêmicos no contexto de uma bacia hidrográfica constitui-se, a priori, numa abordagem geossistêmica, em que elementos físicos da natureza e socioeconômicos e culturais podem ser estudados de forma integradora e dinâmica, levando-se em conta a extrema variabilidade espacial e temporal de tais processos.

2 – Hipóteses e Objetivos

O presente trabalho baseou-se em duas hipóteses centrais que nortearam as observações e mensurações:

- As formas de húmus são sensíveis às matrizes e situação da parcela no fragmento (borda e interior), permitindo reconhecer níveis de antropização distintos?
- As formas de húmus guardam padrões com esses níveis de antropização?

2.1 – Objetivos Gerais

- Identificar e testar a possibilidade de utilização das Formas de Húmus para avaliação da integridade ecológica de fragmentos florestais inseridos em diferentes matrizes;
- A partir dos indicadores observados, contribuir por meio dos conhecimentos obtidos para a gestão ambiental e, desta forma, criar subsídios para a conservação, recuperação e ampliação dos remanescentes de Mata Atlântica.

2.2 – Objetivos Específicos

- Caracterizar o processo de produção e decomposição da matéria orgânica e classificar as formas de húmus observadas nas parcelas estudadas;
- Realizar comparações inter e intra-fragmentos, verificando se existem variações resultantes das diferentes matrizes em que estão inseridos, e se configura ou não efeito de borda;
- Verificar se há diferença espacial na estrutura da vegetação inter e intra-fragmentos. Em havendo essa diferença, se ela também repercute na funcionalidade desses sistemas, tendo-se como parâmetro a produção da serapilheira;
- Analisar se mudanças na estrutura e funcionalidade do sistema vegetacional se refletem no piso florestal, através de sua estrutura e volume.

3 - Revisão Bibliográfica

3.1 - O estudo da biodiversidade: motivações e desafios numa abordagem sistêmica

As bases lançadas pela Convenção sobre Diversidade Biológica, durante a Rio-92, forneceram um marco conceitual para o desenvolvimento de políticas públicas voltadas à conservação, utilização sustentável da biodiversidade e repartição de benefícios derivados do uso comercial dos recursos genéticos. A partir de então, é observada uma maior demanda por estudos relacionados ao tema, destacando-se aqueles relacionados a ecossistemas tropicais, tendo em vista a relevância de sua diversidade biológica e o número ainda pequeno e insuficiente de estudos sobre estes.

Estudos mais recentes sobre a biodiversidade vêm ressaltando a sua transdisciplinaridade, devido à necessidade de integração/correlação de seus três componentes ou níveis biológicos: genético, de espécies e de ecossistemas e paisagens. O presente estudo, numa perspectiva geográfica, abordou principalmente o último nível citado, numa tentativa de integração a partir de uma abordagem sistêmica. Com isso, além dos três níveis apresentados, há a necessidade de integrar também a diversidade sócio-cultural, tendo em vista que a biodiversidade e seus componentes estão inseridos numa dinâmica de integração com as situações geográficas e matrizes em que estão inseridas.

De acordo com Younés (2001), em um contexto ecossistêmico é relevante abordar o papel funcional da biodiversidade, discutindo, por exemplo, o papel da biodiversidade de espécies e de paisagens nos processos ecossistêmicos (por ex. retenção de nutrientes, decomposição, produção etc.). Ainda de acordo com a autora, respostas não lineares a mudanças na biodiversidade são características em comum dos ecossistemas. Lagos, florestas e campos fornecem exemplos nos quais perturbações inicialmente induzidas pelo homem ocasionam um maior efeito sobre a composição em espécies que no funcionamento do ecossistema. Esta característica resulta da complementaridade funcional das espécies. Porém, além de certo limite, a

eliminação de determinadas espécies resulta em mudanças drásticas do funcionamento do ecossistema.

No mundo, as maiores preocupações têm sido dirigidas às florestas tropicais, visto que esses ecossistemas, que ocupam apenas 7% da superfície terrestre, possuem mais da metade das espécies da biota mundial e estão sendo destruídos - substituídos por outros usos da terra - muito rapidamente (CASTRO JR. *et al.*, 2009), situação que se materializa no bioma Mata Atlântica.

Comparada com a avaliação da diversidade genética e da diversidade de espécies, a questão da diversidade de ecossistemas e paisagens é, sem dúvida, a mais controvertida e polêmica. Ela é, portanto, crucial na medida em que a conservação *in situ*, que assegura a manutenção dos recursos genéticos, não pode limitar-se, na prática, à simples preservação de uma coleção de indivíduos de diferentes populações, aliás impossível de ser conhecidas hoje de forma exaustiva nem sequer numa única área. Assim, o ecossistema é a unidade biológica fundamental, objeto de qualquer política de gestão da biodiversidade (GARAY, 2001), pois, como consequência lógica dos níveis hierárquicos da diversidade biológica, o ecossistema representa não somente a unidade privilegiada de conservação *in situ* das espécies e da variabilidade genética destas espécies, mas também uma unidade funcional e de estrutura que apresenta sua própria variabilidade, sobretudo em região tropical e intertropical (YOUNÉS, 1992).

Estudar a biodiversidade ao nível de ecossistema, numa perspectiva geográfica, implica estabelecer relações entre eles numa determinada paisagem, a partir de uma abordagem sistêmica, onde dois conceitos então destacam-se: Ecossistemas e Geossistemas, em que um sistema pode ser considerado como

Conjunto estruturado de objetos e/ou atributos. Esses objetos e atributos consistem de componentes ou variáveis (isto é, fenômenos que são passíveis de assumir magnitudes variáveis) que exibem relações discerníveis um com os outros e operam conjuntamente como um todo complexo, de acordo com determinado padrão. (CHORLEY e KENNEDY, 1971)

E sistemas ambientais como

Entidades organizadas na superfície terrestre, de modo que a espacialidade se torna uma de suas características inerentes . Em virtude da variedade de elementos componentes e dos fluxos de interação, constituem exemplos de *sistemas complexos espaciais*. (CHRISTOFOLETTI, 1999)

Os ecossistemas e geossistemas são entidades representativas de sistemas ambientais. Enquanto os ecossistemas correspondem aos sistemas ambientais biológicos, os geossistemas correspondem aos sistemas ambientais para as sociedades humanas, sendo constituída principalmente pelos elementos físicos e biológicos da natureza e analisados sob a perspectiva geográfica. A primeira focaliza as características das comunidades biológicas, enquanto a segunda refere-se à organização dos elementos físicos e biogeográficos no contexto espacial (CHRISTOFOLETTI, 1999).

Os ecossistemas são sistemas termodinâmicos que caracterizam-se pelos fluxos de energia e ciclo de matéria necessários para que a vida se mantenha e prossiga, visando a manutenção e permanência dos seres vivos do referido sistema ecológico. Por essa razão, a análise da biodiversidade, a sua estrutura trófica e fluxos, a avaliação dos recursos e da estabilidade e as propostas de manejo geralmente são referenciadas para a escala local, além de se apresentarem como sistemas abertos (ODUM, 1988).

Os sistemas ambientais físicos (geossistemas) representam a organização espacial dos elementos componentes físicos da natureza, possuindo expressão espacial na superfície terrestre e representando uma organização (sistema) composta por elementos, funcionando através dos fluxos de energia e ciclos de matéria, dominante numa interação areal (CHRISTOFOLETTI, 1999).

O geossistema resultaria da combinação de um potencial ecológico (geomorfologia, clima, hidrologia), uma exploração biológica (vegetação, solo, fauna) e uma ação antrópica, não apresentando, necessariamente, homogeneidade fisionômica, e sim um complexo essencialmente dinâmico (BERTRAND, 1971; SOCTCHAVA, 1978).

O ecossistema é uma unidade de estrutura espaço-temporal e de funcionamento que se caracteriza por dois processos fundamentais, produtividade e decomposição. O enfoque ecossistêmico pode fornecer indicadores simples para avaliação da biodiversidade, tanto intra-ecossistêmica, genética e de espécies, como interecossistêmica, na escala da paisagem. Segundo Garay (2001), quando possível, a melhor alternativa é, certamente, de associar os processos ecossistêmicos à biodiversidade e incluir do início da pesquisa a própria diversidade de espécies e populações que sustentam parâmetros globais, tais como a queda de folhas, os estoques de nutrientes nos solos etc. Em síntese, é através de indicadores que poderá ser avaliada a diversidade de ecossistemas, indicadores estes que, quando globais, deverão ser validados pelo estudo de comunidades e populações em relação à dinâmica do funcionamento do ecossistema que se manifesta numa estrutura espaço-temporal e numa dada escala espacial. Ou seja, estes indicadores permitem avaliar o status da biodiversidade no interior das unidades biológicas, sejam estas ecossistemas diferentes ou fragmentos remanescentes do mesmo tipo de ecossistema. Assim, pode-se sugerir que a alteração da diversidade intra-ecossistêmica, ocasionada pelo impacto antrópico, pode ser avaliada através de parâmetros simples do subsistema de decomposição, com a condição de se estabelecer a dinâmica da decomposição.

A avaliação da biodiversidade ao nível de ecossistema apresenta dois aspectos que são complementares, um se refere à diversidade interecossistêmica em determinada paisagem, o outro, à diversidade intra-ecossistêmica. De acordo com Garay (2001), em relação à diversidade interecossistêmica, em todos os casos, sua escala de estudo se situa entre a microrregião ou a região, seja porque a diversidade interecossistêmica corresponde espacialmente a uma bacia hidrográfica, seja porque o motivo estrutural da topo-sequência se repete no espaço, abrangendo paisagens diversas. Em consequência, a avaliação da diversidade ecossistêmica deverá abraçar esta mesma escala.

Diante do exposto, podemos destacar que definir e proteger a biodiversidade implica em reconhecer a sua complexidade. A biodiversidade não é um conceito abstrato, nem puramente físico-biológico mas, sim, também humano, pois que tem

uma localização geográfica e formas de apropriação com feições específicas, o que lhe confere uma dimensão material, concreta e, portanto, a insere necessariamente no contexto das relações sociais (BECKER, 2001).

É neste sentido que Younés e Garay (2006) destacam o imperativo das abordagens integrativas para a compreensão das dimensões humanas da biodiversidade. Apesar das questões sobre a perda da biodiversidade terem emergido no contexto das Ciências Biológicas, é necessária uma abordagem integrativa que considere ao mesmo tempo as dimensões biológicas e humanas da biodiversidade.

3.2 - A Mata Atlântica

A Mata Atlântica é a segunda maior floresta pluvial tropical do continente americano, que originalmente estendia-se de forma contínua ao longo da costa brasileira, penetrando até o leste do Paraguai e nordeste da Argentina em sua porção sul. No passado cobria mais de 1,5 milhões de km² – com 92% desta área no Brasil (GALINDO-LEAL e CÂMARA, 2003). Atualmente, é representada por remanescentes fragmentados, resultado de um processo histórico de destruição, associada ao processo de ocupação e formação econômica do território brasileiro desde o início do século XVI (DEAN, 1996). Hoje este bioma apresenta-se como um dos mais importantes em termos de necessidade de maiores estudos quanto à qualidade ambiental e capacidade de gestão de seus remanescentes.

A Mata Atlântica destaca-se pela sua heterogeneidade interna, conforme apresenta Tabarelli *et al.* (2005)

Extremamente heterogênea em sua composição, a Mata Atlântica estende-se de 4° a 32°S e cobre um amplo rol de zonas climáticas e formações vegetacionais, de tropicais a subtropicais. A elevação vai do nível do mar até 2.900m, com mudanças abruptas no tipo e profundidade dos solos e na temperatura média do ar. Variações longitudinais são igualmente marcantes. Quanto mais interioranas, mais sazonais tornam-se as florestas, com índices de pluviosidade caindo de 4000 mm a 1000 mm em algumas áreas da Serra do Mar (Oliveira-Filho & Fontes, 2000; Mantovani, 2003). Junto com a floresta tropical, a Mata Atlântica abrange formações mistas de araucária ao sul, com distinta dominância de lauráceas, e florestas decíduas e semidecíduas no interior. Várias formações encontram-se associadas ao bioma, como mangues, restingas, formações campestres de altitude e brejos (florestas úmidas resultantes de precipitação orográfica em meio a formações semi-áridas no nordeste brasileiro). (TABARELLI *et al.*, 2005, p.02)

Este bioma destaca-se também por sua importância histórica no contexto da criação de áreas protegidas do Brasil, tendo nele ocorrido os primeiros Parques Nacionais brasileiros, embriões de toda uma política de áreas a serem conservadas/preservadas, representadas atualmente pelo Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC), Lei 9.985/2000. Os primeiros parques criados no Brasil – Itatiaia, em 1937; e Iguaçu, Serra dos Órgãos e Sete Quedas, em 1939 – protegiam paisagens extraordinárias, mas a consciência da necessidade de conservar a vida silvestre do Brasil ainda era incipiente até a primeira metade do

século XX. Somente nas últimas décadas o Brasil experimentou um avanço maior na no desenvolvimento da capacidade de conservação, em que a evidência mais tangível do rápido crescimento da consciência e da ciência da conservação no Brasil desde o início da década de 70, pode ser vista na proliferação dos parques e reservas (MITTERMEIER *et al.*, 2005)

Em 1988, a Mata Atlântica foi declarada Patrimônio Nacional (art. 225, §4, da Constituição Federal). No mesmo ano, cinco estados brasileiros (Espírito Santo, Rio de Janeiro, São Paulo, Paraná e Santa Catarina) criaram o Consórcio Mata Atlântica, instituição que objetiva apoiar e articular seus esforços pela conservação da Mata Atlântica. Outros estados se associaram nos anos seguintes e, entre 1991 e 1992, a UNESCO declarou o bioma a primeira Reserva da Biosfera do Brasil, o mais elevado patamar internacional de importância para a conservação (RBMA, 1996).

No Estado do Rio de Janeiro a RBMA abrange cerca de 18.500 km² (Figura 1), correspondendo a aproximadamente 42% da área estadual (ICMBio, 2008; SOS MATA ATLÂNTICA e INPE, 2011).

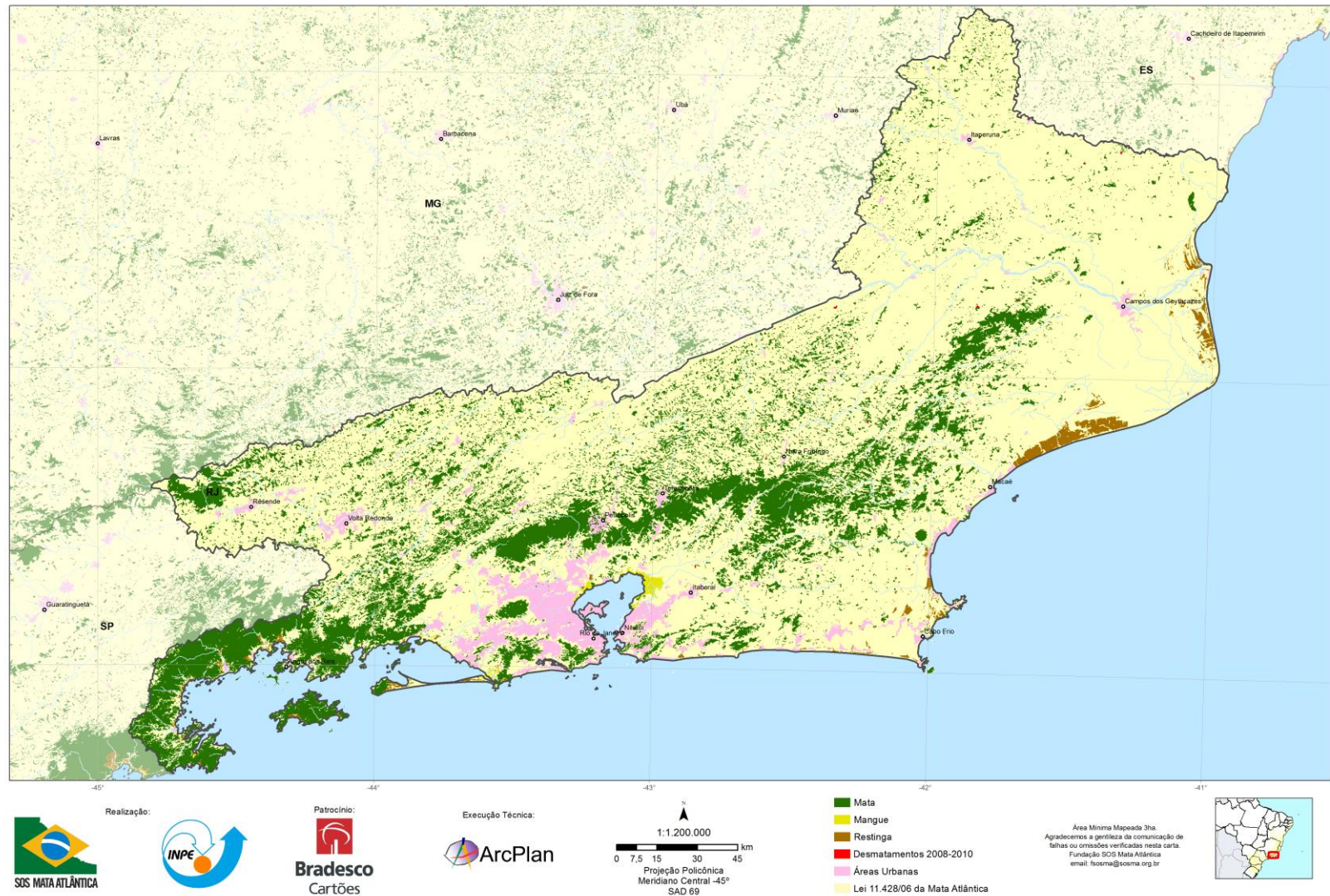


Figura 1: Mapa dos remanescentes florestais da Mata Atlântica 2008-2010 no estado do Rio de Janeiro (SOS MATA ATLÂNTICA e INPE, 2011).

Nesta discussão, também destaca-se o conceito de *Hotspot*, criado em 1988, pelo ecólogo inglês Norman Myers (1988; 1990), para resolver um dos maiores dilemas dos conservacionistas: quais as áreas mais importantes para preservar a biodiversidade na Terra? Ao observar que a biodiversidade não está igualmente distribuída no planeta, Myers procurou identificar quais as regiões que concentravam os mais altos níveis de biodiversidade e onde as ações de conservação seriam mais urgentes, os “pontos quentes” (*Hotspots*) de biodiversidade. Os *hotspots* incluem as áreas mais ricas e ameaçadas do planeta. É considerada *hotspot* uma área com pelo menos 1.500 espécies endêmicas de plantas e que tenha perdido mais de 3/4 de sua vegetação original.

A Mata Atlântica foi identificada, desde o primeiro momento, como uma das cinco áreas mais ameaçadas do planeta, restando cerca de 7,5% de sua área original. O alto grau de endemismo do bioma Mata Atlântica reforça a necessidade de conservação de remanescentes e recuperação de áreas degradadas, a fim de evitar a extinção de inúmeras espécies. Menos de 25% dos remanescentes da Mata Atlântica estão protegidos por Unidades de Conservação de Proteção Integral (ICMBio, 2008).

Assim, percebe-se que o grande problema ambiental para a conservação do bioma Mata Atlântica é a gestão territorial para manter o que ainda existe de floresta e que ainda pode ter um significado ecológico. Pois, no que se refere à dimensão ecológica da conservação, manter a biodiversidade requer uma combinação de áreas protegidas, com manejo e restauração da paisagem para proporcionar a conexão ecológica dos fragmentos de maneira a garantir a representatividade e funcionalidade dos *habitats* (ANGELSTAM *et al.*, 2003; CASTRO JR *et al.*, 2009).

3.3 - A Fragmentação Florestal e o Efeito de Borda

A nível nacional e internacional, podemos observar um processo de ampla conversão das florestas tropicais em um mosaico de habitats alterados por ação humana e remanescentes isolados, associados, em grande parte, a populações humanas crescentes e pressões econômicas. Assim, grandes áreas de floresta primária são transformadas em mosaicos de pastagens e fragmentos florestais com sérias consequências para a biodiversidade. Ou seja, o desflorestamento tem como consequência a fragmentação florestal, onde fragmentos isolados de florestas estão circundados por matrizes distintas, em que várias questões são colocadas, tais como: qual o tamanho mínimo do fragmento para que o mesmo mantenha a sua integridade funcional? Qual o significado ao nível de riqueza de espécies da preservação de um fragmento grande ou de vários fragmentos menores que somados tenham o mesmo tamanho? O fato é que os processos ecológicos são, de maneira geral, alterados pelo isolamento da floresta. Concretamente, a perda de floresta primária leva à formação de novos habitats (matriz).

Na Mata Atlântica, por exemplo, a maior parte dos remanescentes florestais, especialmente em paisagens intensamente cultivadas, encontra-se na forma de pequenos fragmentos, altamente perturbados, isolados, pouco conhecidos e pouco protegidos (VIANA e PINHEIRO, 1998; GASCON *et al.*, 2000). A maior parte dos remanescentes florestais se encontra na forma de fragmentos florestais, onde o interesse no estudo das consequências da fragmentação florestal sobre a conservação da biodiversidade tem aumentado significativamente.

De acordo com Gascon *et al.* (2001), inevitavelmente, o desmatamento tropical resulta em fragmentação da floresta, ou seja, em fragmentos isolados de floresta tropical circundados por um “mar” de habitats não florestado. Neste sentido, a fragmentação ocorre quando um ecossistema é subdividido pela ação humana ou mesmo perturbações naturais, como o fogo, resultando em uma paisagem na qual permanecem alguns fragmentos da cobertura vegetal original inseridos em uma matriz com características totalmente diferentes (KINDEL, 2001).

No esforço para modelar e prever as consequências da fragmentação florestal, a teoria da biologia da conservação tem quase sempre se referido à base teórica fornecida pela Teoria de Biogeografia de Ilhas de MacArthur e Wilson (1967), a qual se

destaca pelo debate em torno de perguntas relativas ao tamanho mínimo que um “hábitat ilha” deve ter para conservar sua integridade, e quanto uma ilha maior poderá conservar mais espécies que diversas outras de menor tamanho sendo a área total a mesma – debate sobre uma única grande ou diversas pequenas. Porém, enquanto a teoria da Biogeografia de Ilhas se baseia em uma única variável resposta (por ex. o número de espécies) para medir a mudança do ecossistema devido à fragmentação, estudos mais recentes sugerem um conjunto mais complexo de modificações ocorrendo como resultado da fragmentação do hábitat como, por exemplo, mudanças no processo de ciclagem de nutrientes em determinados ecossistemas – fragmentos florestais. Estas mudanças, estudadas juntamente com outras variáveis, ressaltando suas interações, podem sugerir como a integridade de um fragmento se comportará após o isolamento. Além disso, a teoria é aplicada, a princípio, a ambientes vazios que vão sendo colonizados, enquanto na fragmentação, as espécies já se encontravam no local antes de se tornar um fragmento.

Estudos realizados na Amazônia central, sob o âmbito do Projeto Dinâmica Biológica de Fragmentos Florestais (PDBFF), apontam que a consequência inicial e mais óbvia da fragmentação do hábitat é a diminuição na riqueza de espécies, associada a diminuição na heterogeneidade do hábitat, tendo em vista que em regiões tropicais muitas espécies possuem pequena área de ocorrência natural, ou áreas pequenas possuem alta percentagem de espécies endêmicas. Ou seja: o grau de especialização é muito alto.

Outro aspecto importante da fragmentação florestal é a formação de bordas, em que o processo de fragmentação impõe a criação de borda de floresta onde esta não existia anteriormente. Esta borda tem que ser distinguida de zonas de ecotonia natural. A diferença básica é de grau de contraste entre os dois habitats (GASCON *et al.* 2001).

A fragmentação resulta, portanto, em complexas mudanças biológicas e ecológicas. Didham (1998), por exemplo, observou variações no processo de decomposição em fragmentos pequenos em comparação a fragmentos de maior tamanho e à florestas contínuas, em seus estudos na Amazônia Central.

Diante das frequentes questões relacionadas a definição de um fragmento florestal, a ênfase no processo – fragmentação, e não no resultado – fragmento, tem sido uma das melhores formas de abordar o assunto, tendo em vista a complexidade

de uma definição para “fragmento florestal”, o que certamente pode variar de acordo com as escalas espaciais e até mesmo temporais utilizadas nos estudos sobre o tema. De fato, o que ocorre é que a perda de floresta primária resulta na formação de um novo hábitat matriz, o qual será importante na evolução da dinâmica do ecossistema em fragmentos de floresta, pois: 1) atuará como um filtro (não uma barreira) para movimento entre os componentes da paisagem, 2) espécies associadas de áreas perturbadas estarão presentes e poderão invadir fragmentos de floresta e habitats de borda, 3) dependendo do uso do solo, o hábitat matriz tomará conta de uma forma diferente, por ex. pastagem, pastagem degradada, floresta de crescimento secundário, e até mesmo área urbanas (WILLIANSO *et al.* 1997). Assim, a natureza do hábitat matriz influenciará a severidade dos efeitos de borda em fragmentos de floresta.

Dois são os efeitos principais da fragmentação, as alterações microclimáticas dentro e no entorno do fragmento e o seu isolamento em relação a outros remanescentes que permanecem na paisagem circundante (METZGER, 1999; GASCON *et al.* 2001). Dando destaque às alterações climáticas,

A borda cria novas condições tais como o aumento da luminosidade, a redução da umidade e a maior exposição ao vento e a radiação solar, com efeitos diretos e indiretos sobre a comunidade biológica, o que explicam as mudanças observadas na estrutura e na comunidade da floresta, bem como na mortalidade das árvores (KAPOS, 1989; MALCOLM, 1994; MURCIA, 1995; LAURANCE *et al.*, 1998, 2001). Ao longo do tempo, as bordas vão evoluindo, adquirindo outro aspecto, muitas vezes bem fechado por causa do aumento da densidade de lianas e espécies oportunistas (CAMARGO e KAPO, 1995; KAPO *et al.*, 1997).(KINDEL, 2001)

Tem se tornado claro que os efeitos da fragmentação do hábitat têm sido controlados por dois processos principais: os efeitos internos nos fragmentos ligados à formação de borda de floresta e a influência externa do hábitat matriz na dinâmica do fragmento. Este segundo processo inclui interação da paisagem num nível mais amplo de configuração do hábitat (GASCON *et al.* 2001). O manejo deve, portanto, levar em conta essas considerações. Muitas das soluções propostas são: a criação de corredores ligando os remanescentes, a manutenção de pontos de ligação (plantações de árvores, por exemplo), a restauração da área da borda para reduzir seu efeito,

principalmente, quando o formato do fragmento é irregular, a recuperação dos fragmentos por meio do enriquecimento de espécies e do controle da população de lianas (FORMAN e GODRON, 1986; LAURANCE e YENSEN, 1991; HOBBS, 1992; VIANA *et al.* 1997; METZGER, 1999; KINDEL, 2001).

Na Mata Atlântica, as bordas são resultado de processos naturais como o surgimento de clareiras ou limitações geográficas, tais como afloramentos rochosos e proximidades de margens de rios e outros corpos d'água (RAMOS e SANTOS, 2006). Entretanto, são as bordas antrópicas que têm motivado maior preocupação devido à sua grande escala e dinâmica (LAURANCE e BIERREGAARD, 1997; BIERREGAARD *et al.*, 2001; LAURANCE *et al.*, 2002; RODRIGUES e NASCIMENTO, 2006; TABARELLI *et al.*, 2010; ZAÚ, 2010). As bordas antrópicas estão relacionadas aos usos históricos da terra.

Por fim, cabe ressaltar que os fragmentos florestais podem estar constituídos de florestas primárias, secundárias, em diferentes estágios sucessionais ou, ainda, de um mosaico de diferentes situações; além de existir a fragmentação interna do fragmento, ocasionada por trilhas, rodovias, e outros casos. Com isso, diante da necessidade de um recorte espacial para a realização de estudos sobre o tema, a unidade espacial da bacia hidrográfica torna-se interessante, tendo em vista a abordagem sistêmica implícita a ela, e sua utilização frequente já há algumas décadas em estudos diversos na área da Geografia Física.

3.4 – Indicadores Funcionais Globais

Para avaliação do status da biodiversidade em seus diferentes níveis, algumas questões se destacam, tais como: é necessário um levantamento exaustivo da biodiversidade? Qual é o custo e o retorno deste levantamento em termos do desenvolvimento e da utilização sustentável da biodiversidade? Quais os limites técnico-científicos e sócio-econômicos deste levantamento? Avaliar a diversidade biológica implica assim delimitar o quê avaliar, o para que avaliar, o onde avaliar e o como avaliar (GARAY, 2001).

Como consequência lógica dos níveis hierárquicos da diversidade biológica, o ecossistema representa não somente a unidade privilegiada de conservação *in situ* das espécies e de sua variabilidade genética (YOUNÉS, 1992), mas também uma unidade funcional e de estrutura que apresenta sua própria variabilidade, como observamos nos ecossistemas que compõem a Mata Atlântica.

Neste sentido, o caráter hierárquico dos componentes da diversidade biológica faz com que, se o status desta encontra-se resguardado ao nível da integridade dos ecossistemas e de sua diversidade, as populações e as comunidades encontram-se, em tese, igualmente resguardadas (ANDERSEN *et al.*, 1991).

O desafio então passa a ser o de determinar quais os indicadores mais adequados, por um lado, da integridade biológica do ecossistema, ou seja, da diversidade intra-ecossistêmica e, por outra parte, da diversidade interecossistêmica. Pois limitar o caráter indicador da integridade do ecossistema às espécies implica desconhecer que o ecossistema é uma unidade na qual os componentes bióticos e abióticos interagem de forma que, estes últimos, resultam assim mesmo da atividade dos seres vivos.

Com isso,

Outra categoria de indicadores deve ser reconhecida: trata-se de variáveis que sintetizam o funcionamento do ecossistema, notadamente os dois processos maiores que o definem: produtividade e decomposição, ou de variáveis que modulam fortemente estes processos. São desta ordem indicadores globais tais como a produção anual de necromassa, a matéria orgânica do solo, o padrão de distribuição de nutrientes, entre outros. O inconveniente dos indicadores funcionais globais reside no fato de ignorar, às vezes, que o

ecossistema pode estruturar-se em mosaico, como acontece com as florestas tropicais que englobam manchas de estágios sucessionais, assegurando a sobrevivência do conjunto. Validar estes indicadores, que representam na realidade estimativas médias, implica necessariamente não desconsiderar a heterogeneidade interna, propriedade funcional da maioria dos ecossistemas. (GARAY, 2001, p.406)

Assim, a utilização de indicadores ecológicos do ecossistema, numa abordagem sistêmica, não necessita de um conhecimento exaustivo e custoso da riqueza específica total, tornando a operacionalização de tais estudos mais viáveis. Uma alternativa pode ser apresentada pelo estudo de mecanismos que reflitam variações do processo de produção e decomposição nos ecossistemas, o que é apresentado como ponto-chave da presente pesquisa, ao utilizar características do processo de decomposição e, conseqüentemente, das formas de húmus em sentido amplo, como “Indicadores Funcionais Globais”.

3.5 – A ciclagem de nutrientes em ecossistemas florestais: o processo de decomposição

A ciclagem de nutrientes e sua variabilidade em determinados ecossistemas, muito estudada em regiões temperadas, possui uma necessidade de um maior conhecimento em ambientes tropicais, dada a escassez de estudos e até mesmo do fato de por muito tempo tal dinâmica ter sido ignorada, além da complexidade de tal processo associada a heterogeneidade dos ambientes tropicais. De acordo com Garay e Kindel (2001), a razão principal deste vazio de conhecimento foi a hipótese de que as altas temperaturas médias são responsáveis por taxas de decomposição elevadas que conduzem a um processo acelerado de decomposição e, como consequência, escassa acumulação superficial de camadas orgânicas.

Porém, tal hipótese não se aplica aos ecossistemas florestados do bioma Mata Atlântica, tendo em vista que resultados relativos a estes revelam uma diversidade do processo de decomposição que não somente sintetiza a relação vegetação/solo, como também leva a considerar a estrutura da matéria orgânica do solo como um indicador da diversidade funcional de fragmentos remanescentes (GARAY *et al.* 1995; KINDEL 1996, 2001; CASTRO JR, 2002; PELLENS, 2002; PEREIRA, 2005; NORONHA, 2006; PESSOA *et al.*, 2012; MIRANDA, 2013; D'ARROCHELLA, 2013).

Sobre o subsistema de decomposição,

O que define, antes de mais nada, a importância do subsistema decompositor é o fato de que a maior parte da biomassa produzida nos ecossistemas não é diretamente consumida pelos herbívoros, mas é transformada em necromassa, substrato ou recurso primeiro deste subsistema. Esta matéria orgânica, cujo destino final é a oxidação completa, constitui o reservatório dos nutrientes que deverão ser reciclados para assegurar a continuidade dos ciclos produtivos pela vegetação. A cinética de liberação dos nutrientes está, assim, intimamente ligada à sobrevivência e manutenção do conjunto das comunidades do ecossistema". (GARAY e KINDEL, 2001, p. 352)

Para definir melhor tal processo, pode-se partir do pressuposto de que os ecossistemas são mantidos por meio da produção, transferência e decomposição-mineralização da matéria orgânica e fluxos de energia entre seus componentes. Quando essa energia chega à terra vinda do sol, ela é estocada, por meio da fixação

do CO₂, na forma de biomassa vegetal (subsistema de produtores primários). A maior parte da biomassa vegetal produzida (80%), ou seja, a que não é consumida pelos herbívoros, entra no subsistema decompositor na forma de detritos orgânicos, constituídos, principalmente, por folhas. Após a morte dos órgãos vegetais aéreos, a matéria orgânica que constituía esses órgãos entra em contato com o solo, onde começa a se decompor (SWIFT *et al.*, 1979; GREEN *et al.*, 1993).

Porém, é desde o momento da queda (abscisão) que a folha começa a sofrer senescência. No entanto, este processo é bruscamente acentuado depois que o material foliar cai, pois é aí que os agentes de decomposição intensificam a transformação dos aportes orgânicos. Concomitantemente, processos físicos e químicos tais como lixiviação, hidratação do substrato vegetal ou mesmo ataque por solutos orgânicos, aceleram também o processo de decomposição. A partir deste momento, a matéria orgânica passa por vários processos – fragmentação, mineralização e humificação¹, que farão com que progressivamente se incorpore ao primeiro horizonte mineral do solo (KINDEL, 2001). Neste sentido, tanto diferentes estágios de material decomposto como diferentes categorias de matéria orgânica podem coexistir (Figura 2), ou seja, estágios sucessionais diferentes podem coexistir no tempo de maneira que, num dado momento, diferentes etapas da sucessão podem estar representadas (SWIFT *et al.*, 1979).

Assim, o sistema decompositor transforma detritos de plantas em nutrientes disponíveis (mineralização) e húmus (humificação), processo que pode demorar de algumas semanas a vários anos.

¹ De acordo com Cerri *et al.*, 1992 (*apud* KINDEL, 2001):

- Fragmentação: processo físico-químico que consiste na quebra e transformação dos restos foliares em partes cada vez menores através da fragmentação pela fauna de solo, notadamente artrópodes (aranhas, insetos etc.) e anelídeos (minhocas). É também provocada pelo ambiente, decorrente de sucessivos períodos de umidade e seca que levam à quebra do material;

- Mineralização: processo químico, realizado pelos microorganismos (bactérias, fungos, protozoários e algas), que transforma um composto orgânico em outros inorgânicos menores e mais simples. Normalmente, a planta não tem acesso aos nutrientes essenciais na forma orgânica, sendo, então, a mineralização um processo importante para permitir que estes elementos fiquem disponíveis para serem absorvidos pelas raízes;

- Humificação: processo no qual ocorre o reagrupamento de elementos mineralizados com outros também mineralizados ou não. Nesta etapa são constituídas novas moléculas, cada vez mais complexas, de natureza coloidal e de cor escura.

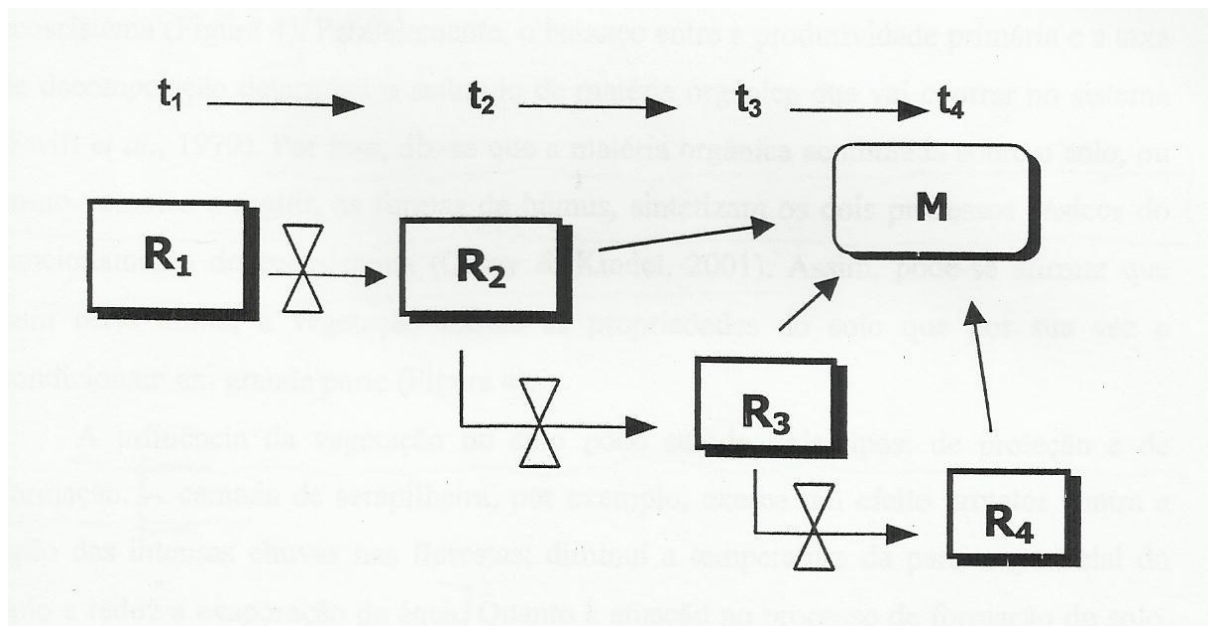


Figura 2: Representação esquemática do paradigma em cascata da decomposição, de acordo com Garay e Kindel (2001).

R: Recurso, substrato ou matéria orgânica; M: Compostos liberados (minerais); t: tempo;  : corresponde a fatores reguladores da decomposição (ambiente físico; qualidade do aporte epígeo; organismos decompositores).

O balanço entre a produtividade primária, a respiração autotrófica e a taxa de decomposição determina o acúmulo de matéria orgânica que vai ocorrer no sistema (SWIFT *et al.*, 1979). Por isso, é possível afirmar que a matéria orgânica acumulada sobre o solo, ou as formas de húmus em sentido amplo, sintetizam os dois processos básicos do funcionamento do ecossistema, produtividade e decomposição (GARAY e KINDEL, 2001).

Em termos de funcionalidade dos estratos florestais, a serapilheira constitui um dos principais protagonistas. Além de responsável pela liberação de nutrientes para o subsistema de biomassa vegetal viva adjacente, também tem sua importância no controle da água que penetra no sistema florestal (MONTEZUMA, 2005).

Porém, em ambientes tropicais, ao contrário dos temperados, uma serapilheira pobre em nutrientes não necessariamente está associada a uma folhagem também pobre em nutrientes, devido a perda de nutrientes das folhas antes da abscisão (PONGE, 2013).

Como indicadores da diversidade de formas de húmus (apresentados no item seguinte – 3.6) nos fragmentos de Floresta Atlântica, podemos citar: o gradiente de valores da relação entre o teor de carbono (C) e de nitrogênio (N) – razão C/N, que reflete o efeito combinado da decomposição da matéria orgânica e da mineralização do nitrogênio; a acumulação de matéria orgânica amorfa entremeada à rede de raízes finas que recobre o solo, isto é, o horizonte orgânico H. Em alguns casos, as taxas de decomposição da matéria orgânica obedecem sobretudo à qualidade da queda de folhas (aporte orgânico), em particular ao seu conteúdo de nitrogênio. Assim, a complexidade vegetal característica dos trópicos é reproduzida nos mecanismos de decomposição, originando heterogeneidades espaciais (GARAY e SILVA, 1995).

A funcionalidade deste subsistema é variável em função de alguns critérios, tais como a proporção de cada um de seus componentes (galhos, folhas, material reprodutivo, presença ou ausência de malhas de raízes finas), tamanho, constituição das camadas e tipo de decomposição, os quais são funções das condicionantes edáficas, climáticas e vegetacionais (GARAY e SILVA, 1995), importando ainda a fenofase (fases e períodos de desenvolvimento vegetal) e a idade da vegetação (MONTEZUMA, 2005).

Todos esses fatores podem ser relacionados à composição estrutural e química de suas camadas, em que conforme a sucessão vegetal avança no tempo, há uma tendência à otimização dos processos de ciclagem de nutrientes, tendo como tendência uma decomposição mais acelerada e menor permanência da necromassa vegetal no solo.

Diante do exposto, dada a heterogeneidade interna da Mata Atlântica, associada a contextos geográficos distintos em sua área de ocorrência, para a avaliação de sua diversidade ecossistêmica torna-se necessário delimitar variáveis simples de fácil mensuração que reflitam a diversidade dos fragmentos. Ou seja, indicadores fundados na relação entre os aspectos funcionais do ecossistema e suas comunidades. Com isso, ferramentas simples de avaliação e monitoramento podem ser desenvolvidas ao nível do ecossistema, com vistas à conservação e gestão dos habitats remanescentes.

3.6 –Formas de Húmus

O termo “formas de húmus” em sentido amplo refere-se ao material orgânico não decomposto e decomposto sobreposto ao solo mineral, bem como ao material orgânico misturado às partículas minerais da camada superficial do solo. Por isso, as formas de húmus podem ser subdivididas da seguinte forma:

- Horizontes inteiramente orgânicos, ou horizontes holorgânicos;
- Horizontes compostos, tanto de material orgânico como de material mineral, ou horizontes hemiorgânicos.

Com essa divisão é possível o reconhecimento de um “perfil das formas de húmus”, com a presença ou ausência de determinados horizontes em distintos estágios de decomposição (GREEN *et al.*, 1993; KINDEL e GARAY, 2001; ZANELLA *et al.*, 2011a).

Em ecossistemas florestais, as principais tendências no processo de decomposição podem ser sintetizadas pela “forma de húmus”, as quais sediam a maioria das transformações biológicas que ocorrem nos ecossistemas terrestres, sendo a interface entre as plantas, animais e microrganismos (PONGE, 2003), desempenhando um papel central no funcionamento da biodiversidade dos ecossistemas terrestres, em que podemos destacar os microorganismos como atores ativos dessa interação.

Assim, de acordo com Kindel e Garay (2001), é importante salientar que

Deve-se, para evitar mal entendidos na compreensão do que é tido como húmus, esclarecer as diferentes acepções. O ‘húmus’ corresponde ao produto da decomposição dos restos vegetais e animais, formados por compostos orgânicos complexos, de natureza coloidal, cor escura e associado aos constituintes minerais do solo (KIEHL, 1979; SWIFT *et al.*, 1979; DUCHAUFOUR, 1991; CERRI *et al.*, 1992; GREEN *et al.*, 1993). Já o conjunto dos horizontes orgânicos, que, além dos compostos resultantes do processo de humificação, é constituído também pela serapilheira, forma o que se conhece por ‘forma de húmus’ (BABEL, 1975; SWIFT *et al.*, 1979; TOUTAIN, 1981; GREEN *et al.*, 1993; BERTHELIN *et al.*, 1994; BRETHES *et al.*, 1995). O primeiro é definido em sentido restrito, enquanto o segundo em sentido amplo (SWIFT *et al.*, 1979; DUCHAUFOUR, 1991). (KINDEL e GARAY, 2001, p. 552)

A estrutura das camadas orgânicas do solo – o húmus em sentido amplo – reflete a dinâmica da decomposição da matéria orgânica e as modalidades de ciclagem de nutrientes, essenciais à manutenção da vegetação, evidenciando o papel fundamental das inter-relações vegetação/solo. Assim, estão intimamente relacionadas com os diferentes ecossistemas, tendo em vista que resumem os dois processos básicos que caracterizam o seu funcionamento - a produtividade e a decomposição -, em que os padrões de acumulação orgânica e de ciclagem de nutrientes das formas de húmus variam de maneira significativa, sendo reguladas pelas condições climáticas, pelo tipo de vegetação e de solo e pelos organismos decompositores (SWIFT *et al.*, 1979).

Desta forma, além de considerar as folhas inteiras e fragmentadas, as formas de húmus consideram também a matéria orgânica incorporada ao primeiro horizonte pedológico, o horizonte A (Figura 3).

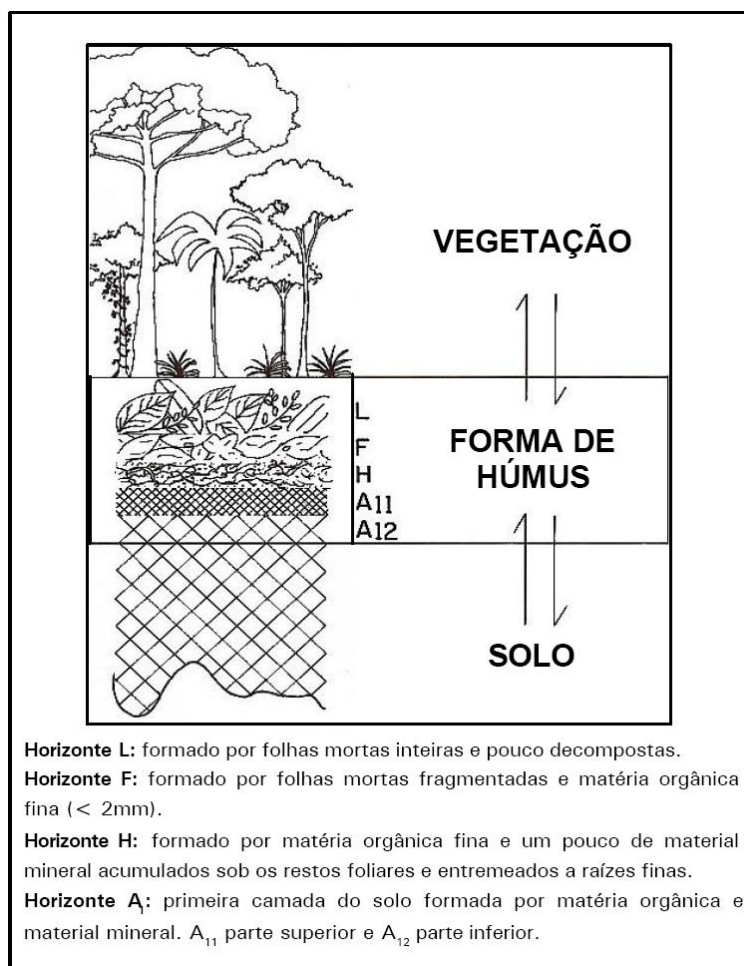


Figura 3: Esquema representativo da interação vegetação/solo, destacando-se os horizontes do perfil húmico em diferentes estádios de decomposição. (KINDEL *et al.*, 2003)

Neste sentido,

As formas de húmus podem ser definidas como o padrão morfológico apresentado na superfície dos perfis pela associação entre a matéria orgânica e o material mineral (PONGE, 2003). Serapilheira, *litter*, perfil húmico, camadas húmicas, horizontes húmicos, tipos de húmus, detritos orgânicos, horizonte O e, ainda, húmus em sentido amplo - em oposição a húmus em sentido restrito ou substâncias húmicas - são termos comumente encontrados na literatura para designar as formas de húmus (SWIFT *et al.*, 1979; GREEN *et al.*, 1993). (KINDEL *et al.*, 2003, p. 2)

Vários são os fatores responsáveis pela diversidade das formas de húmus encontradas, tais como as condições climáticas, que influenciam o processo de decomposição por meio dos diferentes índices de temperatura, precipitação, umidade e radiação; além das características próprias de cada ecossistema florestal, como o tipo de vegetação, a natureza qualitativa e quantitativa dos aportes, as condições físicas e químicas do solo e o relevo (SWIFT *et al.*, 1979; TOUTAIN, 1981; KINDEL e GARAY, 2002).

Clima, rocha matriz e vegetação podem ser considerados o palco / a base para a formação das formas de húmus, dos quais as raízes das plantas, invertebrados do solo e micróbios são os agentes.

Partindo de dois principais tipos de horizontes diagnósticos (O para orgânicos e A para organo-mineral), para a classificação das formas de húmus, alguns termos e características específicas destacam-se, tais como horizontes orgânicos (OL, OF, OH) – os quais são formados por matéria orgânica morta (OM), principalmente folhas, galhos, raízes e, sob certas circunstâncias, materiais de plantas mortas, como musgos e líquens, sendo definidos a partir de um limite máximo de 20% de carbono orgânico em massa; e horizontes organo-minerais (A) – os quais são formadas perto da superfície do solo, geralmente abaixo de horizontes orgânicos, sendo coloridos por matéria orgânica e, portanto, geralmente mais escuros do que a camada mineral subjacente do perfil do solo, o qual na fração < 2 mm do horizonte A, o carbono orgânico deve ser inferior a 20%, em massa.

De maneira mais detalhada, pode-se definir da seguinte forma o horizonte orgânico (PONGE 2003, 2013; ZANELLA *et al.*, 2011 a e b; JABIOL *et al.*, 2013) (Figura 4):

OL → acumulação principalmente de folhas, galhos e material lenhoso. Seu componente húmico corresponde a menos de 10% em volume. Sua estrutura e materiais originais podem ser discerníveis a olho nu.

OF → apresenta acúmulo de parte da serapilheira decomposta, com proporção de componentes húmicos entre 10 e 70 % em volume. Dependendo da forma de húmus, a decomposição é realizada principalmente por fauna de solo (OFzo) ou por atividade fúngica (OFnzo). Não possui qualquer estrutura ou material original inteiro.

OH → caracterizado por uma acumulação de material transformado por atividade biológica. Presença de serapilheira bem decomposta (preta, marrom...) composta principalmente por antigos excrementos animais; grande parte das estruturas e materiais originais não são discerníveis; componente húmico de mais de 70% em volume.

Assim, o OH difere do OF por apresentar um estágio mais avançado de transformação (fragmentação, humificação...) devido a ação de organismos do solo.

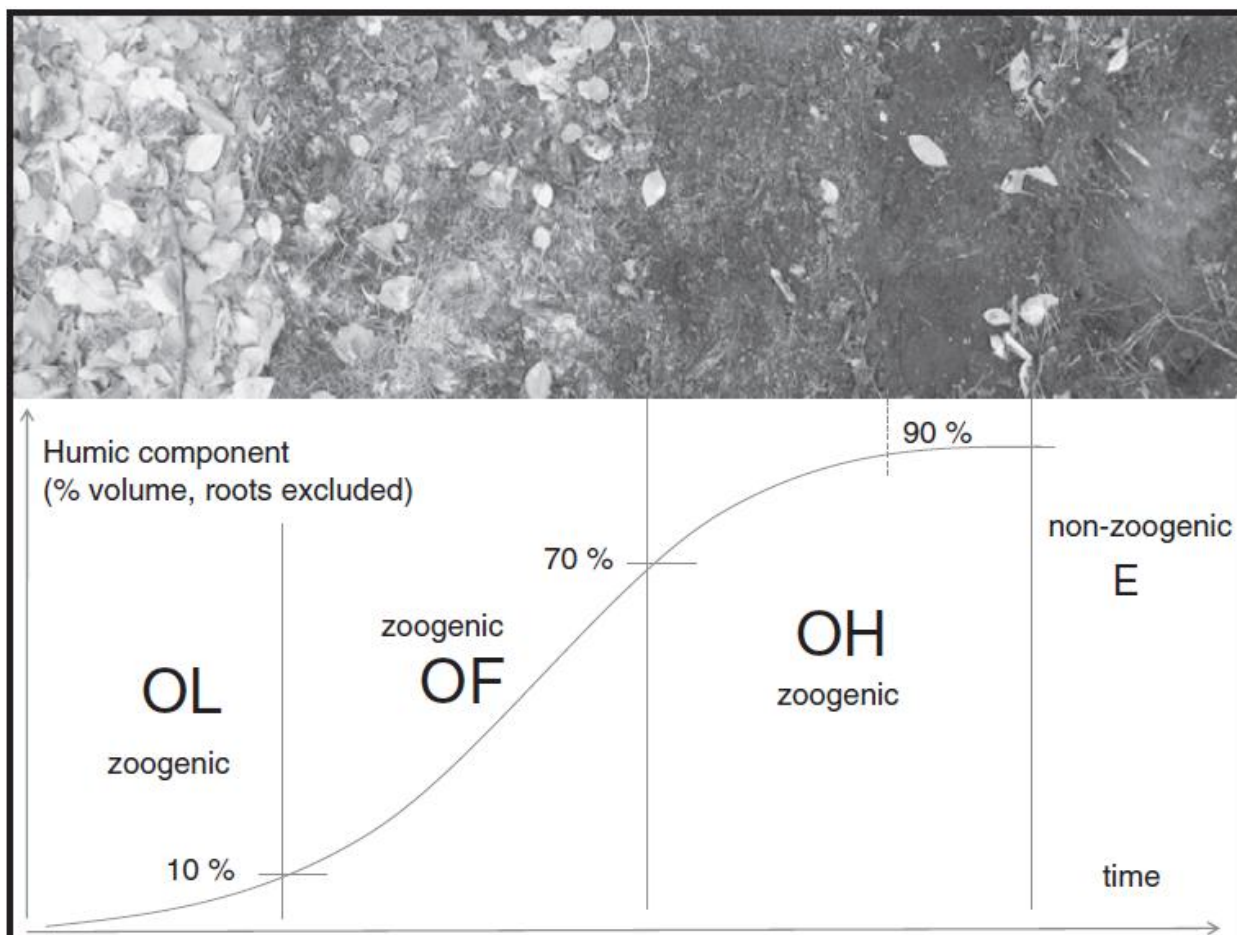


Figura 4: Transformação biológica da serapilheira observada no campo (ZANELLA *et al.*, 2011b).

Apesar da existência de conceitos básicos e linhas gerais que vem sendo desenvolvidos desde o século XIX, os sistemas de classificação das formas de húmus diferem em importantes parâmetros utilizados para sua descrição e classificação.

Dentre as diversas classificações propostas, algumas destacam-se. Dentre elas a proposta por Garay e Silva (1995), apresentadas a partir de estudos em ambientes tropicais, propondo uma classificação em três tipos: Mull, Moder e Dysmoder. Por outro lado, desenvolvidas num contexto europeu de ambientes temperados – por isso, para serem trabalhadas no âmbito da Mata Atlântica necessitam de adaptações a sua realidade - destaca-se uma mais objetiva, proposta por Ponge (2003), em que três formas são apresentadas – Mull, Moder e Mor; e outra mais complexa proposta por Zanella *et al.* (2011a), que apresenta cinco formas terrestres – Mull, Moder, Amphi, Mor e Tangel, resultante da evolução dos estudos realizados.

De acordo com Garay e Silva (1995) o húmus no sentido amplo – representado pelo conjunto de horizontes orgânicos de superfície (A_0) superpostas ao primeiro horizonte orgânico-mineral (A_1) - pode se apresentar do tipo *mull*, *moder* e *dysmoder*. O húmus do tipo *mull* está associado a uma grande produtividade vegetal, solos ricos e aerados, sendo evidente a presença de uma descontinuidade morfológica entre a matéria orgânica de superfície (restos florestais) e o horizonte A_1 . O húmus do tipo *moder* está ligado a solos florestais pobres e com sinais de acúmulo de matéria orgânica superficial, devido a uma decomposição mais lenta. Entre suas características principais está a presença de um horizonte de matéria orgânica amorfa sob os restos foliares, rico em raízes finas que se dilui até o horizonte A_1 . O húmus do tipo *dysmoder* pode ser considerado uma forma acentuada do húmus do tipo *moder*, com intenso acúmulo de matéria orgânica amorfa sobre o horizonte A_1 resultante de uma atividade biológica deficiente.

Para Ponge (2003), a diversidade de formas terrestres de húmus (*mor*, *moder* e *mull*) pode ser atribuída à existência de diferentes padrões (estratégias) para a captação e utilização de recursos pelos ecossistemas, em ordem crescente de biodiversidade e biodisponibilidade. Sua classificação foi feita com base em ambientes temperados, devido à experiência do autor. As principais características de cada um são detalhadas a seguir.

O tipo Mull, caracterizado por um uso rápido dos nutrientes, apresenta um rápido desaparecimento da serapilheira sob a influência de animais escavadores e/ou podridão branca, e pela homogeneização da matéria orgânica humificada com partículas minerais dentro de macroagregados. Nele, o horizonte hemiórgânico A é o lugar onde a maioria dos organismos do solo estão vivendo, inclusive as raízes das plantas. Os fungos estão presentes, mas as bactérias são abundantes. A fauna do Mull apresenta uma biomassa elevada, além de uma alta riqueza de espécies, incluindo megafauna (pequenos roedores), macrofauna (minhocas, grandes artrópodes, moluscos), mesofauna (ácaros, colêmbolos) e a microfauna (nematóides, protozoários) (PONGE, 2003). Desta forma, o Mull está associado a solos mais férteis, sendo típico de ecossistemas florestais decíduos sob clima ameno (GREEN *et al.*, 1993), apresentando uma vegetação exuberante, rica em nutrientes. Disponibilidade de nutrientes é, assim, um pré-requisito para a acumulação de mull, mas por sua vez mull é favorável à fertilidade do solo através da entrada de nutrientes e alta taxa de *turnover*

de nutrientes, sendo caracterizado por uma decomposição rápida de nutrientes efetuada por uma variedade de organismos (incluindo raízes das plantas) vivendo juntos no topo do solo. Nesta forma de húmus, a tendência é que a disponibilidade de nutrientes e a produtividade do ecossistema permaneçam elevadas durante uma ampla gama de acidez do solo, desde que nenhuma interrupção no processo de ciclagem de nutrientes ocorra por conta de atividades antrópicas (PONGE, 2003).

No tipo Moder, caracterizado pela conservação de nutrientes através de fungos e atividade animal, a quantidade de macrofauna é menor e há redução na abundância e diversidade em relação ao Mull, em que a matéria orgânica acumula-se nos horizontes OL, OF e OH. A maior parte da biomassa microbiana é fúngica, devido a condições mais ácidas que em Mull, pois os fungos produzem antibióticos que contribuem para o colapso das populações de bactérias, e excretam ácidos orgânicos que acidificam mais o solo. A colonização do horizonte OF por raízes finas e seus micélios associados permite que a vegetação possa incorporar nutrientes no lugar onde eles foram liberados por fungos e animais. A acidez do moder é elevada (pH baixo), devido entre outros fatores, à excreção de ácidos orgânicos por fungos e humificação da matéria orgânica, além de uma menor riqueza zoológica, decorrente da diminuição da biodiversidade funcional (PONGE, 2003). Uma forma extrema de moder – dysmoder -, está associada a observação de uma grossa camada de horizonte OH.

O tipo Mor, caracterizado pela imobilização dos nutrientes nas plantas, é caracterizado pela escassez de atividade de fauna e do fungo da podridão branca, ou seja, uma atividade biológica muito pobre. Restos vegetais não decompostos se acumulam, formando um horizonte de matéria orgânica emaranhado com poucos excrementos animais. Neste tipo, há uma acentuada descontinuidade entre o horizonte orgânico e o mineral, que é pobre em microagregados, ao contrário do Moder, onde a transição é gradual. Sua pobreza nutricional restringe a produção da vegetação e o *input* de serapilheira é baixo, porém com grande acúmulo. Em casos de baixo estoque de matéria orgânica de superfície, o fogo é o principal agente de seu desaparecimento, em que tais eventos de perturbações graves atuam na sustentabilidade de tais ecossistemas. É comum em áreas com vegetação composta principalmente de musgos e líquens, pinheiros, mas especialmente sob duras condições ambientais ou áreas com introdução de espécies exóticas. Mesmo assim, a vegetação possui um lugar de destaque em detrimento dos animais e microrganismos que se encontram num menor

nível de abundância e diversidade. Desta forma, temos uma conservação de matéria orgânica máxima e uma liberação de nutrientes mínima.

Assim, a ordem “Mull → Moder → Mor” revelam um gradiente decrescente de atividade biológica que é revelada por uma acumulação crescente de resíduos orgânicos e uma diminuição na abundância de animais vivos e suas fezes (JABIOL *et al.*, 2013). Ou seja, há uma diminuição da contribuição da fauna do solo para processos de humificação (PONGE, 2003). De acordo com Ponge (2013) essa ordem revela uma redução da biodiversidade do solo e da biodiversidade das plantas.

Já a classificação europeia, apresentada a seguir, possui como “princípio de classificação” que esta tem de levar em consideração apenas referências (objetos observáveis no campo ou complexo de objetos) que mostram uma evidente forma ou núcleo “morfo-funcional” que, de preferência, devem ser facilmente detectáveis a “olho nu” (ZANELLA *et al.*, 2011a e b).

Para Zanella *et al.* (2011a), a classificação das “formas de húmus” baseia-se na sequência e características morfológicas, incluindo evidência morfológica de atividade biológica, de horizontes orgânicos e/ou organo-minerais observados e descritos no campo. Em alguns casos, alguns dados químicos básicos (pH, o teor de carbono orgânico) são necessários. Os tipos de classificação usam horizontes diagnósticos e outros dados complementares do topo do solo ou ambientais, como proposto por Zanella *et al.* (2011 a e b), e descritos na tabela a seguir, o que evidencia a velocidade do processo de ciclagem de nutrientes e funcionalidade do ecossistema em questão.

Tabela 1: Horizontes diagnósticos e atributos ambientais dos tipos de formas de húmus em ambientes temperados (Adaptado de ZANELLA *et al.*, 2011a, p. 22)

HORIZONTES DIAGNÓSTICOS		<i>MULL</i>	<i>MODER</i>	<i>AMPHI</i>	<i>MOR</i>	<i>TANGEL</i>
OL		Possível	Presente	Presente	Presente	Presente
OF		Possível, transformado por atividade de fauna.	Presente, transformado por atividade de fauna, ativo.	Presente, transformado por atividade de fauna, ativo.	Transformação sempre presente, sem ser por atividade de fauna, mesmo se às vezes descontínuo; transformação por atividade de fauna possível (acompanhada), inativa ou parcialmente ativa.	Presente, transformado por atividade de fauna, ativo.
OH		Ausente	Presente, ativo, às vezes descontínuo.	Presente, ativo, espesso (mas ≤ 2 vezes a espessura de A).	Presente ou ausente, se presente: inativo ou parcialmente ativo.	Presente, inativo ou parcialmente ativo, espesso (> 2 vezes a espessura de A)
TRANSIÇÃO O/A		Muito acentuada (< 3 mm)	Não acentuada (≥ 5 mm)	Se A biomacro: acentuada (< 5 mm); se A biomeso: não acentuada (≥ 5 mm)	Muito acentuada (< 3 mm)	Se A maciço: acentuada (< 5 mm); se A biomeso: não acentuada (≥ 5 mm)
A		Biomacro ou Biomeso	Biomicro ou “grãos soltos” ou maciço	Biomacro ou biomeso, biomeso acompanhado de possíveis biomicros.	Ausente ou presente, se presente: sem atividade de fauna ou biomicro descontínuo.	Maciço ou biomeso.
HORIZONTE DE ATIVIDADE DE FAUNA		A (<i>anecic</i> e <i>endogeic earthworms</i>)	OF(alimentação) OH (acumulação de excrementos)	OF (alimentação) OH(acumulação de excrementos) A (minhocas)	OH (fraco ou traços de atividade antiga)	OF (alimentação) OH(alimentação e acumulação de excrementos)
MINHOCAS	HOR. ORGÂNICO	<i>Epigeic</i> e <i>Anecic</i>	<i>Epigeic</i>	<i>Epigeic</i>	<i>Epigeic</i> raramente presente ou ausente	<i>Epigeic</i> possível
	HOR. ORGANO-MINERAL	<i>Endogeic</i> e <i>Anecic</i>	<i>Ausente</i>	<i>Andogeic and/or Anecic</i>	Ausente	<i>Endogeic</i> possível

Na mesma base de referência europeia para “formas de humus” são detalhadas as principais características dos cinco tipos biológicos de formas de humus terrestres, com uma base morfo-funcional que é descrita e identificada de acordo com o diagnóstico apresentado na tabela anterior. Uma espécie de “chave de identificação”, conforme detalhado a seguir.

MULL

Para ser identificado como Mull, um solo deve apresentar as seguintes propriedades:

1. Ausência de Horizonte OH, e 2. Presença de A biomacro;

Ou 2. Presença de A biomeso e pelo menos dois dos elementos seguintes: presença no horizonte A de minhocas vivas ou seus moldes, exceto no solo congelado ou desidratado; presença de uma transição muito acentuada (<3 mm) entre os horizontes orgânicos e organo-minerais; pH em água do horizonte A ≥ 5 .

MODER

Para ser identificado como Moder, o solo deve apresentar as seguintes propriedades:

1. Presença do horizonte OH (mesmo que às vezes descontínuo); e 2. Ausência de OF não transformado por atividade de fauna; e 3. Ausência de A biomacro; e 4. Ausência de A biomeso e um dos elementos seguintes: transição não acentuada entre os horizontes OH/A (transição ≥ 5 mm); pH em água do horizonte A < 5 .

Ou 4. Presença de A biomicro, ou A maciço, ou grãos soltos, e um dos elementos seguintes: transição não acentuada entre os horizontes OH/A (transição ≥ 5 mm); pH em água do horizonte A < 5 .

AMPHI

Para ser identificado como Amphi, o solo deve apresentar as seguintes propriedades:

1. Presença simultânea dos horizontes OH e A biomacro ou A biomeso; e 2. Ausência de OF não transformado por atividade de fauna; e 3. Espessura do horizonte A $\geq$ de $\frac{1}{2}$ do horizontes OH; e 4. Ausência de A maciço ou grãos soltos; e 5. Presença de A biomacro e um dos elementos seguintes: minhocas presentes no horizonte A; transição acentuada entre A e OH; pH em água do horizonte A ≥ 5 .

Ou 5. Presença de A biomeso e um dos elementos seguintes: minhocas presentes no horizonte A; transição acentuada entre A e OH; pH em água do horizonte A ≥ 5 .

MOR

Para ser identificado como Mor, o solo deve apresentar as seguintes propriedades:

1. A biomeso ou biomicro nunca presente; e 2. Presença de OF não transformado por atividade de fauna e um dos seguintes elementos: pH em água do horizonte A < 4,5; A ausente, ou A biomicro, ou A maciço, ou A grãos soltos.

Ou 2. Presença de uma transição muito acentuada entre os horizontes OH e A (< 3mm) e um dos seguintes elementos: pH em água do horizonte A < 4,5; A ausente, ou A biomicro, ou A maciço, ou A grãos soltos.

TANGEL

Para ser identificado como Tangel, o solo deve apresentar as seguintes propriedades:

1. Presença de um espesso horizonte orgânico transformado pela fauna (OFzo + OH > 5cm); e 2. rígido calcário e/ou dolomita e rocha/fragmentos de rocha na parte inferior do perfil de húmus; e 3. Clima frio; e 4. Ausência de OF não transformado por atividade de fauna; e 5. presença de uma fina camada (espessura < ½ OH) de A maciço ou grãos soltos ou biomeso.

Ou 5. PH em água da fina camada (espessura < ½ OH) do horizonte A ≥ 5. (Adaptado de ZANELLA *et al.*, 2011a)

Sabe-se que na Mata Atlântica não são encontrados todos estes tipos apresentados, tendo em vista que em geral o processo de decomposição se dá de maneira rápida, porém extremamente influenciada por fatores locais. Mesmo assim a classificação apresentada torna-se importante por ressaltar os principais elementos diferenciadores das formas de húmus.

O conceito de formas de húmus como estratégia do ecossistema pode ajudar a entender melhor as relações entre sua biodiversidade e a estabilidade e produtividade, em que, por exemplo, a maior biodiversidade observada em ecossistemas mull pode ser explicada por mais recursos disponíveis para os organismos (clima mais ameno, maior riqueza do material parental), e também pela perturbação permanente criada pela atividade dos próprios organismos. Além disso, níveis elevados de biodiversidade e produtividade só podem ser alcançados através de um ciclo rápido de nutrientes que permite (e força) os organismos a se adaptarem a uma constante mudança no ambiente, promovendo um elevado nível de competição (PONGE, 2003).

Desta forma, os organismos de um ecossistema do tipo Mull têm uma eficiência de utilização de nutrientes baixa, o que significa que usam mais carbono por unidade de nutriente incorporado, tendo altos custos de energia para assumir espaço e nutrientes a um nível elevado de competição. Com isso, sua estabilidade fica num alto nível de redundância funcional frente a perturbações como poluição, mudanças climáticas e poluição do solo, o que é o lado positivo da concorrência que, por sua alta biodiversidade, gera as condições de sua própria estabilidade (PONGE, 2003).

Já os ecossistemas do tipo Moder, que apresentam um nível intermediário do processo de decomposição, tendem a apresentar árvores que imobilizam nutrientes em suas partes lenhosas, o que pode resultar no empobrecimento do solo que exige uma readaptação do ecossistema, restringindo o número de organismos concorrentes e melhorando a eficiência de utilização dos nutrientes no nível do ecossistema, pelo menos, durante a fase de crescimento intenso de árvores, também chamada fase autotrófica. Após essa fase a necessidade de partes lenhosas decai rapidamente, a partir de quando a renovação do ecossistema exige a preservação de intensa atividade biológica e diversidade durante a fase heterotrófica, também chamada de fase de desintegração (PONGE, 2003).

Com isso, transformações tanto na matéria orgânica quanto na mineral estão sob o controle do clima e qualquer variação na quantidade e qualidade dos “*inputs*” orgânicos e minerais influenciará hábitos alimentares e o modo de vida de organismos que dependem deles para a sobrevivência, crescimento e reprodução. Deste modo, as formas de húmus podem ser consideradas como “vitrine” da cadeia alimentar do solo (PONGE, 2013).

Assim, as formas de húmus evidenciam que a estabilidade do ecossistema fica se alternando em fases de alta (mull) e moderadamente baixo (moder) níveis de biodiversidade. Esses são os tipos e estratégias presentes em ecossistemas de Mata Atlântica, porém com particularidades em cada tipo, de acordo com características ecológicas de caráter local e regional, além de características históricas de uso e ocupação da terra.

4 – Área de Estudo

A presente pesquisa foi realizada na Bacia Hidrográfica do Bonfim, localizada no município de Petrópolis, Região Serrana do Estado do Rio de Janeiro, nos limites do distrito de Corrêas. A Bacia do Bonfim, com área total de 30,3 km², integra uma das sub-bacias do rio Piabanha, sendo este o principal rio que corta a região (Figura 5).

A bacia apresenta-se como relevante unidade espacial para pesquisas científicas, as quais vêm sendo realizadas há alguns anos, principalmente em relação ao histórico de ocupação e conflitos fundiários (ROCHA, 2002; 2007; CORRÊA, 2009), à sua dinâmica hidrológica (LAWALL, 2010; SILVA, 2013) e ao avanço de suas ocupações humanas (PAGANI, 2009). Por apresentar diferentes “situações geográficas” em seu baixo, médio e alto curso (Figura 6), além do fato de parcela significativa de sua área estar inserida nos limites do Parque Nacional da Serra dos Órgãos (PARNASO), torna-se uma relevante bacia experimental para estudos que podem ser comparados com outros que utilizem esta mesma escala de análise.

O baixo curso da bacia do Bonfim é caracterizado por intensa área urbana, normalmente sob forma de condomínios e casas de veraneio, com presença de moradias provenientes de uma expansão urbana irregular que se estendem até os limites das áreas agrícolas. No médio curso, destaca-se a concentração da atividade agrícola, iniciando nos vales, limitado por áreas de baixadas e se expandindo ao longo de algumas colinas de topos convexos. Já no alto curso, observa-se a presença mais significativa de fragmentos florestais remanescentes em estágios de sucessão mais avançado e em contato abrupto com afloramentos rochosos, além do turismo de aventura e do ecoturismo.

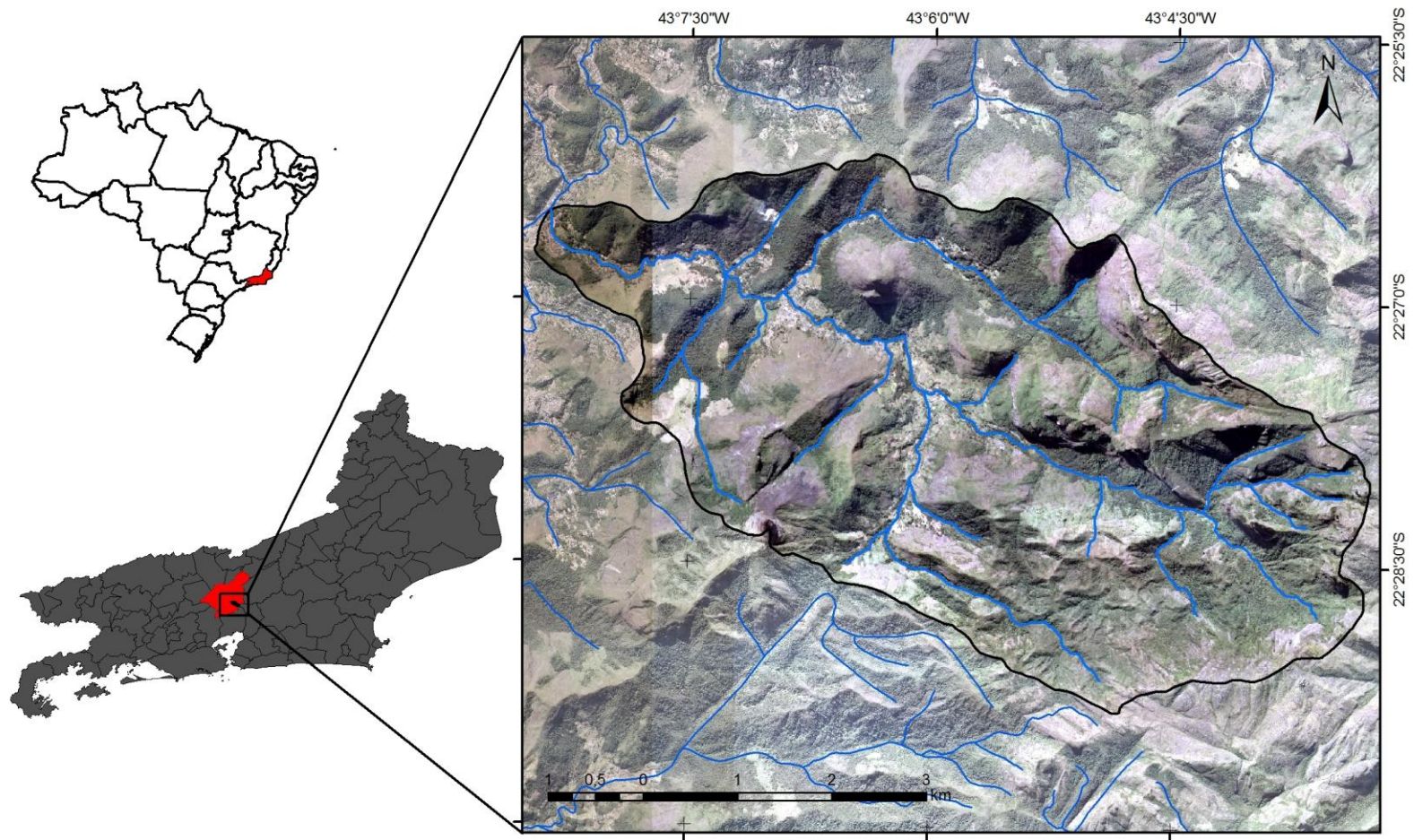


Figura 5: Mapa de Localização da Bacia Hidrográfica do Bonfim (SILVA, 2013)

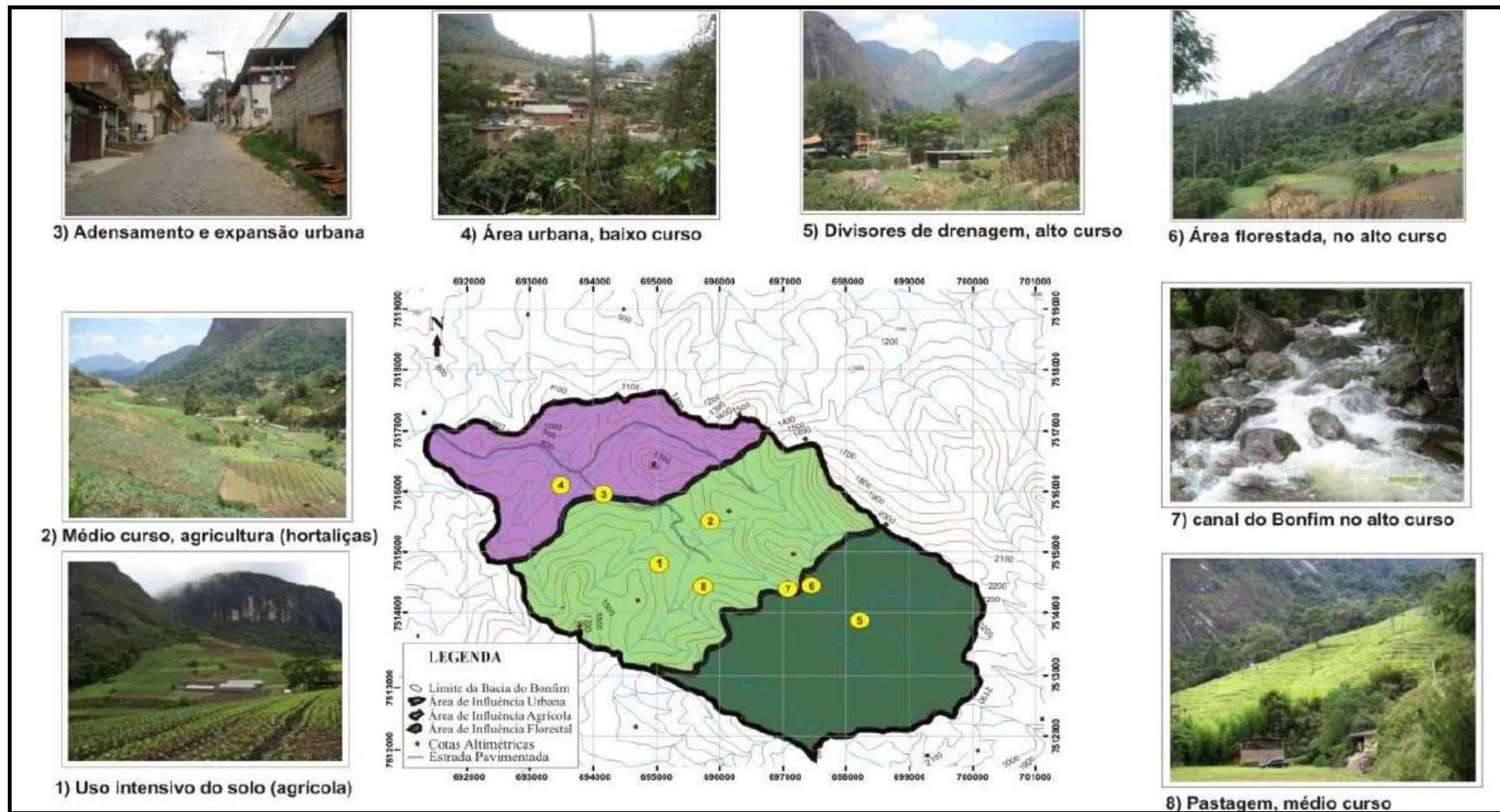


Figura 6: Representações paisagísticas concentradas nos compartimentos da bacia (LAWALL, 2010).

5.1 – Histórico de ocupação e uso do solo e relevância da Bacia do Bonfim

A bacia hidrográfica do Bonfim situa-se nos limites do Parque Nacional da Serra dos Órgãos, sendo um dos acessos a este, pela sede Petrópolis. No vale do Bonfim, observa-se ocupações incompatíveis com a categoria de manejo da unidade de conservação, potencializando problemas fundiários na região, em que, segundo o Plano de Manejo do PARNASO:

O Vale do Bonfim é a área em que está localizada a portaria do PARNASO em Petrópolis. Remanescente da antiga Fazenda do Bonfim, pertencente à família Sampaio, a área não teve sua situação fundiária regularizada desde a criação do PARNASO. O lapso de tempo transcorrido entre a criação da unidade em 1939 e a definição de seus limites pelo Decreto nº 90.023 em 1984 (45 anos) e a inexistência de estrutura física do Parque naquela área facilitaram a ocupação da região por antigos funcionários da fazenda e outros agricultores. Após diversos conflitos entre os antigos proprietários e posseiros nos anos 1970 e início dos 1980, o decreto que delimitava o PARNASO definiu que parte da área ocupada da Fazenda Bonfim estava dentro da UC. Desde então existe uma relação conflituosa entre o Parque e os moradores. A instalação da portaria do PARNASO no Bonfim, em 1999, desacelerou o processo de degradação da área, com substituição de vegetação natural pela agricultura, e hoje o Parque conta, inclusive, com apoio de parte dos moradores na proteção da unidade. Desde então a relação tem melhorado, com participação de representantes da comunidade no Conselho Consultivo e nas brigadas de incêndio do PREVFOGO, mas ainda existe um processo de degradação na área em virtude da situação fundiária não ter sido ainda solucionada. (ICMBio, 2008)

A comunidade do Bonfim caracteriza-se por ser fortemente baseada em atividades agrícolas de produção de hortaliças e flores, produção de mudas de árvores nativas e ornamentais, criação de abelhas etc. Abriga também outros empreendimentos direcionados à exploração do turismo como pousadas, bares e restaurantes, pesque-pague, entre outros. O principal problema ambiental percebido pela comunidade se relaciona ao lixo, mas cabe ressaltar também a questão da forma de utilização da água pelos agricultores, que pode gerar problemas futuros para esta atividade econômica.

A maioria absoluta dos moradores é constituída por posseiros. Segundo levantamento realizado por Rocha (2002), apenas sete moradores obtiveram o título de propriedade por meio de processo de usucapião. O Ministério Público Federal de

Petrópolis está envolvido na busca de um entendimento entre a administração do PARNASO e moradores para assinatura de Termos de Compromisso para evitar a ocupação de novas áreas, ampliação ou construção de casas, utilização do fogo para manejo de áreas cultivadas e utilização de agrotóxicos na agricultura, até que a regularização fundiária seja concluída. De imediato, é importante que o Parque adquira uma área no local, a fim de garantir a instalação de infra-estruturas para garantir minimamente a proteção e controle de visitação nessa região, cujos atrativos como Cachoeira Véu da Noiva, o Morro do Açu e a Travessia Petrópolis-Teresópolis, atraem muitos turistas (ICMBio, 2008).

Acima da área ocupada pela comunidade do Bonfim inicia-se a “área do Parque”, na percepção da população local. Nesta área não há ocupações e foi instalada uma portaria.

O Parque Nacional da Serra dos Órgãos foi a terceira unidade de conservação Federal criada no Brasil, em 1939, tendo sido precedido pelos Parques Nacionais do Itatiaia (em 1937) e Iguaçu (também em 1939). Foi criado pelo Decreto 1.822, de 30 de novembro de 1939, para proteger a paisagem excepcional deste trecho da Serra do Mar e sua biodiversidade, tendo ainda o objetivo de conservar e proteger esta amostra do ecossistema da floresta primitiva da Serra do Mar e dos campos de altitude. O parque abrange 10.650 hectares dos municípios de Teresópolis, Petrópolis, Guapimirim e Magé, ficando a cerca de 16 quilômetros ao norte da Baía de Guanabara, no Estado do Rio de Janeiro

Devido ao relevo acidentado, principalmente nas vertentes da Serra do Mar, a região em que está inserido o PARNASO está entre as mais preservadas do estado do Rio de Janeiro.

O PARNASO insere-se no bioma Mata Atlântica, com floresta pluvial tropical e campos de altitude. As fisionomias vegetais do PARNASO variam de acordo com a altitude: até 1.500 m predominam as florestas pluvial baixomontana e montana, com espécies de grande porte, como o jequitibá; entre 1.500 e 2.000m de altitude ocorre a floresta pluvial alto-montana, com vegetação de porte médio e árvores retorcidas exibindo um certo grau de xeromorfismo, devido às baixas temperaturas; e acima de 2.000 metros ocorrem os campos de altitude, com porte herbáceo-arbustivo aberto, que se desenvolve sobre os afloramentos rochosos.

De acordo com o Plano de Manejo do PARNASO (2008), em Petrópolis o PARNASO é percebido com uma Unidade de Conservação com potencial para

desenvolver o turismo na região, mas com a principal finalidade de garantir a conservação dos recursos ambientais. Parcela significativa da população percebe o PARNASO como um parque “de Teresópolis”, devido à localização da Sede em Teresópolis e à histórica ausência de estrutura da unidade de conservação (UC) no município. Porém, na comunidade do Bonfim a presença do Parque é percebida como restritiva e ameaçadora para essas comunidades, pelo temor de desapropriação das terras.

Todos os rios da vertente continental do PARNASO são contribuintes da Bacia do Rio Paraíba do Sul e suas águas só atingem o mar na região norte do Estado, no município de São João da Barra. O Paquequer e seu afluente Beija-Flor fornecem água para a cidade de Teresópolis e deságuam no Rio Preto, afluente do Piabanha. Os rios do Jacó, Bonfim e Itacolomi nascem no parque e banham o Município de Petrópolis, também desaguando no Piabanha. Parte da água de Petrópolis é captada no Caxambu e no Bonfim.

Com isso, diante da situação explicitada, a comunidade do Bonfim inserida no interior do PARNASO é indicada no Zoneamento desta UC como uma Zona de Ocupação Temporária, a qual possui como objetivo garantir a integridade das áreas não regularizadas e ainda ocupadas dentro da Unidade de Conservação, e como normas: proibida a ampliação e abertura de novas áreas de cultivo nesta zona; não são permitidas novas construções ou ampliação das infra-estruturas existentes; proibida a utilização da queimada como técnica agrícola para preparação de terrenos para cultivo ou a qualquer título; proibido o cultivo de Organismos Geneticamente Modificados (OGM); as águas residuais de agricultura e efluentes domésticos deverão receber tratamento antes do despejo em corpos d’água.

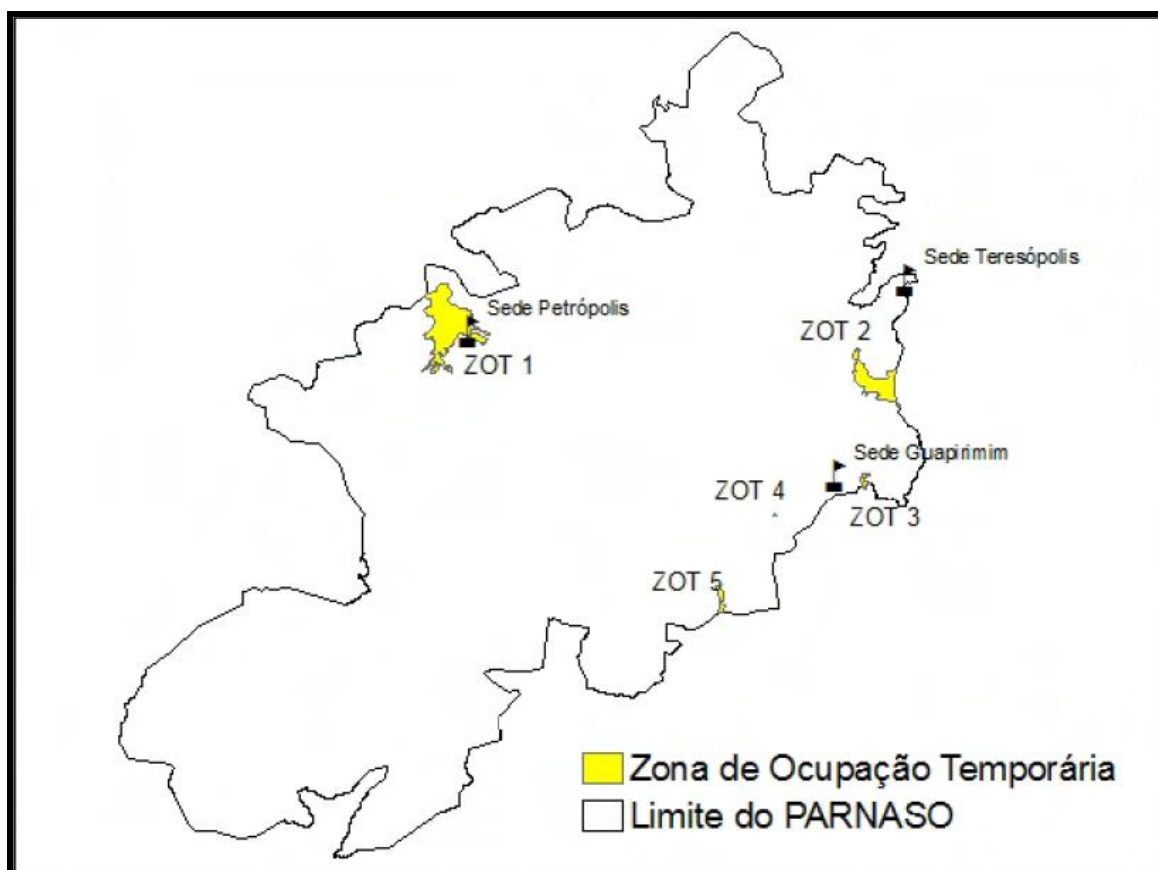


Figura 7: Zonas de Ocupação Temporária no PARNASO. ZOT 1: Áreas não regularizadas ocupadas por residências no vale do Bonfim. (ICMBio, 2008)

De maneira geral, praticamente toda a bacia hidrográfica do Bonfim é considerada nos projetos de monitoramento do PARNASO. Seja como Área Estratégica Interna (Figura 8), a qual busca promover maior controle e recepção adequada dos visitantes, maior presença da equipe da UC no local, além de melhorar a percepção do PARNASO, por parte da população, como um atrativo turístico importante e associado ao município de Petrópolis e implementar mecanismos de controle que evitem a expansão de áreas ocupadas dentro do PARNASO e outras ações que degradam o meio ambiente na Zona de Ocupação Temporária e na Zona de Recuperação. Ou como Área Estratégica Externa (Figura 9), a qual busca interromper o processo de ocupação desordenada e adensamento urbano, desenvolver atividades voltadas para o turismo, além de promover maior presença da equipe da UC na região, aumento de vistorias e ações de fiscalização, inserção das escolas no Programa de Educação Ambiental e maior integração com a comunidade local.

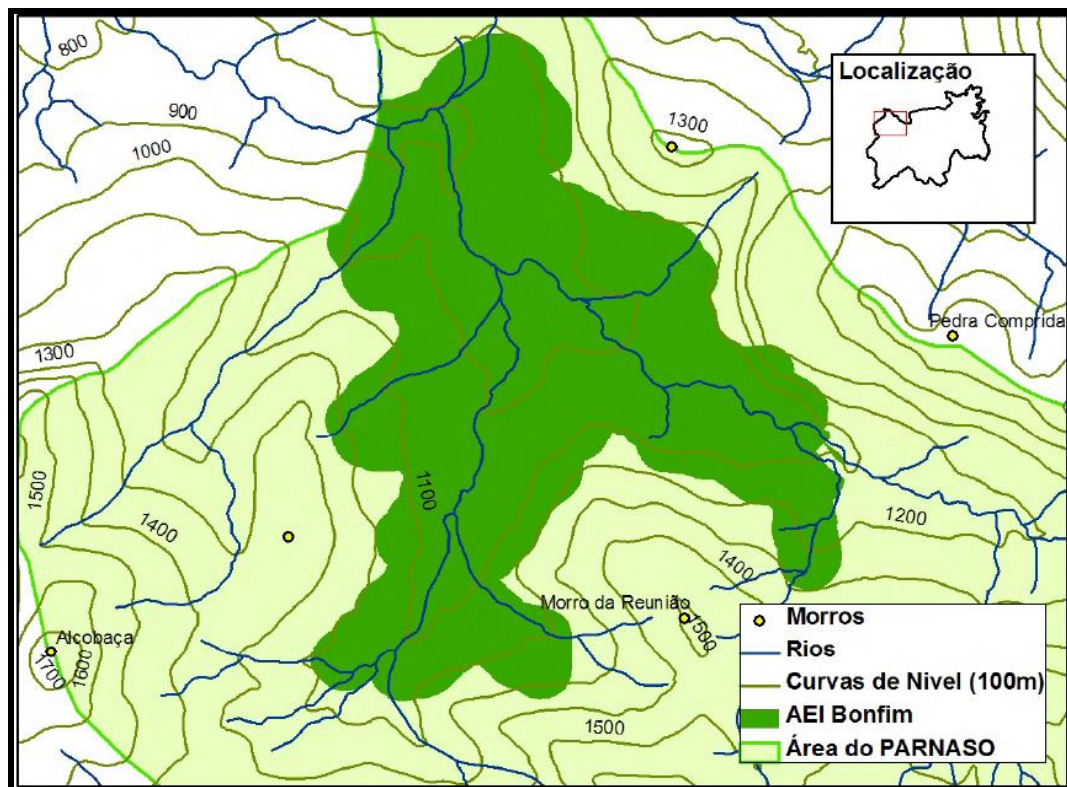


Figura 8: Área Estratégica Interna Bonfim. (ICMBio, 2008)

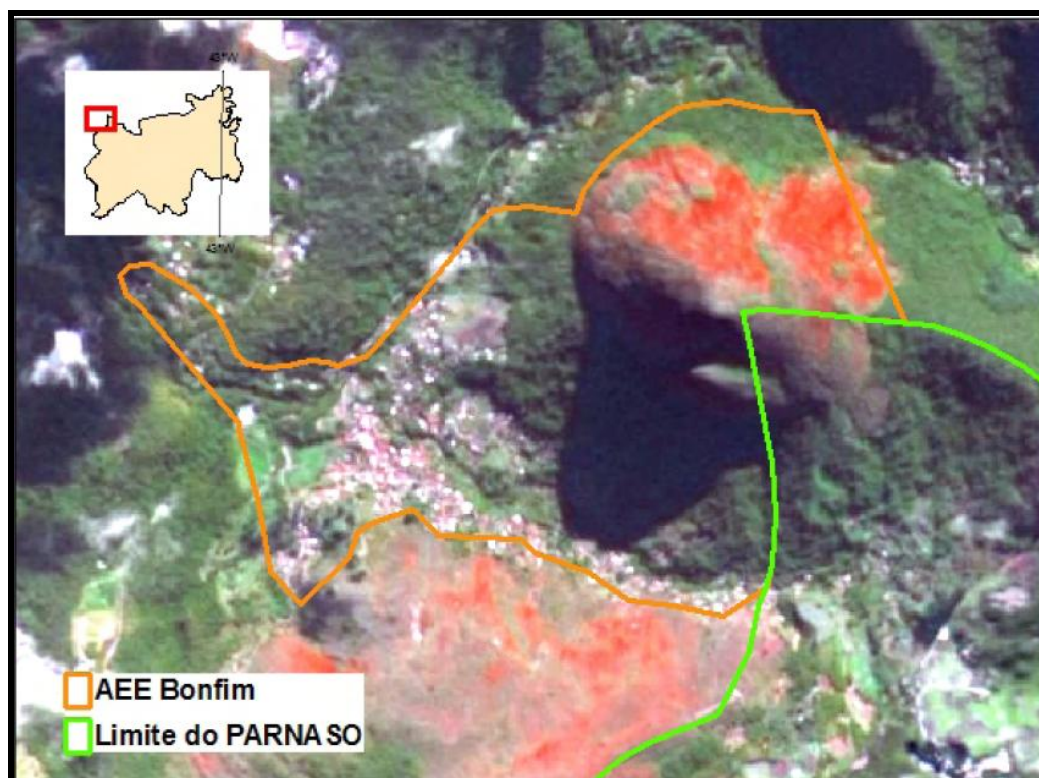


Figura 9: Área Estratégica Externa Bonfim (sobre imagem SPOT). (ICMBio, 2008)

Nos últimos anos vem sendo proposta uma nova delimitação do PARNASO com vistas a uma ampliação de sua área (CASTRO *et al*, 2008), porém neste projeto há o objetivo de excluir toda a área ocupada do Bonfim dos limites da UC, atendendo a uma demanda dos proprietários ali presentes, que atuam basicamente em atividades agrícolas. Das áreas que serão incorporadas ou excluídas, o Vale do Bonfim se destaca por sua área total – 211,71 hectares, sendo a área mais representativa nesta redelimitação. Desta forma, uma nova proposta de limite vem sendo formulada pelo Parque, aprovada e em fase de implementação. Na Figura 10 é possível observar a área contemplada pelo PARNASO nos limites da bacia do Bonfim. Em destaque, na figura 10-A é possível observar o limite atual do PARNASO, na figura 10-B o novo limite proposto, e que exclui parte do vale do Bonfim e, por fim, na figura 10-C o vale do Bonfim no qual se concentram as atividades agrícolas estabelecidas na bacia.

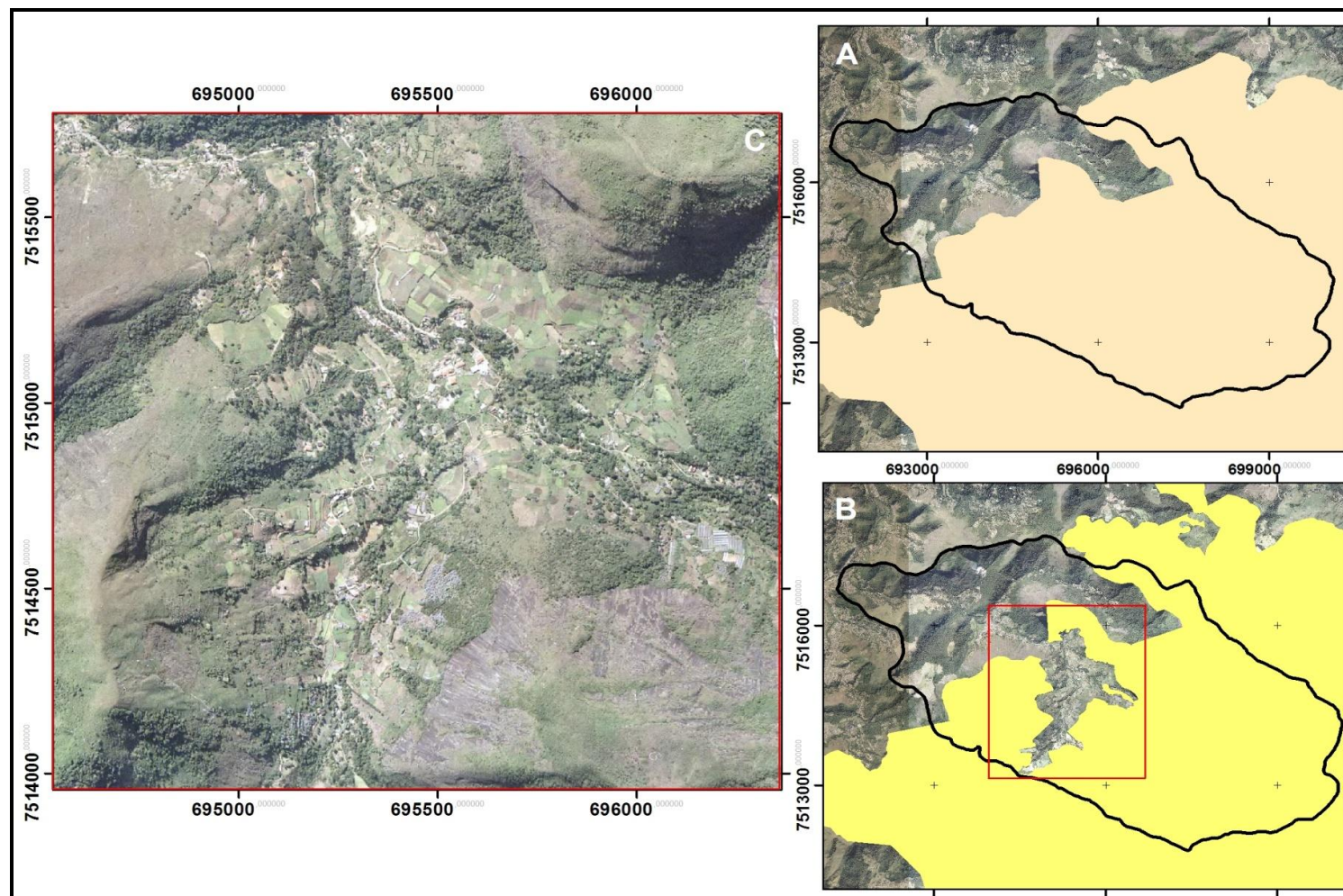


Figura 10: Delimitações do PARNASO com destaque para a área da bacia que contempla o vale do Bonfim excluída do novo limite proposto. A – Limite antigo do Parnaso; B – Nova delimitação do Parnaso, excluindo a área ocupada da Bacia do Bonfim; C – Vista aérea da área ocupada por atividades agrícolas na Bacia do Bonfim. (SILVA, 2013, adaptado de ICMBio, 2008)

5.2– Características geográficas da Bacia do Bonfim

O clima da bacia hidrográfica do Bonfim pode ser caracterizado, segundo a classificação de Köppen, como Cfb, mesotérmico, com verões brandos, inverno mais seco, em que a temperatura é amenizada pela altitude, com temperatura variando de 13 a 23°C (o que indica uma amplitude significativa). As chuvas orográficas provocadas pela presença da Serra do Mar dão a essa zona serrana uma pluviosidade elevada, com precipitação superior a 2.000 mm (ICMBio, 2008; INMET, 2009), porém com variação na bacia, tendo em vista que os maiores índices pluviométricos são encontrados próximos aos divisores de drenagem, evidenciado a influência do relevo na distribuição pluviométrica total. A alta precipitação nas partes mais elevadas influi diretamente no regime dos rios, assegurando a permanência dos cursos d'água.

Em relação à geologia da área, a unidades que predomina na Bacia do Bonfim é Batólito Serra dos Órgãos, representado por biotita granitos a granodioritos gnáissicos, leucogranitos gnáissicos e em menor expressão, os granitos pós colisionais (representado pelos granito Andorinha) (Figura 11). Cabe considerar a presença de um intenso sistema de falhas e fraturas, que atuando na formação de fluxos preferenciais na bacia (LAWALL, 2010).

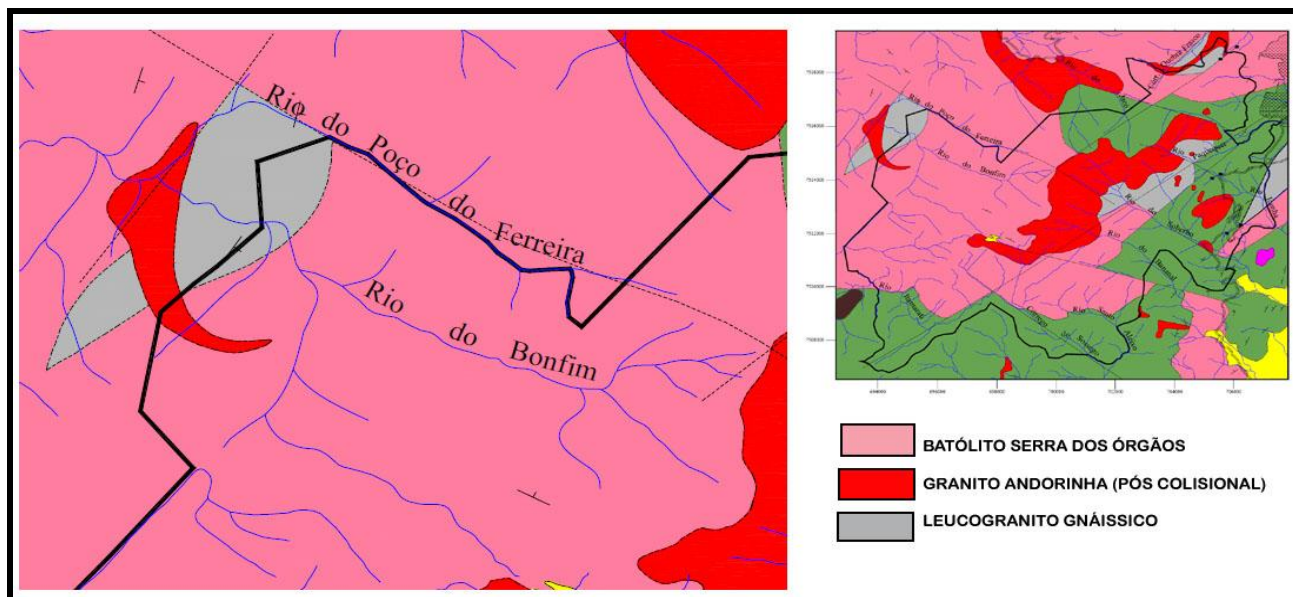


Figura 11: Recorte do Mapa Geológico do Parque Nacional da Serra dos Órgãos descrita no Projeto Carta Geológica do Estado do Rio de Janeiro (DRM/RJ) na escala de 1:50.000, com ênfase na bacia do Bonfim (ICMBio, 2008).

No que se refere à sua geomorfologia, a área está situada na Unidade Serra dos Órgãos, onde a drenagem se desenvolve sob o controle lito-estrutural, apresentando padrões paralelos e sub-paralelos (retangular). Os aspectos geomorfológicos da bacia hidrográfica do Bonfim são típicos de regiões serranas, com colinas, zonas montanhosas e vertentes extremamente escarpadas com paredões abruptos. Há vales estruturais encaixados, como mostra o perfil topográfico na Figura 12, obedecendo ao controle lito-estrutural, seguindo planos de falhas e fraturas; áreas deposicionais fluviais pouco expressivas, restringindo-se basicamente às proximidades da foz, e as áreas de baixas declividades junto aos vales fluviais onde se estabeleceu a agricultura (12-B) e a ocupação urbana (12-A), no médio e baixo curso. Também observa-se a presença de tálus por toda essa área da bacia.

Em relação ao perfil longitudinal (Figura 13), o rio Bonfim se caracteriza pelo alto desnível altimétrico, aproximadamente 1000m em menos de 1km, podendo ser classificado como rio de alta energia e fluindo sobre substrato rochoso, o que justifica o pouco transporte e deposição de material aluvial.

Tendo como base o mapa de solos do Plano de Manejo do PARNASO (ICMBio, 2008), na bacia do Bonfim predominam os afloramentos rochosos, Neossolos litólicos distro-úmbrico, Cambissolo Háplico distrófico e Latossolos Amarelo Distrófico.

Originalmente, a bacia do Bonfim está classificada sob domínio da Floresta Tropical Pluvial Atlântica. Suas formações florestais são de modo geral matas secundárias em estágios inicial e médios de sucessão originadas do replantio pós-ciclo intensivo de produção agrícola e em contato abrupto com afloramentos rochosos, representando a classe dominante e sendo bem distribuídas ao longo da bacia. Segundo Lawall (2010), o replantio foi realizado em ação conjunta da comunidade rural com o parque, fazendo parte das ações preservacionistas e manutenção de recursos, como a água.

De acordo com o mapa de uso do solo da bacia (SILVA, 2013), 33% de sua área é constituída de afloramentos rochosos, evidenciando a importância da manutenção, recuperação e expansão de seus fragmentos florestais, principalmente no que tange a possíveis mudanças significativas na vazão do rio ao responder a mudanças na capacidade de interceptação associadas a modificações no seu uso e cobertura.

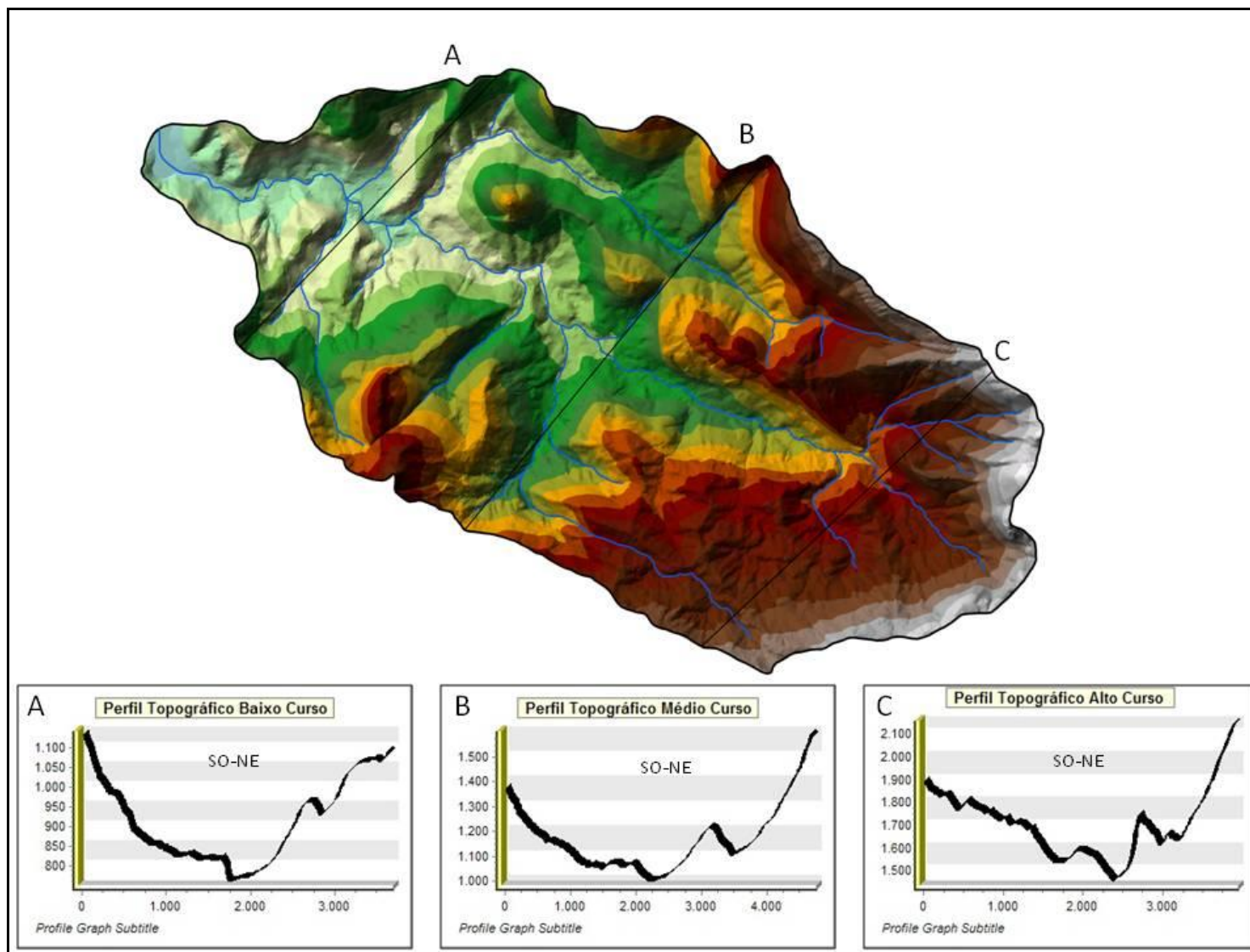


Figura 12: Perfil Topográfico da bacia hidrográfica do Bonfim referente ao baixo, médio e alto curso - orientação SO-NE (SILVA, 2013).

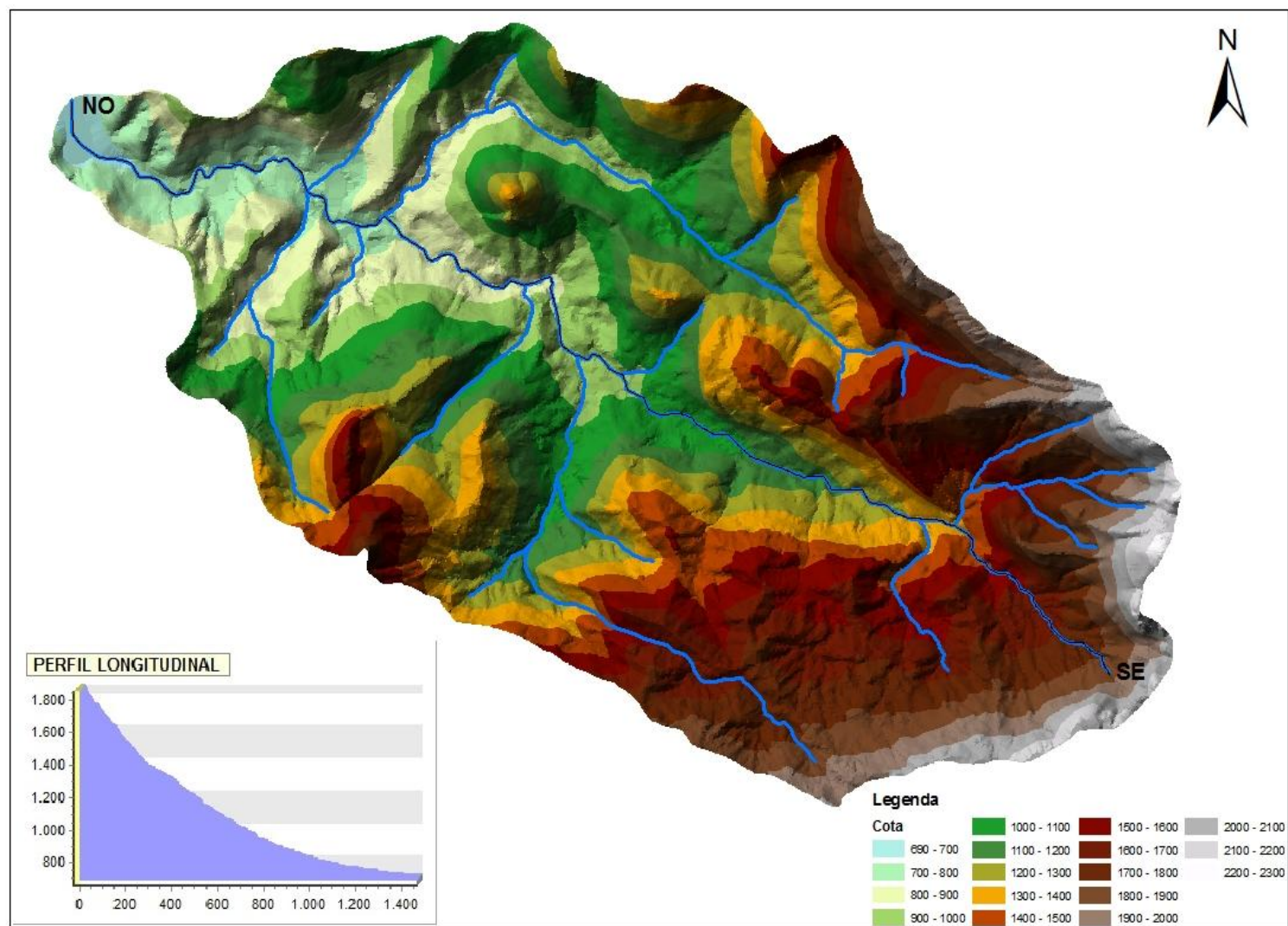


Figura 13: Perfil longitudinal do rio Bonfim (SILVA, 2013).

6 – Operacionalização da Pesquisa

6.1 - Escolha dos fragmentos e estabelecimento das parcelas

Foram escolhidos três (3) fragmentos florestais inseridos em diferentes matrizes ou “situações geográficas” (uso do solo) – urbana, rural e no interior do PARNASO -, que contemplam a diversidade de paisagens geográficas presente na unidade espacial trabalhada. A escolha dos fragmentos ocorreu de acordo com sua representatividade na bacia e em relação à matriz em que estava inserido, porém, algumas adaptações tiveram que ser realizadas devido a dificuldades encontradas, principalmente em relação ao acesso às áreas, o que demandou uma série de campos de reconhecimento e estabelecimento de contatos na área de estudo.

Em cada fragmento foram estabelecidas duas parcelas de 10 metros de comprimento por 5 metros de largura – 5m x 10m (50m²), distribuídas em função:

- Da matriz/posição: “Urbano”, “Rural” e “PARNASO”;
- Da situação na matriz: uma na borda do fragmento e outra a aproximadamente 50 metros da borda, de acordo com as particularidades encontradas, a fim de caracterizar a influência da matriz e seu possível efeito de borda.

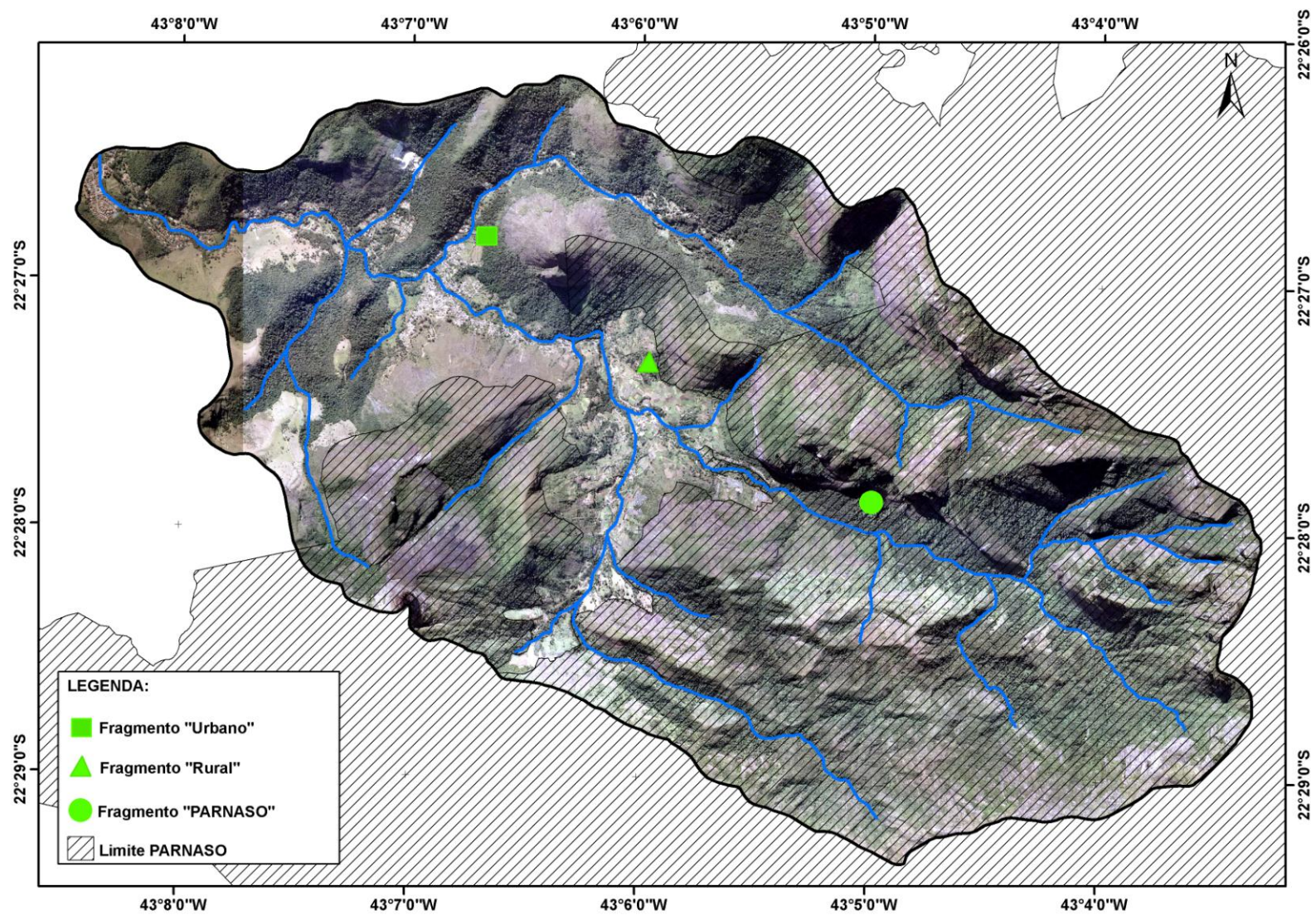


Figura 14: Localização dos fragmentos estudados na bacia hidrográfica do Bonfim.

Dentro de cada parcela foram estabelecidos pontos amostrais aleatórios para as diferentes coletas e procedimentos (Figura 15).

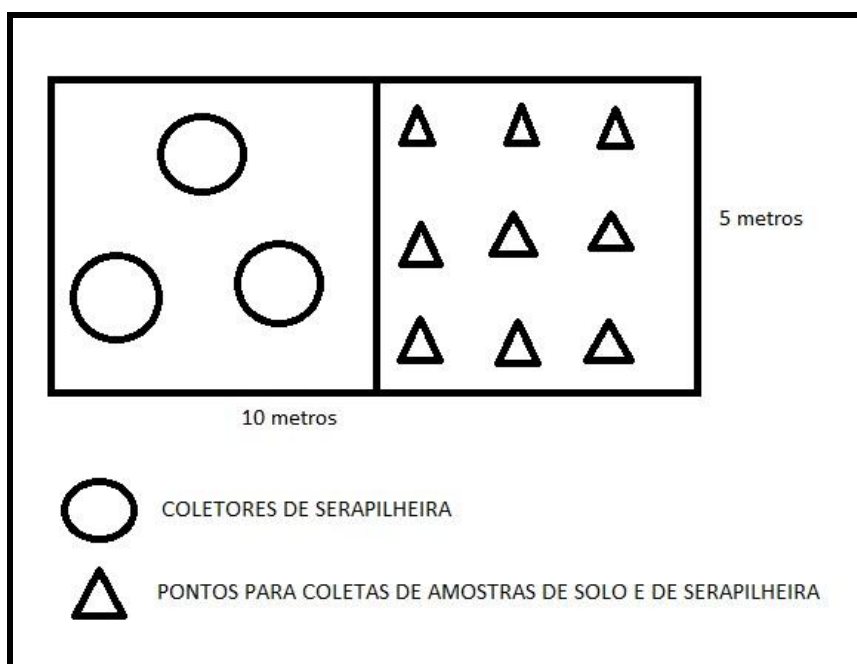


Figura 15: Representação esquemática das parcelas instaladas nos fragmentos.

Porém, a classificação das formas de húmus e o levantamento dos dados de estrutura da vegetação e porcentagem de cobertura do dossel foram realizados em parcelas maiores, de 10m x 10m (100m²), as quais incluíam as parcelas definidas anteriormente.

Alguns fatores controlam a velocidade da decomposição – ciclagem de nutrientes e as formas de húmus, tais como o clima, que aumenta ou diminui a velocidade de decomposição e o intemperismo; além do material parental, devido a sua composição mineralógica, que controla a taxa em que os nutrientes incluídos na rocha (P, Ca, Mn, Fe, Si, Al, etc.) podem ser transferidos para o ecossistema (PONGE, 2013). Com isso, as parcelas foram inseridas em condições semelhantes nos fragmentos inseridos na bacia hidrográfica do Bonfim, apresentando também a mesma orientação, voltada para S-SO.

O primeiro fragmento insere-se no baixo curso da bacia e representa sua área de expansão urbana, sendo então considerado como o “Fragmento Urbano” (Figura 16). Caracteriza-se como um depósito de tálus, com um gradiente topográfico elevado.



Figura 16: “Fragmento Urbano” (Acervo NESAG - IGEO/UFRJ).

O segundo fragmento tem como objetivo representar a área rural da bacia, presente em seu médio curso, inserido num vale em que os topos convexos e as áreas com menor declividade são ocupados por atividades agrícolas, principalmente de produção de hortaliças (Figura 17).

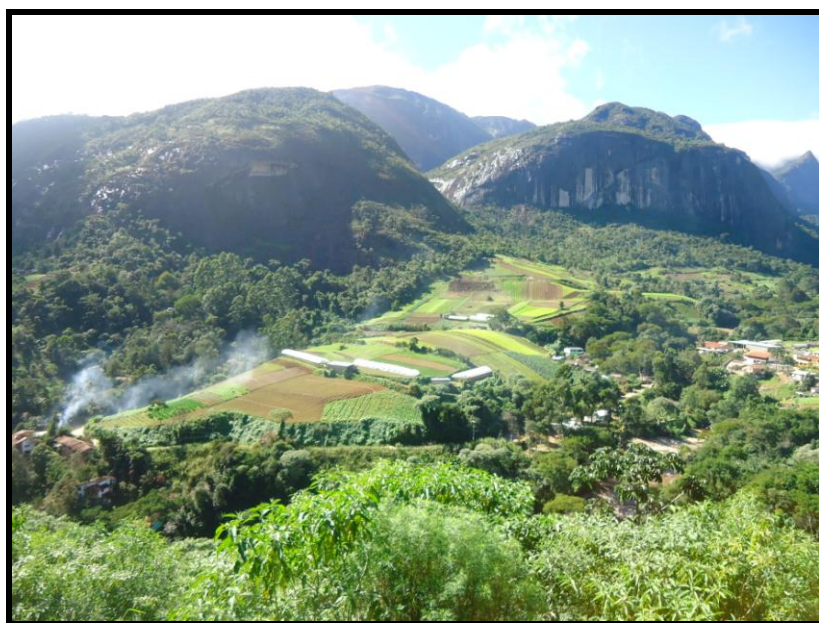


Figura 17: “Fragmento Rural” (Acervo NESAG - IGEO/UFRJ).

Por fim, o terceiro fragmento foi escolhido no interior do PARNASO, tendo como borda o próprio rio Bonfim, em áreas que apresentam estágios mais avançados de sucessão ecológica, evidenciada pelo elevado grau de epifitismo, maior umidade, presença do “fungo da podridão branca” e de cupinzeiros que atuam na fixação de matéria orgânica no solo, o “Fragmento PARNASO”, próximo ao Poço dos Primatas (Figura 18).

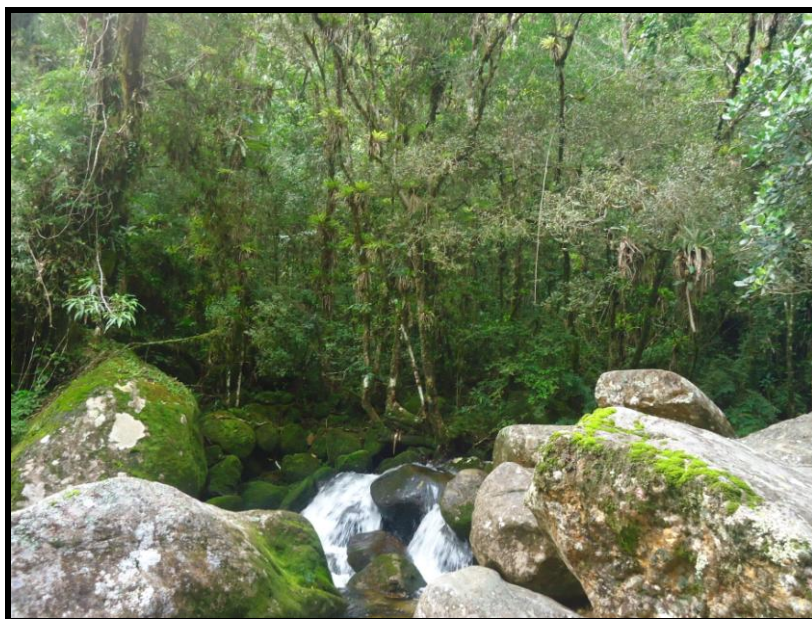


Figura 18: “Fragmento PARNASO” (Acervo NESAG - IGEO/UFRJ).

6.2- Coletas de Amostras, Levantamentos de Campo e Análises Laboratoriais

Para a realização da presente pesquisa, foram cumpridas as seguintes etapas:

- Coleta de amostras em dois períodos – inverno e verão - da matéria orgânica de superfície – serapilheira (Camada Holorgânica);
- Coleta da camada superficial do solo, composta por material mineral e matéria orgânica humificada (Camada Hemiorgânica);
- Coletas mensais durante seis meses de produção de serapilheira;
- Classificação das formas de húmus a partir de descrições morfológicas;
- Levantamento de dados da estrutura da vegetação e o percentual de cobertura do dossel.

Todos os procedimentos descritos a seguir foram efetuados por parcela e idênticos para cada parcela.

6.2.1- Caracterização da Estrutura da Vegetação

O levantamento de dados de estrutura da vegetação foi realizado com a medição da circunferência do tronco à altura do peito (CAP) – 1,3 m do solo, no qual os indivíduos foram contabilizados de acordo com dois intervalos: 15cm ou mais de CAP ($DAP \geq 4,77$), em uma parcela de 10m x 10 m ($100m^2$); e menos de 15 cm de CAP, em uma parcela de 5m x 5m ($25m^2$) (Figura 25).

Também foram realizadas estimativas de altura do fuste (ponto de ramificação do tronco principal) e de alcance do dossel dos indivíduos contabilizados. Com base nesses dados foram calculados os valores de área basal e volume de madeira. Por fim, foram contempladas a presença de cipós, lianas e palmeiras na área das parcelas, além de outras observações. A coleta destes dados foi realizada em incursão única de campo para cada fragmento.



Figura 19: Medição da circunferência do tronco à altura do peito – CAP (Acervo NESAG - IGEO/UFRJ).

6.2.2 – Percentual de Cobertura do Dossel

As leituras da cobertura do dossel foram feitas com um densiômetro esférico convexo (D) de Lemmon (LEMMON, 1954), a norte, sul, leste e oeste, a 1 m do solo (Figura 20), em cada ponto de cada uma das parcelas – totalizando 9 pontos por parcela, sendo os mesmos onde a descrição morfológica das formas de húmus foi realizada, sempre por uma mesma pessoa.

O densiômetro é composto por um espelho convexo, com o seu centro dividido em 24 quadrantes. Para a leitura, segundo Lemmon (1954), cada quadrante deve ser dividido mentalmente em quatro, e sistematicamente contados quantos quartos do quadrante refletem o dossel; o total dos quadrantes deve ser somado e multiplicado por 1,04, derivando a estimativa de cobertura diretamente em porcentagem. Assim, a cobertura de dossel foi obtida, nas parcelas, pela soma da cobertura nos quatro pontos cardeais.



Figura 20: Densiômetro Esférico Convexo utilizado para a obtenção do percentual de cobertura do dossel (Acervo NESAG - IGEO/UFRJ).

6.2.3 - Camada Holorgânica

Produção Foliar (*Litterfall*): foram alocados um total de três coletores circulares, os quais distribuem melhor a área de coleta, com uma distribuição semi-aleatória, de aproximadamente 60 cm de diâmetro, distando 0,5 m do solo, para produção de serapilheira, por parcela (Figura 19). O material depositado foi coletado mensalmente no período de agosto de 2012 a janeiro de 2013. Durante a coleta cada amostra foi devidamente identificada com o número e a data da amostragem, armazenada em sacos de papel e conduzidas ao laboratório para secagem ao ar. Após isso as amostras foram submetidas à secagem em estufa com circulação forçada a temperatura de 60°C até atingir peso constante.

Após a secagem em estufa a amostra foi pesada e separada em duas frações – material lenhoso e não-lenhoso. Em seguida à triagem deu-se sequência à pesagem de cada fração. As pesagens foram feitas utilizando-se balança com precisão de duas casas decimais. Um valor médio foi obtido para cada parcela e a média aritmética das parcelas foi usada na representação por fragmento para estimar a produção mensal e anual.



Figura 21: Coletor de serapilheira instalado nas parcelas (Acervo NESAG - IGEO/UFRJ).

Material Orgânico de Superfície: ao final do inverno de 2012 (agosto) e no final do verão de 2013 (fevereiro/março) foram coletadas aleatoriamente nove amostras de material orgânico de superfície por parcela em cada área, utilizando-se quadrados de madeira de área conhecida (25x25cm - 0,0625m²). O quadrado foi lançado sobre o piso e com o auxílio de uma faca foi delimitada a área a ser coletada (Figura 20).



Figura 22: Coleta do material orgânico de superfície – serapilheira (Acervo NESAG - IGEO/UFRJ).

Por parcela, as nove amostras de serapilheira foram secas em estufa à 60°C por 16 horas, e posteriormente peneiradas em malha de 2mm de abertura, onde foi separado o material fino bruto (MFB - composto de partículas minerais e matéria orgânica amorfa). O material restante foi triado, com a separação das camadas: L (folhas íntegras com pouco ou nenhum ataque fúngico); F (fragmentos de folhas); galhos; raízes finas; sementes; e agregados.

Todo material holorgânico foi pesado, e extrapolado para toneladas por hectare (t.ha⁻¹).

Com isso, os dados da camada holorgânica foram utilizados para calcular a taxa de decomposição da serapilheira para os seis meses em que os dados de produção foram coletados. O índice “k” foi determinado a partir de uma adaptação do método proposto por Olson (1963), conforme a seguinte equação:

$$K = PS / ES$$

Em que:

K = taxa de decomposição;

PS = produção total de serapilheira (t.ha^{-1}) dos seis meses coletados;

ES = estoque de serapilheira (t.ha^{-1}) calculado a partir da média dos valores obtidos nas coletas de inverno e verão.

6.2.4 - Camada Hemiorânica

Nas parcelas, as amostras de solo foram coletadas com o auxílio de anéis de Koppec, de volume conhecido, em duas profundidades, de 0 a 5 cm e de 5 a 10 cm (Figura 21). As coletas de solo foram realizadas logo após a retirada do estoque de serapilheira, durante a coleta de inverno, na mesma área onde esta foi retirada expondo o solo (Figura 22).



Figura 23: Coleta de solo com utilização de anéis de Koppec (Acervo NESAG - IGEO/UFRJ).



Figura 24: Coletas de solo realizadas após a retirada do estoque de serapilheira (Acervo NESAG - IGEO/UFRJ).

As amostras de solo formaram amostras compostas de 9 por parcela para as duas profundidades amostradas, foram enviadas para a Embrapa-Solos e analisadas segundo EMBRAPA (1997). Para ambos os casos obteve-se a análise química e textura do solo.

6.2.5 – Classificação das Formas de Húmus

A classificação das formas de húmus foi feita em parcelas de 10 x 10 metros (100m²), a partir da realização em campo 9 descrições morfológicas das formas de húmus (Figura 23) com base na tabela apresentada a seguir, evidenciando uma sequência das camadas da forma de húmus (Figura 24).

Tabela 2: Modelo utilizado para a descrição morfológica das formas de húmus (Adaptado de Zanella *et al.*, 2011a e b)

	TANGEL		AMPHI				MULL				MODER			MOR				
	Dys	Eu	Pachy	Eu meso	Eu macro	Lepto	Oligo	Eu	Meso	Dys	Hemi	Eu	Dys	Hemi	Humi	Eu		
OLn								Disc pock									OLn	
OLv									Disc pock								OLv	
OFnoz														Disc pock			OFnoz	
OFzo							Disc pock										OFzo	
OH	OH >2xA		≥ 3cm	< 3cm	≥ 1cm	< 1cm					Disc pock	≤ 1cm	> 1cm	Disc pock	Disc pock		OH	
trans	< 5mm	≥ 5mm			< 5mm		< 3mm				≥ 5mm			< 3mm			trans	
Anoz	mas A											sg A, ms A		A absent = E or sgA or msA			Anoz	
miA			miA and/or meA									or	or	possible			miA	
meA		or	or only meA A ≥ OH/2					or		or							meA	
maA					A ≥ OH/2												maA	
pH H2O	≥ 5										< 5						pH H2O	

6.3 – Análise dos resultados:

A análise dos dados obtidos foi expressa sinteticamente em media, desvio padrão e coeficiente de variação.

Estudos mais robustos foram empregados nos dados a fim de melhor entender as comparações intra e inter sistêmica, com o uso de estatística multivariada para ordenar os dados. Em cada tópico serão indicados quais variáveis foram usadas para a ordenação.

Cada matriz foi ordenada usando NMS (KRUSKAL, 1964), usando a distância Sorensen (BRAY e CURTIS, 1957) e com configuração inicial aleatória. A estrutura da matriz foi avaliada usando 250 análises com os dados reais e comparada com o teste de Monte Carlo com 250 análises com a matriz randomizada nas colunas.

Os resultados finais da análise de NMS foram restringidos para duas dimensões com o intuito de simplificar a apresentação e análise dos dados (critério de estabilidade = 0.00001 e stress mínimo = 15).

As análises foram realizadas com o auxílio do pacote estatístico PC-ORD (MCCUNE e MEFFORD, 1999).

Para verificar a existência de grupos e a comparação entre eles gerada pela ordenação NMS, foi conduzida a análise de Multi Response Permutation Procedure (MRPP) que testa a hipótese de que não existe diferença significativa entre dois ou mais grupos de entidades (BIONDINI *et al.*, 1985).

7 – Resultados e Discussões

Nesta pesquisa, os dados foram analisados com o intuito de se conhecer alguns dos aspectos do funcionamento ecossistêmico dos fragmentos florestais da bacia hidrográfica do Bonfim a partir dos fragmentos estudados e de suas parcelas amostradas.

Além disso, tais dados serviram como base para a detecção de prováveis efeitos propagados para o entorno a partir da comparação borda x interior de cada fragmento.

Os fragmentos urbano e rural possuem bordas antrópicas, enquanto o fragmento parnasos possui borda natural – rio Bonfim.

Considerando que a parcela da borda se encontra em condição sucessional aquém da parcela do interior, formulou-se a hipótese de que a produção de serapilheira na borda tenderá a ser maior do que no interior, espelhando também um comportamento diferenciado em relação à sua composição estrutural e formas de húmus; o que, indubitavelmente, influenciará as características físicas e químicas do topo do solo. A mesma hipótese se aplica à comparação do fragmento parnasos com os demais.

Assim, as comparações a partir de testes estatísticos foram feitas entre matrizes (blocos) e tratamentos (borda e interior). Em geral, coeficientes de variação altos foram observados, os quais confirmam a diversidade de respostas e a heterogeneidade espacial encontradas inter e intra-parcelas.

7.1 - Estrutura Florestal

Modificações na estrutura da vegetação podem significar alterações na diversidade vegetal. Para Swift *et al.* (1979), indivíduos diferentes e em distintas fases de desenvolvimento vão apresentar diferenciações na quantidade de biomassa, no aporte foliar e nas características e composição dos componentes fenólicos, o que representa diferenciações no processo de decomposição e ciclagem de nutrientes.

A estrutura florestal foi analisada nas parcelas de estudo de acordo com os itens 6.2.1. Os dados estão apresentados nas tabelas 3 e 4 e na figura 27, que mostram as variações entre as parcelas e os fragmentos das seguintes variáveis: total de indivíduos; circunferência à altura do peito (CAP); raio; diâmetro à altura do peito (DAP); altura estimada; área basal; volume de madeira e cobertura do dossel. Os dados de área basal e volume são apresentados em soma. Os dados de cobertura do dossel foram calculados somente para as parcelas de 100 m².

Tabela 3: Análise comparativa borda x interior dos fragmentos florestais (Estrutura da Vegetação do Extrato Arbóreo - CAP $\geq$ 15 cm).

FRAGMENTOS FLORESTAIS	URBANO		RURAL		PARNASO	
PARCELAS COMPARADAS	BORDA	INTERIOR	BORDA	INTERIOR	BORDA	INTERIOR
Parcela 10 x 10 metros – 100m² (DAP $\geq$ 15cm)						
Total de Indivíduos (n)	17	17	21	17	26	21
CAP (cm)	57,47 (89,72)	38,00 (51,53)	43,51 (67,08)	39,01 (50,02)	37,23 (79,26)	58,24 (83,46)
RAIO (cm)	9,15 (89,72)	6,05 (51,53)	6,93 (67,08)	6,21 (50,02)	5,93 (79,26)	9,27 (83,46)
DAP (cm)	18,30 (89,72)	12,10 (51,53)	13,86 (67,08)	12,42 (50,02)	11,86 (79,26)	18,55 (83,46)
ALT. EST. (m)	9,02 (49,28)	10,39 (27,69)	5,05 (73,52)	7,35 (62,42)	8,37 (43,70)	12,34 (44,57)
Área Basal (m² ha⁻¹)	78,57	24,43	45,22	25,44	46,03	94,33
Vol. de madeira (m³ ha⁻¹)	944,63	308,61	355,32	246,19	583,19	1655,27
Cobertura do Dossel (%)	86,36 (4,01)	87,29 (3,02)	84,52 (4,62)	87,52 (3,36)	86,13 (4,52)	87,52 (4,60)

Médias seguida de Coeficientes de Variação (entre parênteses).

Tabela 4: Análise comparativa borda x interior dos fragmentos florestais (Estrutura da Vegetação do Sub-bosque – CAP < 15 cm).

FRAGMENTOS FLORESTAIS	URBANO		RURAL		PARNASO	
PARCELAS COMPARADAS	BORDA	INTERIOR	BORDA	INTERIOR	BORDA	INTERIOR
Parcela 5 x 5 metros – 25 m ² (DAP < 15cm)						
Total de Indivíduos (n)	23	25	13	8	13	12
CAP (cm)	6,70 (50,63)	6,20 (52,26)	8,94 (31,26)	10,56 (44,87)	7,69 (33,73)	7,08 (54,66)
RAIO (cm)	1,07 (50,63)	0,99 (52,26)	1,42 (31,26)	1,68 (44,87)	1,22 (33,73)	1,13 (54,66)
DAP (cm)	2,13 (50,63)	1,97 (52,26)	2,85 (31,26)	3,36 (44,87)	2,45 (33,73)	2,26 (54,66)
ALT. EST. (m)	2,20 (58,18)	3,48 (41,81)	2,38 (47,39)	2,71 (51,93)	3,73 (42,50)	2,94 (55,12)
Área Basal (m ² ha ⁻¹)	4,09	3,86	3,61	3,34	2,71	2,44
Vol. de madeira (m ³ ha ⁻¹)	12,59	17,78	9,32	12,56	11,08	9,27

Médias seguida de Coeficientes de Variação (entre parênteses).

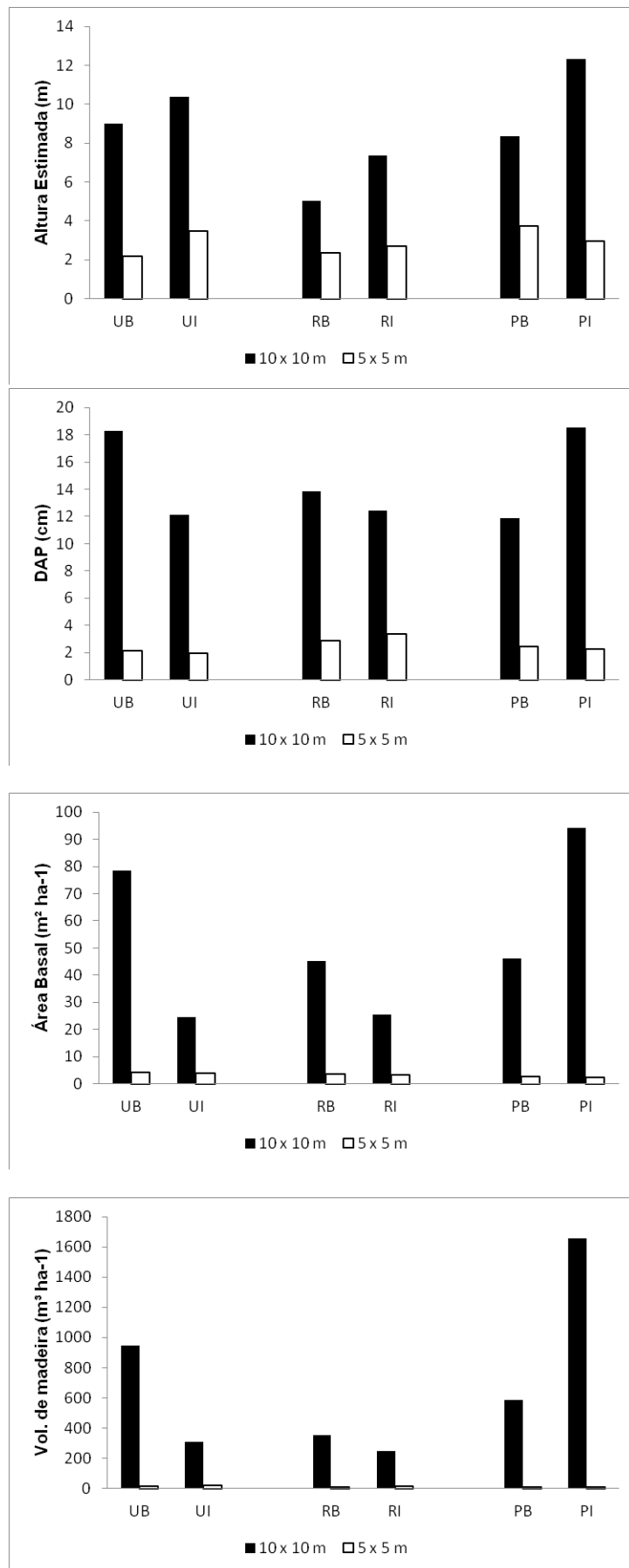


Figura 27: Variáveis da Estrutura Florestal (Altura Estimada; DAP; Área Basal e Volume de madeira) nas duas parcelas: extrato arbóreo (10 x 10 m) e sub-bosque (5 x 5 m).

Na tabela 3, que apresenta os dados referentes aos indivíduos com CAP ≥ 15 cm coletados numa área de 10m x 10m (100 m²), é possível observar maior número de indivíduos (n) na borda dos fragmentos, com exceção do fragmento urbano, onde o valor de n é o mesmo (n=17). Em relação à altura estimada, as parcelas do interior apresentam valores maiores nos fragmentos rural e parnaso, tendo em vista que no fragmento urbano a altura estimada da borda é um pouco menor que a do interior. A maior altura estimada é observada na parcela interior do parnaso que, em tese, seria a mais representativa de todas. Já em relação ao DAP, área basal e volume de madeira, também há uma tendência de maiores valores na borda, com exceção do parnaso, onde esta relação se inverte, com valores maiores na parcela do interior. Por fim, os dados de cobertura do dossel revelam uma cobertura um pouco maior nas parcelas do interior, porém pouco expressivas (aproximadamente 1% de diferença entre as parcelas do urbano e rural, e 3% no parnaso).

As diferenças nos valores de DAP, área basal e volume de madeira parecem estar diretamente associadas à prática de corte seletivo, observada em campo e relatada pelos próprios moradores do entorno dos fragmentos rural e urbano, o que não é realizado no parnaso por se tratar de uma unidade de conservação de proteção integral. O corte seletivo é praticado de forma tradicional há muitos anos para obtenção de madeira para cerca, fogueira e outros objetivos. Tal situação é nítida no fragmento urbano, em que as árvores são, em sua maioria, mais velhas e de tronco menos propício para as atividades apresentadas. A maior parte das árvores mais jovens e aparentemente de maior densidade já foram retiradas.

A tabela 4 apresenta os dados referentes aos indivíduos com CAP < 15 cm coletados numa área de 5m x 5m (25 m²). É possível observar pouca diferença entre o número de indivíduos nas parcelas da borda e interior dos fragmentos, com exceção do rural (n=13 na borda e n=8 no interior). Porém, foi observada uma presença maior de indivíduos no fragmento urbano (n=23 na borda e n=25 no interior), o que representa o dobro das parcelas dos demais fragmentos.

Os valores de DAP na parcela de 25 m² também apresentaram pouca diferença entre borda e interior em que, com exceção do rural, os valores das bordas são maiores que do interior. Os dados de altura estimada demonstram valores maiores no interior, com exceção do parnaso. A área basal possui valores maiores na borda e o volume de madeira no interior, este último com maiores diferenças no interior.

Os resultados de estrutura florestal da parcela de 100 m² foram ordenados usando NMS (Figura 28), em que não foi encontrada a presença de “outliers” com a utilização de um desvio padrão igual a 2,0 como corte. Nesta análise os dados, por possuírem dimensões diferentes, foram relativizados pela soma dos quadrados. O Axis 1, que explica 93% dos dados, mostra uma nítida separação entre as parcelas do fragmento rural em relação aos demais, com valores menores de volume, área basal, CAP, DAP e raio.

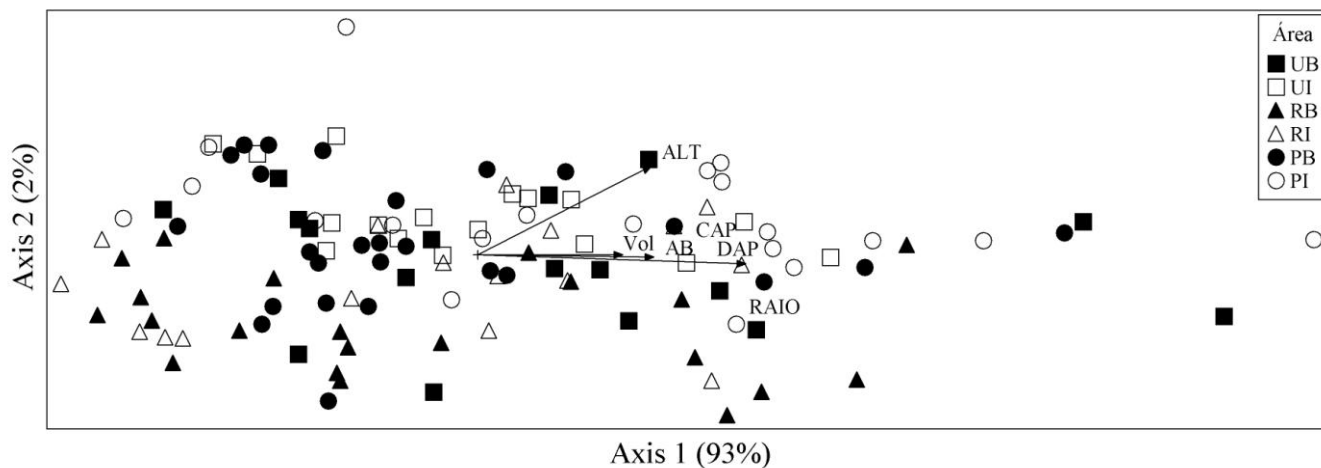


Figura 28: Ordenação NMS das variáveis de estrutura florestal das parcelas estudadas. A fração da variância total para cada axis está indicada entre parênteses. Os ângulos e as distâncias dos vetores centrais indicam a direção e a força da correlação entre as variáveis do solo e a ordenação.

A análise MRPP revelou que há diferença significativa entre a parcela da borda e do interior somente no fragmento parnaso ($p=0.009$) e entre as situações geográficas somente na comparação entre rural borda e parnaso borda ($p=0.01$) (Tabela 5).

Tabela 5: MRPP da ordenação da estrutura florestal entre as áreas de estudo.

Áreas Comparadas	Valor p
UB x UI	0.34
RB x RI	0.33
PB x PI	0.009
UB x RB	0.12
UB x PB	0.17
RB x PB	0.01
UI x RI	0.15
UI x PI	0.07
RI x PI	0.12

A ordenação NMS representada nas figuras 29 e 30 revela as variáveis que melhor explicam as diferenças significativas encontradas: volume, área basal, CAP, DAP e raio para PB x PI, com maiores valores em PB; e altura para RB x PB, com maiores valores em PB.

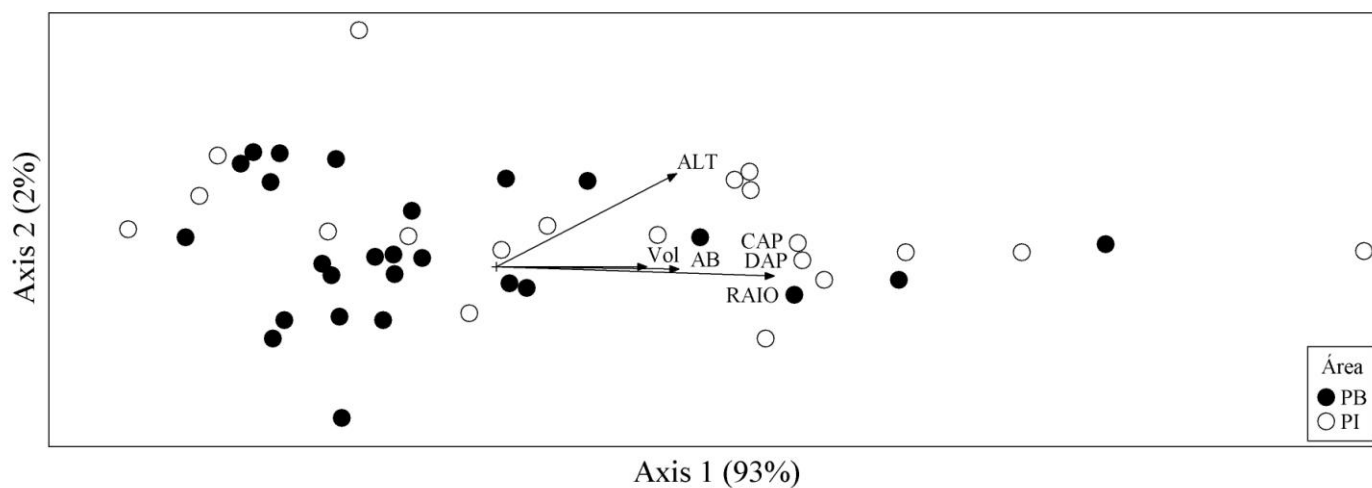


Figura 29: Ordenação NMS das variáveis de estrutura florestal das parcelas PB e PI. A fração da variância total para cada axis está indicada entre parênteses. Os ângulos e as distâncias dos vetores centrais indicam a direção e a força da correlação entre as variáveis do solo e a ordenação.

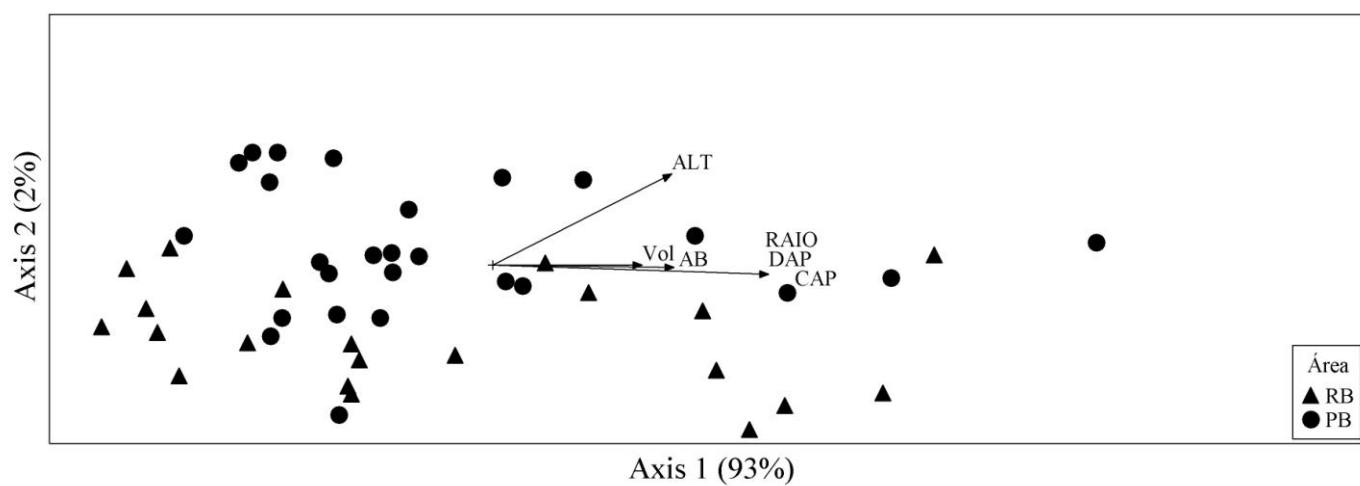


Figura 30: Ordenação NMS das variáveis de estrutura florestal das parcelas RB e PB. A fração da variância total para cada axis está indicada entre parênteses. Os ângulos e as distâncias dos vetores centrais indicam a direção e a força da correlação entre as variáveis do solo e a ordenação.

7.2 - Produção Foliar ("*Litterfall*")

A produção da serapilheira tem sido analisada sob o ponto de vista da quantificação da produtividade primária. Padrões de quantificação e distribuição espacial e temporal têm sido empregados a título de se avaliar o estágio de desenvolvimento do ecossistema, além da detecção de distúrbios de diversas naturezas (LOPES *et al.*, 2002).

A produção foliar ("*litterfall*") foi avaliada durante seis meses de coletas mensais. As comparações entre as parcelas da borda e do interior dos fragmentos estão apresentados nas tabelas 5 (urbano), 6 (rural), 7 (parnaso) e na figura 31. Já na tabela 8 são apresentados os dados de maneira comparativa entre as parcelas da borda e as parcelas do interior de cada fragmento.

Em quase todas as coletas realizadas foram observadas maior contribuição do material não-lenhoso (folhas). Somente no parnaso, onde foram encontrados comparativamente maiores valores de material lenhoso, há um caso em que este supera o não-lenhoso, que é o mês de novembro na parcela da borda ($0,73 \text{ t ha}^{-1}$ na borda e $0,65 \text{ t ha}^{-1}$ no interior). A maior quantidade de folhas era a composição esperada para a serapilheira, independentemente do fragmento e de sua posição. Por outro lado, se a proporção de galhos aumenta, é um indicativo de que existem clareiras no interior da floresta que permitem maior ação do vento, principal responsável pela queda de material mais resistente como galhos e troncos, sendo assim considerado um indicador do grau de degradação do sistema (LOPES *et al.*, 1994). Porém, no caso do parnaso, que possui uma borda natural, e não antrópica como os demais fragmentos, tal fato pode estar associado a uma condição mais favorável para a ação do vento no alto curso da bacia, sendo este mais canalizado e de maior intensidade.

Os maiores valores médios dos 6 meses amostrados foram encontrados no fragmento rural, com $0,82 \text{ t ha}^{-1}$ na borda e $1,04 \text{ t ha}^{-1}$ no interior, acompanhados, inclusive, dos menores valores de coeficiente de variação. Tal observação parece estar diretamente associada à sua estrutura, com menores valores de altura estimada e área basal. De fato, a partir de observações de campo, é possível observar maior suscetibilidade do fragmento a intempéries que possam contribuir para uma maior produção, principalmente entrada de vento.

Nos três fragmentos estudados, a parcela do interior possui uma produção média maior, o que vai de encontro aos dados apresentados por Vidal *et al.* (2007), para os quais a estrutura da floresta apresenta forte relação com a produção de serapilheira, pois o maior altura das árvores, com dossel mais desenvolvido, pode ser mais importante do que a abundância de

espécies pioneiras. De acordo com esses autores, isso ocorre porque as espécies de estágios sucessionais iniciais, com maior densidade de árvores finas e dossel mais aberto são mais sujeitas ao vento e a menor umidade, levando a uma maior produção de serapilheira.

Em relação ao fragmento urbano, a parcela da borda com o mês de maior produção foi novembro ($0,71 \text{ t ha}^{-1}$), enquanto na parcela do interior foi outubro ($0,90 \text{ t ha}^{-1}$); por outro lado, tanto na borda quanto no interior o mês com menor produção foi agosto ($0,19 \text{ t ha}^{-1}$ e $0,24 \text{ t ha}^{-1}$, respectivamente). Já no fragmento rural, na borda o mês com menor produção foi agosto ($0,54 \text{ t ha}^{-1}$) e no interior janeiro ($0,60 \text{ t ha}^{-1}$); por outro lado, tanto na borda quanto no interior o mês com maior produção foi setembro ($1,05 \text{ t ha}^{-1}$ e $1,50 \text{ t ha}^{-1}$, respectivamente). Por fim, no parnaso, a parcela da borda com o mês de menor produção foi janeiro ($0,21 \text{ t ha}^{-1}$), enquanto na parcela do interior foi agosto ($1,38 \text{ t ha}^{-1}$); e mais uma vez, tanto na borda quanto no interior o mês com maior produção foi novembro ($1,38 \text{ t ha}^{-1}$ e $1,54 \text{ t ha}^{-1}$, respectivamente).

Montezuma (2005), ao comparar a produção em uma clareira de desflorestamento, observou um aporte total decrescente no sentido área controle, parcelas na borda da cicatriz, zona deposicional e topo. Oliveira (1999) constatou valores mensais de deposição para matas de 5 anos, 25 anos e climática – $9,9 \text{ Mg ha}^{-1}$, $8,7 \text{ Mg ha}^{-1}$ e $3,7 \text{ Mg ha}^{-1}$, respectivamente. Com isso, de um modo geral, o aporte de serapilheira tende a obedecer à variação pluviométrica apresentando uma correlação negativa, registrando picos de produção em períodos de poucas chuvas.

Vidal *et al.* (2007), estudando a produção de serapilheira em floresta secundária numa paisagem fragmentada em Ibiúma (SP), não encontraram relação entre a produção de serapilheira no interior e na borda dos fragmentos, porém foi encontrado para o maior fragmento uma produção de serapilheira mais expressiva, havendo também relação entre a produção de serapilheira e as estações do ano. A maior produção total de serapilheira foi encontrada na estação seca e a menor produção no início da estação chuvosa. No entanto, de acordo com os dados coletados e corroborando com os autores citados, não há um padrão, e a diferença entre borda e interior do fragmento vai depender do tamanho do fragmento, do histórico de fragmentação e do grau de isolamento. Assim, em florestas tropicais, que são mosaicos dinâmicos, a produção e o acúmulo vão depender da dinâmica funcional de cada fragmento.

Tabela 6: Análise comparativa borda x interior do fragmento urbano (Produção Foliar – Litterfall).

FRAGMENTOS FLORESTAIS	URBANO							
PARCELAS COMPARADAS	BORDA				INTERIOR			
	Produção Total	Material Lenhoso	Material Lenhoso	Não-	Produção Total	Material Lenhoso	Material Lenhoso	Não-
			Lenhoso				Lenhoso	
Agosto/2012	0,19 (20,13)	0,01 (54,19)	0,19 (18,84)		0,24 (78,51)	0,02 (47,91)	0,22 (81,25)	
Setembro/2012	0,38 (63,16)	0,01 (83,91)	0,37 (62,67)		0,48 (50,38)	0,06 (86,28)	0,42 (45,78)	
Outubro/2012	0,61 (17,90)	0,08 (103,01)	0,53 (6,14)		0,68 (36,36)	0,11 (54,41)	0,56 (32,89)	
Novembro/2012	0,71 (41,10)	0,16 (76,43)	0,55 (32,56)		0,82 (25,77)	0,07 (29,62)	0,74 (28,58)	
Dezembro/2012	0,36 (47,13)	0,10 (85,66)	0,25 (34,95)		0,90 (14,84)	0,08 (63,75)	0,82 (18,70)	
Janeiro/2013	0,32 (49,64)	0,06 (96,24)	0,26 (38,00)		0,34 (55,35)	0,01 (109,95)	0,33 (53,84)	
Média dos 6 meses	0,43 (55,96)	0,07 (118,39)	0,36 (50,89)		0,58 (52,53)	0,06 (84,97)	0,52 (52,32)	

Médias seguida de Coeficientes de Variação (entre parênteses).

Tabela 7: Análise comparativa borda x interior do fragmento rural (Produção Foliar – Litterfall).

FRAGMENTOS FLORESTAIS	RURAL							
PARCELAS COMPARADAS	BORDA				INTERIOR			
	Produção Total	Material Lenhoso	Material Lenhoso	Não-	Produção Total	Material Lenhoso	Material Lenhoso	Não-
Agosto/2012	0,54 (14,52)	0,05 (32,89)	0,48 (13,10)		0,78 (32,08)	0,24 (94,75)	0,54 (4,16)	
Setembro/2012	1,05 (22,94)	0,10 (16,75)	0,95 (23,65)		1,50 (35,21)	0,51 (74,36)	0,99 (14,90)	
Outubro/2012	0,91 (26,60)	0,11 (0,20)	0,80 (25,23)		1,49 (43,80)	0,63 (100,87)	0,86 (5,55)	
Novembro/2012	0,61 (16,44)	0,06 (108,76)	0,55 (13,59)		0,98 (24,94)	0,18 (36,72)	0,80 (25,86)	
Dezembro/2012	0,94 (19,09)	0,16 (44,67)	0,79 (15,61)		0,82 (21,20)	0,26 (71,73)	0,56 (8,20)	
Janeiro/2013	0,87 (9,79)	0,10 (25,86)	0,77 (12,94)		0,69 (50,97)	0,25 (146,75)	0,44 (9,63)	
Média dos 6 meses	0,82 (28,86)	0,10 (54,81)	0,72 (28,10)		1,04 (45,90)	0,35 (99,83)	0,70 (31,81)	

Médias seguida de Coeficientes de Variação (entre parênteses).

Tabela 8: Análise comparativa borda x interior do fragmento parnaso (Produção Foliar – Litterfall).

FRAGMENTOS FLORESTAIS	PARNASO							
PARCELAS COMPARADAS	BORDA				INTERIOR			
	Produção Total	Material Lenhoso	Material Lenhoso	Não-	Produção Total	Material Lenhoso	Material Lenhoso	Não-
Agosto/2012	0,34 (29,12)	0,06 (140,21)	0,28 (30,96)		0,38 (31,34)	0,13 (23,25)	0,25 (40,52)	
Setembro/2012	0,48 (27,58)	0,03 (128,51)	0,45 (30,51)		0,55 (38,44)	0,04 (38,75)	0,51 (38,96)	
Outubro/2012	0,70 (31,26)	0,07 (139,61)	0,63 (20,56)		0,80 (11,00)	0,17 (134,98)	0,63 (41,52)	
Novembro/2012	1,38 (19,40)	0,73 (43,65)	0,65 (24,52)		1,54 (20,81)	0,47 (50,40)	1,07 (9,87)	
Dezembro/2012	0,24 (13,70)	0,00 (57,28)	0,24 (14,85)		0,61 (25,78)	0,01 (41,31)	0,60 (26,33)	
Janeiro/2013	0,21 (23,88)	0,01 (67,51)	0,19 (29,89)		0,85 (18,59)	0,05 (40,92)	0,80 (21,37)	
Média dos 6 meses	0,56 (77,80)	0,15 (192,57)	0,41 (51,53)		0,79 (52,71)	0,14 (136,82)	0,64 (46,50)	

Médias seguida de Coeficientes de Variação (entre parênteses).

Tabela 9: Análise comparativa inter-fragmentos florestais da Produção Foliar – Borda e Interior.

PARCELAS COMPARADAS	BORDA			INTERIOR		
	UB	RB	PB	UI	RI	PI
	Total	Total	Total	Total	Total	Total
Agosto/2012	0,19 (20,13)	0,54 (14,52)	0,34 (29,12)	0,24 (78,51)	0,78 (32,08)	0,38 (31,34)
Setembro/2012	0,38 (63,16)	1,05 (22,94)	0,48 (27,58)	0,48 (50,38)	1,50 (35,21)	0,55 (38,44)
Outubro/2012	0,61 (17,90)	0,91 (26,60)	0,70 (31,26)	0,68 (36,36)	1,49 (43,80)	0,80 (11,00)
Novembro/2012	0,71 (41,10)	0,61 (16,44)	1,38 (19,40)	0,82 (25,77)	0,98 (24,94)	1,54 (20,81)
Dezembro/2012	0,36 (47,13)	0,94 (19,09)	0,24 (13,70)	0,90 (14,84)	0,82 (21,20)	0,61 (25,78)
Janeiro/2013	0,32 (49,64)	0,87 (9,79)	0,21 (23,88)	0,34 (55,35)	0,69 (50,97)	0,85 (18,59)
Média dos 6 meses	0,43 (55,96)	0,82 (28,86)	0,56 (77,80)	0,58 (52,53)	1,04 (45,90)	0,79 (52,71)

Médias seguida de Coeficientes de Variação (entre parênteses).

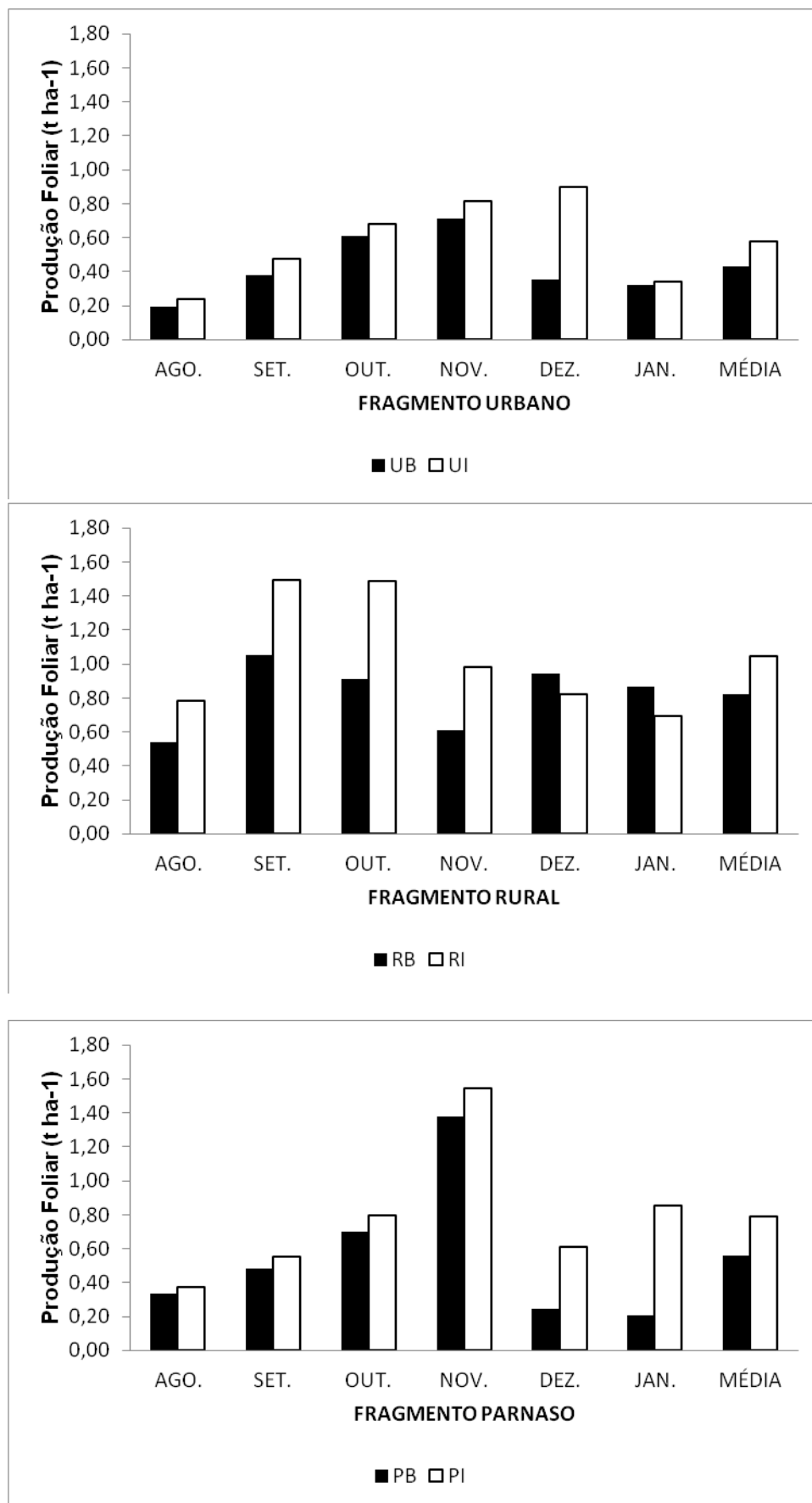


Figura 31: Produção total mensal durante o período da pesquisa (agosto/2012 a janeiro/2013) nos fragmentos estudados.

Os resultados de produção foliar foram ordenados usando NMS (Figura 32), em que ao se utilizar como valor de corte um desvio padrão (DP) igual a 2.0, o mês de novembro se apresentou como um “outlier” com um valor um pouco acima (DP=2.01). Nesta análise os dados foram representados em três eixos – o eixo 1 representando 20% dos dados; o eixo 2, 11%; e o eixo 3, 60%. Por isso, a figura representando a ordenação NMS foi elaborada somente com os eixos 1 e 3, que são os mais representativos.

A figura 32 revela uma nítida separação entre os fragmentos, onde observa-se maiores valores nas parcelas do fragmento rural nos meses de agosto, setembro, outubro e janeiro, com um valor bastante discrepante em uma das amostras de RI. O mês de novembro, evidenciado pelo axis 3, demonstra valores maiores para o fragmento parnaso em relação aos demais. Situação contrária é observada em relação ao mês de dezembro, com maiores valores nos fragmentos urbano e rural.

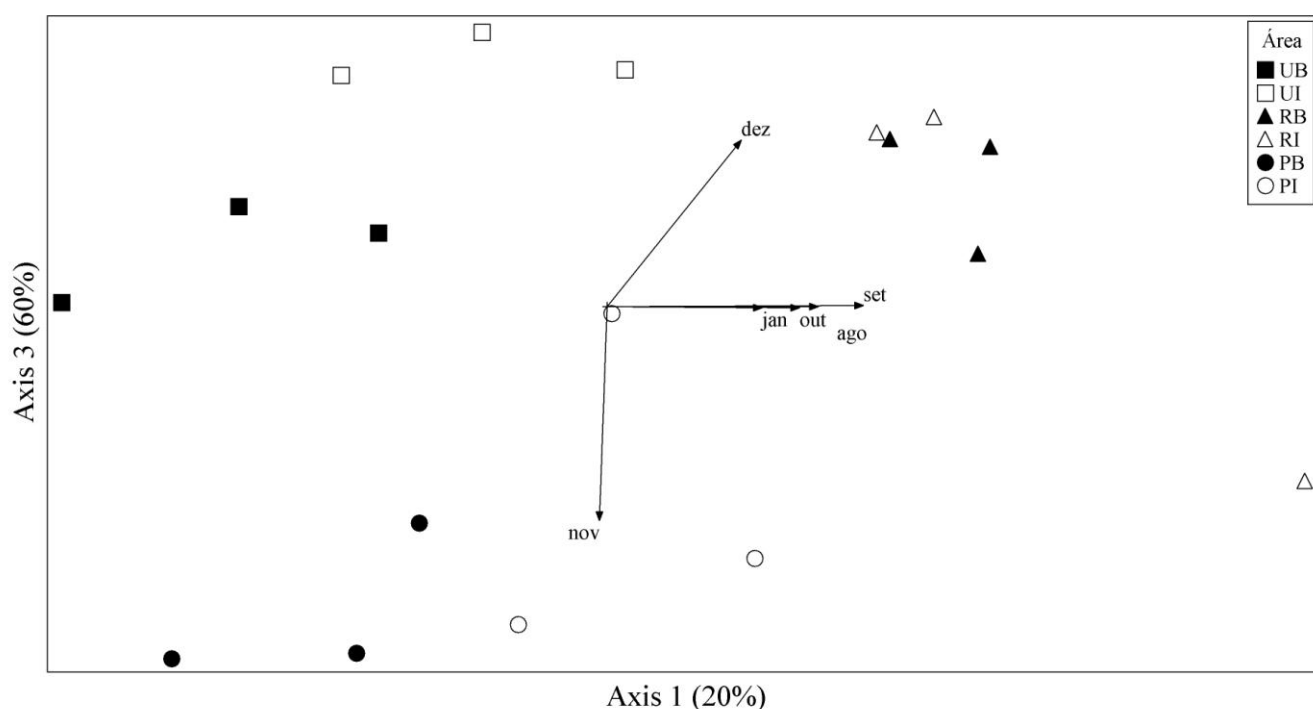


Figura 32: Ordenação NMS das variáveis de produção foliar das parcelas estudadas. A fração da variância total para cada axis está indicada entre parênteses. Os ângulos e as distâncias dos vetores centrais indicam a direção e a força da correlação entre as variáveis do solo e a ordenação.

A análise MRPP revelou que há diferença significativa entre a parcela da borda e do interior somente no fragmento parnaso ($p=0.02$), com valores maiores no interior; porém há diferença entre as situações geográficas tanto na borda quanto no interior de todos os fragmentos (Tabela 10).

Tabela 10: MRPP da ordenação da produção foliar entre as áreas de estudo.

Áreas Comparadas	Valor p
UB x UI	0.43
RB x RI	0.17
PB x PI	0.02
UB x RB	0.02
UB x PB	0.03
RB x PB	0.02
UI x RI	0.03
UI x PI	0.02
RI x PI	0.02

7.3 - Fertilidade e granulometria do solo.

Os resultados de fertilidade e granulometria estão apresentados na tabela 12 (profundidade 0-5 cm) e na tabela 13 (profundidade 5-10 cm). Pode-se observar diferenças significativas tanto entre as duas profundidades, bem como, entre os fragmentos. Entretanto, o comportamento dos parâmetros analisados foi muito heterogêneo, não seguindo o mesmo padrão nas profundidades para os três fragmentos.

Em geral, a disponibilidade de nutrientes no solo é um fator importante que afeta a taxa de decomposição da serapilheira. O solo não apenas fornece os nutrientes necessários para que os agentes decompositores (animais do solo) consigam manter suas atividades, mas também influencia a decomposição indiretamente através da regulação que exerce na forma como o serapilheira entra no ecossistema e diretamente através da alteração do microclima ou ambiente de nutrientes onde ocorre a decomposição da serapilheira (XIAOGAI *et al.*, 2013).

Os valores de pH nas duas profundidades apresentaram maior acidez nas parcelas do interior, com exceção do urbano. Comparando os fragmentos, menores valores de pH foram observados no parnaso, que não apresenta variação de acidez entre as profundidades. As parcelas do urbano e a interior do rural apresentam aumento da acidez entre as profundidades amostradas (Figura 33).

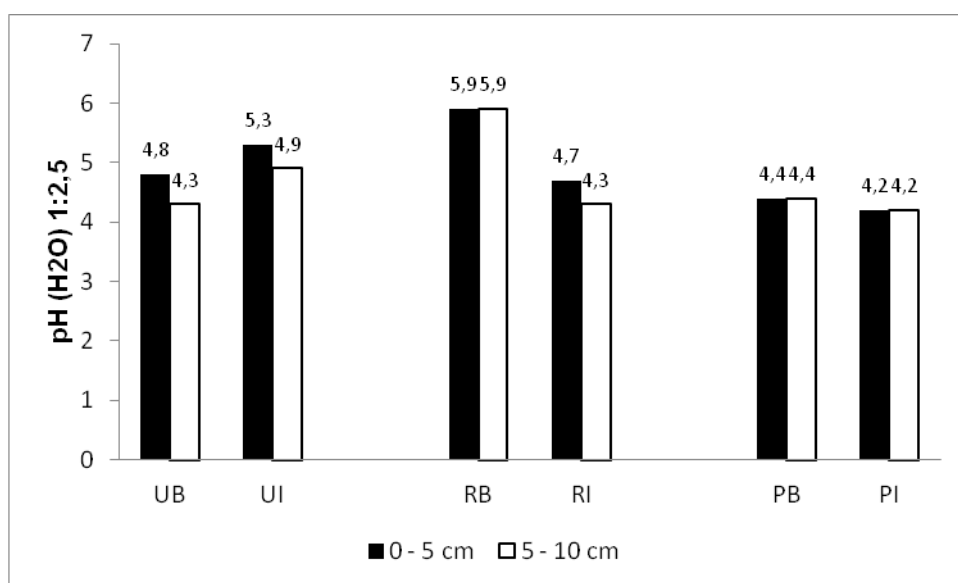


Figura 33: Valores de pH nas parcelas amostradas nas duas profundidades.

A parcela interior do fragmento rural é a que apresenta a menor acidez (pH = 5,9 nas duas profundidades), o que evidencia práticas de calagem do solo com adição de cálcio, nutriente que apresenta os maiores valores nessa parcela (13,7 cmolc dm^{-3} na profundidade de 0-5cm e 12,2 cmolc dm^{-3} na profundidade de 5-10 cm), valores esses muito discrepantes em relação às demais parcelas estudadas (Figura 34). É neste sentido que as propriedades químicas como pH e teor de matéria orgânica refletem a condição atual de conservação, pois são mutáveis na escala de tempo humana, principalmente por conta de práticas inadequadas de manejo (TOMÉ Jr., 1997; SILVA, 2005), em que a acidificação diminui a riqueza de espécies.

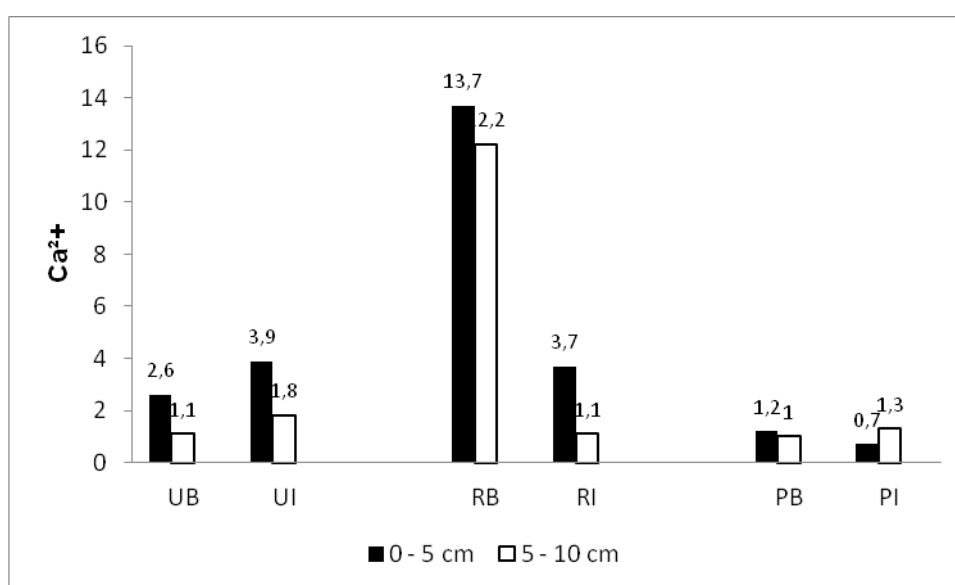


Figura 34: Teores de Cálcio nas parcelas amostradas nas duas profundidades.

A soma de bases (S) foi menor nas parcelas do interior em todos os fragmentos na profundidade de 0-5 cm, padrão que na profundidade de 5-10 cm somente se repete no fragmento rural, onde os valores são expressivamente maiores, nas duas profundidades, principalmente na borda (16,7 cmolc dm^{-3} – 0-5 cm; e 14,9 cmolc dm^{-3} - 5-10 cm), o que representa valores bem discrepantes em relação às demais parcelas (Figura 35).

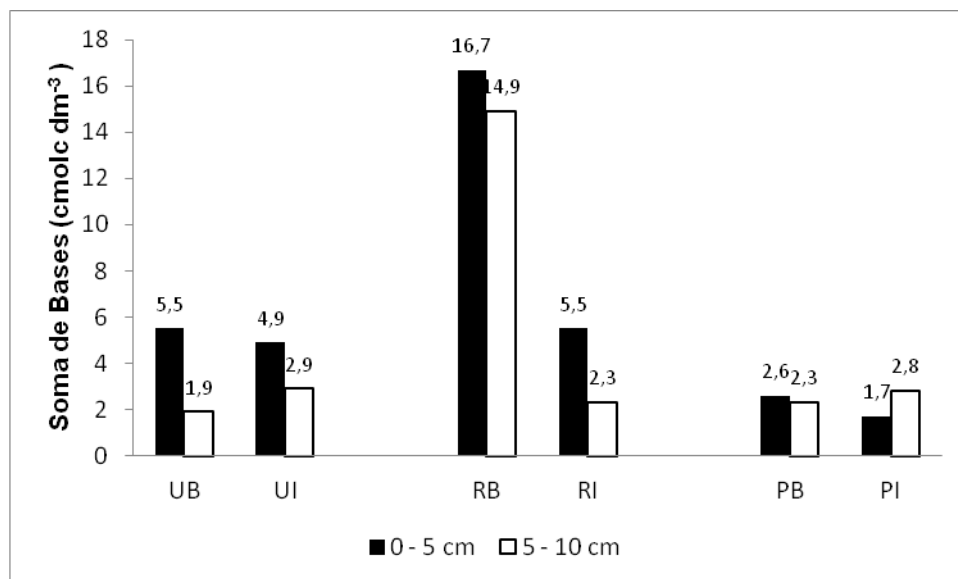


Figura 35: Valores da soma de bases (S) nas parcelas amostradas nas duas profundidades.

Sabendo que a soma de bases (S) representa a soma dos teores de Ca, Mg e K, três importantes nutrientes para as plantas, em que quanto maior o valor de S, maior a fertilidade do solo, os valores discrepantes na borda do rural podem ser explicados pela influência das atividades agrícolas. Ou seja, o uso de fertilizantes, ação claramente observada em campo, acaba por influenciar o fragmento em sua borda no que tange à fertilidade do solo (Ca e K apresenta teores bem maiores), o que não necessariamente contribui para o desenvolvimento de sua biomassa, principalmente em relação à diversidade de espécies. Por outro lado, os teores de P na borda do parnaso são bem maiores que nas demais parcelas.

Uma das mais importantes propriedades dos minerais de argila e da matéria orgânica, quanto à fertilidade dos solos, é a de adsorver e trocar cátions, apresentando elevada capacidade de armazenamento de elementos nutrientes às plantas. Assim, a capacidade de troca catiônica (CTC) é consequência da natureza e da quantidade do complexo coloidal do solo (KIEHL, 1979), em que solos com alta CTC são considerados como possuidores de boa fertilidade. Nas parcelas estudadas, os maiores valores de CTC foram encontrados na borda em ambas profundidades, com exceção do parnaso. Os menores valores são observados no urbano e os maiores na borda do rural e interior do parnaso (Figura 36).

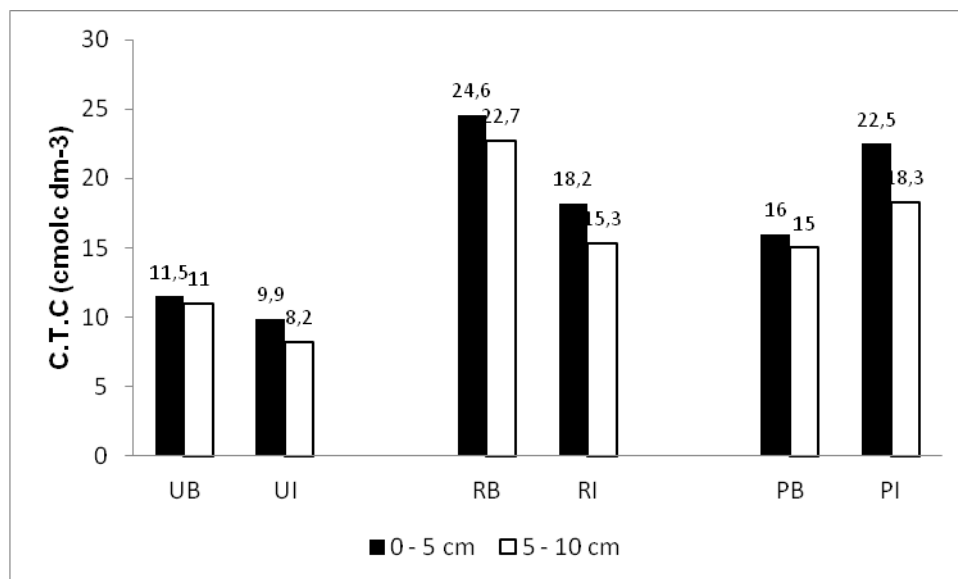


Figura 36: Valores da capacidade de troca catiônica (C.T.C.) nas parcelas amostradas nas duas profundidades.

A porcentagem de saturação em bases (V%), relação entre a soma de bases (S) e o total de cátions do solo, na profundidade de 0-5 cm é maior nas parcelas da borda, com exceção do fragmento urbano, onde as porcentagens são bem próximas (48% na borda e 50% no interior). Já no rural e no parnaso os valores da borda representam o dobro dos valores do interior (rural: 68% na borda e 30% no interior; parnaso: 16% na borda e 8% no interior).

Na profundidade de 5-10 cm, o fragmento urbano apresenta valores maiores (praticamente o dobro) na parcela do interior (36%) em relação à borda (17%). No fragmento rural nessa profundidade os valores são bem discrepantes entre a parcela da borda (66%) e do interior (15%). Por fim, o parnaso apresenta os mesmos valores de V (%) para a borda e interior (15%).

Com o aumento da profundidade, os valores de V diminuem, com exceção do interior do parnaso. Porém, apesar de menor, os valores da borda do rural entre 0-5 cm e 5-10 cm são praticamente os mesmos (68% e 66%, respectivamente). Isso demonstra a importância dos primeiros centímetros do topo do solo para a vitalidade destes ecossistemas.

O valor de V representa a proporção de CTC que é ocupada por bases. Assim, quanto maior o valor de V, mais fértil é o solo. Se a % de saturação por bases (V) for inferior a 50%, o solo é considerado distrófico (solos com fertilidade média ou baixa). Por outro lado, se a % de saturação por bases (V) for superior a 50 %, o solo é considerado eutrófico (solos com

fertilidade alta. A classificação das parcelas com base no critério apresentado está expressa na tabela 11.

Tabela 11: Classificação dos solos amostrados em Eutróficos ou Distróficos de acordo com a porcentagem de saturação em bases (V%).

FRAGMENTOS	URBANO		RURAL		PARNASO	
PARCELAS	BORDA	INTERIOR	BORDA	INTERIOR	BORDA	INTERIOR
0-5 cm	Distrófico (48%)	Distrófico (50%)	Eutrófico (68%)	Distrófico (30%)	Distrófico (16%)	Distrófico (8%)
5-10 cm	Distrófico (17%)	Distrófico (36%)	Eutrófico (66%)	Distrófico (15%)	Distrófico (15%)	Distrófico (15%)

Mais uma vez, as parcelas da borda do fragmento rural destacam-se, devido à influência da agricultura – introdução de fertilizantes. Porém, os dados mostram que os fragmentos florestais estudados na bacia hidrográfica do Bonfim apresentam baixa fertilidade (distróficos), ressaltando a importância da ciclagem de nutrientes para esses ecossistemas.

Quanto aos macronutrientes, de forma geral, nutrientes como N, P e Ca são necessários em maiores quantidades pelos macrosaprófagos, que se alimentam apenas da serapilheira (detritos vegetais), que por microsaprófagos, que se alimentam de nutrientes acumulados, tais como fungos e bactérias (PONGE, 2013). De fato, com exceção do Ca, tais nutrientes possuem menores quantidades no urbano e no rural se comparados ao parnaso, fragmentos estes em que a ação bacteriana e fúngica observada em campo é bem mais evidente.

Os teores de C aumentam com a profundidade, com exceção do fragmento urbano. Quanto ao teor de N esta relação se mantém, o fragmento urbano mantém a diminuição dos seus teores com o aumento da profundidade. Já nos fragmentos rural e parnaso, o teor de N aumenta com a profundidade nas parcelas da borda, e o contrário ocorre nas parcelas do interior.

A relação C/N dá informação sobre o estado de humificação da matéria orgânica do solo. Sabendo-se que o húmus possui uma relação C/N que varia de 12:1 a 8:1 tendo por média 10:1, quando o resultado das análises desses elementos apresentam elevados teores de carbono, em relação aos de nitrogênio (altas relações C/N), sabe-se que a matéria orgânica

desse solo não está completamente humificada ou foram feitas adições recentes de restos vegetais crus; inversamente, quando os teores de nitrogênio forem elevados dando relações C/N inferiores a 10:1, supões-se que houve uma recente adubação nitrogenada (KIEHL, 1979), em que a deposição de nitrogênio aumenta a produtividade.

A razão C/N diminui com a profundidade, com exceção do fragmento parnaso. Os dados obtidos se assemelham muito, não contribuindo de forma expressiva para a comparação das parcelas, com exceção do parnaso borda, em que os dados são maiores, o que evidencia condições desfavoráveis para o processo de decomposição, apresentando então uma matéria orgânica não completamente humificada. É bem provável que a maior umidade presente nessa parcela, associada à proximidade do rio Bonfim, esteja contribuindo para a inibição do processo de humificação.

A textura do solo é estudada pela análise granulométrica, a qual permite classificar os componentes sólidos em classes de acordo com seus diâmetros. Com isso, os solos amostrados foram divididos em três frações: areia, silte e argila.

Em ambas as profundidades (0-5cm e 5-10 cm) é possível observar maiores quantidades de areia e menores quantidades de silte na borda dos fragmentos urbano e parnaso, o que não se repete no rural, onde as maiores quantidades de areia e menores de silte são encontradas no interior. Em todos os fragmentos os menores valores de argila encontram-se na parcela da borda, com maiores diferenças entre borda e interior no urbano e no parnaso, praticamente a metade de um para o outro.

A grosso modo, pode-se dizer que solos de textura muito argilosa têm mais de 60% de argila. Os de textura argilosa têm entre 35 e 60% de argila. Os de textura siltosa têm mais de 65% de silte e os de textura arenosa mais de 70 ou 85% de areia. Solos que têm proporções aproximadamente semelhantes de areia, silte e argila são chamados de solos de textura média. Assim, nas parcelas estudadas temos um predomínio de solos de textura média, com exceção do urbano interior, de textura argilosa, e do parnaso borda, de textura arenosa.

Sabe-se da importância da matéria orgânica, o que pode ser evidenciado pela sua influência nas propriedades físicas, químicas, físico-químicas e biológicas do solo, com destaque na reação do solo, nos conteúdos de bases trocáveis e na capacidade de troca catiônica, propriedades essas que muito contribuem no suprimento de nutrientes às plantas. A capacidade da matéria orgânica adsorver Ca, Mg, K e outros elementos, evita a lavagem desse nutrientes em solos pobres em argila, situação encontrada na maioria das parcelas estudadas.

Além disso, conteúdo de nutrientes no solo foram correlacionados positivamente com a qualidade do material holorgânico, mostrando que maiores teores de nutrientes no solo foram acompanhados com boa qualidade da serapilheira, e menor quantidade de nutrientes com má qualidade desta (XIAOGAI *et al.*, 2013).

Por fim, cabe ressaltar que a disponibilidade de nutrientes no solo também pode estar relacionada à extração direta de nutrientes da rocha e da atmosfera por raízes das plantas e sua atividade microbiana associada ou à intervenção humana como adubação (situação observada no RB). Porém, na maioria dos casos, a decomposição da serapilheira é necessária para assegurar o crescimento normal da vegetação, por dois motivos principais: o compartimento da serapilheira contém a maioria dos nutrientes que a vegetação necessita; a taxa em que a serapilheira é degradada controla a taxa em que os nutrientes serão absorvidos pela vegetação.

Tabela 12: Descrição geral da fertilidade do solo e granulometria (0 - 5 cm).

FRAGMENTOS FLORESTAIS	URBANO		RURAL		PARNASO	
PARCELAS COMPARADAS	BORDA	INTERIOR	BORDA	INTERIOR	BORDA	INTERIOR
	0 – 5 cm		0 – 5 cm		0 – 5 cm	
pH	4,8	5,3	5,9	4,7	4,4	4,2
Al3 ⁺	0,3	0,1	0,1	0,5	1,8	2,3
Ca ²⁺	2,6	3,9	13,7	3,7	1,2	0,7
Mg ²⁺	2,7	0,8	2,3	1,5	1,2	0,8
Na ⁺	0	0	0	0	0	0
K ⁺	86	94	269	98	94	78
H+Al	5,9	4,9	7,9	12,7	13,4	20,8
P	3,1	1,4	11,5	4,8	23,7	8,8
S	5,5	4,9	16,7	5,5	2,6	1,7
C.T.C.	11,5	9,9	24,6	18,2	16,0	22,5
V	48	50	68	30	16	8
C	3,77	4,90	6,11	6,28	4,34	7,62
N	0,33	0,42	0,55	0,56	0,33	0,68
C/N	11,42	11,66	11,10	11,21	13,15	11,20
Areia	620	342	468	548	692	606
Silte	180	258	312	212	228	254
Argila	200	400	220	240	80	140

Números representam os valores unitários das amostras compostas de solo (n=9). Parâmetros das unidades: Al, Ca, Mg, H+Al, P, S, C.T.C (cmolc dm⁻³), Na, K (mg dm⁻³), V (%), C, N, C/N (%), pH (H₂O 1:2,5), Areia, Silte, Argila (g kg⁻¹).

Tabela 13: Descrição geral da fertilidade do solo e granulometria (5 – 10cm).

FRAGMENTOS FLORESTAIS	URBANO		RURAL		PARNASO	
	BORDA	INTERIOR	BORDA	INTERIOR	BORDA	INTERIOR
PARCELAS COMPARADAS	5 – 10 cm		5 – 10 cm		5 – 10 cm	
pH	4,3	4,9	5,9	4,3	4,4	4,2
Al ³⁺	0,9	0,3	0	1,5	1,6	2,3
Ca ²⁺	1,1	1,8	12,2	1,1	1,0	1,3
Mg ²⁺	0,6	0,9	2,3	1	1,1	1,3
Na ⁺	0	0	0	0	0	0
K ⁺	70	86	172	74	66	70
H+Al	9,1	5,3	7,8	13,0	12,7	15,5
P	2,0	1,9	8,3	3,1	21,7	7,2
S	1,9	2,9	14,9	2,3	2,3	2,8
C.T.C.	11,0	8,2	22,7	15,3	15,0	18,3
V	17	36	66	15	15	15
C	3,18	3,00	7,86	5,35	4,48	6,28
N	0,28	0,27	0,71	0,48	0,35	0,54
C/N	11,35	11,11	11,07	11,14	12,80	11,62
Areia	574	338	480	524	788	598
Silte	186	242	300	216	132	242
Argila	240	420	220	260	80	160

Números representam os valores unitários das amostras compostas de solo (n=9). Parâmetros das unidades: Al, Ca, Mg, H+Al, P, S, C.T.C (cmolc dm⁻³), Na, K (mg dm⁻³), V (%), C, N, C/N (%), pH (H₂O 1:2,5), Areia, Silte, Argila (g kg⁻¹).

7.4 - Formas de Húmus

Para discutir os resultados referentes às formas de húmus, parte-se do princípio de que o solo é um portador de serapilheira, em que o processo de decomposição pode promover a ciclagem de nutrientes e melhorar a qualidade do solo. Assim, existem três níveis principais de controle de decomposição que operam na seguinte ordem: clima > qualidade do substrato > organismos do solo (XIAOGAI *et al.*, 2013)

Com base nos dados obtidos na coleta de inverno (Tabela 14 e Figura 37), destaca-se as quantidades maiores das camadas OL, OF e OL+OF nas parcelas do interior em todos os fragmentos, não indicando, necessariamente, uma decomposição mais lenta, tendo em vista que nos meses de inverno em que os dados de produção foram coletados, os valores maiores também encontram-se no interior.

Em todas as parcelas as quantidades de OF são maiores em relação à OL. Nesse sentido, os valores da relação OL/OF possui maiores distinções entre a borda e o interior no rural e no parnaso, com valores significativamente maiores no interior, indicando nesses sistemas um acúmulo de material foliar na camada OF.

A redução do tempo de decomposição reflete-se sob a forma de menor altura das camadas de serapilheira, e provavelmente em menor armazenamento de água. Por outro lado, a decomposição acelerada significa mais rápida incorporação de material orgânico ao solo, favorecendo o comportamento da fauna edáfica (CASTRO Jr, 1991, 2002) e ambos promovem uma maior bioturbação, cuja principal consequência está na mudança da estruturação física do topo do solo, aumentando sua permeabilidade. Neste aspecto, associada aos tipos vegetacionais, a fauna edáfica é um dos fatores contribuintes da formação de bioporos e, consequentemente, de agregados.

Neste sentido, as maiores quantidades de agregados brutos são encontrados na borda, com maior presença no fragmento rural, com valores significativamente maiores se comparados aos fragmentos urbano e parnaso. Já em relação ao material fino bruto (MFB), os valores deste respondem ao uso (urbano, rural e parnaso) e à posição na bacia (baixo, médio e alto curso), com valores menores no urbano, intermediários no rural e maiores no parnaso, principalmente no interior deste último, que possui o maior valor de todas as parcelas amostradas.

A distribuição de qualquer sistema radicular é variável no espaço como consequência não apenas das características físicas do solo como também da concentração de nutrientes e

da distribuição do sistema de drenagem. O aumento da densidade de raízes também se verifica entre áreas de diferentes idades e complexidade estrutural crescente (OLIVEIRA, 1999), o que pode ser interpretado como aumento na eficiência de captura de nutrientes e água. Neste sentido, tanto raízes finas quanto frutos e sementes praticamente não aparecem na camada holorgânica dos fragmentos urbano e rural, mas somente no parnaso, o que evidencia maior eficiência deste na captura de nutrientes. No caso das frutas e sementes há também valores significativos se comparados aos demais na parcela da borda do rural.

Os galhos apresentam maiores valores na borda dos fragmentos urbano e rural, já no parnaso os maiores valores são observados no interior. As maiores contribuições ocorrem no UB e PI.

Ao considerarmos o peso total das formas de húmus, observa-se um estoque maior na borda nos fragmentos urbano e rural. No parnaso, o maior estoque encontra-se no interior, fragmento este que possui os maiores estoques se comparados aos demais e com menores coeficientes de variação.

A estratificação maior das formas de húmus existente no parnaso evidencia a importância da ciclagem de nutrientes para os ecossistemas florestais da bacia hidrográfica do Bonfim, indicando o parnaso como de fato um fragmento modelo, principalmente sua parcela do interior, onde são encontrados maiores valores de OL+OF e MFB.

Tabela 14: Análise comparativa Borda x Interior (Inverno) intra-fragmento florestal da camada holorgânica.

FRAGMENTOS FLORESTAIS	URBANO		RURAL		PARNASO	
PARCELAS COMPARADAS	BORDA	INTERIOR	BORDA	INTERIOR	BORDA	INTERIOR
Camada L	0,80 (55,85)	1,13 (24,65)	0,22 (22,75)	0,87 (152,24)	0,67 (39,21)	0,42 (90,66)
Camada F	3,66 (50,21)	4,55 (41,01)	1,89 (64,95)	3,65 (72,54)	4,67 (27,36)	5,64 (24,15)
L + F	4,46 (48,24)	5,68 (34,73)	2,11 (58,41)	4,52 (48,22)	5,35 (24,67)	6,06 (26,73)
L / F	0,26 (64,09)	0,28 (46,04)	0,16 (55,13)	1,94 (275,29)	0,05 (163,53)	0,31 (116,85)
Agregados Brutos (AB)	0,55 (74,99)	0,08 (119,57)	3,70 (50,95)	2,72 (58,80)	0,16 (47,30)	0,07 (78,07)
Material Fino Bruto (MFB)	1,59 (58,44)	1,08 (103,74)	2,49 (70,66)	2,02 (54,32)	2,42 (42,40)	4,32 (43,15)
Raízes Finas	0,02 (213,15)	0,04 (88,77)	0,00 (0,00)	0,01 (300,00)	0,61 (81,85)	0,62 (68,82)
Galhos	4,29 (53,96)	2,42 (60,97)	3,25 (78,76)	1,79 (54,49)	3,88 (36,94)	4,41 (48,97)
Frutos e Sementes	0,01 (187,38)	0,01 (212,53)	0,28 (130,07)	0,03 (198,88)	0,11 (126,70)	0,26 (246,79)
Peso Total	10,92 (42,54)	9,32 (34,29)	11,82 (50,26)	11,09 (31,39)	12,42 (27,78)	15,99 (30,67)

Médias seguida de Coeficientes de Variação (entre parênteses).

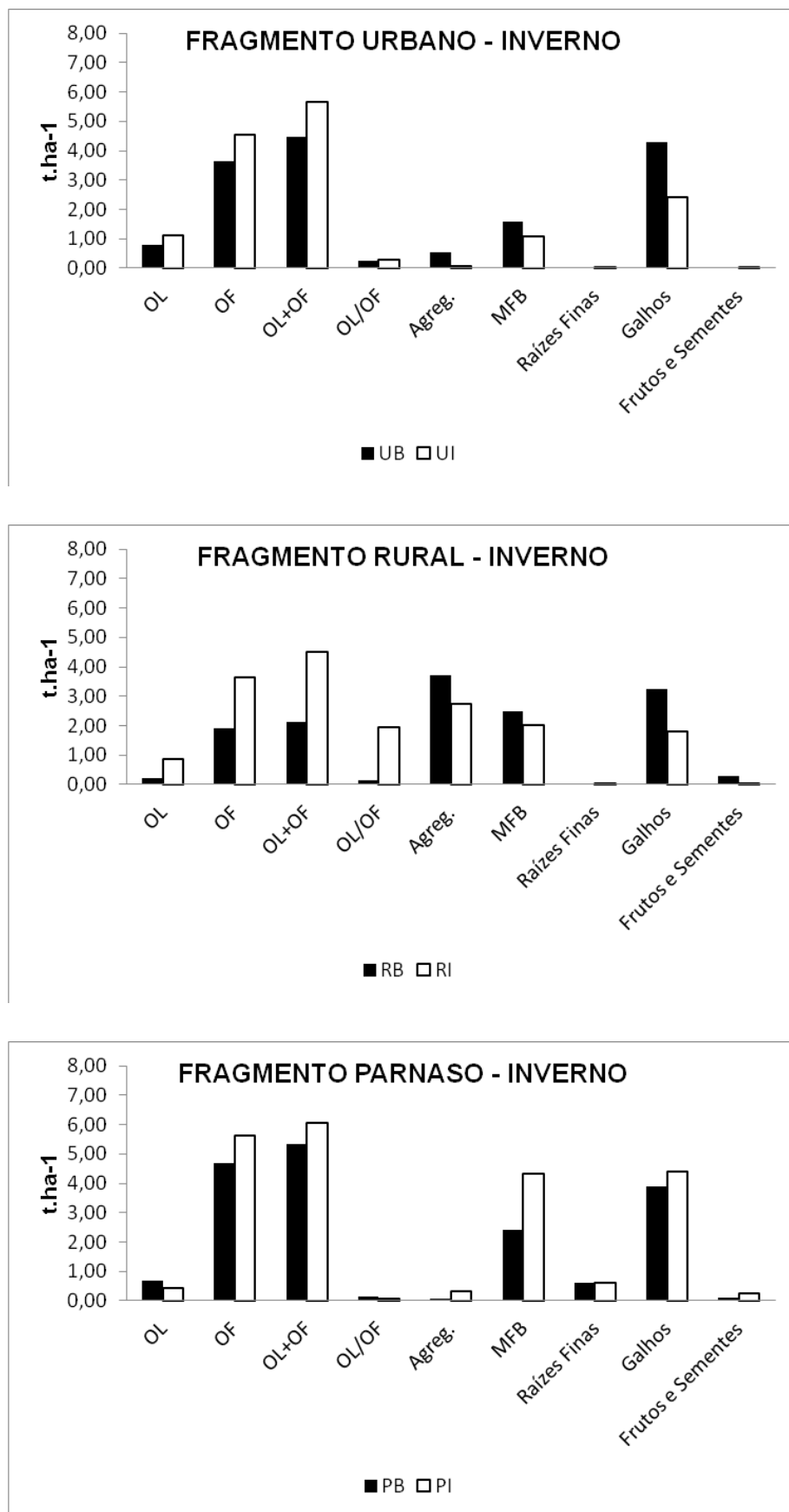


Figura 37: Camadas das formas de humus nas parcelas estudadas – coleta de inverno.

Os resultados das formas de húmus coletadas no inverno foram ordenados usando NMS (Figura 38), em que ao se utilizar como valor de corte um desvio padrão (DP) igual a 2.0, o a variável peso total se apresentou como um “outlier” com um valor um pouco acima (DP=2.02).

O axis 1, que representa 80 % dos dados, não revela com nitidez diferenças significativas entre as parcelas em relação às variáveis MFB, galhos e peso total, não apresentando um agrupamento definido, o que é confirmado com os valores de p, onde nenhum deu diferença significativa entre as parcelas da borda e do interior. Por outro lado, o axis 2, que representa apenas 13 % dos dados, revela nítida diferença entre as parcelas do fragmento rural em relação ao urbano e parruso, com valores maiores de agregados. Cabe ressaltar que a variável OL foi igual a zero, não contribuindo para a diferenciação das áreas, fato que se repetiu na coleta de verão.

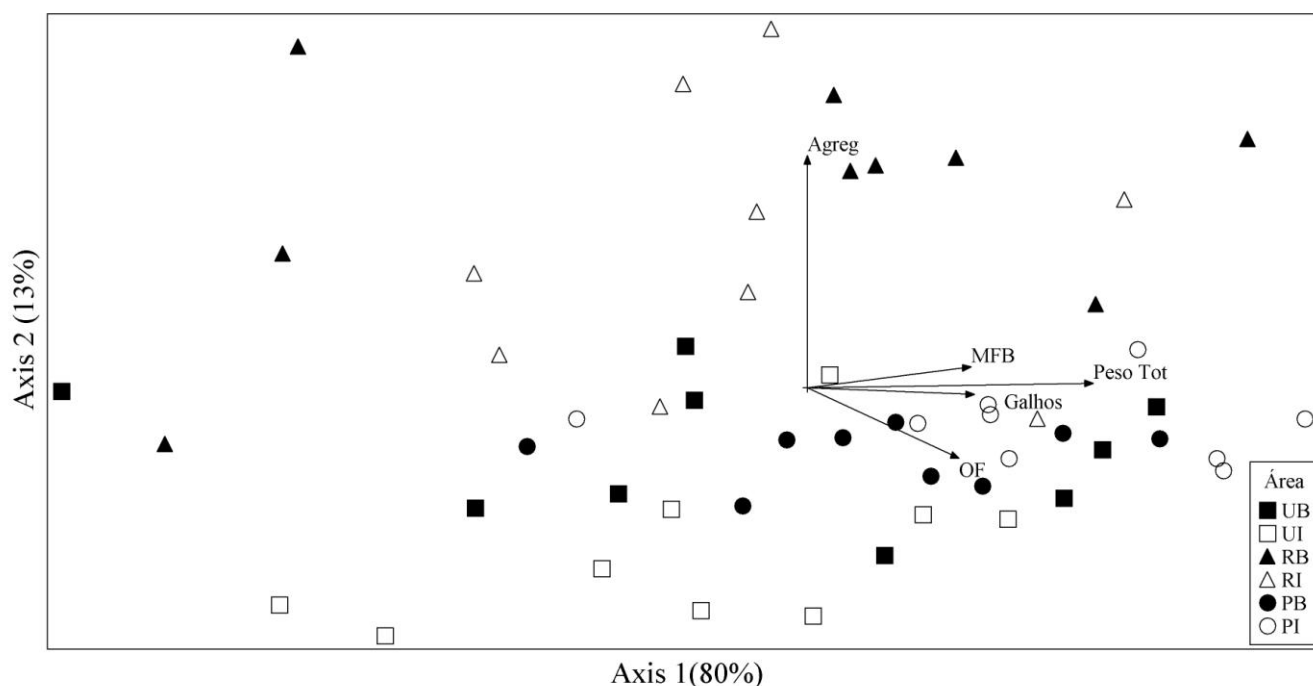


Figura 38: Ordenação NMS das variáveis de formas de húmus das parcelas estudadas – coleta de inverno. A fração da variância total para cada axis está indicada entre parênteses. Os ângulos e as distâncias dos vetores centrais indicam a direção e a força da correlação entre as variáveis do solo e a ordenação.

A análise MRPP revelou que não há diferença significativa entre a parcela da borda e do interior quanto às formas de húmus na coleta de inverno em nenhum dos fragmentos estudados (Tabela 15). Porém, diferenças significativas ($p < 0.05$) foram encontradas entre as situações geográficas, com exceção da comparação UB x PB. Tal fato está diretamente

associado à influência dos valores de agregados observados no fragmento rural nas comparações com parcelas deste fragmento. Já na comparação UI x PI, percebe-se clara influência dos valores de OF, MFB, galhos e peso total, com maiores valores no PI.

Tabela 15: MRPP da ordenação das camadas das formas de húmus das parcelas estudadas – coleta de inverno.

Áreas Comparadas	Valor p
UB x UI	0.20
RB x RI	0.15
PB x PI	0.10
UB x RB	0.04
UB x PB	0.24
RB x PB	0.0003
UI x RI	0.004
UI x PI	0.002
RI x PI	0.003

Por outro lado, com base nos dados de formas de húmus obtidos na coleta de verão (Tabela 16 e Figura 39), quantidades maiores da camada OL foram observadas nas parcelas da borda dos fragmentos urbano e parnasó, diferente do rural, onde os valores de OL são maiores na parcela do interior, sendo este praticamente o dobro do encontrado na borda.

Já as camadas OF e OL + OF possui maiores quantidades nas parcelas do interior em todos os fragmentos, sendo que no caso da OF os valores do interior são cerca de 100% maiores que os da borda.

Com base nos dados da relação OL/OF, estes são maiores na borda em todos os fragmentos, com exceção do rural, onde os valores da borda e do interior são bem próximos ($0,35 \text{ t ha}^{-1}$ e $0,36 \text{ t ha}^{-1}$, respectivamente). Os maiores valores foram encontrados no PB ($0,95 \text{ t ha}^{-1}$), onde há expressivo acúmulo da camada OL.

Os dados de agregados brutos e material fino bruto foram maiores na borda nos fragmentos rural e parnasó, já no urbano foram maiores no interior. Assim como na coleta de inverno, o fragmento rural destaca-se com valores elevados em relação aos agregados. Já o MFB, diferente do inverno, possui maior presença no UB.

Mais uma vez raízes finas e frutos e sementes praticamente não estiveram presentes nas amostras coletadas em todos os fragmentos, com exceção do parnasó em relação às raízes finas, confirmando a eficiência deste na ciclagem de nutrientes. Já os galhos possuem maiores valores na borda nos fragmentos urbano e rural, sendo que no rural esses valores são bem próximos, e maiores no interior em relação ao fragmento parnasó.

O estoque total foi maior na parcela do interior de todos os fragmentos. Dessa vez com destaque para UI, que possui maior estoque ($12,35 \text{ t ha}^{-1}$), maior OL+OF ($6,71 \text{ t ha}^{-1}$) e maior MFB ($3,50 \text{ t ha}^{-1}$), se aproximando da situação do parnasó, o que pôde ser observado visualmente em campo e foi confirmado na classificação das formas de húmus. Neste caso o estoque total respondeu também à produção nos meses de verão em que coletas foram realizadas (dezembro e janeiro), com maior produção no interior, com exceção do fragmento rural.

Tabela 16: Análise comparativa Borda x Interior (Verão) intra-fragmento florestal da camada holorgânica.

FRAGMENTOS FLORESTAIS	URBANO		RURAL		PARNASO	
PARCELAS COMPARADAS	BORDA	INTERIOR	BORDA	INTERIOR	BORDA	INTERIOR
Camada L	0,67 (35,09)	0,63 (49,65)	0,46 (82,78)	0,88 (47,06)	1,83 (45,34)	1,59 (49,43)
Camada F	3,00 (24,75)	6,08 (14,31)	1,54 (30,87)	2,99 (36,20)	2,21 (35,60)	4,27 (21,66)
L + F	3,67 (21,30)	6,71 (14,22)	2,00 (25,19)	3,87 (26,68)	4,04 (25,47)	5,87 (26,47)
L / F	0,24 (37,62)	0,10 (50,40)	0,35 (110,87)	0,36 (63,74)	0,95 (53,77)	0,36 (39,87)
Agregados Brutos (AB)	0,16 (182,07)	0,79 (71,02)	2,62 (86,13)	2,50 (35,78)	0,22 (136,46)	0,14 (174,09)
Material Fino Bruto (MFB)	1,82 (67,46)	3,50 (57,51)	2,80 (36,96)	2,73 (40,52)	2,10 (50,11)	1,75 (88,82)
Raízes Finas	0,00 (0,00)	0,13 (137,70)	0,06 (0,00)	0,06 (195,04)	0,24 (163,46)	0,28 (157,92)
Galhos	1,37 (26,44)	1,19 (70,59)	2,55 (52,79)	2,51 (58,61)	1,45 (56,16)	2,32 (58,67)
Frutos e Sementes	0,08 (262,64)	0,02 (300,00)	0,12 (231,09)	0,17 (118,62)	0,07 (262,27)	0,04 (300,00)
Peso Total	7,10 (23,30)	12,35 (22,42)	10,16 (31,53)	11,85 (20,47)	8,12 (10,55)	10,39 (30,75)

Médias seguida de Coeficientes de Variação (entre parênteses).

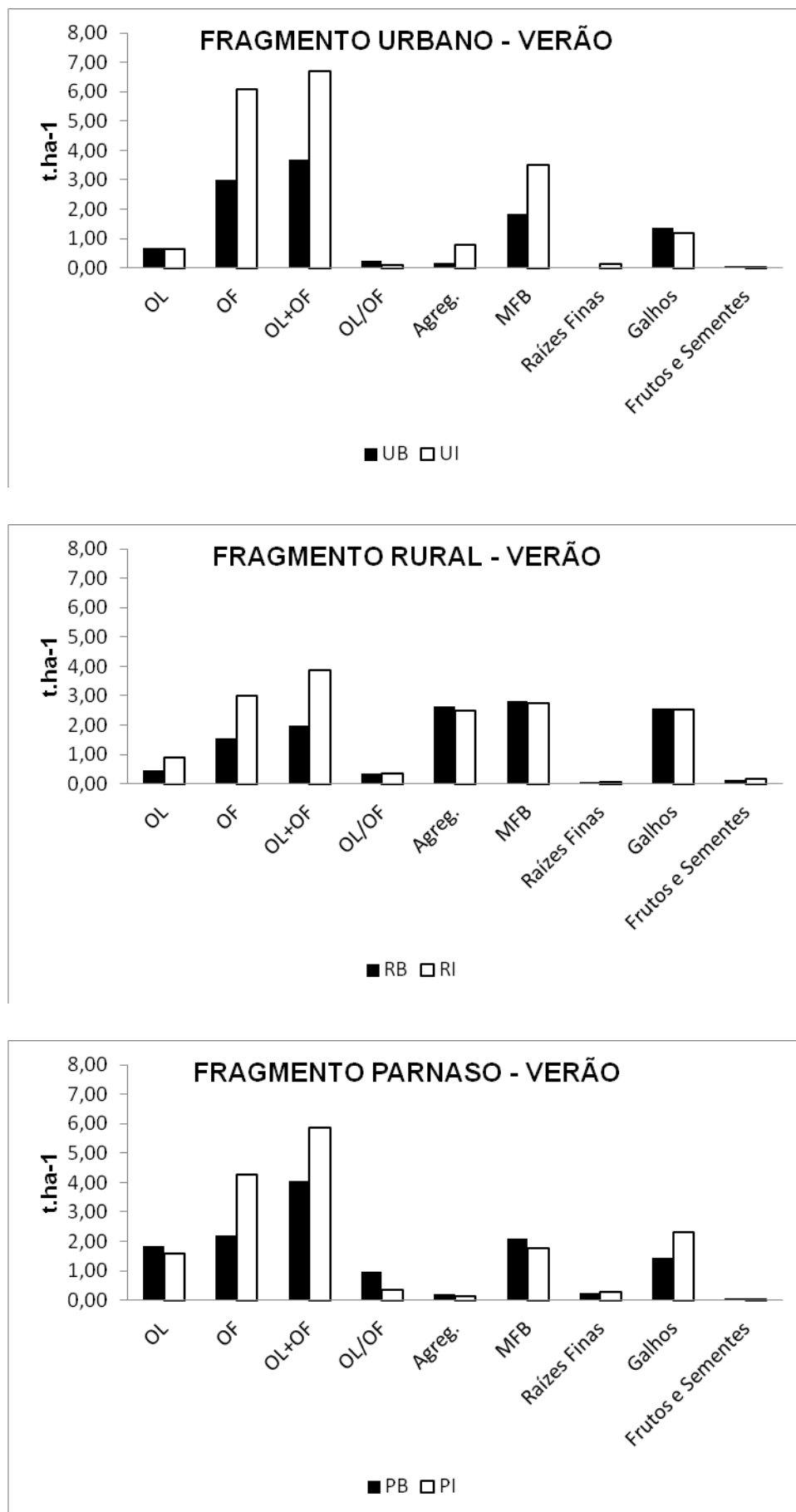


Figura 39: Camadas das formas de humus nas parcelas estudadas – coleta de verão.

Os resultados das formas de húmus coletadas no verão foram ordenados usando NMS (Figura 40), em que ao se utilizar como valor de corte um desvio padrão (DP) igual a 2.0, mais uma vez a variável peso total se apresentou como um “outlier” com um valor um pouco acima (DP=2.03). O axis 1, que representa apenas 10 % dos dados, revela nítida separação entre as parcelas da borda e do interior dos fragmentos estudados, com valores maiores de MFB e peso total, principalmente, no interior. Além disso, o axis 1 também apresenta certa tendência de separação do fragmento rural em relação aos demais. Já o axis 2, que representa 79 % dos dados, revela nítida separação entre o fragmento rural e os demais, principalmente quanto aos agregados e aos galhos, variáveis estas com valores maiores no fragmento citado. Assim, no verão parece haver mais segregação das áreas quando se avaliam as formas de húmus, em que borda e interior foram separadas. Já as parcelas da borda e interior do fragmento rural novamente se mostraram diferente das demais áreas.

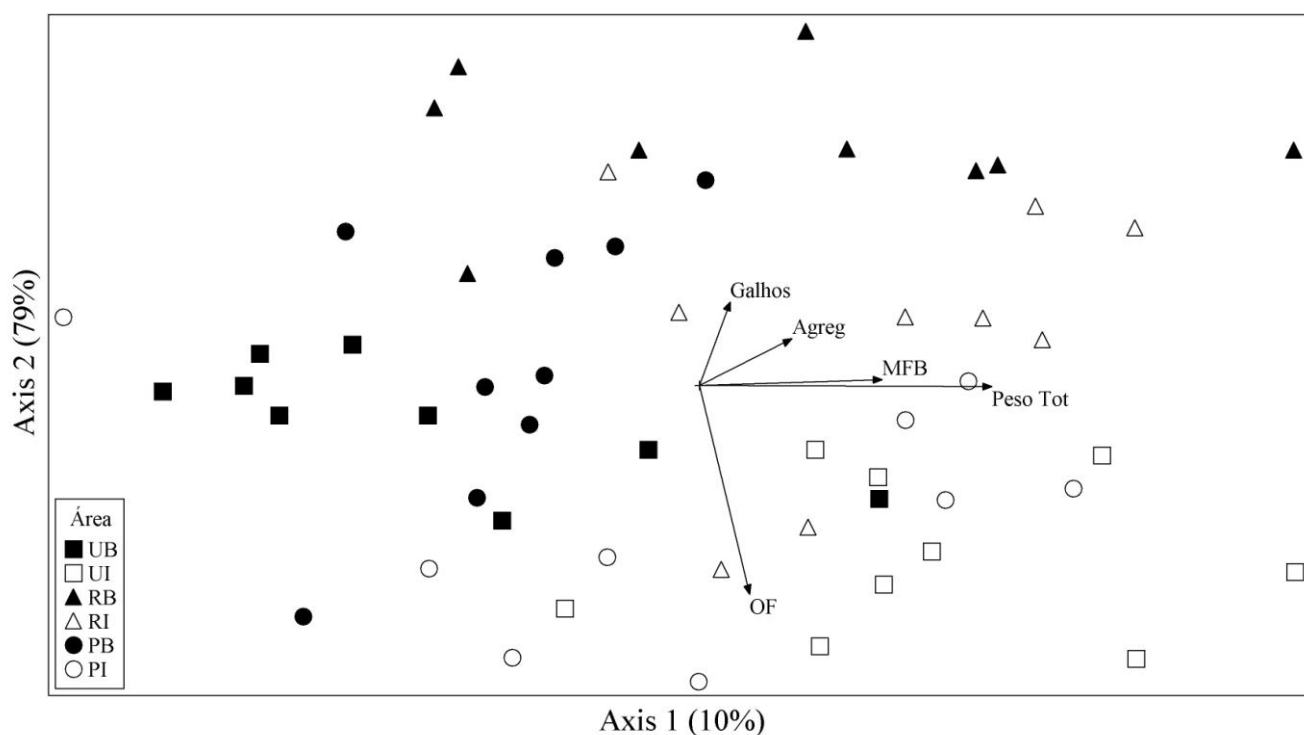


Figura 40: Ordenação NMS das variáveis de formas de húmus das parcelas estudadas – coleta de verão. A fração da variância total para cada axis está indicada entre parênteses. Os ângulos e as distâncias dos vetores centrais indicam a direção e a força da correlação entre as variáveis do solo e a ordenação.

A análise MRPP revelou que há diferença significativa quanto às formas de húmus na coleta de verão em todas as comparações realizadas, com exceção da RB x RI, o que pode

revelar a presença de distúrbios no processo de ciclagem de nutrientes deste fragmento devido a ação antrópica, que o influencia tanto na borda quanto no interior (Tabela 17). Tal fato demonstra maior diferenciação das áreas na coleta de verão se comparada à do inverno. A tendência observada neste caso é de maiores valores das variáveis no interior.

Tabela 17: MRPP da ordenação das camadas das formas de húmus das parcelas estudadas – coleta de verão.

Áreas Comparadas	Valor p
UB x UI	0.0002
RB x RI	0.10
PB x PI	0.0006
UB x RB	0.0008
UB x PB	0.002
RB x PB	0.0003
UI x RI	0.0004
UI x PI	0.007
RI x PI	0.004

Ao comparar os dados obtidos nas duas coletas (inverno e verão), a abordagem escolhida foi a de comparar primeiro as parcelas da borda (tabela 18) e depois as parcelas do interior (tabela 19).

Observou-se redução da camada foliar (OL + OF) do inverno para o verão na borda de todos os fragmentos. Tal condição, porém, é alcançada por um aumento do horizonte OL, com exceção do urbano, e diminuição do horizonte OF, o que é mais nítido na borda do parnaso, onde o horizonte OL mais que dobrou entre as duas coletas e o horizonte OF caiu pela metade. Assim, uma interpretação plausível é a de que o horizonte OF se acumula no inverno mas se decompõe em maiores taxas no verão, época em que condições mais favoráveis (maior umidade e atividade zoogênica e não-zoogênica, por exemplo) são encontradas, o que é expresso na diferença da razão OL/OF entre o inverno (0,05) e o verão (0,95).

Os valores de agregados brutos apresentam tendência de redução entre as coletas, com exceção do parnaso. O inverso ocorre em relação ao MFB, em que a redução ocorreu somente no parnaso. Já os galhos apresentaram redução em todos os fragmentos.

A redução dos valores do peso total na borda dos fragmentos evidencia maior velocidade de decomposição no verão, principalmente no parnaso, o qual responde com maior diferença entre o inverno e o verão, acompanhado dos menores valores de coeficiente de variação, o que demonstra uma dinâmica ecossistêmica com menor grau de perturbação. Os dados corroboram com Montezuma (2005) que, ao comparar dados de verão e inverno, observou uma redução de quase três vezes, em média, dos valores registrados no verão em relação ao inverno.

Maiores estoques das formas de húmus no verão podem estar relacionados às tempestades de verão, principalmente nas parcelas da borda, com maior exposição da vegetação e dossel mais aberto. Além disso, diferenças encontradas no estoque de serapilheira para um mesmo fragmento nas duas estações do ano podem estar relacionadas a fatores de microsítio como disponibilidade de água e aeração do solo, que afetam a comunidade biológica. Para Begon *et al.* (1996), são menores os níveis de atividade dos decompositores quando é menor a temperatura, menor a aeração e a disponibilidade de água.

Tabela 18: Análise comparativa intertemporal (Inverno x Verão) intra-fragmento florestal da camada holorgânica - Borda.

FRAGMENTOS FLORESTAIS	URBANO BORDA		RURAL BORDA		PARNASO BORDA	
PARCELAS COMPARADAS	INVERNO	VERÃO	INVERNO	VERÃO	INVERNO	VERÃO
Camada L	0,80 (55,85)	0,67 (35,09)	0,22 (22,75)	0,46 (82,78)	0,67 (39,21)	1,83 (45,34)
Camada F	3,66 (50,21)	3,00 (24,75)	1,89 (64,95)	1,54 (30,87)	4,67 (27,36)	2,21 (35,60)
L + F	4,46 (48,24)	3,67 (21,30)	2,11 (58,41)	2,00 (25,19)	5,35 (24,67)	4,04 (25,47)
L / F	0,26 (64,09)	0,24 (37,62)	0,16 (55,13)	0,35 (110,87)	0,05 (163,53)	0,95 (53,77)
Agregados Brutos (AB)	0,55 (74,99)	0,16 (182,07)	3,70 (50,95)	2,62 (86,13)	0,16 (47,30)	0,22 (136,46)
Material Fino Bruto (MFB)	1,59 (58,44)	1,82 (67,46)	2,49 (70,66)	2,80 (36,96)	2,42 (42,40)	2,10 (50,11)
Raízes Finas	0,02 (213,15)	0,00 (0,00)	0,00 (0,00)	0,06 (0,00)	0,61 (81,85)	0,24 (163,46)
Galhos	4,29 (53,96)	1,37 (26,44)	3,25 (78,76)	2,55 (52,79)	3,88 (36,94)	1,45 (56,16)
Frutos e Sementes	0,01 (187,38)	0,08 (262,64)	0,28 (130,07)	0,12 (231,09)	0,11 (126,70)	0,07 (262,27)
Peso Total	10,92 (42,54)	7,10 (23,30)	11,82 (50,26)	10,16 (31,53)	12,42 (27,78)	8,12 (10,55)

Médias seguida de Coeficientes de Variação (entre parênteses).

Nas parcelas do interior dos fragmentos, há uma redução da camada foliar (OL + OF) entre a coleta de inverno e a de verão no rural e no parnaso apenas, acompanhados de redução do horizonte OF e aumento do horizonte OL, principalmente no parnaso. Já no fragmento urbano, há um aumento do horizonte OL e redução do OF.

Os agregados brutos apresentam menores valores no urbano e parnaso e menores no rural. Situação inversa ocorre com o MFB, que possui os menores valores no urbano e no parnaso e maiores no rural.

A produção total aumenta no urbano e no rural e diminui no parnaso entre as coletas realizadas. Assim, o parnaso é o único que mantém o padrão observado na borda, com quantidades maiores no interior.

Oliveira (1999) demonstrou que em um gradiente sucessional a relação C/N aumenta em direção ao estado de clímax, enquanto que a proporção de folhas decresce, o que é observado ao compararmos o fragmento parnaso com os demais.

Assim, o peso total das formas de humus (Figura 41) possui uma tendência de diminuição do inverno para o verão, evidenciando maior velocidade de decomposição, o que não é observado nas parcelas do interior dos fragmentos urbano e rural. O parnaso é o que apresenta tal tendência de forma mais nítida, demonstrando uma condição natural respondendo às variações ambientais que interferem no processo de decomposição.

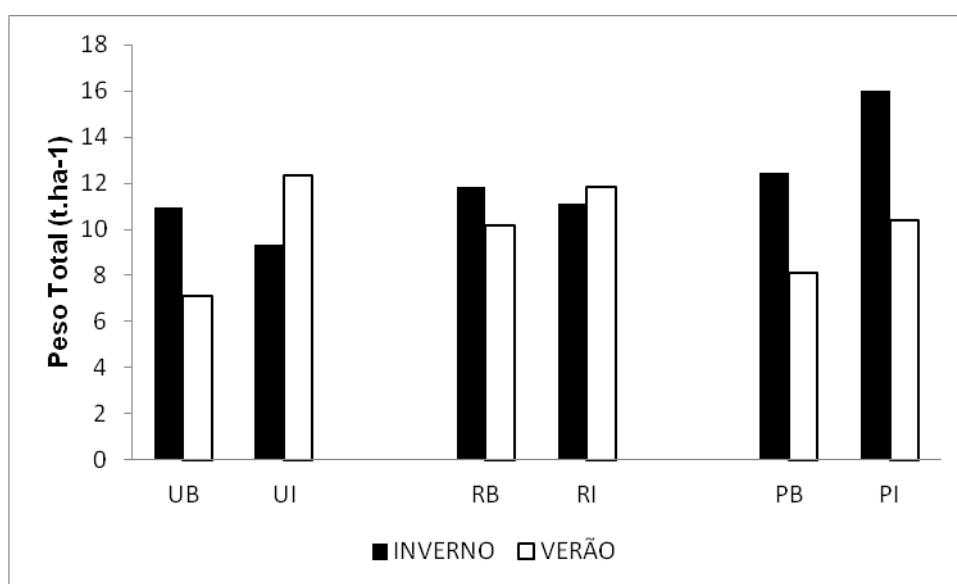


Figura 41: Peso total das formas de humus nas coletas de inverno e verão.

Tabela 19: Análise comparativa intertemporal (Inverno x Verão) intra-fragmento florestal da camada holorgânica – Interior.

FRAGMENTOS FLORESTAIS	URBANO INTERIOR		RURAL INTERIOR		PARNASO INTERIOR	
PARCELAS COMPARADAS	INVERNO	VERÃO	INVERNO	VERÃO	INVERNO	VERÃO
Camada L	1,13 (24,65)	0,63 (49,65)	0,87 (152,24)	0,88 (47,06)	0,42 (90,66)	1,59 (49,43)
Camada F	4,55 (41,01)	6,08 (14,31)	3,65 (72,54)	2,99 (36,20)	5,64 (24,15)	4,27 (21,66)
L + F	5,68 (34,73)	6,71 (14,22)	4,52 (48,22)	3,87 (26,68)	6,06 (26,73)	5,87 (26,47)
L / F	0,28 (46,04)	0,10 (50,40)	1,94 (275,29)	0,36 (63,74)	0,31 (116,85)	0,36 (39,87)
Agregados Brutos (AB)	0,08 (119,57)	0,79 (71,02)	2,72 (58,80)	2,50 (35,78)	0,07 (78,07)	0,14 (174,09)
Material Fino Bruto (MFB)	1,08 (103,74)	3,50 (57,51)	2,02 (54,32)	2,73 (40,52)	4,32 (43,15)	1,75 (88,82)
Raízes Finas	0,04 (88,77)	0,13 (137,70)	0,01 (300,00)	0,06 (195,04)	0,62 (68,82)	0,28 (157,92)
Galhos	2,42 (60,97)	1,19 (70,59)	1,79 (54,49)	2,51 (58,61)	4,41 (48,97)	2,32 (58,67)
Frutos e Sementes	0,01 (212,53)	0,02 (300,00)	0,03 (198,88)	0,17 (118,62)	0,26 (246,79)	0,04 (300,00)
Peso Total	9,32 (34,29)	12,35 (22,42)	11,09 (31,39)	11,85 (20,47)	15,99 (30,67)	10,39 (30,75)

Médias seguida de Coeficientes de Variação (entre parênteses).

Os resultados das formas de húmus coletadas no inverno e no verão foram ordenados usando NMS (Figura 42), em que ao se utilizar como valor de corte um desvio padrão (DP) igual a 2.0, novamente a variável peso total se apresentou como um “outlier” com um valor um pouco acima (DP=2.02). O eixo 1 representa 56 % dos dados, enquanto o eixo 2 representa 36 %. Juntos, os dois eixos são capazes de expressar a relação existente entre 92 % dos dados amostrados.

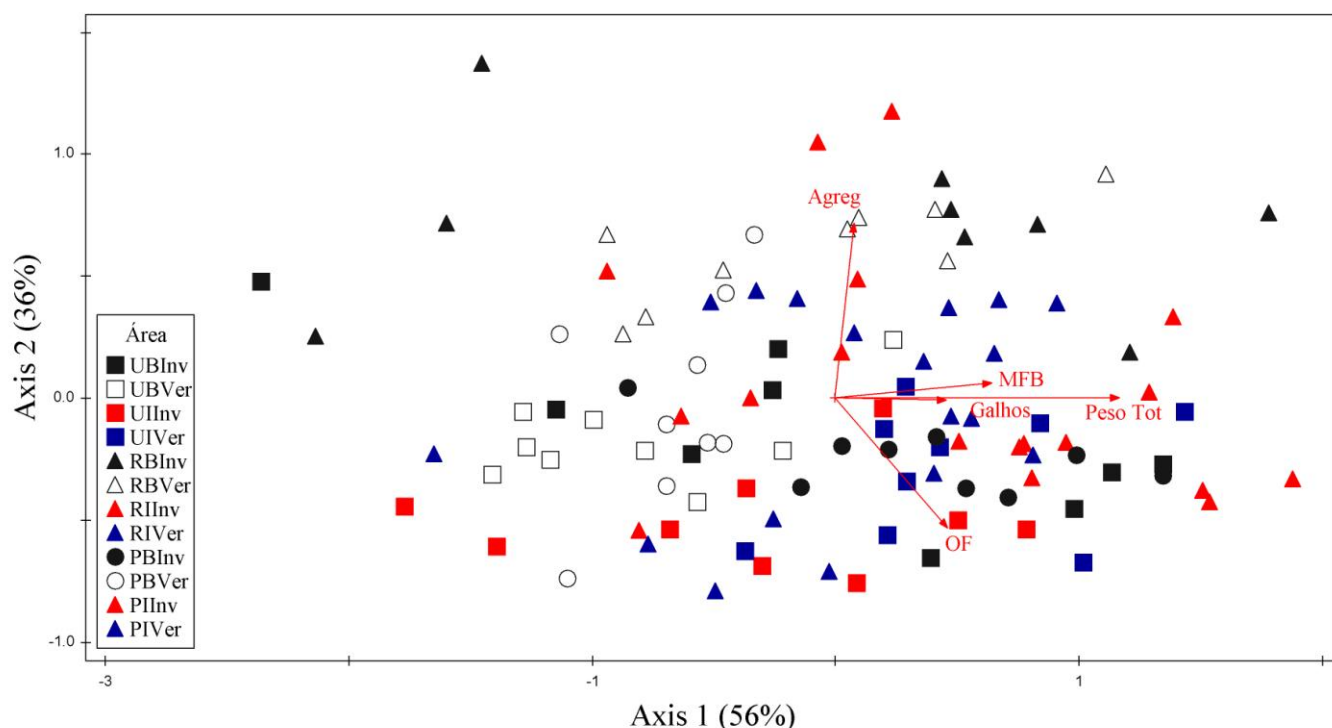


Figura 42: Ordenação NMS das variáveis de formas de húmus das parcelas estudadas – coletas de inverno e verão. A fração da variância total para cada eixo está indicada entre parênteses. Os ângulos e as distâncias dos vetores centrais indicam a direção e a força da correlação entre as variáveis do solo e a ordenação.

Para melhor visualização, os centroides da ordenação dos dados das camadas das formas de húmus foram calculados (Figura 43). Pode-se observar que apenas as parcelas do fragmento rural não apresentam variação entre as coletas de inverno e verão, porém diferem das parcelas dos demais fragmentos por apresentarem maiores quantidades de agregados e menores de OF. As parcelas dos fragmentos urbano e parnasos apresentaram redução dos valores de MFB, galhos e peso total entre as coletas de inverno e verão, o que evidencia uma decomposição mais rápida no verão que se reflete em menor estoque.

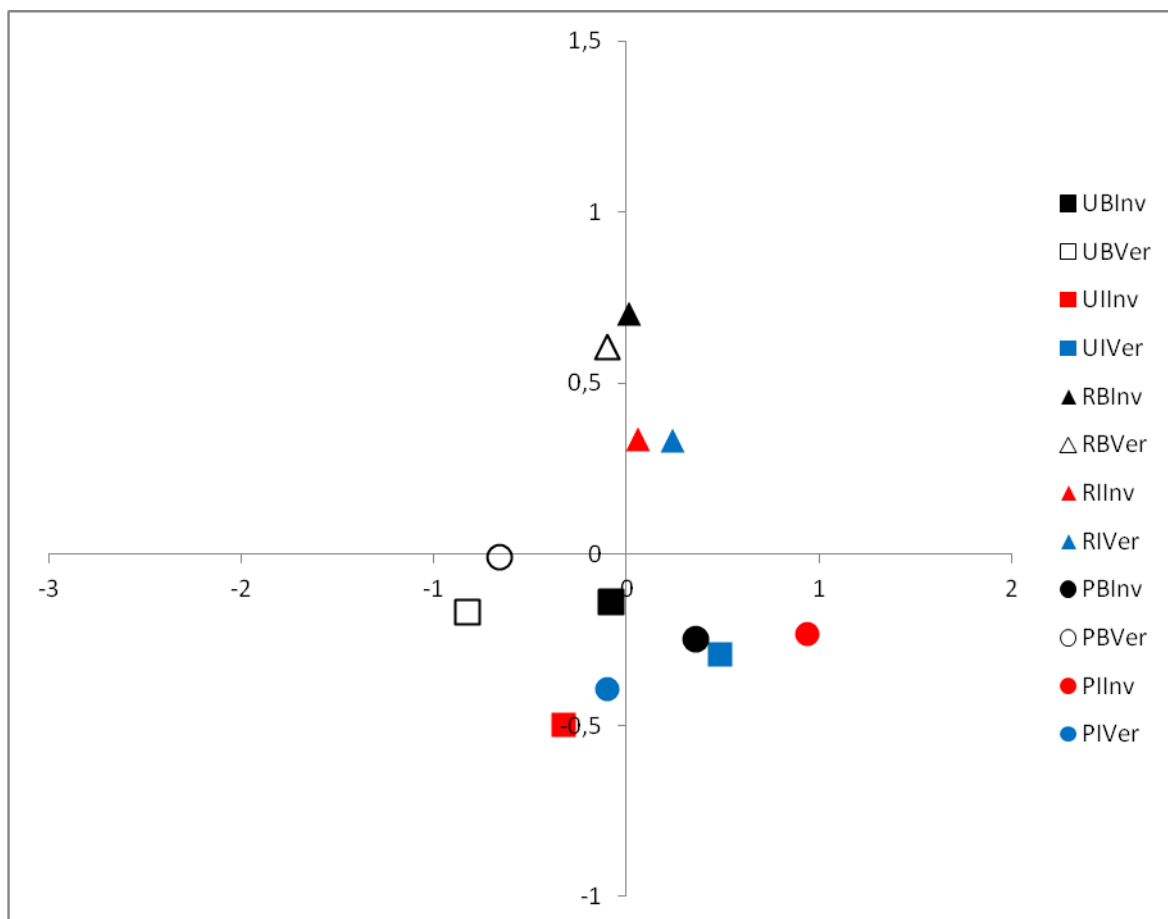


Figura 43: Centróides calculados da ordenação dos dados das camadas das formas de humus – coletas de inverno e verão.

A análise MRPP revelou que apenas nas parcelas do fragmento rural não houve diferença significativa entre as coletas de inverno e verão (Tabela 20). Tal fato evidencia algum distúrbio que impede a existência de maiores taxas de decomposição nos meses de verão. Percebe também que as diferenças mais significativas são encontradas no fragmento parnasos, que se apresenta como o ecossistema que melhor responde às condições ambientais que favorecem o processo de decomposição.

Tabela 20: MRPP da ordenação das formas de húmus das parcelas estudadas – coletas de inverno e verão.

Áreas Comparadas	Valor p
UBInv x UBVer	0.003
UIInv x UIVer	0.002
RBInv x RBVer	0.13
RIInv x RIVer	0.41
PBInv x PBVer	0.0001
PIInv x PIVer	0.006

Os valores obtidos de coeficiente de decomposição correspondentes aos seis meses de coletas de produção (Tabela 21) demonstram o fragmento rural como o que possui o maior índice “k”, sugerindo maior velocidade na transformação do material acumulado sobre o substrato. O menor valor foi encontrado na parcela UB, evidenciando uma decomposição mais lenta. Para todos os fragmentos as parcelas do interior apresentaram com maior velocidade de decomposição, principalmente no fragmento rural, onde essa diferença é mais expressiva.

Tabela 21: Taxas de decomposição (k) – correspondentes aos seis meses de coletas de produção - das parcelas estudadas.

Parcelas	Índice “k”
UB	0.28
UI	0.31
RB	0.44
RI	0.54
PB	0.32
PI	0.35

Para Araújo *et al.* (2005) e Martins e Rodrigues (1999), a quantidade de serapilheira depositada, além de variar acompanhando os processos de sucessão, também pode variar dentro de um mesmo tipo de vegetação, dependendo do grau de perturbação da área. Áreas com elevado grau de perturbação, por possuírem maior quantidade de espécies pioneiras de crescimento rápido, investem mais em produção de biomassa, produzindo maior quantidade de serapilheira. Por outro lado, em áreas menos perturbadas a situação é diferente, devido à menor presença de espécies secundárias tardias, que produzem menos biomassa, por possuírem maior longevidade. Assim, o estoque de serapilheira em áreas submetidas a distúrbios pode ser empregado como indicador para avaliar o processo de recuperação da vegetação.

Santos (2011), ao comparar três fragmentos de diferentes tamanhos na APA de Macaé de Cima, observou o maior estoque no fragmento menor, associando tal fato a um possível indício de uma floresta onde o sistema de decomposição encontra-se comprometido, ou ainda, a perturbações no entorno e no interior do fragmento, o que confirma a tendência observada por outros autores como Facelli e Pickett (1991), Delliti (1995), Moraes (2002) e Campos *et al.* (2008), de um estoque maior em florestas em estágios sucessionais ou em regeneração.

Nos fragmentos estudados, na coleta de inverno o parnaso apresentou aos maiores quantidades de serapilheira; porém, na coleta de verão, período em que as condições ambientais, em tese, favorecem o processo de decomposição, os maiores valores foram observados nos fragmentos urbano e, principalmente, no rural, corroborando com os estudos citados.

De um modo geral, e indo ao encontro de Correa (2007), há uma maior acumulação de fitomassa em função da profundidade do perfil orgânico, sendo a ordem decrescente dos horizontes OL < OF < OH.

Por fim, cabe ressaltar que há uma tendência de que os dados da serapilheira sejam discutidos com base no princípio de que uma serapilheira rica em nutrientes proporciona uma decomposição rápida, que promove a disponibilização dos nutrientes e por conseguinte um crescimento mais rápido da vegetação. Porém, algumas características do clima ou do solo podem mascarar esses efeitos. Por exemplo, em florestas tropicais, a abundância de calor e umidade permite uma rápida decomposição da serapilheira seja qual for sua riqueza de nutrientes (PONGE, 2013).

7.4.1 – Classificação das Formas de Húmus

O que diferencia basicamente uma forma de húmus da outra é a velocidade de decomposição, maior no mull e menor no moder. A maior velocidade de decomposição no mull é percebida por meio da descontinuidade entre a serapilheira e o horizonte A₁. Já no moder, porque a incorporação da material orgânica ao solo mineral é mais lenta, são encontradas mais camadas em distintos estádios de decomposição (TOUTAIN, 1981; DUCHAUFOUR, 1991; GREEN *et al.*, 1993; BERTHELIN *et al.*, 1994; GARAY e SILVA, 1995). A forma de húmus do tipo mull é considerada biologicamente mais ativa que o moder.

As formas de húmus são significativamente relacionadas com alguns importantes parâmetros ecológicos dos ecossistemas florestais, tais como propriedades físicas e químicas do topo do solo e a biodiversidade das plantas e dos solos (PONGE e CHEVALIER, 2006). Assim, as formas de húmus evidenciam relações entre a biodiversidade das plantas e a biodiversidade do solo (PONGE, 2013).

Dependendo das condições climáticas e biológicas, a serapilheira (MOS) vai ser rapidamente ou lentamente transformada em componentes húmicos como consequência da atividade biológica no sítio (ZANELLA *et al.*, 2011a e b).

Em termos de formas de húmus, solos tropicais podem ser distinguidos apenas pela velocidade com que as funções são cumpridas, e não por processos subjacentes. Com base nisso, a classificação aqui apresentada teve como base o manual europeu, porém com algumas adaptações possíveis a partir de estudos realizados em ambientes tropicais. Cabe ressaltar que solos de florestas tropicais apresentam condições do tipo mull. Assim, a classificação proposta diz respeito ao acúmulo de material orgânico de superfície.

Na parcela da borda do fragmento urbano, que possui valores de pH entre 4 e 5, nas 9 descrições morfológicas das formas de húmus realizadas, em todas foram observadas presença de OL_n, OL_v e OF_{zo} descontínua ou em “pocket”, o que pode estar associado à maior declividade dessa parcela especificamente em relação às demais. Em apenas uma descrição foi observada a presença de OF_{zo} na parcela. A camada OH praticamente não é observada, no máximo há um OH incipiente menor que 1 cm. As raízes finas, quando aparecem, estão em pequena quantidade e de forma bem superficial. A transição da camada orgânica para a hemiorgânica é maior que 5

mm, o que mostra a descontinuidade entre estes horizontes. O horizonte A se apresenta como Anzo (sg A, msA), com presença de meso e macro agregados. Com isso, a parcela UB foi classificada como EUMODER.

A parcela do interior do fragmento urbano apresenta valores de pH entre 4,9 e 5,3. Nela, as camadas OLn, OLV, OFnzo e OFzo foram encontradas em todas as descrições realizadas. O OH apresenta-se com mais de 1 cm e a transição entre os horizontes holorgânico e hemiorgânico com mais de 5 mm. No horizonte A há a presença de macroagregados. Nesta parcela foi observado o fungo da podridão branca em todas as descrições e também raízes finas em pequenas quantidades e entrando no solo, e não sobre este. De fato, tanto nas coletas de inverno quanto nas de verão, no fragmento urbano a parcela do interior apresentou maiores quantidades de MFB e raízes finas. A parcela UI foi classificada como DYSMODER.

A borda do fragmento rural apresenta um pH igual a 5,9, não havendo variação entre as profundidades. Nela, as camadas OLn e OLv foram observadas de maneira descontínua ou em “pocket”. Há a presença de OFnzo. A camada OH, quando aparece, é menor que 1 cm e incipiente. As raízes finas praticamente não aparecem. A transição é menor que 3 mm e o horizonte A possui micro e mesoagregados. Nesta parcela é possível observar a presença de alguns blocos, muitos cipós, plântulas e galhos caídos, pouca serapilheira, atividade fúngica até presente, mas pouco, um solo mais escuro e com pouca agregação. O solo bem aerado observado sugere que essa parcela provavelmente já foi plantação, e há pouco tempo. A parcela apresenta uso intenso, com presença de lixo em seu interior e uma borda com pouca cobertura do dossel. Sendo assim, a classificação foi feita, porém tais condições devem ser levadas em consideração. A parcela RB foi classificada como EUMULL.

Por outro lado, na parcela do interior do fragmento rural, os valores de pH encontram-se entre 4 e 5. Nela foi observada a presença das camadas OLn, OLv, OFnzo e OFzo, sendo que OLn em pouca quantidade. A camada OH possui menos de 1 cm e a transição entre os horizontes holorgânico e hemiorgânico possui mais de 5 mm. Foi observada a presença de minhocas e muita atividade fúngica, tanto na serapilheira quanto no tronco das árvores. Há a presença de raízes finas entrando no solo. Assim como na borda, também foi observada grande quantidade de blocos e

plântulas em toda a parcela. No horizonte A há a presença de micro, meso e macroagregados. Desta forma, a parcela RI foi classificada como EUMODER.

Na parcela da borda do fragmento parnaso, os valores de pH são de 4,2, não havendo variação entre as profundidades. Nela, as camadas OLn, OLv e OFzo foram encontradas. O horizonte OH possui mais de 1 cm e a transição é maior que 5 mm. As raízes finas encontram-se entremeadas ao OH. Há a ocorrência de fungos da podridão branca. Presença do horizonte Anzo (sgA, msA), com micro, meso e macro agregados. Há a presença de cupinzeiros, porém em menor quantidade que no parnaso interior. Minhocas não foram observadas. A parcela PB foi classificada como DYSMODER.

A parcela do interior do parnaso possui pH igual a 4,4, também sem variação entre as profundidades. Nela, as camadas OLn, OLv e OFzo foram encontradas. O horizonte OH possui mais de 1 cm e a transição é maior que 5 mm. Há a ocorrência de fungos da podridão branca. As raízes finas encontram-se entremeadas ao OH, formando representativo compartimento. Presença do horizonte Anzo (sgA, msA), com micro, meso e macro agregados. Nesta parcela muitas minhocas e cupinzeiros foram observados, com intensa atividade biológica. A parcela PI também foi classificada como DYSMODER.

Alguns animais do solo, os chamados “engenheiros do solo” (minhocas, cupins, formigas...), têm uma influência decisiva no controle dos níveis de matéria orgânica do solo (MOS), em especial em biomas tropicais onde a matéria orgânica humificada é de suma importância para a sustentabilidade de umidade e nutriente (PONGE, 2013). Esta situação é observada no PI, evidenciando uma dinâmica diferenciada em relação às demais parcelas.

Ainda nesse aspecto, saprófagos maiores não podem se alimentar de fontes de alimentos pobres em nutrientes. Porém, exceções estão relacionadas a padrões associados com invertebrados sociais como formigas ou cupins, que recolhem e concentram restos de plantas em seus ninhos, permitindo que estes macro-invertebrados vivam em ambientes pobres em nutrientes (PONGE, 2013). Tal situação foi observada na parcela do parnaso interior, onde muitos cupinzeiros são encontrados, atuando principalmente na fixação de matéria orgânica. Porém, tem sido muito debatido se os organismos decompositores aumentam a disponibilidade de nutrientes para as plantas ou se, pelo contrário, tendem a imobilizar nutrientes na sua biomassa

ou excrementos. Por exemplo, estudos em ambientes tropicais mostraram que as minhocas aumentaram o conteúdo de matéria orgânica do solo (MOS) quando o solo era pobre e diminuiu o teor de MOS na condição oposta (MARTIN, 1991).

Os fungos da podridão branca, encontrados em UI, PB e PI, estão associados na bacia hidrográfica do Bonfim à forma de humus do tipo DYSMODER. Eles têm sua importância associada à capacidade de degradar a lignina completamente (XIAOGAI *et al.*, 2013).

Desaparecimento de minhocas e cupins estão associadas a processos de degradação da vegetação e do solo, o que é observado principalmente em UB, RB e RI.

As propriedades químicas das formas de húmus mostram que o Mull apresenta um pH e uma saturação por bases maior que a do Moder e Mor. A relação C/N, no Mull, é menor, pois as concentrações de nitrogênio são, geralmente, maiores. (KINDEL, 2001).

A fauna edáfica e os microorganismos desempenham um papel fundamental na formação do Mull, porque são eles que vão fragmentar e misturar a matéria orgânica ao solo mineral. Solos com condições físicas de aeração e umidade favoráveis permitem que esta fauna se instale, principalmente, os anelídeos. A microfauna, composta por bactérias e fungos, é também muito abundante (KINDEL, 2001), situação encontrada no fragmento rural.

As formas de humus classificadas neste estudo estão de acordo com a classificação realizada por Kindel e Garay (2001), que adotaram a classificação morfofuncional das formas de húmus, apresentada por Berthelin *et al.* (1994), da seguinte forma:

MULL - Caracterizado por um desaparecimento rápido das folhas, criando-se uma descontinuidade entre as folhas inteiras e o horizonte A_1 (seqüência OL/ A_1 ou OL + OF/ A_1). O horizonte A_1 apresenta complexos argilo-húmicos, evidenciados pela presença de agregados. O mull é biologicamente muito ativo.

Mull mesotrófico - O horizonte A₁ apresenta um pH (H₂O) próximo a 5, um valor V (%) entre 20 e 70%, presença de alguns agregados de origem biológica e relação C/N entre 12 e 15.

Mull oligotrófico - O horizonte A₁ apresenta um pH (H₂O) da ordem de 4,5, um valor V(%) inferior a 20%, pouca estrutura e relação C/N entre 15 e 20.

Assim, com base nesta classificação, a única parcela que se apresentou com formas de humus do tipo mull – Rural Borda (RB), pode ser classificada como Mull mesotrófico, pois além das características já apresentadas possui valores de V (%) entre 68 e 66.

MODER - Caracterizado por uma passagem progressiva entre os horizontes holorgânicos e o horizonte A₁ (seqüência OL + OF + OH/A₁); com a ausência de um verdadeiro complexo argilo-húmico, existe, no caso, justaposição da partícula orgânica e mineral. Eumoder - Camada H pouco desenvolvida (< 1 cm) e horizonte A₁ com pH (H₂O) entre 4 e 5, V(%) inferior a 20% e relação C/N próximo a 20. Dysmoder - Camada H mais desenvolvida (> 1 cm) e horizonte A₁ com pH (H₂O) entre 3,5 e 4,5, um valor V(%) inferior a 20%, pouca estrutura e relação C/N da ordem de 25.

Desta forma, com exceção dos dados de C/N, que se apresentaram menores, a classificação apresentada vai ao encontro da classificação proposta pelas autoras, sendo o UB e o RI classificado como Eumoder, e as parcelas UI, PB e PI como Dysmoder.

A forma de húmus do tipo moder está ligada a solos florestais pobres e com sinais de acúmulo de matéria orgânica superficial, devido a uma decomposição mais lenta. Neste sentido, o dysmoder representa uma forma mais acentuada do húmus do tipo moder, com intenso acúmulo de matéria orgânica amorfa sobre o horizonte A₁ resultante de uma atividade biológica deficiente (GARAY e SILVA, 1995). Porém, tal situação pode ser favorável se comparada a outras observadas em ecossistemas florestais tropicais.

Com isso, percebe-se que o padrão natural das formas de humus na bacia hidrográfica do Bonfim é a do tipo Dysmoder - condição encontrada no urbano interior e nas parcelas do parnaso -, em que perturbações antrópicas modificam o funcionamento

destes ecossistemas e se refletem em outros tipos de formas de humus – Eumoder na urbano borda e rural interior e Eumull no rural borda.

As diferenças no estoque e nas características da serapilheira têm íntima relação com a velocidade de decomposição e consequente liberação dos nutrientes para o solo e para as plantas. Para Begon et al. (1996), a taxa de decomposição de matéria orgânica é influenciada pela composição bioquímica da planta e pelos nutrientes minerais, especialmente o nitrogênio disponível. Se o nitrogênio não estiver disponível o processo de decomposição torna-se mais lento, e por isso a serapilheira não decomposta se acumula. Neste caso, as características físicas e químicas do solo como aeração, disponibilidade de água e o pH são importantes por influenciarem nas taxas de decomposição ao afetarem a atividade dos decompositores. O nível de atividade dos organismos tende a ser menor quando as temperaturas são baixas, a aeração do solo é pobre, a água é escassa e o pH é ácido.

É neste sentido que em ambientes oligotróficos o acúmulo de serapilheira funciona como um conjunto de estratégias do sistema para evitar as perdas por lixiviação, aumentando sua capacidade de reter e trocar os nutrientes com as raízes, promovendo a ciclagem direta. Esta condição de oligotrofia observada na Floresta da Tijuca por Kindel e Garay (2002), as levou a desenvolver uma nova classificação de forma de húmus, onde a acumulação da serapilheira não se deveu à qualidade do material, mas sim à condições desfavoráveis do solo. Essa estruturação levou as autoras a classificar esse tipo de humificação como do tipo Mull-Moder (Mull devido à baixa relação C:N no horizonte A e Moder devido à presença do horizonte H).

Por fim, cabe ressaltar que não existe um modelo geral, pois casos particulares podem ser identificados, cada um deles com sua própria coerência dentro de um contexto regional de fatores ecológicos e históricos, situação que se materializa nos ecossistemas do bioma Mata Atlântica.

8 – Considerações Finais

O desenvolvimento da presente pesquisa possibilitou confirmar que a sustentabilidade de um ecossistema é formada por vários aspectos relacionados com o desenvolvimento da vegetação. Dentre estes, pode-se destacar o processo de ciclagem de nutrientes, no qual através da deposição e decomposição de materiais vegetais e animais mortos, é permitido que o nutriente absorvido torne-se novamente disponível para ser utilizado em funções metabólicas e estruturais de vegetais e animais.

As características morfológicas e químicas dos horizontes orgânicos são relacionadas ao desenvolvimento da vegetação e a produtividade da floresta e do solo. No processo de decomposição da matéria orgânica e formação de horizontes orgânicos, parte dos nutrientes vai sendo liberada para a solução do solo e o restante da matéria orgânica parcialmente decomposta, atuando nos fatores físicos dos colóides do solo, como por exemplo, na retenção de água e agregação das partículas.

O presente estudo, ao propor um maior entendimento sobre o funcionamento de fragmentos florestais a partir de indicadores globais, que sintetizam processos ecossistêmicos, pressupõe que estes devem ser privilegiados para a avaliação da diversidade de ecossistemas: variações no padrão de estoques de nutrientes, na alocação da biomassa ou da necromassa, nos conteúdos de matéria orgânica ou nutrientes do solo etc. Alguns dentre eles apresentam efetivamente a vantagem de uma padronização e estimativa rápida; outros, pelo contrário, exigem um esforço de pesquisa a médio e longo prazo para validar seu caráter indicador. Como discutido, as formas de húmus podem ser usadas como ferramentas para avaliar mudanças ao nível do ecossistema (PONGE e CHEVALIER, 2006).

Conforme observado na bacia do Bonfim, de fato as diferentes formas de manejo, que ocasionam graus de impactos ambientais diversos como a fragmentação florestal, provocam mudanças na estrutura e composição dos remanescentes florestais ameaçando sua funcionalidade, o que foi confirmado com as distintas formas de húmus existentes na bacia hidrográfica do Bonfim – algumas associadas a condições naturais (Dysmoder) e outras associadas a perturbações antrópicas (Eumoder e Eumull).

Quanto mais avançado for o estágio de sucessão de um ecossistema, maior sua resistência ao estresse. Em contraposição, quanto mais jovem maior sua elasticidade. Em casos em que a frequência da perturbação for alta, o ecossistema é considerado dependente do distúrbio (MONTEZUMA, 2005). Na presente pesquisa o distúrbio foi a fragmentação florestal, variável de acordo com as diferentes matrizes.

Pôde ser evidenciada a relação existente entre a serapilheira, a cobertura vegetal e as propriedades físicas e químicas do solo. É possível notar como a serapilheira é um compartimento vital ao ecossistema, funcionando como reservatório de nutrientes, que afeta diretamente a funcionalidade dos sistemas ambientais e tem sua produção e acúmulo também diretamente afetado por mudanças nesses sistemas. Portanto, compreendendo os mecanismos de transferência que ocorrem nesse compartimento, é possível compreender a dinâmica dos ecossistemas. Da mesma maneira, a estrutura da vegetação influencia na disponibilidade dos recursos tais como umidade, luminosidade, características erosivas do solo e produção de serapilheira, sendo fator determinante na manutenção do equilíbrio dos sistemas florestais.

A serapilheira desempenha um papel importante na determinação da ciclagem de nutrientes, equilíbrio e manutenção dos ecossistemas florestais (XIAOGAI *et al.*, 2013). Assim, a análise de tais indicadores permite um diagnóstico da integridade do ecossistema e, por ter relação direta com a biodiversidade, podem ser usados como indicadores de sistemas alterados.

Apesar de estarem próximos e localizados em uma mesma bacia hidrográfica, os fragmentos florestais estão sujeitos a diferentes impactos, em função da matriz em que estão inseridos, do grau de isolamento em que se encontram e do quanto estão sujeitos a atividades antrópicas.

É válido ressaltar que a bacia hidrográfica do Bonfim insere-se em sua totalidade na APA de Petrópolis e parcialmente no Parque Nacional da Serra dos Órgãos (PARNASO), o que evidencia a necessidade de se preservar e manter seus fragmentos florestais, a fim de garantir a conservação destes sistemas, favorecendo a conexão entre os fragmentos e consequentemente reduzindo seu isolamento e efeito de borda.

Além disso, Silva (2013) ao testar vários cenários para a bacia do Bonfim destacou que se os limites do PARNASO forem mantidos, não haverá mudanças

significativas nas vazões. Tal estudo evidencia a importância do fragmento parnasó, que apresentou a dinâmica mais próxima de um estágio sucessional mais avançado, o que, sem dúvida, ocorreu pelo fato de estar inserido nesta unidade de conservação.

Apesar das diferenças na estrutura dos fragmentos não permitirem a caracterização do gradiente de biomassa ou diversidade, os fragmentos apresentaram dinâmica de decomposição diferenciadas (especialmente para o rural) e formas de húmus diferenciadas; há maior similaridade das formas de húmus entre os fragmentos do parnasó e do urbano, que com as observadas no rural.

Por outro lado, as formas de húmus quando analisadas no inverno não foram sensíveis ao local de coleta no fragmento (borda e interior). Já no verão as formas de húmus (com atuação de maiores índices de temperatura e precipitação) conseguiram segregar melhor esses ambientes dentro de um mesmo fragmento. Novamente o fragmento rural se distanciou dos demais, denotando uma dinâmica de decomposição e ciclagem de nutrientes distintas.

Os valores do índice “k”, calculados para o período de 6 meses, evidenciam maiores taxas no interior dos fragmentos independente da matriz, provavelmente pela presença de condições microclimáticas mais favoráveis.

A avaliação da fertilidade demonstrou que as áreas de uso urbano podem ter sido áreas agrícolas no passado, pois os valores de soma de bases (S) são maiores que no parnasó. Já os dados elevados de soma de bases (S) e porcentagem de saturação em bases (V) na borda do fragmento rural indica uso de corretivos agrícolas na área.

A presença de fungos da podridão branca na bacia do Bonfim dão caráter Dysmoder (urbano interior e parcelas do parnasó).

As formas de húmus controlam as relações solo-vegetação; são a estrutura principal dessas relações; e podem explicar as interações entre a parte acima e abaixo do solo (PONGE, 2013). Assim, são componente chave dos ecossistemas terrestres.

Espera-se que este estudo possa contribuir para uma mais eficiente caracterização de ecossistemas florestais da Mata Atlântica, evidenciando a heterogeneidade do seu funcionamento. Porém, como a diversidade entre os

ecossistemas se manifesta em escalas maiores, a paisagem tem sido sugerida em diversos estudos como a melhor unidade para a gestão dos remanescentes naturais, destacando-se, também, as relações sociais e ambientais nela presentes, o que é observado na Bacia Hidrográfica do Bonfim.

Por fim, cabe ressaltar que muitos benefícios podem ser esperados a partir da caracterização das formas de húmus, em especial para fins de mapeamento e geração de banco de dados. Além disso, pesquisas com formas de húmus se apresentam como ferramentas práticas e conceituais para planejar estudos em ecologia de solos, além de possibilitar melhor conhecimento da interface solo/vegetação/clima.

Tal perspectiva se confirma na proposta de incluir as formas de húmus no “World Reference Base for Soil Resources (WRB-FAO)”, o que evidencia a necessidade de novos estudos, principalmente em ambientes tropicais. Na prática, as classificações precisam ser harmonizadas a nível mundial (JABIOL *et al.*, 2013).

Na tentativa de não finalizar, pesquisas futuras foram motivadas com a presente dissertação, com as seguintes hipóteses:

- As formas de húmus são sensíveis a mudanças/alterações na estrutura ecológica (clima, material de origem, pressão humana – matriz, histórico do fragmento), em que o sistema evolui conseqüentemente para novas biocenoses, caracterizando uma adaptação das formas de húmus?
- É possível elaborar modelos de distribuição espacial das formas de húmus?

9 - Referências Bibliográficas

- ANGELSTAM, P., G. MIKUSINSKI, B.-I. RÖNNBÄCK, A. ÖSTMAN, M. LAZDINIS, J.-M. ROBERGE, W. ARNBERG, J. OLSSON. Two-dimensional gap analysis: a tool for efficient conservation planning and biodiversity policy implementation. *Ambio* 33, 2003, p. 527–534.
- ARAÚJO, R. S.; PIÑA-RODRIGUES, F. C. M.; MACHADO, M. R.; FRAZÃO, F.; DUARTE, C. *Deposição de serrapilheira em três modelos de revegetação de áreas degradadas na Reserva Biológica de Poço das Antas, Silva Jardim, RJ*. In: Simpósio Nacional de Recuperação de Áreas Degradadas, Belo Horizonte, v.1, p.1-5, 2005.
- BABEL, U. Micromorphology of soil organic matter. In: GIESEKING, J.E., ed. *Soil component*. Berlin, Springer-Verlag, 1975. p.369-473.
- BECKER, B. K. Amazônia: construindo o conceito e a conservação da biodiversidade na prática. In: GARAY, I. & DIAS, B. (Orgs). *Conservação da biodiversidade em ecossistemas tropicais: avanços conceituais e revisão de novas metodologias de avaliação e monitoramento*. Rio de Janeiro, Petrópolis: Editora Vozes, 2001.
- BEGON, M.; HARPER, J. L.; TOWSEND, C. R. *Ecology: individuals, populations and communities*. Oxford Library Blackwell, 1996.
- BERTHELIN, J., LEYVAL, C., TOUTAIN, F., 1994. Biologie des sols: rôle des organismes dans l'altération et l'humification, in: Bonneau, M., Souchier, B. (Eds.), *Pédologie*. 2. Constituants et propriétés du sol. Masson, Paris, pp. 143-211.
- BERTRAND, G. Paisagem e Geografia Física Global. *Caderno de Ciências da Terra* (13), 1971, p. 1- 27.
- BIERREGAARD Jr. R.O.; GASCON, C.; LOVEJOY, T.E. e MESQUITA, R.C.G. *Lessons from Amazonia: the ecology and conservation of a fragmented forest*. Sheridan Books, Michigan, 2001.
- BIONDINI, M.E., BONHAM, C.D., REDENTE, E.F., 1985. Secondary successional patterns in a sagebrush (*Artemisia tridentata*) community as they relate to soil disturbance and soil biological activity. *Vegetatio* 60(1), 25-36.
- BOTELHO, R. G. M e SILVA, A. S. Bacia Hidrográfica e Qualidade Ambiental. In: VITTE, A. C. e GUERRA, A. J. T. (orgs.). *Reflexões sobre a Geografia Física no Brasil*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004.

BRAY, J.R., CURTIS, J.T., 1957. An ordination of the upland forest communities of southern wisconsin. *Ecological Monographs* 27, 325-349.

BRASIL. Lei Nº 9.985, de 18 de julho de 2000. Regulamenta o art. 225, § 1o, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o SNUC e dá outras providências. Disponível em <http://www.mma.gov.br/port/sbf/dap/doc/snuc.pdf>. Acesso em março de 2012.

CAMPOS, E. H.; ALVES, R. R.; SERATO, D. S.; RODRIGUES, G. S.; RODRIGUES, S. C. Acúmulo de serrapilheira em fragmentos de mata mesofítica e cerrado strict sensu em Uberlândia – MG. *Sociedade e Natureza*, Uberlândia, MG, n. 20, v. 1, p. 189-203, 2008.

CASTRO, E. B. V.; COUTINHO, B. H.; CRUZ, J. C. O.; NUNES, F. S. B.; FREITAS, L. E. MEIR, G. Ampliando a escala de conservação: avaliação de áreas potenciais e proposta de ampliação do Parque Nacional da Serra dos Órgãos, RJ. *Espaço & Geografia*, Vol.11, Nº 1, 2008, p. 115-145.

CASTRO JR, E.; COUTINHO, B. H.; FREITAS, L. E. Gestão da Biodiversidade e Áreas Protegidas. In: GUERRA, A. J. T.; COELHO, M. C. N. (org.) *Unidades de Conservação: abordagens e características geográficas*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2009.

CASTRO Jr., E. *O papel da fauna endopendônica na estruturação física do solo e seu significado para a hidrologia de superfície em região montanhosa florestal – PNT-RJ*. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Geografia, 1991, Universidade Federal do Rio de Janeiro.

CASTRO JR, E. *Valor indicador da fauna de macroartrópodes edáficos em fragmentos primários e secundários do ecossistema de florestas de tabuleiros, ES*. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Geografia, 2002, Universidade Federal do Rio de Janeiro.

CERRI, C. C.; ANDREUX, F.; EDUARDO, B. P. O ciclo do carbono no solo. In: CARDOSO, E.; TSAI, S. M.; NEVES, M. C. P. (eds.). *Microbiologia do solo*. Campinas, São Paulo: SBSCS, 1992.

CHORLEY, R. J. e KENNEDY, B. A. *Physical Geography: a systems approach*. Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1971.

CRONEMBERGER, C. e CASTRO, E. B. V. (org.) *Ciência e Conservação na Serra dos Órgãos*. Brasília: IBAMA, ICMBio, 2007.

CORRÊA, Frances Vivian. *O Parque Nacional da Serra dos Órgãos: Entendendo a dinâmica do conflito na gestão*. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Psicossociologia de Comunidades e Ecologia Social, 2009 Universidade Federal do Rio de Janeiro.

CORREA, D. R. Horizontes orgânicos sob floresta ombrófila densa no litoral paranaense. Dissertação de Mestrado. Pós-graduação em Ciência do Solo, do Setor de Ciências Agrárias. 2007, Universidade Federal do Paraná.

COUTINHO, B. H. *Vulnerabilidade Geo-Hidroecológica em diferentes escalas na Paisagem: Subsídios à Conservação e Segurança Ambiental*. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Geografia, 2011, Universidade Federal do Rio de Janeiro.

CHRISTOFOLETTI, A. *Modelagem de Sistemas Ambientais*. São Paulo: Edgard Blucher, 1999.

D'ARROCHELLA, M. L. G. Relação entre Pluviosidade Efetiva e Estoque de Matéria Orgânica de Superfície na Ciclagem de Nutrientes em Floresta Ombrófila Urbana: Parque Nacional da Tijuca (RJ). Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Geografia, 2013, Universidade Federal do Rio de Janeiro.

DEAN, Warren. *A ferro e fogo - A História e a Devastação da Mata Atlântica Brasileira*. São Paulo: Companhia das Letras, 1996.

DELITTI, W. B. C. Estudos de ciclagem de nutrientes: instrumentos para a análise funcional de ecossistemas terrestres. *Oecologia Brasiliensis*, v.1, 469-486, 1995.

DIAS, B. F. S. Demandas governamentais para o monitoramento da Diversidade Biológica Brasileira. In: GARAY, I. & DIAS, B. (Orgs). *Conservação da biodiversidade em ecossistemas tropicais: avanços conceituais e revisão de novas metodologias de avaliação e monitoramento*. Rio de Janeiro, Petrópolis: Editora Vozes, 2001.

DIAS, M. A. *Influência da Topografia na dinâmica de bordas floresta-gramínea em um relevo montanhoso – Maciço da Tijuca, RJ*. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Geografia, 2011, Universidade Federal do Rio de Janeiro.

DIDHAM, R. K. Altered Leaf-Litter decomposition rates in tropical Forest fragments. *Oecologia Brasilienses*, v. 116, 1998, p. 317-406.

EMBRAPA. *Manual de métodos de análise do solo*. Rio de Janeiro: 2^a ed., 1997.

FACELLI, J. M.; PICKETT, S. T. A. Plant Litter: its dynamics and effects on plant community structure. *The Botanical Review*, n.57, 1-32, 1991.

FORMAN, R.T.T.; GODRON, M. *Landscape ecology*. New York: John Wiley, 1986.

FORMAN, R. T. T. *Land mosaics. The ecology of landscape and regions*. New York: Cambridge University Press, 1995.

GALINDO-LEAL, C. e I.G. CÂMARA. Atlantic forest hotspots status: an overview. In C. GALINDO-LEAL e I.G. CÂMARA (eds.). *The Atlantic Forest of South America: biodiversity status, threats, and outlook*. Center for Applied Biodiversity Science e Island Press, Washington, D.C, 2003.

GARAY, I.; KINDEL, A.; JESUS, R. M. Diversity of humus forms in the Atlantic Forest ecosystems (Brazil). The Table-land Antlanic Forest. *Acta Oecologia*, 16, 1995, p. 553-570.

GARAY, I. & DIAS, B. (Orgs). *Conservação da biodiversidade em ecossistemas tropicais: avanços conceituais e revisão de novas metodologias de avaliação e monitoramento*. Rio de Janeiro, Petrópolis: Editora Vozes, 2001.

GARAY, I. Avaliação do status da biodiversidade a nível de ecossistema In: GARAY, I. & DIAS, B. (Orgs). *Conservação da biodiversidade em ecossistemas tropicais: avanços conceituais e revisão de novas metodologias de avaliação e monitoramento*. Rio de Janeiro, Petrópolis: Editora Vozes, 2001.

GARAY, I. e KINDEL, A. Diversidade funcional em fragmentos de Floresta Atlântica. Valor indicador das formas de húmus florestais. In: GARAY, I. & DIAS, B. (Orgs). *Conservação da biodiversidade em ecossistemas tropicais: avanços conceituais e revisão de novas metodologias de avaliação e monitoramento*. Rio de Janeiro, Petrópolis: Editora Vozes, 2001.

GARAY, I. e BECKER, B. *Dimensões Humanas da Biodiversidade. Desafios de Novas Relações Sociedade e Natureza no Século XXI*. Rio de Janeiro, Petrópolis: Editora Vozes, 2006.

GARAY, I. & SILVA, B. A. O. Húmus florestais: síntese e diagnóstico das interrelações vegetação/solo. *Oecologia Brasiliensis*, 1: 19-46, 1995.

GASCON, C.; LAURENCE, W. F. e LOVEJOY, T.E. 2001. Fragmentação florestal e biodiversidade na Amazônia Central. In: GARAY, I. & DIAS, B. (Orgs). *Conservação da*

biodiversidade em ecossistemas tropicais: avanços conceituais e revisão de novas metodologias de avaliação e monitoramento. Rio de Janeiro, Petrópolis: Editora Vozes, 2001.

GASCON, C., B. WILLIAMSON e G.A.B. FONSECA. Receding forest edges and vanishing reserves. *Science* 288, 2000, p. 1356-1358.

GRAÇA, M. A. S., F. BARLOCHER, *et al.* *Methods to Study Litter Decomposition: A Practical Guide*. New York: Springer Berlin Heidelberg, 2005.

GREEN, R. N; TROWBRIDGE, R. L. e KLINKA, K. Towards a taxonomic classification of humus forms. *For. Sci. Monogr.*, 29, 1993, p. 1-48.

HARRIS, L.D. *The fragmented forest*. Chicago: University of Chicago Press, 1984.

HOBBS, R. J. The role of corridors in conservation: solution or bandwagon? *Tree*, 7, 1992, p. 389-392.

IBGE. *Mapa de Biomas do Brasil. Escala 1:5.000.000*. Rio de Janeiro: IBGE, 2004. Disponível em <http://mapas.ibge.gov.br/biomas2/viewer.htm>. Acesso em março de 2012.

ICMBIO - Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. *Plano de Manejo do Parque Nacional da Serra dos Órgãos*. Brasília: ICMBio, 2008.

INMET – INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. *Climatologia*. www.inmet.gov.br Acessado em março de 2012.

JABIOL, B., ZANELLA, A., PONGE, J.-F.O., SARTORI, G., ENGLISH, M., VAN DELFT, B., DE WAAL, R., LE BAYON, R.e.-C., 2013. A proposal for including humus forms in the World Reference Base for Soil Resources (WRB-FAO). *Geoderma* 192(0), 286-294.

JOLLIFFE, I. T. *Principal Component Analysis*. Springer New York. 2002.

KIEHL, E. J. *Manual de edafologia – relação solo-planta*. São Paulo: CERES, 1979.

KINDEL, A. *Húmus florestal como diagnóstico da ação antrópica em floresta atlântica de Tabuleiros, Linhares – ES*. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Geografia, 1996, Universidade Federal do Rio de Janeiro.

KINDEL, A. *A fragmentação Real: Heterogeneidade de remanescentes florestais e valor indicador das formas de húmus*. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Geografia, 2001, Universidade Federal do Rio de Janeiro.

KINDEL, A. e GARAY, I. Caracterização de ecossistemas da Floresta Atlântica de Tabuleiros por meio das formas de húmus. *Rev. Bras. de Ciências do Solo*, 25, 2001, p. 551-563.

KINDEL, A.; GARAY, I. Humus form in ecosystems of the Atlantic Forest, Brazil. *Geoderma*, v. 108, n. 1-2, p. 101-118, 2002.

KINDEL, A. *et al.* Quantificação dos Horizontes Húmicos e Dinâmica da Decomposição de Material Foliar em Solos Florestais. *Matéria Orgânica do Solo – Comunicado Técnico* 21, 2003.

KRUSKAL, J. Nonmetric multidimensional scaling: A numerical method. *Psychometrika*, v.29, n.2, 1964, p.115-129.

LAURANCE, W. F.; VASCONCELOS, H. L. Consequências ecológicas da fragmentação florestal na Amazônia. *Oecologia Brasiliensis*, n.13, v.3, 434-451, 2009.

LAURANCE, W.F.; LOVEJOY, T.E.; VASCONCELOS, H.L.; BRUNA, E.M.; DIDHAM, R.K.; STOUFFER, P.C.; GASCON, C.; BIERREGAARD, R.O.; LAURANCE, S.G. e SAMPAIO, E. Ecosystem decay of Amazonian Forest fragments: a 22-year investigation. *Conservation Biology* 16, 2002, p. 605–618.

LAURANCE, W. F.; YENSEN, E. Predicting the impacts of edge effects in fragmented habitats. *Biological Conservation*, 55, 1991, p. 77-92.

LAWALL, S. *Modificações na dinâmica hidrológica dos solos em resposta às alterações de uso e cobertura na Bacia do Bonfim, Região Serrana do Rio de Janeiro*. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Geografia, 2010, Universidade Federal do Rio de Janeiro.

LEMMON, P.E., 1956. A spherical densiometer for estimating forest overstory density. *Forest Science* 2(4), 314-320.

LOPES, M. I. M. S.; TEIXEIRA, C. B.; COMPTE, V. X.; LIESS, S. & MAYER, R. *Litter production in the Atlantic Forest vegetation of Serra do Mar, Cubatão region, Brazil*. III Simpósio Brasileiro de Ecossistemas da Costa Brasileira, Serra Negra, São Paulo, vol. II: 87-94, 1994.

- LOPES, W. P.; SILVA, A. F.; SOUZA, A. L. & MEIRA NETO, A. A. Estrutura fitossociológica de um trecho de vegetação arbórea no Parque Estadual do Rio Doce – Minas Gerais, Brasil. *Acta Botânica Brasileira*. 16 (4): 443-456, 2002.
- LOVEJOY, T.E.; BIERREGARD, R.O.; RYLANDS, A.B.; MALCOLM, J.R.; QUINTELA, C.E.; HARPER, L.H.; BROWN, K.S.; POWELL, G.V.N.; SCHUBART, H.O.R.; HAY, M.B. Edge and other effects of isolation on Amazon forest fragments. In: SOULE, M.E., ed. *Conservation biology*. Massachusetts: Sinauer Press, 1986.
- MACARTHUR, R. H. e WILSON, E. O . *The theory of island biogeography*. Princeton University Press, Princeton, 1967.
- MANTOVANI, W. A degradação dos biomas brasileiros. In: W.C. RIBEIRO (ed.). *Patrimônio ambiental brasileiro*. São Paulo: Edusp, 2003.
- MARTINS, S. V.; RODRIGUES, R. R. Produção de serrapilheira em clareiras de uma floresta estacional semidecidual no município de Campinas, São Paulo. *Revista Brasileira de Botânica*, v. 22, p.405-412, 1999.
- MCCUNE, B., MEFFORD, M.J., 1999. PC-ORD: multivariate analysis of ecological data. MjM Software Design.
- METZGER, J. P. Estrutura da paisagem e fragmentação: análise bibliográfica. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 1999, p. 445-463.
- METZGER, J. P. O que é ecologia de paisagens? *Biota Neotropica*. Campinas, SP: v. 1, n. 1/2, 2001.
- MIRANDA, F. S. M. Dinâmica da serrapilheira em encosta florestada do PARNA-Tijuca: a microtopografia como fator condicionante. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Geografia, 2013, Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- MITTERMEIER, Russell A.; FONSECA, Gustavo A. B.; RYLANDS, Anthony B.; BRANDON, Katrina. Uma breve história da conservação da biodiversidade no Brasil. *Megadiversidade*, Volume 1, Nº 1, Julho 2005.
- MONTEZUMA, R. C. M. *Produção e Reabilitação Funcional do piso florestal em clareira de deslizamento – Parque Nacional da Tijuca*, Rio de Janeiro. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Geografia, 2005, Universidade Federal do Rio de Janeiro.

MORAES, R. M. Ciclagem de nutrientes na floresta do PEFI: produção e decomposição da serrapilheira. In: BICUDO, D.; FORTI, M.; BICUDO, C. (eds). *Parque Estadual das Fontes do Ipiranga, unidade de conservação que resiste à urbanização de São Paulo*. Secretaria de Estado do Meio Ambiente, SP, p.133-142, 2002.

MYERS, N. Threatened biotas: Hotspots in tropical forests. *The Environmentalist* 8(3), 1988, p.1-20.

MYERS, N. The biodiversity challenge: Expanded hotspots analysis. *The Environmentalist* 10(4), 1990, p. 243-256.

NORONHA, Felipe. Avaliação da heterogeneidade das formas de húmus em distintas escalas numa paisagem fragmentada de Floresta Atlântica de Tabuleiros, Sooretama, ES. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Geografia, 2006, Universidade Federal do Rio de Janeiro.

ODUM, E. P. *Fundamentos de Ecologia*. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1971.

ODUM, E. P. *Ecologia*. Rio de Janeiro: Ed. Guanabara Koogan S. A., 1988.

OLIVEIRA, R. R. *O rastro do homem na floresta: sustentabilidade e funcionalidade da Mata Atlântica sob manejo caiçara*. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Geografia, 1999, Universidade Federal do Rio de Janeiro.

OLIVEIRA-FILHO, A.T. e M.A.L. FONTES. Patterns of floristic differentiation among Atlantic Forests in southeastern Brazil and the influence of climate. *Biotropica* 32(4b), 2000, p. 793-810.

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

PAGANI, Yara V. *Áreas de Proteção Ambiental (APA's): a conservação em sistemas de paisagens protegidas. Análise da APA de Petrópolis/RJ*. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Geografia, 2009, Universidade Federal do Rio de Janeiro.

PELLENS, Roseli. Fragmentação florestal em Mata Atlântica de Tabuleiros: os efeitos da heterogeneidade da paisagem sobre a diversidade de artrópodos edáficos. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Geografia, 2002, Universidade Federal do Rio de Janeiro.

PEREIRA, T. F. P. D. *Uso de indicadores funcionais globais no diagnóstico geobiofísico de casos de fragmentação da floresta Atlântica na Bacia do Rio Macacú (RJ)*.

Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Geografia, 2005, Universidade Federal do Rio de Janeiro.

PESSOA, F. A.; CESÁRIO, F. V.; CASTRO Jr, E. A utilização de características químicas do solo na análise funcional ecossistêmica de fragmentos florestais: estudo de caso na bacia hidrográfica do Bonfim, região serrana do Rio de Janeiro. *Revista Geonorte*, Edição Especial, V.3, N.4, p. 402-414, 2012.

PONGE, J. F. Humus forms in terrestrial ecosystems: a framework to biodiversity. *Soil Biology and Biochemistry*, v. 35, n. 7, p. 935-945, 2003.

PONGE, J. F. Plant-soil feedbacks mediated by humus forms: A review. *Soil Biology & Biochemistry* 57 (2013) 1048e1060

PONGE, J.-F., CHEVALIER, R., 2006. Humus Index as an indicator of forest stand and soil properties. *Forest Ecology and Management* 233(1), 165-175.

RAMOS, F.N. e SANTOS, F.A.M. Microclimate of Atlantic forest fragments: regional and local scale heterogeneity. *Brazilian Archives of Biology and Technology* 49(6), 2006, p. 935-944.

RBMA. *A Reserva da Biosfera da Mata Atlântica - Roteiro para o entendimento de seus objetivos e seu Sistema de Gestão*. Série Cadernos da Reserva da Biosfera da Mata Atlântica nº 2. São Paulo, 1996.

RBMA, 2006. Dossiê para criação do Mosaico da Mata Atlântica Central Fluminense. Reserva da Biosfera da Mata Atlântica.

RISSER, P. G., KAR, J. R.; FORMAN, R. T. T. *Landscape ecology: directions and approaches*, Illinois Natural History Survey Special Publications 2, Champaign- Urbana, Illinois Natural History Survey, 1984.

ROCHA, L.G.M. *Os parques nacionais do Brasil e a questão fundiária: o caso do Parque Nacional da Serra dos Órgãos*. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, 2002, Universidade Federal Fluminense.

ROCHA, L. G. M. A situação fundiária do Parque Nacional da Serra dos Órgãos. In CRONEMBERGER, C. e CASTRO, E. B. V. (org.) *Ciência e Conservação na Serra dos Órgãos*. Brasília: IBAMA, ICMBio, 2007.

RODRIGUES, P.J.F.P. e NASCIMENTO, M.T. Fragmentação florestal: breves considerações teóricas sobre efeitos de borda. *Rodriguésia* 57(1), 2006, p. 63-74.

SANTOS, L. B. *Influência da estrutura da floresta nas características físico-químicas do solo e no estoque de serrapilheira em remanescentes florestais da área de proteção ambiental de Macaé de Cima-Nova Friburgo-RJ*. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Geografia, 2011, Universidade Federal do Rio de Janeiro.

SILVA, A. S. Análise morfológica dos solos e erosão. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. F. M. *Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações*. RJ: Bertrand Brasil, 2005.

SILVA, A. C.. Simulação da descarga fluvial em resposta as mudanças de uso e cobertura da terra: Bacia do Bonfim (RJ) Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Geografia, 2005, Universidade Federal do Rio de Janeiro.

SWIFT, M. J., HEAL, O. W. e ANDESON, J. M. *Decomposition in Terrestrial Ecosystems*. University of California Press, Berkley, Los Angeles, 1979.

SOS Mata Atlântica e INPE. *Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica - Período 2008-2010*. São Paulo, 2011.

SOCTCHAVA, V. B. *Por uma teoria de classificação de geossistemas de vida terrestre*. Biogeografia. IG-USP. São Paulo, 1978.

TABARELLI, Marcelo; PINTO, Luiz Paulo; SILVA, José Maria C.; HIROTA, Márcia M.; BEDÊ, Lúcio C. Desafios e oportunidades para a conservação da biodiversidade na Mata Atlântica brasileira . *Megadiversidade*, Volume 1, Nº 1, Julho 2005.

TABARELLI, M.; AGUIAR, A.V.; RIBEIRO, M.C.; METZGER, J.P. e PERES, C.A. Prospects for biodiversity conservation in the Atlantic Forest: lessons from aging humanmodified landscapes. *Biological Conservation*. Article in press. doi:10.1016/j.biocon.2010.02.005, 2010.

TOMÉ Jr., J. B. *Manual para interpretação de análise de solo*. Guaíba. Agropecuária, 1997.

TOUTAIN, F. 1981. Les humus forestiers. Structures et modes de fonctionnement. *Revue Forestiere Francaise* 33: 449-477.

TRIOLA, M. F. *Introdução à Estatística*. Rio de Janeiro: LTC. 2008

- TROLL, C. Landscape ecology (geo-ecology) and biogeocenology: a terminological study. *Geoforum* 8, 1971, p. 43-46.
- TURNER, M. G. Landscape Ecology: The effect of pattern on process. *Annu. Ver. Ecol. Syst.* 20, 1989, p. 171-191.
- VIANA, V.M.; TABANEZ, A. A. J.; BATISTA, J. L. F. Dynamics and restoration of forest fragments in the Brazilian Atlantic Moisture Forest. In: LAURANCE, W.F.; BIERREGARD, R.O., ed. *Tropical forest remnants. Ecology, Management, and Conservation of fragmented communities*. Chicago: University of Chicago Press, 1997.
- VIANA, Virgílio M.; PINHEIRO, Leandro A. F. V. Conservação da biodiversidade em fragmentos florestais. *Série Técnica IPEF* v. 12, n. 32, p. 25-42, dez. 1998
- VIDAL, M. M.; PIVELLO, V. R.; MEIRELLES, S. T.; METZGER, J. P. Produção de serrapilheira em floresta Atlântica secundária numa paisagem fragmentada (Ibiúma, SP): importância da borda e tamanho dos fragmentos. *Revista Brasileira de Botânica*, v.30, n.3, p.521-532, 2007.
- WILLIANSO, G. B.; MESQUITA, R. C. G.; ICKES, K.; GANADE, G. Estratégias de árvores pioneiras nos Neotrópicos. In: GASCON, C.; MOUTINHO, P. (Eds) *Floresta Amazônia: dinâmica, regeneração e manejo*. 1997.
- YOUNÉS, T., 1992. The IUBS/SCOPE/UNESCO Programme Ecosystem Function of Biodiversity: a progress report. *Biology International*, 24, 1992, p. 16-21.
- YOUNÉS, T. Ciência da Biodiversidade: questões e desafios. In: GARAY, I. & DIAS, B. (Orgs). *Conservação da biodiversidade em ecossistemas tropicais: avanços conceituais e revisão de novas metodologias de avaliação e monitoramento*. Rio de Janeiro, Petrópolis: Editora Vozes, 2001.
- YOUNÉS, T.; GARAY, I. As dimensões humanas da biodiversidade: o imperativo das abordagens integrativas. In: GARAY, I. e BECKER, B. *Dimensões Humanas da Biodiversidade. Desafios de Novas Relações Sociedade e Natureza no Século XXI*. Rio de Janeiro, Petrópolis: Editora Vozes, 2006.
- XIAOGAI, G.; LIXIONG, Z.; WENFA, X.; ZHILIN, H.; XIANSHENG, G.; BENWANG, T. Effect of litter substrate quality and soil nutrients on forest litter decomposition: A review. *Acta Ecologica Sinica* 33 (2013) 102–108

ZAÚ, A S. *Composição, estrutura e efeitos de bordas lineares na comunidade arbustiva-arbórea de um remanescente urbano de Mata Atlântica no sudeste do Brasil*. Tese (doutorado) – Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro/Escola Nacional de Botânica Tropical, 2010.

ZANELLA, A., JABIOL, B., PONGE, J.F., SARTORI, G., DE WAAL, R., VAN DELFT, B., GRAEFE, U., COOLS, N., KATZENSTEINER, K., HAGER, H., ENGLISCH, M., 2011a. A European morpho-functional classification of humus forms. *Geoderma* In Press, Corrected Proof.

ZANELLA, A., JABIOL, B., PONGE, J.F., SARTORI, G., WAAL, R.D., DELFT, B.V., GRAEFE, U., COOLS, N., KATZENSTEINER, K., HAGER, H., ENGLISCH, M., BRETHES, A., BROLLK, G., GOBAT, J.M., BRUN, J.J., MILBERT, G., KOLB, E., WOLF, U., FRIZZERA, L., GALVAN, P., KOLLI, R., BARITZ, R., KEMMERSE, R., VACCA, A., SERRA, G., BANAS, D., GARLATO, A., S. CHERSICH, KLIMO, E., LANGOHR, R., 2011b. European humus forms: Base reference.