

## AVALIAÇÃO FUNCIONAL DE FRAGMENTOS FLORESTAIS INSERIDOS EM MATRIZES DISTINTAS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO BONFIM, PETRÓPOLIS – RJ

*FUNCTIONAL EVALUATION OF FOREST FRAGMENTS INSERTED IN DIFFERENT  
MATRICES IN BONFIM WATERSHED, PETRÓPOLIS – RJ*

### RESUMO

A estruturação da paisagem ocasionada pela atividade humana pode resultar em diferentes padrões de funcionamento de ecossistemas florestais. O presente trabalho teve como objetivo identificar e testar a possibilidade de utilização de indicadores ecológicos para avaliação funcional, a partir da caracterização do processo de produção e decomposição da matéria orgânica, em fragmentos florestais inseridos em matrizes distintas na bacia hidrográfica do Bonfim, município de Petrópolis – RJ. Foram realizadas comparações inter e intra-fragmentos a fim de verificar a existência de variações resultantes das diferentes matrizes em que estão inseridos, e se configura ou não efeito de borda. Dessa forma, pôde ser evidenciada a relação existente entre a serapilheira, a cobertura vegetal e as propriedades físicas e químicas do solo. Os dados obtidos confirmaram as hipóteses que nortearam a pesquisa, pois de fato as formas de húmus, que representam a dinâmica do material orgânico de superfície e do topo do solo, na perspectiva da ciclagem de nutrientes, se mostraram sensíveis às matrizes e à situação da parcela no fragmento (borda interior), permitindo reconhecer níveis e padrões de antropização distintos.

**Palavras-chave:** Ciclagem de Nutrientes. Fragmentação Florestal. Mata Atlântica.

### ABSTRACT

The structuring of the landscape caused by human activity can result in different patterns of functioning of forest ecosystems. Thus, the present work aims to identify and test the possibility of using ecological indicators for environmental control, based on the characterization of the production and decomposition process of organic matter in forest fragments inserted in different matrices in the Bonfim Watershed, municipality of Petrópolis – RJ. Inter and intra-fragment comparisons were made in order to verify the existence of variations resulting from the different matrices in which they are inserted, and whether or not the border effect is configured. Thus, the relationship between litter, vegetation cover and the physical and chemical properties of the soil could be evidenced. The data obtained confirmed the hypotheses that guided the research, because in fact the forms of humus, represented by the dynamics of the organic material of the surface and top of the soil – in the perspective of nutrient cycling – are sensitive to the matrices and the situation of the plot in the fragment (border and interior), making it possible to recognize different levels of anthropization and thus keeping patterns at such levels.

**Keywords:** Nutrient cycling. Forest Fragmentation. Atlantic Forest.

 Fernando Amaro Pessoa <sup>a</sup>

 Fernando Vieira Cesário <sup>b</sup>

 Fabiano de Carvalho Balieiro <sup>c</sup>

<sup>a</sup> CEFET/RJ - Campus Petrópolis

<sup>b</sup> Instituto Brasileiro de Desenvolvimento e Sustentabilidade (IABS)

<sup>c</sup> Embrapa Solos

DOI: 10.12957/geouerj.2022.51591

**Correspondência:**

fernando.pessoa@cefet-rj.br

fernandovieiracesario@gmail.com

fabiano.balieiro@embrapa.br

**Recebido em:** 24 mar. 2022

**Revisado em:** 12 abr. 2022

**Aceito em:** 30 mai. 2022



## INTRODUÇÃO

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 uma visão sistêmica do ambiente implícita na adoção desta unidade espacial.

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 em uma mesma bacia hidrográfica.

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 micro-organismos será decomposta e reciclada (ODUM, 1971; SWIFT *et al.*, 1979; GARAY e SILVA, 1995; PONGE, 2003, 2013; ZANELLA *et al.*, 2011a, 2011b). Assim, indicadores que permitam traçar as características das formas de húmus podem fornecer uma síntese sobre o funcionamento do ecossistema.

Neste sentido, a fim de buscar padrões de funcionamento ecossistêmico de remanescentes florestais, foram escolhidos três fragmentos na bacia hidrográfica do Bonfim – município de Petrópolis, Rio de Janeiro, a qual se apresenta como uma unidade espacial representativa em termos de diversidade de matrizes em que estes fragmentos estão inseridos, 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, como as formas de húmus, cuja caracterização permitiu o aprofundamento do conhecimento existente sobre a influência de diferentes matrizes em fragmentos inseridos em uma mesma bacia hidrográfica, e em condições fisiográficas semelhantes. Testou-se, assim, a utilização de particularidades do subsistema de decomposição – diferenças das variáveis entre os sistemas – para a avaliação ambiental.



Diante do exposto, o presente trabalho teve como objetivo identificar e testar a possibilidade de utilização de indicadores ecológicos para avaliação funcional, a partir da caracterização do processo de produção e decomposição da matéria orgânica. Para isso, foram realizadas comparações inter e intra-fragmentos a fim de verificar a existência de variações resultantes das diferentes matrizes em que estão inseridos, e se configura ou não efeito de borda.

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 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.

## 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 km<sup>2</sup>, integra uma das sub-bacias do rio Piabanha, sendo este o principal rio que corta a região por ora estudada.

Por apresentar diferentes “situações geográficas” em seu baixo, médio e alto curso, além do fato de parcela significativa de sua área estar inserida nos limites do Parque Nacional da Serra dos Órgãos (PARNASO), a bacia hidrográfica do Bonfim torna-se uma relevante bacia experimental para estudos que podem ser comparados com outros que utilizem esta mesma escala de análise. O baixo curso 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 estende 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.

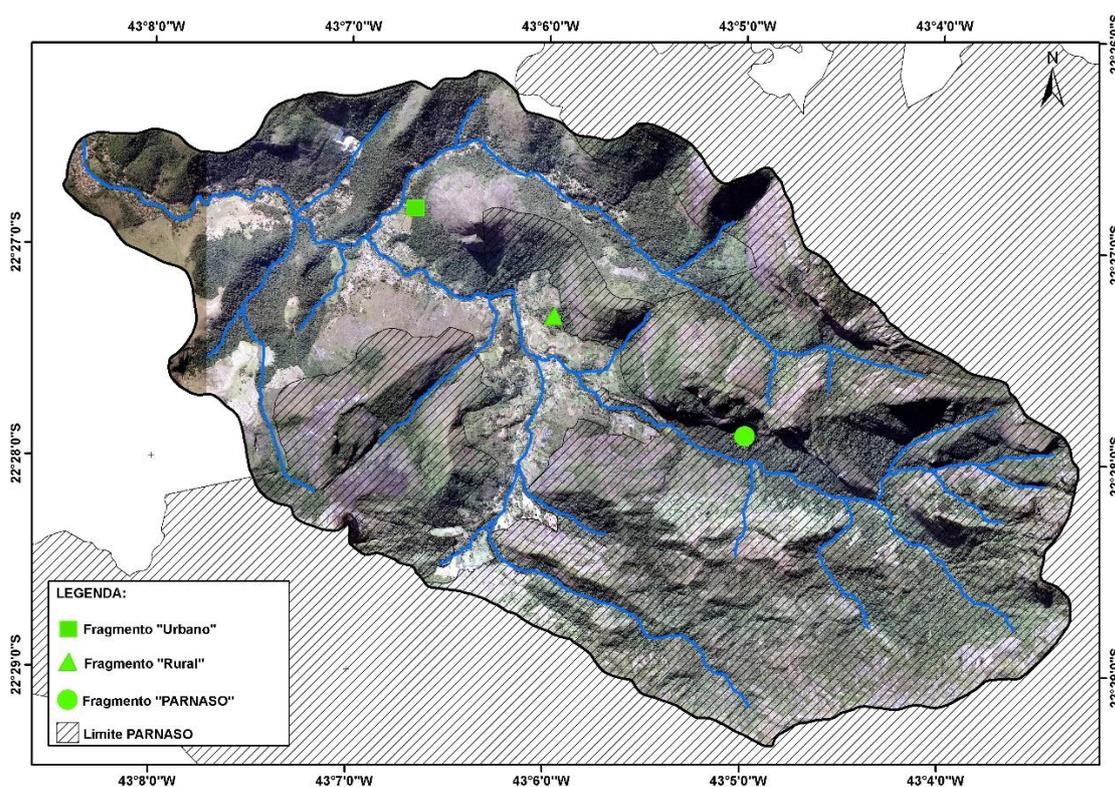
## MATERIAIS E MÉTODOS

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); e coleta da camada superficial do solo, composta por material mineral e matéria orgânica humificada (Camada Hemiorrgânica). Todos os procedimentos descritos a seguir foram efetuados por parcela e idênticos para cada parcela.

## Escolha dos fragmentos florestais

Foram escolhidos três fragmentos florestais inseridos em diferentes matrizes ou “situações geográficas” (uso do solo) – urbana, rural e no interior do PARNASO – contemplando a diversidade de paisagens geográficas presente na unidade espacial trabalhada (Figura 1). 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 com moradores na área de estudo.

Figura 1. Localização dos fragmentos estudados na bacia hidrográfica do Bonfim.



Fonte: Organizado pelos autores.

Em cada fragmento foram estabelecidas duas parcelas de 10 metros de comprimento por 5 metros de largura – 5 m x 10 m (50 m<sup>2</sup>), distribuídas em função: da matriz/posição: “Urbano”, “Rural” e “Parnaso”; e da situação na matriz: uma na borda do fragmento e outra 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. Dentro de cada parcela foram estabelecidos pontos amostrais aleatórios para as diferentes coletas e procedimentos.



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 amostrados na bacia hidrográfica do Bonfim, apresentando também a mesma orientação, voltada para Sul-Sudoeste.

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 2a). Caracteriza-se como um depósito de tálus, com um gradiente topográfico elevado. O segundo fragmento tem como objetivo representar a área rural da bacia, presente em seu médio curso, inserido em um vale em que os topos convexos e as áreas com menor declividade são ocupados por atividades agrícolas, principalmente de produção de hortaliças (Figura 2b). 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 2c).

Figura 2. (a) “Fragmento Urbano”; (b) “Fragmento Rural”; (c) “Fragmento Parnaso”.



Fonte: Registros dos autores.

### Coletas de Amostras e Análises Laboratoriais

Para os dados de material orgânico de superfície, foram coletadas aleatoriamente nove amostras por parcela, utilizando-se quadrados de madeira de área conhecida (25 cm x 25 cm – 0,0625 m<sup>2</sup>). As amostras foram secas em estufa à 60° C por 16 horas, e posteriormente peneiradas em malha de 2 mm 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<sup>-1</sup>).



As amostras de solo foram coletadas com o auxílio de anéis de Kopecky, diâmetro de 4,88 cm, altura de 5,28 cm e volume de 98,94 cm<sup>3</sup>, em duas profundidades, de 0 a 5 cm e de 5 a 10 cm. As coletas 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. Essas coletas formaram amostras compostas de 9 por parcela para as duas profundidades, as quais foram enviadas para a Embrapa-Solos e tratadas segundo EMBRAPA (1997). Para ambos os casos foram realizadas análises químicas e de textura do solo, conforme os resultados expostos, porém sem tratamento estatístico.

### Interpretação dos Resultados

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, com a seguinte abreviação: UB – urbano borda; UI – urbano interior; RB – rural borda; RI – rural interior; PB – Parnaso borda; PI – Parnaso interior.

Os fragmentos urbano e rural possuem bordas antrópicas, enquanto o fragmento Parnaso 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 o estoque de material orgânico de superfície na borda tenderá a ser maior do que no interior. Isso, espelha também um comportamento diferenciado em relação às formas de húmus; o que, indubitavelmente, influencia as características físicas e químicas do topo do solo. A mesma hipótese se aplica à comparação do fragmento Parnaso com os demais.

A estatística multivariada foi utilizada na ordenação dos dados a fim de melhor entender as comparações intra e intersistêmica, 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 o Escalonamento Multidimensional Não-Métrico (NMDS ou NMS) (KRUSKAL, 1964), empregando 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).



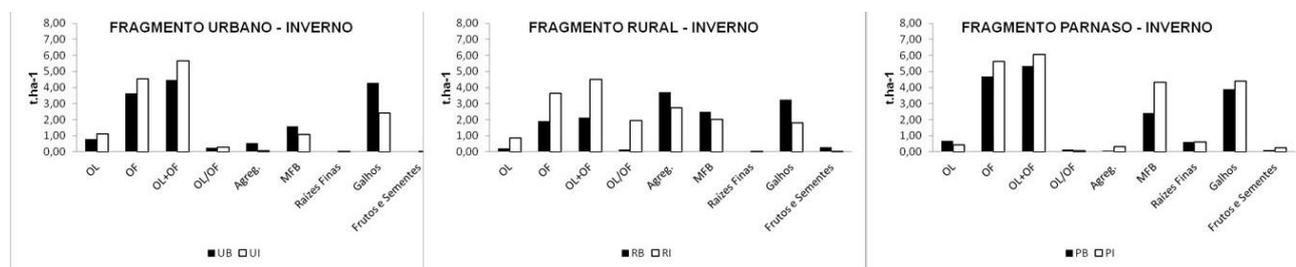
Assim, as comparações a partir de testes estatísticos foram feitas entre matrizes (blocos) e tratamentos (borda e interior). Em geral, coeficientes de variação altos foram observados, os quais confirmam a diversidade de respostas e a heterogeneidade espacial encontradas inter e intra-parcelas.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Camada Holorgânica – Material orgânico de Superfície

Com base nos dados obtidos na coleta de inverno (Figura 3), destacaram-se as quantidades maiores das camadas OL, OF e OL+OF nas parcelas do interior em todos os fragmentos.

**Figura 3.** Camadas do material orgânico de superfície nas parcelas estudadas – coleta de inverno (Fragmentos Urbano, Rural e Parnaso – Borda e Interior. Camadas: OL; OF; OL+OF; OL/OF; Agreg.; MFB; Raízes Finas; Galhos; Frutos e Sementes).



Fonte: dados dos autores.

Em todas as parcelas as quantidades de OF foram maiores em relação à OL. Nesse sentido, os valores da relação OL/OF possuíram 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, portanto, 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, conseqüentemente, de agregados.

Neste sentido, as maiores quantidades de agregados brutos foram encontradas na borda, com maior presença no fragmento rural, com valores significativamente maiores se comparados aos fragmentos urbano e Parnaso. Já em relação ao MFB, os valores deste responderam 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 apresentou 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 apareceram na camada holorgânica dos fragmentos urbano e rural, mas somente no fragmento Parnaso, o que evidenciou 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 apresentaram maiores valores na borda dos fragmentos urbano e rural, já no fragmento Parnaso os maiores valores foram observados no interior. As maiores contribuições ocorreram no UB e PI.

Ao considerarmos o peso total das formas de húmus, observou-se um estoque maior na borda nos fragmentos urbano e rural. No Parnaso, o maior estoque foi encontrado 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 fragmento 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 foram encontrados maiores valores de OL+OF e MFB.

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 1). 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.



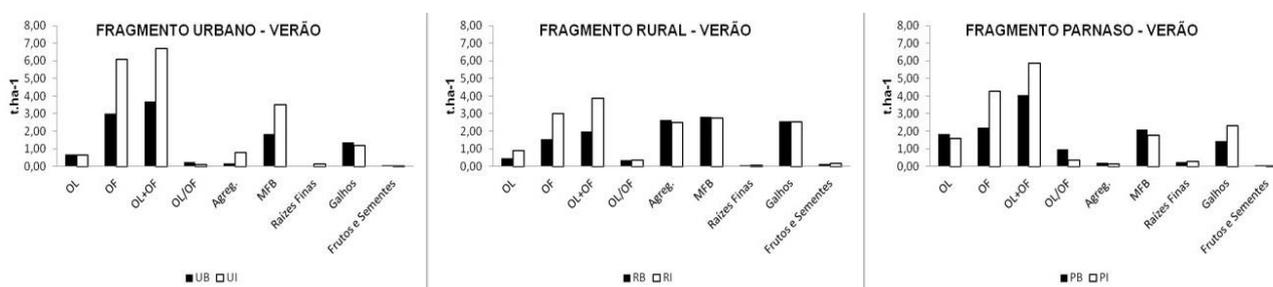
Tabela 1. MRPP da ordenação das camadas das formas de húmus das parcelas estudadas – coleta de inverno.

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

Fonte: dados dos autores.

Por outro lado, com base nos dados de formas de húmus obtidos na coleta de verão (Figura 4), quantidades maiores da camada OL foram observadas nas parcelas da borda dos fragmentos urbano e Parnaso, diferente do rural, onde os valores de OL são maiores na parcela do interior, sendo este praticamente o dobro do encontrado na borda.

Figura 4. Camadas do material orgânico de superfície nas parcelas estudadas – coleta de verão (Fragmentos Urbano, Rural e Parnaso – Borda e Interior. Camadas: OL; OF; OL+OF; OL/OF; Agreg.; MFB; Raízes Finas; Galhos; Frutos e Sementes).



Fonte: dados dos autores.

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

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

Os dados de agregados brutos e material fino bruto foram maiores na borda nos fragmentos rural e Parnaso, 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, frutos e sementes praticamente não estiveram presentes nas amostras coletadas em todos os fragmentos, com exceção do Parnaso 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 foram bem próximos, e maiores no interior em relação ao fragmento Parnaso.

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 fragmento Parnaso, 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.

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 2). 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 2.** 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

Fonte: dados dos autores.

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 fragmento Parnaso, onde o horizonte OL mais do 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. t.ha<sup>-1</sup>) e o verão (0,95 t.ha<sup>-1</sup>).

Os valores de agregados brutos apresentaram tendência de redução entre as coletas, com exceção do fragmento 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 evidenciou maior velocidade de decomposição no verão, principalmente no fragmento 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, a aeração e a disponibilidade de água.

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 fragmento Parnaso. Já no fragmento urbano, há um aumento do horizonte OL e redução do OF.

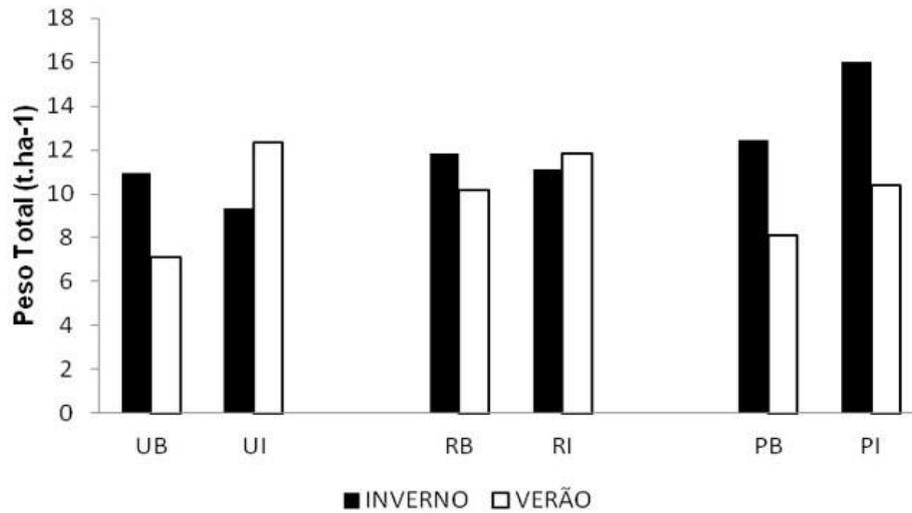
A produção total aumentou no urbano e no rural e diminuiu no Parnaso entre as coletas realizadas. Assim, o fragmento Parnaso é o único que manteve o padrão observado na borda, com quantidades maiores no interior.

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

Assim, o peso total das formas de húmus (Figura 5) apresentou uma tendência de diminuição do inverno para o verão, evidenciando maior velocidade de decomposição, o que não foi observado nas parcelas do interior dos fragmentos urbano e rural. O fragmento Parnaso é o que apresentou tal tendência de forma mais nítida, demonstrando uma condição natural respondendo às variações ambientais que interferem no processo de decomposição.



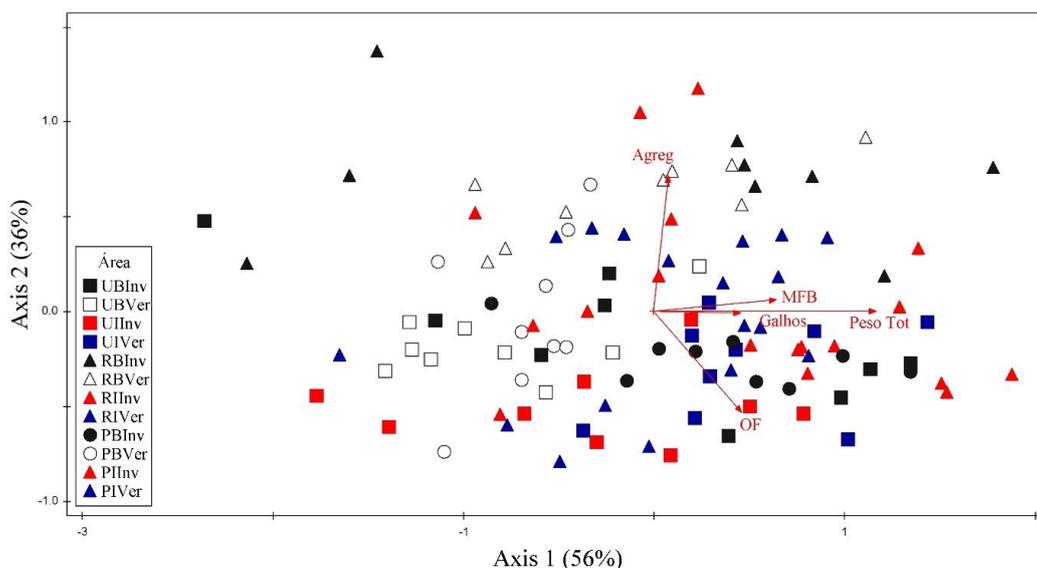
Figura 5. Peso total das formas de húmus nas coletas de inverno e verão.



Fonte: dados dos autores.

Os resultados das formas de húmus coletadas no inverno e no verão foram ordenados usando NMS (Figura 6), 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 axis 1 representa 56% dos dados, enquanto o axis 2 representa 36%. Juntos, os dois eixos são capazes de expressar a relação existente entre 92% dos dados amostrados.

Figura 6. 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.



Fonte: dados dos autores.



Pôde-se observar que apenas as parcelas do fragmento rural não apresentaram variação entre as coletas de inverno e verão, porém diferiram das parcelas dos demais fragmentos por apresentarem maiores quantidades de agregados e menores de OF. As parcelas dos fragmentos urbano e Parnaso apresentaram redução dos valores de MFB, galhos e peso total entre as coletas de inverno e verão, o que evidenciou uma decomposição mais rápida no verão que se reflete em menor estoque.

A análise MRPP revelou que apenas nas parcelas do fragmento rural não houve diferença significativa entre as coletas de inverno e verão (Tabela 3). Tal fato evidenciou algum distúrbio que impede a existência de maiores taxas de decomposição nos meses de verão. Foi possível perceber também que as diferenças mais significativas foram encontradas no fragmento Parnaso, que se apresenta como o ecossistema que melhor responde às condições ambientais que favorecem o processo de decomposição.

**Tabela 3.** 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

Fonte: dados dos autores.

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, à 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 fragmento Parnaso apresentou as 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).

### **Camada Hemiorgânica – Fertilidade e granulometria do solo**

Os resultados das análises de rotina de fertilidade e granulometria estão apresentados na Tabela 4 (profundidade 0 – 5 cm) e na Tabela 5 (profundidade 5 – 10 cm).

Foi possível 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.

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 – 5 cm e 5 – 10 cm) foi possível observar maiores teores de areia e menores quantidades de silte na borda dos fragmentos urbano e Parnaso, o que não se repetiu no rural, onde as maiores teores de areia e menores de silte foram encontradas no interior. Em todos os fragmentos os menores valores de argila foram observados na parcela da borda, com maiores diferenças entre borda e interior no urbano e no Parnaso, praticamente a metade de um para o outro.

Nas parcelas estudadas houve um predomínio de solos de textura média, com exceção do urbano interior, de textura argilosa, e do Parnaso borda, de textura arenosa.



**Tabela 4.** Descrição geral da fertilidade do solo e granulometria (0 – 5 cm). 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<sup>-3</sup>), Na, K (mg dm<sup>-3</sup>), V (%), C, N, C/N (g kg<sup>-1</sup>), pH (H<sub>2</sub>O 1:2,5), Areia, Silte, Argila (g kg<sup>-1</sup>).

FRAGMENTOS FLORESTAIS	URBANO		RURAL		PARNASO	
	Borda	Interior	Borda	Interior	Borda	Interior
<b>0 – 5 cm</b>						
pH	4,8	5,3	5,9	4,7	4,4	4,2
Al <sup>3+</sup>	0,3	0,1	0,1	0,5	1,8	2,3
Ca <sup>2+</sup>	2,6	3,9	13,7	3,7	1,2	0,7
Mg <sup>2+</sup>	2,7	0,8	2,3	1,5	1,2	0,8
Na <sup>+</sup>	0	0	0	0	0	0
K <sup>+</sup>	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	19,8	18,0	47,4	32,7	45,3	31,9
N	4,4	3,1	7,5	5,0	5,1	3,6
C/N	4,50	5,81	6,32	6,54	8,88	8,86
Areia	620	342	468	548	692	606
Silte	180	258	312	212	228	254
Argila	200	400	220	240	80	140

Fonte: dados dos autores.



**Tabela 5.** Descrição geral da fertilidade do solo e granulometria (5 – 10 cm). 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<sup>-3</sup>), Na, K (mg dm<sup>-3</sup>), V (%), C, N, C/N (g kg<sup>-1</sup>), pH (H<sub>2</sub>O 1:2,5), Areia, Silte, Argila (g kg<sup>-1</sup>).

FRAGMENTOS FLORESTAIS	URBANO		RURAL		PARNASO	
	Borda	Interior	Borda	Interior	Borda	Interior
<b>5 – 10 cm</b>						
pH	4,3	4,9	5,9	4,3	4,4	4,2
Al <sup>3+</sup>	0,9	0,3	0	1,5	1,6	2,3
Ca <sup>2+</sup>	1,1	1,8	12,2	1,1	1,0	1,3
Mg <sup>2+</sup>	0,6	0,9	2,3	1	1,1	1,3
Na <sup>+</sup>	0	0	0	0	0	0
K <sup>+</sup>	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	13,0	10,8	41,5	21,5	21,7	31,5
N	2,2	2,3	6,2	3,2	3,0	4,4
C/N	5,91	4,70	6,69	6,72	7,23	7,16
Areia	574	338	480	524	788	598
Silte	186	242	300	216	132	242
Argila	240	420	220	260	80	160

Fonte: dados dos autores.



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 a 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 fragmento Parnaso, que não apresentou variação de acidez entre as profundidades. As parcelas do urbano e a interior do rural apresentaram aumento da acidez entre as profundidades amostradas.

A parcela interior do fragmento rural é a que apresentou 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<sup>-3</sup> na profundidade de 0 – 5 cm e 12,2 cmolc dm<sup>-3</sup> na profundidade de 5 – 10 cm), valores esses muito discrepantes em relação às demais parcelas estudadas. 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), em que a acidificação diminui a riqueza de espécie.

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 foram expressivamente maiores, nas duas profundidades, principalmente na borda – 16,7 cmolc dm<sup>-3</sup> (0 – 5 cm); e 14,9 cmolc dm<sup>-3</sup> (5 – 10 cm), o que representa valores bem discrepantes em relação às demais parcelas.

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 fragmento Parnaso foram 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 foram observados no urbano e os maiores na borda do rural e interior do fragmento Parnaso.

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 foi maior nas parcelas da borda, com exceção do fragmento urbano, onde as porcentagens são bem próximas (48% na borda e 50% no interior). Já nos fragmentos rural e Parnaso os valores da borda representaram 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 apresentou valores maiores (praticamente o dobro) na parcela do interior (36%) em relação à borda (17%). No fragmento rural nessa profundidade os valores foram bem discrepantes entre a parcela da borda (66%) e do interior (15%). Por fim, o fragmento Parnaso apresentou os mesmos valores de V (%) para a borda e interior (15%).

Com o aumento da profundidade, os valores de V diminuíram, com exceção do interior do fragmento Parnaso. Porém, apesar de menor, os valores da borda do rural entre 0 – 5 cm e 5 – 10 cm foram 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 porcentagem 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 porcentagem 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 no Quadro 1.

**Quadro 1.** Classificação dos solos amostrados em Eutróficos ou Distróficos de acordo com a porcentagem de saturação em bases (V%).

FRAGMENTOS	URBANO		RURAL		PARNASO	
	Borda	Interior	Borda	Interior	Borda	Interior
PARCELAS						
CLASSIFICAÇÃO (0 – 5 cm)	Distrófico (48%)	Distrófico (50%)	Eutrófico (68%)	Distrófico (30%)	Distrófico (16%)	Distrófico (8%)

Fonte: dados dos autores.

Mais uma vez, as parcelas da borda do fragmento rural destacaram-se, devido à influência da agricultura. Porém, os dados mostraram que os fragmentos florestais estudados na bacia hidrográfica do Bonfim apresentaram 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 apresentaram menores quantidades no urbano e no rural se comparados ao Parnaso, fragmentos estes em que a ação bacteriana e fúngica foi mais evidente.

Em relação aos teores de C e N, na profundidade de 0 – 5 cm os maiores valores foram encontrados na borda. Os fragmentos rural e Parnaso foram os que apresentam os maiores valores, que são semelhantes principalmente em relação aos teores de C. Já na profundidade de 5 – 10 cm, também foram observados maiores valores na borda, com exceção do fragmento Parnaso, onde os valores na borda de C ( $21,7 \text{ g kg}^{-1}$ ) e N ( $3,0 \text{ g kg}^{-1}$ ) são menores que no interior ( $31,5 \text{ g kg}^{-1}$  e  $4,4 \text{ g kg}^{-1}$ , respectivamente).

Os teores de C diminuem com a profundidade, porém no interior do fragmento Parnaso esses valores foram bem próximos –  $31,9 \text{ g kg}^{-1}$  (0 – 5 cm); e  $31,5 \text{ g kg}^{-1}$  (5 – 10 cm). Quanto ao teor de N esta relação se mantém, porém nesse caso na parcela do interior do fragmento Parnaso de fato o valor do N foi maior na profundidade 5 – 10 cm ( $4,4 \text{ g kg}^{-1}$ ) em comparação com a profundidade 0 – 5 cm ( $3,6 \text{ g kg}^{-1}$ ).

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, supõe-se que houve uma recente adubação nitrogenada (KIEHL, 1979), em que a deposição de Nitrogênio aumenta a produtividade.

Com isso, as relações C/N obtidas destoam muito do padrão esperado e observado em outros estudos (GARAY e SILVA, 1995; KINDEL e GARAY, 2001; XIAOGAI *et al.*, 2013; dentre outros), o que pode estar relacionado a equívocos cometidos durante os ensaios realizados. Porém, ao se trabalhar com a proporção dos dados de forma comparativa, percebeu-se na profundidade de 0 – 5 cm maiores valores na parcela do interior, com exceção do fragmento Parnaso, onde os valores foram muito próximos. Já na profundidade de 5 – 10 cm, no fragmento urbano os maiores valores foram observados na parcela da borda, enquanto nos fragmentos rural e Parnaso esses valores mais uma vez foram bem próximos. Porém, os dados revelaram uma tendência de aumento das relações C/N do baixo para o alto curso da bacia, na seguinte ordem: urbano < rural < Parnaso, em que apesar dos valores muito baixo, o fragmento Parnaso seria o que mais se aproxima de uma situação de matéria orgânica humificada.

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 desses 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 da vegetação, por dois motivos principais: o compartimento da serapilheira contém a maioria dos nutrientes que a vegetação necessita; e a taxa em que a serapilheira é degradada controla a taxa em que os nutrientes serão absorvidos pela vegetação.

### Considerações Finais

O desenvolvimento da presente pesquisa possibilitou confirmar que a sustentabilidade de um ecossistema é formada por vários aspectos apresentados na relação solo-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 se torne novamente disponível para ser utilizado em funções metabólicas e estruturais de vegetais e animais.

O presente estudo, ao propor um maior entendimento sobre o funcionamento de fragmentos florestais a partir de indicadores funcionais globais, que sintetizam processos ecossistêmicos como produção e decomposição de matéria orgânica, 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 estimação 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.

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.

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 se insere 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.

Os dados apresentados permitem afirmar que de fato as formas de húmus são sensíveis às matrizes e à situação da parcela no fragmento (borda e interior), permitindo reconhecer níveis de antropização distintos. Assim, as formas de húmus guardam padrões com esses níveis de antropização.

Espera-se que este estudo tenha contribuído para uma mais eficiente caracterização de ecossistemas florestais da Mata Atlântica, evidenciando a heterogeneidade do seu funcionamento. Porém, cabe ressaltar que, 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.

### Agradecimentos

Ao saudoso professor Evaristo de Castro Junior e todos que fizeram parte do Núcleo de Ecologia de Solos Aplicada à Geografia (NESAG), Departamento de Geografia da Universidade Federal do Rio de Janeiro.

### Referências Bibliográficas

- ARAÚJO, R. S. *et al.* 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.
- BEGON, M.; HARPER, J. L.; TOWNSEND, C. R. **Ecology: individuals, populations and communities**. Oxford Library Blackwell, 1996.
- BIONDINI, M.E., BONHAM, C.D., REDENTE, E.F. Secondary successional patterns in a sagebrush (*Artemisia tridentata*) community as they relate to soil disturbance and soil biological activity. **Vegetatio**, 60(1), p. 25-36, 1985.
- BRAY, J.R. e CURTIS, J.T. An ordination of the upland forest communities of southern wisconsin. **Ecological Monographs**, 27, p. 325-349, 1957.
- CAMPOS, E. H. *et al.* Acúmulo de serrapilheira em fragmentos de mata mesofítica e cerrado stricto sensu em Uberlândia – MG. **Sociedade e Natureza**, Uberlândia, MG, n. 20, v. 1, p. 189-203, 2008.
- CASTRO Jr., E. **O papel da fauna endopendônica na estruturação física do solo e se significado para a hidrologia de superfície em região montanhosa florestal – PNT-RJ**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 1991.
- 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, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2002.
- CORREA, D. R. **Horizontes orgânicos sob floresta ombrófila densa no litoral paranaense**. Dissertação de Mestrado. Pós-graduação em Ciência do Solo, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, 2007.
- DELITTI, W. B. C. Estudos de ciclagem de nutrientes: instrumentos para a análise funcional de ecossistemas terrestres. **Oecologia Brasiliensis**, v.1, p. 469-486, 1995.



- EMBRAPA. **Manual de métodos de análise do solo**. Rio de Janeiro: 2ª ed., 1997.
- FACELLI, J. M. e PICKETT, S. T. A. Plant Litter: its dynamics and effects on plant community structure. **The Botanical Review**, n.57, p. 1-32, 1991.
- GARAY, I. e SILVA, B. A. O. Húmus florestais: síntese e diagnóstico das interrelações vegetação/solo. **Oecologia Brasiliensis**, 1, p. 19-46, 1995.
- KIEHL, E. J. **Manual de edafologia – relação solo-planta**. São Paulo: CERES, 1979.
- KINDEL, A. e GARAY, I. Caracterização de ecossistemas da Floresta Atlântica de Tabuleiros por meio das formas de húmus. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, 25, p. 551-563, 2001.
- KRUSKAL, J. Nonmetric multidimensional scaling: A numerical method. **Psychometrika**, v.29, n.2, p. 115-129, 1964.
- MARTINS, S. V. e 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. e MEFFORD, M.J. **PC-ORD: multivariate analysis of ecological data**. MjM Software Design, 1999.
- 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, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2005.
- 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.
- ODUM, E. P. **Fundamentos de Ecologia**. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1971.
- OLIVEIRA, R. R. **O rastro do homem na floresta: sustentabilidade e funcionalidade da Mata Atlântica sob manejo caçara**. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 1999.
- 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. Plantesoil feedbacks mediated by humus forms: A review. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 57, p. 1048-1060, 2013.
- 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, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2011.
- SWIFT, M. J., HEAL, O. W. e ANDESON, J. M. **Decomposition in Terrestrial Ecosystems**. University of California Press, Berkley, Los Angeles, 1979.
- TOMÉ Jr., J. B. **Manual para interpretação de análise de solo**. Guaíba. Agropecuária, 1997.
- XIAOGAI, G. *et al.* Effect of litter substrate quality and soil nutrients on forest litter decomposition: A review. **Acta Ecologica Sinica**, 33, p. 102-108, 2013.
- ZANELLA, A. *et al.* A European morpho-functional classification of humus forms. **Geoderma**, 164, p. 138-145, 2011a.
- ZANELLA, A. *et al.* **European humus forms: Base reference**, 2011b. Disponível em: [https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00541496/file/Humus\\_Forms\\_ERB\\_31\\_01\\_2011.pdf](https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00541496/file/Humus_Forms_ERB_31_01_2011.pdf)