Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: www.ufpe.br/rbgfe

Influência da estrutura florestal nas características físico-químicas do solo e no estoque de serrapilheira¹

Luana Balbino dos Santos² e Antônio José Teixeira Guerra³

¹Parte da pesquisa de Mestrado, executada pelo primeiro, e supervisionada pelo segundo autor.

²Doutoranda/LAGESOLOS/Depto. De Geociências/Instituto de Geografia/UFRJ; E-mail: luanabs.ufrj@gmail.com

³Prof. Dr./Orientador/LAGESOLOS/Depto. De Geociências/Instituto de Geografia/UFRJ; E-mail: antoniotguerra@gmail.com

Artigo submetido em 10/01/2015 e aceite em 20/02/2015

RESUMO

Remanescentes florestais constantemente ameaçados por ação antrópica apresentam como resultado da fragmentação, estágios sucessionais diversos, que refletem em diferenças na sua estrutura e composição florística, nos processos de ciclagem de nutrientes e nas propriedades físico-químicas do solo, sendo estes bons indicadores do grau de interferência no sistema. O presente artigo tem como objeto de estudo fragmentos florestais de Mata Atlântica inseridos na bacia hidrográfica do rio Boa Esperança (Nova Friburgo – RJ) e têm como objetivo caracterizar a dinâmica das relações existentes entre a estrutura da vegetação, as características do solo e o estoque de serrapilheira, buscando-se responder como alterações nessas características, resultantes da fragmentação florestal e de atividades antrópicas, ameaçam os sistemas florestais. Para observar se tais sistemas florestais apresentam sua funcionalidade ameaçada, foram feitas coletas de solo, de serrapilheira e de dados sobre a estrutura da vegetação em três remanescentes florestais com diferentes características. Foram analisadas as características físico-químicas do solo, tais como densidade real e aparente, porosidade, textura, matéria orgânica e pH. Como resultado, foi observado que o remanescente florestal que não está totalmente isolado apresentou características menos suscetíveis a erosão e uma melhor integridade do sistema florestal. Conclui-se, que apesar de estarem próximos e localizados em uma mesma bacia hidrográfica, os fragmentos florestais estão sujeitos a diferentes impactos, em função da matriz a qual estão inseridos, do grau de isolamento em que se encontram e do quanto estão sujeitos a atividades antrópicas.

Palavras-chave: Fragmentação Florestal, Erosão dos Solos, Matéria Orgânica, Serrapilheira, Estrutura da Vegetação.

Influence of forest structure on soil physicochemical properties and litter stock

ABSTRACT

Forest remnants constantly threatened by human actions have as a result of fragmentation, different succession stages, which reflect differences in their structure and composition, the processes of nutrient cycling and the physicochemical properties of soil, which are good indicators of the degree of interference in the system. This article have as object of study Atlantic forest fragments embedded in the river basin Boa Esperança (Nova Friburgo - RJ) and aim to characterize the dynamics of the relationship between vegetation structure, soil characteristics and litter, seeking to answer how changes in these characteristics, resulting from forest fragmentation and human activities threaten these forest systems. To see if these systems have their functionality threatened forest, soil samples were collected and data on the structure of the vegetation in three forest areas with different characteristics. We analyzed the physical and chemical characteristics of soil, such as real and apparent density, porosity, texture, organic matter and pH. As a result, it was observed that the remnant forest which is not isolated is less susceptible to erosion and has greater integrity of the forest. It is concluded that despite their proximity and located in the same basin, forest fragments are subject to different impacts, depending on the matrix which are inserted, the degree of isolation where they are and how are subject to anthropogenic activities.

Keywords: Forest Fragmentation, Soil Erosion, Organic Matter, Litter, Vegetation Structure.

Introdução

Ao longo dos anos, as diversas formas de manejo ocasionaram mudanças na paisagem em função de alterações na composição dos recursos florestais, alterações nas propriedades físico-químicas do solo e, conseqüentemente, mudanças na funcionalidade da floresta.

Ab`Saber (2003) afirma que “*As paisagens têm o caráter de heranças de processos de atuação antiga, remodelados e modificados por processos de atuação recente.*” Assim, entendendo-se a relação do homem com a paisagem é possível compreender suas transformações ao longo do tempo e do espaço. Sauer (2004) no artigo “*The morphology of landscape*” define a paisagem como uma associação distinta de formas, ao mesmo tempo físicas e culturais, e que tem sua identidade baseada na constituição reconhecível, nos limites e nas relações genéricas com outras paisagens que constituem um sistema geral. Para o autor, não é possível compreender a paisagem sem considerar as suas relações com o tempo e o espaço, sua perspectiva dinâmica, e em constante desenvolvimento e/ou substituição.

A fragmentação florestal, que pode ser entendida como o grau de ruptura de uma unidade da paisagem, inicialmente contínua (Metzger, 2003), é resultado da transformação da paisagem, e torna mais difícil a conservação da biodiversidade desse bioma (Zaú, 1998; Pádua, 2002). Tal fragmentação ocorre quando um ecossistema é subdividido pela ação humana, ou mesmo por perturbações naturais, o que resulta em uma paisagem na qual permanecem fragmentos da cobertura original inseridos em uma matriz com características totalmente diferentes.

A fragmentação da cobertura florestal desencadeia uma série de mudanças na paisagem, incluindo alterações no regime hídrico e modificações na dinâmica interna da comunidade, tais como o aumento de trepadeiras (Saunders *et al.*, 1991), a invasão de espécies alóctones, a extensão do efeito de borda e a perda da biodiversidade (Turner, 1996) e ameaçadas de extinção que levam a homogeneização biótica entre os fragmentos (Oliveira *et al.*, 2004).

Remanescentes florestais constantemente ameaçados por ação antrópica apresentam como resultado da fragmentação estágios sucessionais diversos, que refletem em diferenças na sua

estrutura, composição florística, nos processos de ciclagem de nutrientes e nas propriedades físico-químicas do solo, sendo estas características indicadoras do grau de interferência na floresta.

Um exemplo de fragmentação da Mata Atlântica pode ser visto na bacia hidrográfica do rio Macaé, litoral norte fluminense do Estado do Rio de Janeiro. Nesta região, a cobertura vegetal original, caracterizada por Mata Atlântica, foi intensamente degradada pela exploração da madeira e pelo cultivo da cana-de-açúcar a partir do século XVIII.

Diante da problemática da perda da funcionalidade florestal em decorrência da alteração da paisagem, o presente estudo busca caracterizar a dinâmica das relações existentes entre a estrutura da vegetação, as características físico-químicas do solo e o estoque de serrapilheira, visando responder como a fragmentação florestal na Área de Proteção Ambiental de Macaé de Cima ameaça a integridade dos sistemas florestais.

Material e métodos

Área de Estudo

Compreende remanescentes florestais em diferentes estágios de regeneração e graus de isolamento, inseridos na Área de Proteção Ambiental de Macaé de Cima. Os remanescentes encontram-se na bacia hidrográfica do rio Boa Esperança no município de Nova Friburgo, que possui uma área de aproximadamente 52,7 km² e tem como principais cursos d'água os rios Boa Esperança e São Pedro (Figura 1). A bacia do rio Boa Esperança tem seus solos ocupados predominantemente por produtores rurais e por empreendimentos voltados para o turismo. Tal região, com predomínio de Cambissolos, apresenta alguns de seus remanescentes florestais ameaçados pelo aumento das pastagens, pela pressão antrópica, decorrente do aumento populacional das últimas décadas, e pela ampliação de áreas voltadas para a agricultura e/ou extrativismo de recursos vegetais, sem manejo adequado em encostas íngremes e topos de morro, o que leva ao desmatamento e intensificação de processos erosivos na região (Rambaldi, 2003; Bohrer & Barros, 2006).

Figura 1. Localização da área da bacia hidrográfica do rio Boa Esperança e da Área de Proteção Ambiental de Macaé de Cima, Nova Friburgo (RJ).

Coleta de Dados - foi realizado o levantamento bibliográfico e análise da bacia do rio Boa Esperança através do uso de mapas temáticos de uso e cobertura do solo, na escala de 1:50.000, imagens de satélites e trabalhos de campo. Foram considerados como fragmentos os remanescentes florestais de Mata Atlântica, inseridos em um mosaico de paisagens, ou seja, inseridos numa matriz de plantio, pastagens, áreas agrícolas, moradias e áreas destinadas ao turismo. Ao todo, foram três remanescentes florestais, como pode ser visto na Figura 2. O Fragmento 1, com aproximadamente 64 hectares, fica no centro de Lumiar (5º distrito do município de Nova Friburgo - RJ) e é menos recortado, ou seja, tem menos borda em relação a sua área. O Fragmento 2 fica ao norte da bacia, tem acesso mais limitado

e não teve seu tamanho estimado por não ser um fragmento florestal isolado, estando conectado a outros remanescentes locais formando um corredor de vegetação que vai além dos limites da bacia, o que sugere um melhor estado de preservação. O Fragmento 3 localiza-se ao longo de uma estrada e possui muitas evidências de atividade antrópica no seu anterior, seu tamanho aproximado é de 167 hectares.

Após a escolha dos fragmentos e da caracterização da área de estudo, seguiu-se para os trabalhos de campo para coleta das amostras de solo, serrapilheira e obtenção de dados da vegetação. Os trabalhos de campo foram realizados em dois períodos ao longo do ano, que abrangeu um período mais seco no inverno (agosto de 2010) e outro mais úmido no verão (fevereiro de 2011).

Figura 2. Mapa indicando a localização dos fragmentos florestais e os pontos de coleta na bacia hidrográfica do rio Boa Esperança - Nova Friburgo (RJ).

As coletas foram realizadas no interior dos três remanescentes florestais, ao longo de um *transect* de 60 m de comprimento e 5 m de largura. Para se evitar possíveis efeitos de borda, o *transect* teve início a uma distância de 15 metros da borda do fragmento. As coletas foram realizadas a cada dez metros de comprimento, sendo coletada uma amostra para cada lado do *transect*, o que totaliza 14 pontos de coleta em cada fragmento, e um total de 42 pontos de coleta no final do estudo.

A caracterização da vegetação foi feita através de indicadores dos estágios sucessionais e/ou grau de integridade da floresta, tais como a altura média das árvores e altura do fuste, que foram obtidas usando-se uma vara de 1 m, e diâmetro a altura do peito (DAP), medido com fita métrica a 1,30 m do solo, somente nas árvores com DAP maior que 5,0 cm. Tais medidas foram feitas por amostragem, medindo o maior número de árvores possíveis dentro do *transect*, totalizando-se 84 árvores no Fragmento 1, 84 no Fragmento 2 e 79 árvores no Fragmento 3. Ao longo do trabalho de campo foram obtidos dados de declividade da encosta através da bússola de Bruton, e estimativa de altitude através de GPS, além de observações quanto à abertura do dossel, a presença de estrato arbustivo e de epífitas, evidência de corte e trilhas. Foram obtidos dados de precipitação através da estação pluviométrica da Agência Nacional das Águas de Nova Friburgo

(RJ) e buscou-se junto a moradores locais, informações sobre o histórico de uso da floresta.

Para as coletas de serrapilheira, foi coletado o horizonte holorgânico, através de uma superfície amostral conhecida (50 cm x 50 cm). A superfície amostral foi colocada sobre as camadas de serrapilheira e todas as camadas que estavam no interior do quadrado foram coletadas para descrição em laboratório das camadas presentes.

Foram feitas coletas de amostras de solo deformadas e indeformadas usando-se trado mecânico e anel volumétrico respectivamente, ambas em superfície (0-20 cm) e dentro da mesma área amostral onde se coletou a serrapilheira.

Análise dos Dados - tanto as análises físicas, que incluem textura, densidade real, densidade aparente e porosidade, quando as análises químicas, que incluem a acidez do solo (pH) e o percentual de matéria orgânica, seguiram a metodologia proposta pela Embrapa (1997). As amostras de serrapilheira, foram secas em estufa a uma temperatura de 60° C, e separadas nos seus horizontes holorgânicos, de acordo com Babel (1975), Malagon *et al.* (1989) e Garay & Silva (1995), e posteriormente pesadas, a fim de se obter para cada ponto de coleta a camadas de serrapilheira mais significativa no solo.

Os resultados das análises em laboratório foram relacionados com os dados obtidos em campo, de acordo com a bibliografia, através de gráficos e análises estatísticas. Para os dados das

características da vegetação foi feita uma média para cada fragmento. Primeiro foram relacionados os dados obtidos em cada local de coleta, a fim de se obter uma análise das relações intra-sistêmicas em cada remanescente. Em um segundo momento relacionou-se os dados de um remanescente com o outro, buscando-se uma análise intersistêmica dos fragmentos florestais estudados.

As análises estatísticas objetivam organizar os dados levantados ao longo do estudo permitindo a compreensão das relações existentes entre as características levantadas. Os dados da pesquisa foram organizados em tabelas no software Excel 2007 e analisados estatisticamente através do software estatístico *R Project*, versão 2.12.0 para o cálculo da estatística descritiva e inferencial.

Para a verificação sobre a distribuição normal dos dados, foi adotado o teste de Tabela 1. Estrutura da vegetação para os três fragmentos, onde n = número de amostras. *A variável tem distribuição normal em nível de 5% de significância ($P > 0.05$), ou seja, 95% de confiança. **A variável tem distribuição normal, em nível de 1% de confiança ($P > 0.001$), ou seja, 99,9% de confiança.

normalidade de Anderson-Darling. Os dados obtidos foram submetidos a testes de comparação das médias: Teste de Tukey, *t-student*, ou Mann-Whitney, dependendo dos resultados do teste de normalidade.

Resultados

Características da Vegetação – o fragmento com o maior valor de DAP médio foi o Fragmento 1, que apresentou 40,4 cm, com uma diferença significativa para o Fragmento 2 e o Fragmento 3, como é possível ver na Tabela 1. Em relação à altura das árvores nos fragmentos estudados, o maior valor médio encontrado foi no Fragmento 2, que apresentou a altura média de árvores de 6, 12 m.

	Fragmento 1		Fragmento 2		Fragmento 3	
	DAP (cm)	Altura (cm)	DAP (cm)	Altura (cm)	DAP (cm)	Altura (cm)
Média	40.39	485.71	34.27	612.05	28.08	472.39
Desvio Padrão	18.51	159.40	11.28	148.72	8.75	117.02
Máximo	89.17	966.67	55.83	933.33	51.43	690.00
Mínimo	19.17	291.67	17.25	433.33	15.57	360.00
N	84	84	84	84	79	79
Teste de Anderson-Darling (p-valor)	0.1105*	0.006846**	0.3344*	0.1012*	0.09417*	0.004643**

A análise estatística revelou que em relação ao DAP, as diferenças são significativas apenas entre o Fragmento 1 e o Fragmento 3, onde $p\text{-valor} < 0.05$. Isto fica claro ao analisar o boxplot para DAP da Figura 3, onde o Fragmento 2 não se diferencia tanto dos valores dos demais

fragmentos, porém os valores médios do Fragmento 3 ficam bem abaixo dos valores médios de DAP do Fragmento 1, que possuem 50% de seus dados entre 25cm e 45 cm de DAP, enquanto os Fragmento 3 possui 50% de seus valores de DAP entre 20cm e 30cm.

Figura 3. Boxplot para os valores médios de DAP dos três fragmentos, e quadro com resultado do teste *t-student*.

Teste t-student para DAP		p-valor
Fragmento 1	Fragmento 2	>0.05
Fragmento 2	Fragmento 3	>0.05
Fragmento 1	Fragmento 3	<0.05

Em relação à altura, a diferença não foi significativa entre os fragmentos 1 e 3 ($p>0,05$), porém as diferenças foram significativas ao

comparar as alturas do Fragmento 2 com as alturas dos demais fragmentos ($p\text{-valor}<0,05$), como pode ser visto na Figura 4.

Figura 4. Boxplot para os valores médios de altura dos três fragmentos, e quadro com o resultado do teste *t-student*.

Teste t-student para altura		p-valor
Fragmento 1	Fragmento 2	<0.05
Fragmento 2	Fragmento 3	<0.05
Fragmento 1	Fragmento 3	>0.05

No Fragmento 1, observou-se em idas a campo, a existência de clareiras, restos de lixo principalmente próximo a borda, além de evidências de cortes e retiradas de árvores, o que aponta para a presença de atividade antrópica no interior da floresta. Notou-se também, ao observar a vegetação nos dois períodos analisados (inverno e verão), a existência de muitos galhos secos, além da ausência de epífitas, lianas e bromélias, o que são indícios de um ambiente mais seco e mais aberto, onde há muitas clareiras e a luz chega até os estratos mais próximos ao solo. No Fragmento 2, não foram observadas epífitas e bromélias de forma expressiva, e foram encontrados muitos galhos secos, principalmente no inverno. Apesar de este fragmento ser aparentemente mais protegido da interferência humana e não haver muitas clareiras, o dossel apresentava-se mais aberto, devido à presença de muitos troncos derrubados, provavelmente em função da queda de árvores associada à declividade acentuada da encosta, que chega a 35°. No Fragmento 3, foi observado durante as idas a campo, um ambiente com maior umidade que o fragmento 1 e 2. Esta maior umidade pode ser percebida pela presença de fungos em grande quantidade nos troncos de árvores e rochas, e pela camada expressiva de malha fina (*camada H* de serrapilheira) depositada sobre o primeiro horizonte do solo, indicando uma decomposição mais rápida. Porém, esta maior umidade não caracteriza um dossel mais fechado, tanto que é visível um estrato arbustivo bem desenvolvido, favorecido pela incidência de luz até o solo. É importante destacar que neste fragmento havia muitos blocos rochosos no solo, o que caracteriza um solo raso e/ou que sofre constante retirada de sua camada superficial. É visível neste fragmento árvores de grande porte que se destacam em meio a árvores mais jovens e de menor porte, provocando uma descontinuidade das copas.

Características do Solo - os fragmentos apresentaram variações na textura do solo, tanto entre si como dentro do próprio fragmento. O Fragmento 1 apresentou nos dois períodos (inverno e verão) solos com textura franca, franco arenosa e franco argilo arenosa. No Fragmento 1, é possível observar que a fração areia é predominante em quase todos os pontos, chegando a 68,62 % na coleta de inverno no ponto 1B como pode ser visto na Tabela 2. Cabe salientar, que valores baixos de argila somados a valores altos de silte tornam um solo mais suscetível a erosão, principalmente em solos expostos (Guerra, 2005).

No Fragmento 2, os solos apresentaram na sua maioria textura franca, com poucos pontos

apresentando textura franco argilo-arenosa e franco argilosa. Ao observar a Tabela 2 notamos que neste fragmento os valores de argila ultrapassam os 20%. A argila é um importante componente granulométrico do solo, pois em quantidades adequadas e somada a outras características, como a quantidade de matéria orgânica, estas partículas participam do complexo húmus-argila proporcionando uma melhor agregabilidade e estabilidade ao solo. O Fragmento 3, apresentou em todos os pontos de coleta e nos dois períodos analisados, solos com textura franco arenosa. Nesses solos fica evidente a maior fração areia que chega a 62,91 % e 63,97 % em média, para o inverno e o verão, respectivamente. É válido destacar o ponto 18B, que apresentou 74,42% de areia na amostra do verão.

Nível de Acidez - nos três fragmentos todas as amostras apresentaram valores de pH entre 3,15 e 4,21, o que os caracterizam como solos ácidos e sem diferenças significativas entre eles (Tabela 3). Uma diferença significativa estatisticamente foi encontrada apenas entre os valores de pH das duas estações do ano para o Fragmento 2.

Porosidade - Todos os pontos analisados tiveram valores acima de 50%, o que indica uma alta porosidade. Os maiores valores médios de porosidade foram encontrados Fragmento 2 como pode ser visto na Tabela 4.

Matéria Orgânica - os valores de matéria orgânica (carbono orgânico) nos Fragmentos 1 e 3, ficaram próximos a 3%, o que de acordo com Selby (1993), Lepsch (2002) e Morgan (2005) são valores que proporcionam uma boa estabilidade aos agregados. Porém, no Fragmento 2 os valores de matéria orgânica foram mais elevados, principalmente nos pontos mais altos da encosta, variando de 2,45% a 6,59% no inverno e de 3,31% a 7,88% no verão, como pode ser visto na Tabela 5. Ao comparar estatisticamente os valores médios de matéria orgânica encontrados no inverno com os valores encontrados no verão para um mesmo fragmento, através do teste *t-student*, notamos que o Fragmento 1 apresentou uma diferença significativa entre os valores do inverno e do verão, pois o $p\text{-valor} < 0.05$. Porém, não houve uma diferença significativa entre os valores médios de matéria orgânica encontrados no inverno e no verão para os Fragmentos 2 e 3, pois $p\text{-valor} > 0.05$, como pode ser visto na Tabela 5. Em uma segunda análise estatística, ao comparar os valores encontrados em um fragmento com o outro, para uma mesma estação do ano, observa-se que para os dois períodos, os Fragmento 1 e 3 não diferem significativamente ($p\text{-valor} > 0.05$). Porém, o Fragmento 2 difere significativamente

ao ser comparado com os demais fragmentos (p -valor < 0.05). Estas diferenças ao comparar os fragmentos para uma mesma estação do ano podem ser evidenciadas através da análise do boxplot da Figura 5 e 6.

Estoque de Serrapilheira - diferenças foram observadas entre os fragmentos e também entre as estações do ano. O maior estoque total de serrapilheira foi durante o verão. Ao somar os estoques de serrapilheira nas duas coletas realizadas (inverno e verão) para um mesmo fragmento, o Fragmento 1 apresentou o maior valor, que foi de 7,253 kg. Ao se analisar a proporção de cada camada de serrapilheira,

notamos que em todos os fragmentos nas duas estações do ano, a *camada F* foi a mais expressiva e a *camada L* apresentou as menores proporções, o que evidencia que em geral, para os três fragmentos, não há um acúmulo intenso de matéria orgânica amorfa sobre o horizonte A_1 do solo. No Fragmento 1, a camada F corresponde em média a 68,61% do estoque de serrapilheira no verão e a 55,97% do estoque no inverno. No verão, neste fragmento, a camada F chega a representar em média 79,98 % da serrapilheira coletada (Figura 7).

Tabela 2. Resultado da análise granulométrica (%) para os três fragmentos, no inverno e no verão.

Granulometria (%) - Fragmento 1							Granulometria (%) - Fragmento 2							Granulometria (%) - Fragmento 3						
Pontos	Inverno			Verão			Pontos	Inverno			Verão			Pontos	Inverno			Verão		
	Areia	Silte	Argila	Areia	Silte	Argila		Areia	Silte	Argila	Areia	Silte	Argila		Areia	Silte	Argila	Areia	Silte	Argila
1A	52.63	22.07	25.3	57.12	23.88	19	8A	39.2	34.41	26.4	38.43	43.97	17.6	15A	56.69	24.61	18.7	60.76	25.34	13.9
1B	68.62	14.18	17.2	49.84	23.86	26.3	8B	51.89	29.21	18.9	44.49	32.91	22.6	15B	54.79	25.71	19.5	60.55	24.35	15.1
2A	56.31	21.29	22.4	61.28	20.32	18.4	9A	45.31	33.3	21.4	47.6	30.71	21.7	16A	70.15	20.55	9.3	67.57	20.53	11.9
2B	50.51	27.19	22.3	44.63	27.07	28.3	9B	44.08	24.12	31.8	42.81	34.49	22.7	16B	66.37	21.33	12.3	56.98	25.22	17.8
3A	55.99	20.62	23.4	60.23	21.98	17.8	10A	34.55	39.96	25.5	41.83	31.27	26.9	17A	59.53	22.07	18.4	65.28	24.62	10.1
3B	59.11	20.59	20.3	54.94	23.76	21.3	10B	46.1	28.71	25.2	44.09	28.91	27	17B	65.7	19.91	14.4	66.57	21.43	12
4A	55.34	24.96	19.7	48.13	34.87	17	11A	41.21	38.6	20.2	44.27	28.63	27.1	18A	61.39	24.71	13.9	67.18	21.62	11.2
4B	58.99	19.71	21.3	55.03	25.87	19.1	11B	38.1	34.6	27.3	38.74	31.76	29.5	18B	62.34	20.76	16.9	74.42	15.88	9.7
5A	63.87	17.44	18.7	54.45	27.65	17.9	12A	49.76	30.34	19.9	44.98	30.02	25	19A	63.15	25.95	10.9	63.01	22.6	14.4
5B	60.36	17.35	22.3	43.79	27.81	28.4	12B	62.48	15.22	22.3	42.87	32.23	24.9	19B	62.54	27.16	10.3	64.67	22.73	12.6
6A	55.35	22.66	22	53.75	28.95	17.3	13A	47.49	27.51	25	40.55	31.75	27.7	20A	68.86	16.65	14.5	62.13	24.67	13.2
6B	61.62	18.68	19.7	55.55	24.56	19.9	13B	48.09	24.81	27.1	45.38	25.03	29.6	20B	64.84	20.26	14.9	63.27	20.04	16.7
7A	40.74	41.76	17.5	38.84	40.26	20.9	14A	43.65	30.26	26.1	45.02	30.99	24	21A	64.98	17.53	17.5	66.55	18.95	14.5
7B	62.24	16.96	20.8	46.39	32.91	20.7	14B	34.22	32.38	33.4	43.17	31.63	25.2	21B	59.4	20.31	20.3	56.63	28.78	14.6
Média	57.26	21.82	20.92	51.71	27.41	20.88		44.72	30.24	25.04	43.16	31.74	25.11		62.91	21.96	15.13	63.97	22.63	13.41
Desvio Padrão	6.69	6.66	2.26	6.59	5.42	3.93		7.42	6.31	4.26	2.57	4.17	3.26		4.36	3.2	3.55	4.62	3.23	2.34
Máximo	68.62	41.76	25.3	61.28	40.26	28.4		62.48	39.96	33.4	47.6	43.97	29.6		70.15	27.16	20.3	74.42	28.78	17.8
Mínimo	40.74	14.18	17.2	38.84	20.32	17		34.22	15.22	18.9	38.43	25.03	17.6		54.79	16.65	9.3	56.63	15.88	9.7
n	14	14	14	14	14	14		14	14	14	14	14	14		14	14	14	14	14	14

Tabela 3. Valores de pH para todos os pontos analisados nos três fragmentos, nos dois períodos (inverno e verão), onde n= número de amostras. Quando p -valor > 0.05 , a variável tem distribuição normal a nível de 5% de significância (ou seja, 95% de confiança).

Fragmento 1			Fragmento 2			Fragmento 3		
Pontos	pH - Inverno	pH - Verão	Pontos	pH - Inverno	pH - Verão	Pontos	pH - Inverno	pH - Verão
1A	4.15	3.96	8A	3.76	3.91	15A	3.70	3.90
1B	3.92	3.95	8B	3.83	3.97	15B	3.62	3.78
2A	3.90	3.88	9A	3.85	3.90	16A	4.06	3.62
2B	4.00	3.90	9B	3.90	3.90	16B	3.70	3.66
3A	3.79	3.97	10A	3.15	3.84	17A	3.85	4.21
3B	3.78	4.14	10B	4.02	3.91	17B	4.07	3.80
4A	3.72	3.93	11A	3.81	3.94	18A	3.92	3.94
4B	3.84	3.77	11B	3.81	3.82	18B	3.75	3.89
5A	3.94	3.74	12A	3.92	3.98	19A	3.79	3.88
5B	4.01	3.77	12B	3.99	3.88	19B	3.78	3.97
6A	3.85	3.72	13A	3.81	3.98	20A	3.88	3.81
6B	3.74	3.60	13B	3.78	3.92	20B	3.89	3.97
7A	3.83	3.92	14A	3.76	3.80	21A	3.78	3.90
7B	3.75	3.80	14B	3.78	3.88	21B	3.96	3.96
Média	3.87	3.86	Média	3.80	3.90	Média	3.84	3.88
Desvio Padrão	0.122250	0.136012685	Desvio Padrão	0.203628	0.055909071	Desvio Padrão	0.133501	0.144976315
Máximo	4.15	4.14	Máximo	4.02	3.98	Máximo	4.07	4.21
Mínimo	3.72	3.60	Mínimo	3.15	3.80	Mínimo	3.62	3.62
n	14	14	n	14	14	n	14	14
Teste de Anderson-Darling	p-valor > 0.05	p-valor > 0.05	Teste de Anderson-Darling	p-valor < 0.05	p-valor > 0.05	Teste de Anderson-Darling	p-valor > 0.05	p-valor > 0.05
Teste t student	p-valor > 0.05		Teste Mann-whitney	p-value < 0.05		Teste t student	p-valor > 0.05	

Tabela 4. Valores de porosidade calculados a partir dos valores de densidade real (densidade de partículas) e densidade aparente, para todos os fragmentos, no inverno e no verão. Quando p-valor > 0.05, a variável tem distribuição normal ao nível de 5% de significância (ou seja, 95% de confiança), n = número de amostras.

Fragmento 1	Porosidade Inverno (%)	Porosidade Verão (%)	Fragmento 2	Porosidade Inverno (%)	Porosidade Verão (%)	Fragmento 3	Porosidade Inverno (%)	Porosidade Verão (%)
1A	55.86	45.15	8A	53.36	60.13	15A	60.23	60.11
1B	58.27	54.06	8B	53.50	57.58	15B	56.67	60.21
2A	53.20	46.79	9A	53.08	62.49	16A	55.60	56.93
2B	46.17	53.59	9B	64.73	59.94	16B	48.08	62.36
3A	40.68	60.27	10A	59.26	60.05	17A	55.54	53.41
3B	53.11	57.66	10B	60.40	64.36	17B	56.40	53.95
4A	54.08	52.71	11A	57.93	61.51	18A	54.40	53.80
4B	54.00	48.63	11B	56.23	63.06	18B	53.20	52.15
5A	58.42	50.27	12A	63.92	64.05	19A	55.93	54.58
5B	52.40	52.02	12B	64.74	60.77	19B	52.40	52.55
6A	37.17	62.10	13A	68.46	69.88	20A	49.43	51.20
6B	52.40	60.50	13B	60.01	60.73	20B	53.25	42.58
7A	48.83	52.34	14A	63.92	66.50	21A	39.55	47.92
7B	46.66	53.85	14B	62.16	65.17	21B	48.00	51.95
Média	50.80	53.57	Média	60.12	62.59	Média	52.76	53.84
Desvio Padrão	6.25	5.11	Desvio Padrão	4.84	3.20	Desvio Padrão	5.14	5.11
Máximo	58.42	62.10	Máximo	68.46	69.88	Máximo	60.23	62.36
Mínimo	37.17	45.15	Mínimo	53.08	57.58	Mínimo	39.55	42.58
n	14	14	n	14	14	n	14	14
Teste de Anderson-Darling	>0.05	>0.05	Teste de Anderson-Darling	>0.05	>0.05	Teste de Anderson-Darling	>0.05	>0.05
Teste t-student (p-valor)	>0.05		Teste t-student (p-valor)	>0.05		Teste t-student (p-valor)	>0.05	

Tabela 5. Valores de matéria orgânica para os três fragmentos, no inverno e no verão, onde n= número de amostras. Variável tem distribuição normal em nível de 5% de significância, ou seja, 95% de confiança (p-valor > 0.05).

Fragmento 1	Matéria Orgânica Inverno	Matéria Orgânica Verão	Fragmento 2	Matéria Orgânica Inverno	Matéria Orgânica Verão	Fragmento 3	Matéria Orgânica Inverno	Matéria Orgânica Verão
1A	2.21	2.95	8A	2.45	4.60	15A	3.71	2.95
1B	1.97	1.86	8B	3.19	3.52	15B	2.34	2.86
2A	1.40	2.97	9A	3.91	5.86	16A	2.03	3.26
2B	1.79	3.38	9B	4.79	4.07	16B	2.72	2.22
3A	1.55	2.78	10A	4.33	5.62	17A	2.10	3.00
3B	2.57	4.03	10B	4.43	3.91	17B	1.98	2.55
4A	1.74	2.52	11A	4.07	4.40	18A	2.84	2.95
4B	1.78	2.34	11B	3.97	4.83	18B	3.36	3.98
5A	3.28	3.12	12A	6.47	5.21	19A	2.26	3.21
5B	1.98	3.55	12B	5.74	4.76	19B	2.14	4.29
6A	2.07	2.41	13A	5.34	4.57	20A	2.28	2.62
6B	2.69	2.26	13B	5.50	3.31	20B	3.55	3.31
7A	2.67	1.84	14A	6.59	6.55	21A	3.88	3.05
7B	2.66	2.74	14B	4.97	7.88	21B	3.67	4.14
Média	2.17	2.77	Média	4.70	4.93	Média	2.78	3.17
Desvio Padrão	0.53	0.63	Desvio Padrão	1.18	1.23	Desvio Padrão	0.71	0.60
Máximo	3.28	4.03	Máximo	6.59	7.88	Máximo	3.88	4.29
Mínimo	1.40	1.84	Mínimo	2.45	3.31	Mínimo	1.98	2.22
n	14.00	14.00	n	14.00	14.00	n	14.00	14.00
Teste de Anderson-Darling	p-valor > 0.05	p-valor > 0.05	Teste de Anderson-Darling	p-valor > 0.05	p-valor > 0.05	Teste de Anderson-Darling (p-valor)	p-valor < 0.05	p-valor > 0.05
Test t-student	p-valor < 0.05		Test t-student	p-valor > 0.05		Teste Mann-Whitney	p-valor > 0.05

Teste de Comparação das Médias (Verão)		p-valor
Fragmento 1	Fragmento 2	<0.05
Fragmento 2	Fragmento 3	<0.05
Fragmento 1	Fragmento 3	>0.05

Figura 5. Boxplot para os valores de matéria orgânica dos três fragmentos no verão e ao lado, um quadro com resultado do teste de Tukey. Quando p-valor > 0.05, a variável tem distribuição normal no nível de 5% de significância (ou seja, 95% de confiança).

Teste de Comparação das Médias (Inverno)		p-valor
Fragmento 1	Fragmento 2	<0.05
Fragmento 2	Fragmento 3	<0.05
Fragmento 1	Fragmento 3	>0.05

Figura 6. Boxplot para os valores de matéria orgânica dos três fragmentos no inverno e ao lado, um quadro com resultado do teste de Tukey. Quando p-valor > 0.05, a variável tem distribuição normal no nível de 5% de significância (ou seja, 95% de confiança).

Figura 7. Porcentagem de serrapilheira por camada no Fragmento 1, para as duas estações do ano.

No Fragmento 2, onde o estoque de serrapilheira foi o menor nas duas estações do ano, ao comparar com os outros fragmentos, a

camada F foi ainda mais expressiva, representando em média 81,63% para o verão e em média 65,49% para o inverno (Figura 8).

Figura 8. Porcentagem de serrapilheira por camada no Fragmento 2, para as duas estações do ano.

Em relação ao Fragmento 3, a *camada F* representou em média 79,69% para o verão e 53,86 % para o inverno. Neste fragmento, assim como em todos os fragmentos, a *camada F* foi a mais expressiva, porém a

camada H merece destaque, pois apresentou uma proporção um pouco mais elevada quando comparada aos demais fragmentos (Figura 9).

Figura 9 - Porcentagem de serrapilheira por camada no Fragmento 3, para as duas estações do ano.

Discussão

Ao compararmos os fragmentos entre si, notamos que cada um apresentou características que tornam seus solos mais ou menos suscetíveis à erosão e que levantam questionamentos sobre o grau de integridade de tais sistemas florestais.

Em relação à vegetação, o fragmento 1 foi o que apresentou o maior DAP médio, porém em campo verificou-se a presença de árvores aparentemente muito antigas (DAP = 2 m) e na mesma área árvores mais jovens, ainda em fase de crescimento, o que pode ser resultado da retirada da vegetação por atividade humana ou por perturbações naturais, como clareiras abertas por tempestades e quedas de árvores. Este fragmento foi o que apresentou maior estoque de serrapilheira, principalmente no inverno, e quanto ao solo, apresentou características suscetíveis à erosão como altas porcentagens de areia e pH ácido, porém apresentou características que o tornam mais estável, como valores de matéria orgânica próximos a 3% e porosidade em torno de 50%. É importante ressaltar que a quantidade de serrapilheira produzida pode variar em função de perturbações, ocorrendo maior produção de serrapilheira onde o ambiente é constantemente impactado, pois a maior quantidade de espécies pioneiras e que investem em biomassa para o crescimento acarretam em mais serrapilheira sendo produzida e chegando ao solo. De acordo com autores como Moraes (2002) e Campos *et al.* (2008), o padrão de acúmulo e decomposição de serrapilheira reflete as características da comunidade vegetal e do estágio sucessional. Assim, o maior aporte de serrapilheira é encontrado nas florestas em estágios sucessionais iniciais ou em regeneração.

Os valores de matéria orgânica possuem uma relação intrínseca com a decomposição da serrapilheira, portanto os valores mais baixos de matéria orgânica encontrados neste fragmento provavelmente estão relacionados à decomposição mais lenta da serrapilheira em função do pH ácido do solo, que pode reduzir a atividade microbiana, e consequentemente afetar a decomposição.

O Fragmento 2 apresentou o solo com características menos suscetíveis à erosão, como textura franca e valores de matéria orgânica acima de 5%, o que corresponde a solos mais estáveis e equilibrados, apesar de terem sido considerados ácidos. Quanto à vegetação, este fragmento não teve os maiores valores de DAP, porém apresentou a maior altura das árvores, com uma diferença significativa em relação aos fragmentos 1 e 3. Esta maior altura e menor DAP não estão associadas à retirada de árvores, ou a presença de árvores jovens, e sim reflete a grande quantidade

de palmeiras que se encontram espalhadas principalmente nos primeiros 20 m do interior do fragmento. Quanto aos valores de serrapilheira, foi encontrado o menor estoque e a maior porcentagem de *camada F*, o que evidencia um melhor estágio de preservação e consequentemente uma ciclagem de nutriente mais eficiente, expressa no maior valor de matéria orgânica encontrado.

Freire *et al.* (2010) em um estudo sobre a composição química da serrapilheira em um sistema silvipastoril aponta que a deposição de serrapilheira é uma importante via de retorno de nitrogênio e fósforo, o que contribui para a manutenção do ecossistema. Segundo os autores, a serrapilheira por apresentar alta concentração de nitrogênio, principalmente nas folhas, o que contribui para a reciclagem desse mineral. Em relação à concentração de fósforo, apesar da sua concentração ser relativamente baixa na serrapilheira, este nutriente é importante no processo de reciclagem, em decorrência da maior disponibilidade usualmente encontrada no fósforo orgânico em comparação ao fósforo inorgânico. Este resultado pode ser comparado aos resultados do Fragmento 1 e 2. O Fragmento 2 foi o que apresentou o menor aporte de serrapilheira sobre o solo, isto por que a ciclagem dos nutrientes e o seu retorno ao solo está sendo mais eficiente o que condiz com o remanescente florestal aparentemente mais bem conservado, o que difere do Fragmento 1, que apresentou maior acúmulo de serrapilheira e solos com menores porcentagens de matéria orgânica indicando uma ciclagem de nutrientes menos eficiente.

No Fragmento 3, os solos tiveram alta porcentagem de areia, pH ácido e matéria orgânica próximo a 3%, não variando muito entre o inverno e o verão. Quanto à vegetação, os valores médios de DAP e de altura foram os menores ao ser comparado com os demais fragmentos. Isto afeta a continuidade das copas e compromete a proteção do solo contra a erosão, favorecendo um dossel mais aberto e, consequentemente, maiores taxas de erosão por salpicamento e por escoamento superficial. No caso desta floresta, a erosão do solo pode ser ainda favorecida pela decomposição mais rápida da serrapilheira, visível ao se observar a *camada H* mais expressiva e um ambiente mais úmido, o que diminui a proteção do solo contra o escoamento superficial e o impacto das gotas de chuva.

Quanto à influência da precipitação na produção e acúmulo de serrapilheira, segundo Freire *et al.* (2010), a quantidade de serrapilheira depositada aumenta expressivamente no período

de chuvas, com picos de deposição em períodos secos dentro do período chuvoso, e queda acentuada ao final do período chuvoso, quando ocorrem as maiores deposições de nutrientes via serrapilheira. Neste estudo, o resultado foi semelhante ao de Freire *et al.* (2010), pois nos três fragmentos florestais analisados, o maior estoque de serrapilheira ocorreu durante o verão, que corresponde ao período de chuvas.

Em relação à influência do aporte de serrapilheira na melhoria das características químicas e físicas do solo e na redução da erosão, o estudo de Campanha *et al.* (2007) que comparou as características da serrapilheira em sistema agroflorestal com o sistema de monocultura em cafeeiros, apontou que o sistema agroflorestal produziu maior quantidade de serrapilheira que a monocultura, devido à presença do componente arbóreo e à maior idade dos cafeeiros, resultando em melhor armazenamento de água no solo na camada mais profunda (20-40 cm) e melhores condições de fertilidade do solo.

Sabendo-se que a fragmentação da vegetação ocasiona maior efeito de borda, alterando o microclima, a composição das espécies e suas interações bióticas e abióticas, fragmentos menores e mais recortados terão uma maior borda em relação a sua superfície e consequentemente sofrerão mais estes efeitos. Em um estudo sobre o efeito da borda sobre a camada de serrapilheira no Cerrado do Mato Grosso, Brasil *et al.* (2013) apontaram que a distância da borda tem relação positiva e significativa com a espessura, massa seca, volume e massa de fração foliar da serrapilheira, o que demonstra que a fragmentação afeta também a estrutura da camada de serrapilheira, podendo causar prejuízos a funções e serviços ecossistêmicos, com possíveis reflexos futuros na diversidade de espécies e na integridade do remanescente florestal.

Conclusões

1. Os resultados indicam que os fragmentos florestais isolados (Fragmento 1 e 3) e mais sujeitos a atividade antrópica apresentam solos com características físico-químicas que o tornam mais suscetíveis à erosão do que os solos do Fragmento 2. Em relação à ciclagem de nutrientes, o aporte total de serrapilheira não foi um bom indicativo da funcionalidade do sistema, pois tanto o Fragmento 2 como o Fragmento 3 tiveram um menor aporte de serrapilheira sobre o solo, o que indica uma decomposição mais rápida, apesar de serem remanescentes florestais com características distintas. Nesse caso, a diferença foi acentuada ao se analisar as camadas da serrapilheira, no qual a camada F foi mais

expressiva no Fragmento 2 indicando uma ciclagem de nutrientes mais eficiente, enquanto no Fragmento 3 a camada mais expressiva foi a H, o que indica que apesar da decomposição estar sendo rápida, a ciclagem não está eficiente, pois a camada H contém a matéria orgânica fina que será incorporada ao solo.

2. Apesar dos fragmentos analisados estarem dentro de uma mesma bacia e serem próximos, todos apresentam características que o tornam distintos e que variam em função das condições locais as quais estas florestas estão submetidas, tais como a matriz a qual se encontram inseridos, o tamanho e forma do fragmento, as características naturais, e o quanto estão sujeitas aos impactos da atividade humana.

3. Foi verificada uma relação entre a suscetibilidade dos solos a erosão, a estrutura da floresta, o estoque de serrapilheira e o subsistema de decomposição, o que reforça a importância destes fatores como parâmetros de análise ambiental em estudos de impactos nestes sistemas.

Agradecimentos

Ao CNPq, pelo financiamento desta pesquisa através da concessão de bolsa de mestrado, a FAPERJ, que possibilitou a realização dos trabalhos de campo, e a equipe do Laboratório de Geomorfologia Ambiental e Degradação dos Solos nas análises e idas a campo.

Referências

- Ab'Saber, A. N. 2003. Os Domínios de Natureza no Brasil: Potencialidades Paisagísticas, Ateliê Editorial, São Paulo.
- Babel, U. 1975. "Micromorphology of Soil Organic Matter", in Gieseking, J. E. (Ed.), Soil Component. Springer-Verlag, 369-473.
- Brasil, L.S., Giehl, N.F.S., Santos, J.O., Santos, A.O., Marimon, B.S. e Junior, B.H.M. 2013. "Efeito de Borda sobre a Camada de Serrapilheira em Área de Cerradão no Leste de Mato Grosso", Biotemas 3, 37-47.
- Campanha, M.M., Santos, S.H.R., Freitas, G.B., Martinez, E.P., Jaramillo-Botero, C. e Garcia, S.L. 2007. "Análise Comparativa das Características da Serrapilheira e do Solo em Cafezais (*Coffea arábica* L.) Cultivados em Sistema Agroflorestal e em Monocultura, na Zona da Mata – MG", Revista Árvore 31, 805-812.
- Embrapa 1997. Manual de Métodos de Análise de Solo, 2ª ed., Ministério da Agricultura e do Abastecimento, Rio de Janeiro.

- Freire, J.L., Júnior, J.C.B.D., Lira, M.A., Ferreira, R.C., Santos, M.V.F. e Freitas, E.V. 2010. "Deposição e composição química de serrapilheira em um bosque de sabiá", *Revista Brasileira de Zootecnia* 39, 1650-1658.
- Garay, I. e Silva, B. A. O. 1995. "Húmus Vegetais: Síntese e Diagnóstico das relações vegetação-solo", *Oecologia Brasiliensis* 1, 19-46.
- Guerra, A. J. T. 2005. "Processos Erosivos nas encostas", in: Guerra, A. J. T.; Silva, A. S.; Botelho, R. G. M. (Orgs.), *Erosão e conservação dos solos: conceitos, técnicas e aplicações*, Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, 17-50.
- Lepsh, I. F. 2002. *Formação e conservação dos solos*. Oficina de Textos, São Paulo.
- Malagon, D., Sevink, J., Garay, I. "Methods for soil analysis", in: Van Der Hamment, T., Müller-Dombois, D. and Little, E. M. A. 1989. *Manual of methods for mountains transect studies. Comparative studies of tropical mountain ecosystems*, IUBS, Paris, pp. 29-40.
- Metzger, J. P. 2003. "Estrutura da paisagem: o uso adequado de métricas", in: Junior, L. C., Pádua, C. V. e Rudran, R. *Métodos de estudos em biologia da conservação e manejo da vida silvestre*, Fundação O Boticário de Proteção à Natureza, Curitiba, 423-453.
- Morgan, R. P. C. 2005. *Soil erosion and conservation*, 3^a ed., Blackwell, London.
- Oliveira, M. A., Grillo A. S. and Tabarelli, M. 2004. "Forest edge in the Brazilian Atlantic forest: drastic changes in tree species assemblages", *Oryx* 38, 389-394.
- Pádua, J. A. 2002. *Um sopro de destruição: Política e crítica ambiental no Brasil escravista (1786-1888)*, Jorge Zahar, Rio de Janeiro.
- Sauer, C. 2004. "A morfologia da paisagem", in: Correa, R. L. e Rosendahl, Z. *Paisagem, tempo e cultura*, Editora UERJ, Rio de Janeiro, 12-74.
- Saunders, D. A., Hobbs, R.J. e Margules, C. R. 1991. "Biological consequences of ecosystem fragmentation a review", *Conservation Biology* 5, 18-32.
- Selby, M. J. 1990. *Hillslope: Materials and process*, 1^a ed., Oxford, New York.
- Turner, I. M. 1996. "Species loss in fragments of tropical rain forest: a review of the evidence", *Journal of Applied Ecology* 33, 200-209.
- Zaú, A. S. 1998. "Fragmentação de Mata Atlântica: Aspectos Teóricos" *Floresta e Ambiente* 1, 60-170.