

DECOMPOSIÇÃO DA SERRAPILHEIRA, DIVERSIDADE E FUNCIONALIDADE DE INVERTEBRADOS DO SOLO EM UM FRAGMENTO DE FLORESTA ATLÂNTICA

LITTER DECOMPOSITION, DIVERSITY AND FUNCTIONALITY OF SOIL INVERTEBRATES IN AN ATLANTIC RAIN FOREST FRAGMENT

Guilherme Henrique Almeida PEREIRA¹; Marcos Gervasio PEREIRA²; Lúcia Helena Cunha dos ANJOS²; Thiago de Azevedo AMORIM³, Carlos Eduardo Gabriel MENEZES⁴

1. Mestrando em Conservação da Natureza, Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Florestais, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro – UFRRJ, Seropédica, RJ, Brasil. Bolsista da CAPES. guilhermepereira06@gmail.com; 2. Professor Associado IV, Instituto de Agronomia, Departamento de Solos - UFRRJ. Bolsistas de produtividade do CNPq e da FAPERJ, Seropédica, RJ, Brasil; 3. M.Sc, Técnico do Herbário RBR, Instituto de Biologia, Departamento de Botânica, Herbário RBR – UFRRJ, Seropédica, RJ, Brasil; 4. Professor, Doutor, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro - IFRJ, campus Nilo Peçanha, Pinheiral, RJ, Brasil.

RESUMO: Florestas de borda têm características de estádios iniciais de sucessão. No entanto, essas florestas em estágio inicial produzem folhas de decomposição mais difícil e tem uma menor diversidade de invertebrados do solo que participam da decomposição da serrapilheira. Assim, é provável que a decomposição da camada de serrapilheira e a fauna do solo sejam influenciadas por características da borda em fragmentos recém criados. O objetivo desse estudo foi avaliar a decomposição da serrapilheira e a comunidade de invertebrados do solo em um fragmento de floresta Atlântica localizado em Pinheiral, RJ. *Litter bags* e armadilhas *pitfall* foram instaladas na borda e no interior do fragmento para avaliar a perda de massa da serrapilheira e a fauna do solo, respectivamente. A serrapilheira se decompôs de maneira mais lenta na borda, onde houve menor diversidade da fauna do solo e maior expressão de invertebrados micrófagos. Já no interior, onde houve maior diversidade da fauna do solo e maior atividade de invertebrados saprófago-predadores, a decomposição da serrapilheira mostrou tendência de ser mais rápida. Nesse sentido, a fragmentação em florestas secundárias pode retardar a dinâmica de decomposição da serrapilheira e, dessa forma, influenciar na ciclagem dos nutrientes na camada superficial do solo.

PALAVRAS-CHAVE: Fragmentação florestal. Características de bordas de floresta. Fauna de solo

INTRODUÇÃO

A fragmentação florestal tem como uma de suas consequências a criação de bordas. Nessas áreas, a floresta é submetida a um conjunto de modificações bióticas e ambientais que caracterizam o efeito de borda (MURCIA, 1995; DIDHAM; LAWTON, 1999; LAURANCE et al., 2010). Dentre as modificações ambientais relacionadas ao efeito de borda, há aumento na entrada de luz, maior variação da temperatura, maior ação do vento e redução da umidade do ar e do solo (CAMARGO; KAPOs, 1995; WILLIAMS-LINERA et al., 1990). Essas modificações podem ter consequências negativas para as populações de plantas e de animais (D'ANGELO et al., 2004; LAURANCE et al., 2010).

Em relação às populações de plantas, o efeito de borda pode aumentar a taxa de mortalidade de árvores (FERREIRA; LAURANCE, 1997; MESQUITA et al., 1999), como consequência da diminuição da umidade do solo associada à maior penetração de ventos (CAMARGO; KAPOs, 1995). Com a morte das espécies arbóreas, abrem-se

clareiras que proporcionam maior entrada de luz e favorecem o desenvolvimento de espécies pioneiras (WILLIAMS-LINERA, 1990). Como resultado, alguns anos após a fragmentação florestal, a vegetação da borda se diferencia do interior do fragmento e retorna a estádios iniciais de sucessão (CASENAVE et al., 1995; HILL; CURAN, 2001; RODRIGUES; NASCIMENTO, 2006).

Florestas em estádios iniciais de sucessão produzem material formador de serrapilheira mais rígido, com parênquima paliádico espesso e maior quantidade de tecidos esclerenquimáticos que florestas em estágio avançado (HAAG, 1985; BOEGER; WISNIEWSKI, 2003). Esses atributos dificultam a atuação dos invertebrados decompositores, o que pode retardar a decomposição da serrapilheira (MASON, 1980; ANDRADE et al., 1999; SELLE, 2007). Nesse sentido, a camada de serrapilheira tende a se decompor de maneira mais lenta sob florestas com estágio inicial que sob estádios avançados (ODUM, 1969; TOLEDO et al., 2002; XULUC-TOLOSA et al., 2003). Portanto, a decomposição da serrapilheira deveria se tornar mais lenta na borda que no interior

de fragmentos florestais recém criados, já que a borda tem fitofisionomia características de estádios iniciais de sucessão (CASNAVE et al., 1995; HILL e CURAN, 2001).

A serrapilheira é o habitat para animais invertebrados que compõem a fauna do solo. Os organismos que compõem essa comunidade são influenciados por fatores ambientais como umidade do solo, temperatura e espessura da serrapilheira (CORREIA e OLIVEIRA, 2000; MOÇO et al., 2005; SILVA et al., 2009) e a própria vegetação. Florestas em estádios avançados de sucessão têm maior diversidade de invertebrados na serrapilheira que florestas em estádios iniciais (MOÇO et al., 2005; MENEZES et al., 2009; MACHADO, 2011). Assim, as variações ambientais que são devidas ao efeito de borda, associadas à modificação sucessional da vegetação nessa área, podem influenciar os invertebrados do solo de fragmentos florestais. Em alguns grupos de invertebrados, a abundância das populações e a ocorrência das espécies variam em relação à distância da borda (DIDHAM et al., 1997; CARVALHO; VASCONCELOS, 1999). Portanto, o efeito de borda pode alterar a abundância e a riqueza de invertebrados do solo e, dessa forma, influenciar na diversidade dessa comunidade.

O objetivo desse estudo foi avaliar a dinâmica de decomposição da camada de serrapilheira e caracterizar as comunidades de invertebrados edáficos na borda e no interior de um fragmento de floresta Atlântica.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

O estudo foi realizado em um fragmento de floresta Atlântica secundária, localizado em matriz de pastagem do município de Pinheiral, região do Médio Vale do Paraíba do Sul, RJ, Brasil (22°33'S e 22°38'S e 43°57'W e 44°05'W). O clima da região é do tipo Am segundo a classificação de Köppen, tropical chuvoso com inverno seco (PEEL et al., 2007), com precipitação anual de 1.300 mm e temperatura média anual igual a 21 °C (OLIVEIRA, 1998). O solo é classificado como CAMBISSOLO HÁPLICO (SANTOS et al., 2006). O fragmento tem aproximadamente 190 ha de área e está situado no terço superior de uma encosta, a 520 m de altitude. A vegetação é de Floresta Ombrófila Densa Submontana (VELOSO, 1992) e, segundo histórico local e fotografias das áreas, está em processo de regeneração há cerca de 120 anos (DINIZ, 2011).

A vegetação na borda tem feição característica de estádios iniciais de sucessão. As

árvores têm pequeno porte, com fustes e copas de pequenos diâmetros e baixa densidade de indivíduos. Existem árvores de porte médio, mas a altura do dossel não ultrapassa 20 m. São observadas espécies pioneiras e secundárias iniciais, como *Astronium graveolens* Jacq. (Anacardiaceae, “gonçalo-alves”), *Croton floribundus* Spreng. (Euphorbiaceae, “capixinguí”), *Myrcia splendens* (Sw.) DC (Myrtaceae, “guamirim”), *Schizolobium parahyba* (Vell.) S.F.Blake (Fabaceae, “guapuruvú”) e *Siparuna guianensis* Aubl. (Siparunaceae, “negramina”). As copas das árvores são pouco sobrepostas, o que favorece a entrada de luz. Isso é evidenciado pela abundância de lianas e trepadeiras como *Lygodium volubile* Sw. (Schizaeaceae, “abre-caminho”), *Mikania glomerata* Spreng. (Asteraceae, “guaco”) e *Serjania caracasana* (Jacq.) Willd. (Sapindaceae, “timbó”). Apesar do processo de regeneração avançado, a borda mantém fitofisionomia característica de estádios iniciais de sucessão devido à prática de desbaste periódico da vegetação no entorno do fragmento, para manutenção da pastagem.

No interior do fragmento, a cobertura vegetal tem fitofisionomia característica de estádios avançados de sucessão. Predomina o hábito arbóreo e espécies secundárias tardias como *Eugenia brasiliensis* Lam. (Myrtaceae, “grumixama”), *Galipea jasminiflora* (A.St.-Hil.) Engl. (Rutaceae, “jasmim-do-mato”), *Pouteria filipes* Eyma (Sapotaceae, “acá”), *Protium warmingianum* Marchand (Burseraceae, “breu”) e *Urbanodendron verrucosum* (Nees) Mez. (Lauraceae, “canela-preta”). As copas das árvores são mais sobrepostas e o sub-bosque é denso que na borda. O dossel é mais homogêneo e tem altura média de 25 m, com árvores emergentes. Essa estrutura mais desenvolvida da vegetação no interior promove menores variações de luminosidade, temperatura e umidade (CAMARGO; KAPOs, 1995; WILLIAMS-LINERA et al., 1990).

Fauna do solo

A amostragem da comunidade de invertebrados edáficos foi feita com armadilhas de queda do tipo *pittfall* (MOLDENKE, 1994). As armadilhas consistiram em frascos plásticos de 7 cm de abertura por 8,5 cm de altura, contendo solução de formaldeído (4%) para fixação dos organismos. O método foi adotado, pois possibilita amostrar a atividade de invertebrados da meso e macrofauna epígeas, isto é, que se locomovem sobre a serrapilheira e participam diretamente da fragmentação e redistribuição dos resíduos

orgânicos no ambiente (CORREIA; OLIVEIRA, 2000).

Foram instaladas 20 armadilhas no fragmento, 10 na borda e 10 no interior, em outubro de 2010 (período seco). No interior, as armadilhas foram instaladas a cerca de 300 metros de distância da borda mais próxima e, dentro de cada área, as armadilhas foram alocadas a no mínimo 15 m de distância entre si. Cada armadilha foi enterrada no solo até que sua abertura ficasse rente à interface com a serrapilheira, permanecendo no campo por um período de 12 dias. Posteriormente, as amostras foram coletadas e os organismos foram lavados em água e acondicionados em frascos contendo solução alcoólica (70%) para preservação dos mesmos. Com o auxílio de microscópio estereoscópico binocular, os organismos foram separados em grupos taxonômicos, na maioria até o nível de Ordem. Além disso, as Ordens foram reunidas em grupos funcionais de acordo aos principais hábitos alimentares que desenvolvem no ambiente (MOÇO et al., 2005; MERLIM, 2005).

Decomposição da serrapilheira

Para avaliar a dinâmica da decomposição da camada de serrapilheira, foram utilizadas *litter bags* (BOCOCK; GILBERT, 1957). O método consiste em acondicionar uma quantidade de material vegetal em sacolas com abertura de tamanho conhecido e avaliar a perda de massa ao longo do tempo. As *litter bags* foram confeccionadas em polivinil com 2 mm de malha e 25 cm de lado. Para sua montagem, amostras de folhas recém caídas foram coletadas no piso florestal da borda e do interior do fragmento. Folhas foram utilizadas para avaliação da dinâmica da decomposição, pois a fração foliar é a que mais contribui para a produção líquida de serrapilheira no fragmento estudado e em outros fragmentos de floresta Atlântica (PAULA et al., 2009; GOMES et al., 2010; MENEZES et al., 2010).

As amostras de folhas foram secadas em estufa de circulação a 65 °C até atingirem massa constante. As folhas íntegras das amostras de cada área foram selecionadas, a fim de atenuar o efeito de diferenças no estágio de degradação física e decomposição bioquímica das folhas sobre o experimento. Posteriormente, 10 g de folhas secas, da borda ou do interior, foram acondicionados separadamente nas *litter bags* (SCORIZA et al., 2012).

Para avaliar a dinâmica da decomposição da serrapilheira, 40 *litter bags* foram instaladas no fragmento, 20 na borda e 20 no interior, nos mesmos locais de instalação das armadilhas *pitfall*, em agosto de 2010 (período seco). As *litter bags*

foram coletadas aos 30 (t_{30}), 60 (t_{60}), 90 (t_{90}) e 120 (t_{120}) dias, com cinco repetições por período de coleta em cada área. As amostras de material foliar remanescente nas *litter bags* foram secadas em estufa de circulação a 65 °C até atingirem massa constante (SCORIZA et al., 2012). Posteriormente, foi quantificada a massa foliar remanescente em cada coleta, na borda e no interior do fragmento.

Análises dos dados

Para a fauna do solo, foram quantificados o número de grupos, a densidade de invertebrados (número médio de indivíduos que caíram por armadilha, por dia) e as densidades relativas dos grupos (densidade de indivíduos de cada grupo, em relação à densidade total). A partir das densidades, foram estimadas a diversidade e a equabilidade da fauna do solo na borda e no interior do fragmento. A diversidade e a equabilidade foram calculadas com base nos índices ecológicos de diversidade de Shannon (H') e uniformidade de Pielou (e), respectivamente, conforme as equações:

$$H' = - \sum p_i \cdot \log p_i$$

$$e = H' / \log S$$

em que H' é o índice de diversidade de Shannon; $p_i = n_i / N$, onde n_i é a abundância relativa de cada grupo e N é a abundância total de indivíduos; e é o índice de uniformidade de Pielou; e S é o número de grupos (ODUM, 1969).

Além da diversidade e da equabilidade das comunidades de invertebrados edáficos na borda e no interior do fragmento, foi estimada a similaridade de grupos entre as amostras com base no coeficiente de similaridade de Jaccard (J), conforme a equação:

$$J = C / (a+b)-C$$

em que J é o coeficiente de similaridade de Jaccard; C é o número de grupos comum a duas áreas A e B; a é o número de grupos presente na área A; e b é o número de grupos presente na área B. Para essa estimativa foi utilizado o programa PAST 1.12 (HAMMER et al., 2004).

Os dados de massa foliar remanescente na borda e no interior do fragmento foram ajustados conforme modelo exponencial simples, que descreve o processo de decomposição da serrapilheira (OLSON, 1963). A função que descreve o modelo de decaimento utilizado para quantificar a taxa de perda de massa foi:

$$X_t / X_0 = e^{-kt}$$

em que X_t é o valor remanescente de massa foliar após t dias; X_0 é o valor inicial de massa foliar no tempo zero; e k é a taxa de perda de massa (THOMAS e ASAKAWA, 1993). Para avaliar a dinâmica do processo de decomposição ao longo do tempo, foram elaboradas curvas de regressão da

perda de massa da serrapilheira a partir dos valores de massa foliar inicial e remanescente na borda e no interior do fragmento. O cálculo das taxas de decomposição e a confecção das curvas foram realizados no programa SIGMAPLOT 10.0 (AHMED, 2006). Além das taxas e curvas de perda de massa, foram estimados os tempos de meia-vida ($t_{1/2}$) da serrapilheira na borda e no interior do fragmento. Essa estimativa dá idéia do tempo de renovação da camada de serrapilheira (“turnover”) e foi realizada com base na equação:

$$t_{1/2} = \ln(2) / k$$

sendo k a taxa de perda de massa (REZENDE et al., 1999).

Tabela 1. Densidade da comunidade de invertebrados do solo na borda e no interior de fragmento de floresta Atlântica na região do Médio Vale do Paraíba do Sul, RJ, Brasil.

Grupo Taxonômico	Borda		Interior	
	Densidade (ind.arm ⁻¹ dia ⁻¹ ±e)	Densidade relativa (%)	Densidade (ind.arm ⁻¹ dia ⁻¹ ±e)	Densidade relativa (%)
Acari	1,50±0,29	2,56	4,50±0,79	10,15
Araneae	0,86±0,13	1,47	0,81±0,13	1,83
Archaeognatha ^{*I}	0,00±0,00	0,00	0,01±0,01	0,02
Auchenorrhyncha	0,12±0,04	0,20	0,31±0,15	0,70
Blattodea	0,02±0,01	0,03	0,02±0,02	0,05
Chilopoda ^{*B}	0,01±0,01	0,02	0,00±0,00	0,00
Coleoptera	0,67±0,18	1,14	1,46±0,30	3,29
Dermaptera ^{*B}	0,01±0,01	0,02	0,00±0,00	0,00
Diplopoda	0,05±0,02	0,09	0,01±0,01	0,02
Diptera	2,60±0,57	4,43	2,24±0,54	5,05
Enchytraeidae ^{*B}	0,02±0,02	0,03	0,00±0,00	0,00
Entomobryomorpha	27,10±2,26	46,19	14,19±2,65	32,00
Gastropoda ^{*I}	0,00±0,00	0,00	0,02±0,02	0,05
Heteroptera	0,08±0,04	0,14	0,06±0,02	0,14
Hymenoptera	0,67±0,09	1,14	0,48±0,12	1,08
Hymenoptera:Formicidae	3,40±2,60	5,80	1,40±0,39	3,16
Isopoda	0,52±0,16	0,89	0,07±0,03	0,16
Lepidoptera	0,02±0,01	0,03	0,04±0,02	0,09
Nematodea ^{*I}	0,00±0,00	0,00	0,02±0,02	0,05
Neuroptera ^{*B}	0,01±0,01	0,02	0,00±0,00	0,00
Opiliones ^{*B}	0,01±0,01	0,02	0,00±0,00	0,00
Orthoptera	0,51±0,14	0,87	0,57±0,10	1,29
Poduromorpha	9,52±2,24	16,23	8,19±3,27	18,47
Pseudoscorpionida ^{*I}	0,00±0,00	0,00	0,04±0,02	0,09
Psocoptera	0,08±0,02	0,14	0,06±0,02	0,14
Sternorrhyncha	0,19±0,16	0,32	0,15±0,14	0,34
Symphyleona	10,57±3,64	18,02	9,43±2,73	21,26
Thysanoptera	0,13±0,09	0,22	0,27±0,21	0,61
TOTAL	58,67±6,53	100	44,35±7,97	100

Ind.arm⁻¹dia⁻¹±e – número de indivíduos coletados por armadilha por dia ± erro-padrão; *B – grupo exclusivo na borda; *I – grupo exclusivo no interior do fragmento.

RESULTADOS

Fauna do solo

Foram identificados 27 grupos de invertebrados, dos quais 23 ocorreram na borda e 22 ocorreram no interior do fragmento. Cinco grupos ocorreram apenas na borda (Chilopoda, Dermaptera, Enchytraeidae, Neuroptera e Opiliones) e outros quatro grupos foram exclusivos no interior (Archaeognatha, Gastropoda, Nematodea e Pseudoscorpionida) (Tabela 1), o que resultou em um coeficiente de similaridade de Jaccard $J = 0,59$.

Os grupos de invertebrados se enquadraram em seis grupos funcionais (micrófago, saprófago, predador, saprófago-predador, herbívoro e outros). Os micrófagos foram os invertebrados mais expressivos na borda. Já no interior, apesar da grande atividade de micrófagos, houve uma maior

expressão de invertebrados saprófago-predadores quando comparado à borda (Figura 1). O índice de diversidade de Shannon foi de $H' = 2,48$ na borda e de $H' = 2,89$ no interior do fragmento. Para o índice de Pielou, a borda teve $e = 0,54$ enquanto no interior $e = 0,65$.

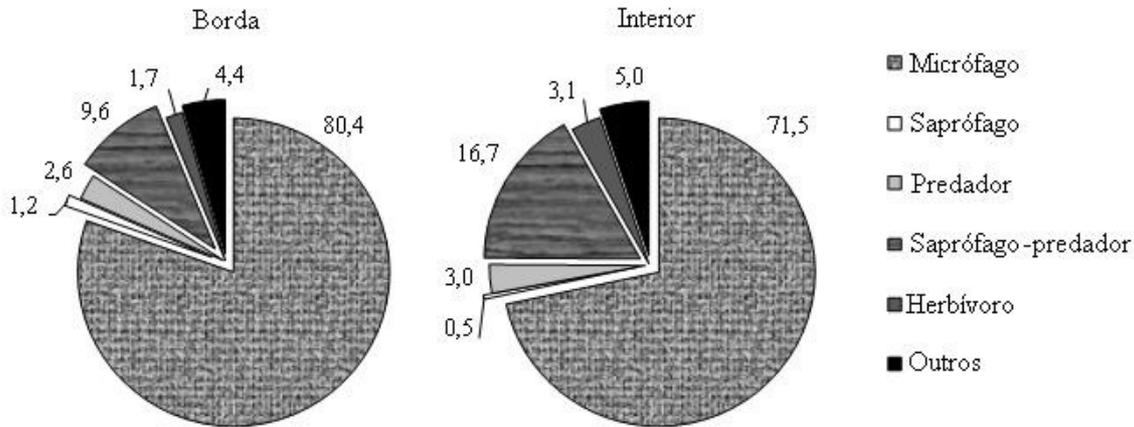


Figura 1. Densidade relativa (%) dos grupos funcionais de invertebrados edáficos na borda e no interior de fragmento de floresta Atlântica na região do Médio Vale do Paraíba do Sul, RJ, Brasil. Grupos: Micrófago (Entomobryomorpha, Nematodea, Poduromorpha e Symphypleona); Saprófago (Archaeognatha Blattodea, Diplopoda, Enchytraeidae, Gastropoda, Isopoda e Psocoptera); Predador (Araneae, Chilopoda, Dermaptera, Hymenoptera, Opiliones e Pseudoscorpionida); Saprófago-predador (Acari, Coleoptera, Hymenoptera:Formicidae, Lepidoptera e Neuroptera); Herbívoro (Auchenorrhyncha, Heteroptera, Orthoptera, Sternorrhyncha e Thysanoptera); e Outros (Diptera).

Decomposição da Serrapilheira

A menor taxa de perda de massa da serrapilheira (k) e o maior tempo de meia-vida ocorreram na borda, onde $k = 0,0032 \text{ g g}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ e o tempo de meia-vida foi de 216 dias. Já no interior do fragmento, a taxa de perda de massa foi de

$0,0042 \text{ g g}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ e o tempo de meia-vida da serrapilheira correspondeu a 165 dias.

Em relação à dinâmica da decomposição, a perda de massa foi mais acelerada nos primeiros 30 dias, em ambas as áreas (Figura 2).

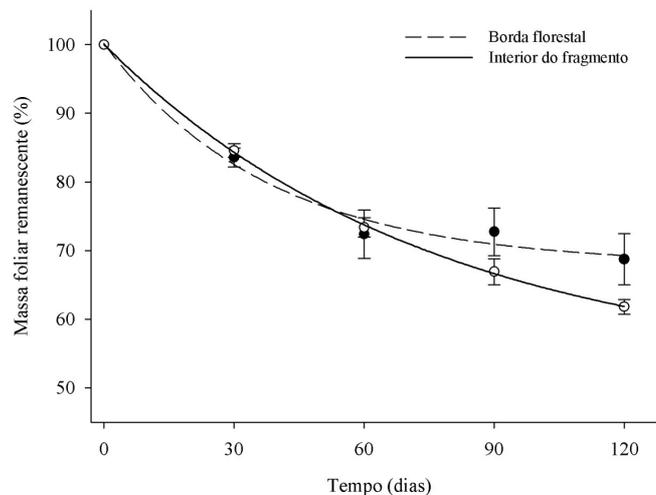


Figura 2. Curvas de perda de massa da serrapilheira na borda ($f = 67,902 + 32,267^{-kt}$, $r^2 = 0,99$) e no interior ($f = 52,074 + 47,977^{-kt}$, $r^2 = 0,99$) de um fragmento de floresta Atlântica na região do Médio Vale do Paraíba do Sul, RJ, Brasil. Os pontos indicam as médias de massa de serrapilheira remanescente na borda (preto) e no interior (branco) do fragmento; as barras representam os erros-padrão.

Nos primeiros 30 dias e aos 60 dias de decomposição, a massa remanescente média (\pm erro-padrão) foi igual entre a borda ($t_{30}= 83,5\pm 1,3\%$; $t_{60}= 72,3\pm 3,5\%$) e interior do fragmento ($t_{30}= 84,5\pm 0,9\%$; $t_{60}= 73,3\pm 1,4\%$). Já aos 90 dias, a massa remanescente na borda ($t_{90}= 72,7\pm 3,4\%$) foi maior que no interior ($t_{90}= 66,9\pm 1,8\%$). Essa tendência também ocorreu aos 120 dias, quando a massa foliar remanescente na borda ($t_{120}= 68,7\pm 3,7\%$) se manteve maior que no interior do fragmento ($t_{120}= 61,8\pm 1,0\%$).

DISCUSSÃO

A menor velocidade de decomposição da serrapilheira na borda e a menor diversidade e equitabilidade da fauna nessa área, associada à variação na funcionalidade dos invertebrados em relação ao interior, indicam que a dinâmica da camada de serrapilheira e a comunidade de invertebrados do solo foram influenciadas, possivelmente, por fatores ambientais relacionados aos efeitos de borda. Para a decomposição, essa evidência foi mais clara a partir dos 90 dias e, sobretudo, aos 120 dias de decomposição. Nesse período, a menor velocidade de decomposição na borda resultou em redução expressiva da perda de massa, quando comparada ao interior do fragmento. Assim, o tempo de *turnover* da serrapilheira foi maior sob a vegetação em estágio inicial na borda que sob o estágio avançado do interior, onde a serrapilheira tendeu a se decompor de maneira mais rápida.

O fragmento desse estudo é uma floresta secundária. Alguns autores relataram que, em florestas secundárias, a velocidade de decomposição da serrapilheira varia com a sucessão florestal (TOLEDO et al., 2002; XULUC-TOLOSA et al., 2003; MENEZES et al., 2010, MACHADO, 2011). Avaliando a decomposição da serrapilheira em florestas secundárias na mesma região desse estudo, Toledo et al. (2002), Menezes et al. (2010) e Machado (2011) observaram que a camada de serrapilheira se decompõe de maneira mais lenta sob florestas em fases mais iniciais de sucessão que sob florestas em fases avançadas. Da mesma forma, avaliando a decomposição da serrapilheira em áreas de floresta secundária com diferentes idades no México, Xuluc-Tolosa et al. (2003) relataram que a decomposição da serrapilheira foi ligeiramente mais lenta em florestas mais jovens que em florestas maduras. Assim, em áreas de floresta secundária, a velocidade de decomposição da camada de serrapilheira tende a aumentar com a evolução da sucessão florestal.

No caso de florestas fragmentadas, essa variação sucessional é compatível com a borda e o interior dos fragmentos. Os efeitos de borda fazem com que a vegetação nessa área retorne a estádios iniciais de sucessão, enquanto no interior a vegetação se mantém em estádios mais avançados (e.g. CASENAVE et al., 1995; HILL; CURAN, 2001). No entanto, florestas em estágio inicial produzem serrapilheira com folhas mais rígidas e com maior grau de esclerificação (BOEGER e WISNIEWSKI, 2003). Esses atributos retardam o início da decomposição, via fragmentação realizada por invertebrados do solo (HAAG, 1985; SELLE, 2007), para posterior atuação de microflora decompositora, representada por bactérias e fungos (MASON, 1980).

Nesse sentido, a menor velocidade de decomposição da camada de serrapilheira na borda pode estar relacionada à comunidade de invertebrados edáficos. A semelhança na riqueza de invertebrados, entre a borda e o interior do fragmento, encerrou em similaridade razoável entre as áreas. No entanto, a maior abundância de invertebrados na borda associada à menor equitabilidade nessa área indica dominância de alguns grupos na comunidade edáfica (CORREIA, 2002), o que resultou na menor diversidade na borda. Já no interior, onde os invertebrados estão distribuídos com uma maior equitabilidade entre os grupos, a diversidade da comunidade tendeu a ser maior.

Áreas de floresta secundária com vegetação em estádios avançados, como o interior do fragmento, geralmente têm boa estruturação do habitat (TOLEDO et al., 2002; MENEZES et al., 2009; MACHADO, 2011). A vegetação do interior teve dossel mais homogêneo, com copas mais sobrepostas e sub-bosque mais denso que na borda. Essa estrutura mais desenvolvida e estratificada promove menores variações de luminosidade, temperatura e umidade no interior (CAMARGO; KAPO, 1995; WILLIAMS-LINEIRA et al., 1998) e permite diversificação de nichos potenciais e meios de exploração dos recursos pelos organismos, o que pode resultar em aumento da diversidade (ODUM, 1969; TEWS et al., 2004). Dessa forma, o interior do fragmento deve proporcionar a existência de uma maior diversidade de micro-habitats, com condições microclimáticas e tróficas mais favoráveis à diversificação e atividade da comunidade de invertebrados do solo.

Em relação à atividade da fauna do solo, dos invertebrados que ocorreram apenas na borda do fragmento, Enchytraeidae se alimenta diretamente de resíduos orgânicos; já os Chilopoda, Dermaptera, Neuroptera e Opiliones são predadores e atuam na

regulação das populações de outros invertebrados (MOÇO et al., 2005). Uma ocorrência expressiva de predadores pode indicar boa estruturação da comunidade trófica (CUNHA NETO et al., 2012). Contudo, apesar de exclusivos na borda, os predadores tiveram baixa atividade. A maior atividade nessa área foi desenvolvida pelos Collembola Entomobromorpha, Poduromorpha e Symphypleona. A atividade de Entomobryomorpha na borda foi quase duas vezes maior que no interior do fragmento. Os Collembola são invertebrados essencialmente micrófagos que predam bactérias e fungos (MOÇO et al., 2005). Dessa forma, eles atuam no controle populacional da microflora do solo. Nesse sentido, a maior atividade de micrófagos na borda pode ser indicativa do controle das populações de bactérias e fungos decompositores. A densidade de fungos basidiomicetos, por exemplo, é bastante reduzida na borda de fragmentos (DIDHAM, 1998). Isso contribuiu para a menor velocidade de decomposição e maior tempo de *turnover* da camada de serrapilheira na borda quando comparada ao interior.

No interior do fragmento, dos invertebrados que foram exclusivos, os Nematodea são micrófagos; Archaeognatha e Gastropoda se alimentam de material orgânico, influenciado no processo de decomposição; e Pseudoscorpionida é um predador (MOÇO et al., 2005). Avaliando a comunidade de invertebrados em solos sob florestas secundárias preservadas e não-preservadas na região Norte do Estado Rio de Janeiro, Moço et al. (2005) relataram a ocorrência de Pseudoscorpionida apenas na comunidade do solo sob floresta preservada. Da mesma forma, avaliando a qualidade do solo em floresta secundária e povoamentos florestais mono-específicos na Zona da Mata de Minas Gerais, Cunha-Neto et al. (2012) relataram que o predador Pseudoscorpionida foi exclusivo na floresta secundária. Ambos os autores sugeriram que a ocorrência do grupo está relacionada à boa estruturação do ambiente e indica maior controle da estrutura trófica. Assim, a ocorrência de Pseudoscorpionida apenas no interior sugere boa estruturação trófica da fauna edáfica nessa área.

A boa estruturação no interior do fragmento é evidenciada também pela maior expressão de organismos saprófagos-predadores, sobretudo devido à atividade de Acari, Coleoptera e Formicidae. Os saprófagos são invertebrados que fragmentam diretamente os resíduos vegetais para alimentação, contribuindo para a decomposição da serrapilheira, redistribuição dos resíduos orgânicos e ciclagem dos nutrientes no ambiente (CORREIA; OLIVEIRA, 2000). Dessa forma, a maior expressão

dos saprófagos contribuiu para a maior velocidade de decomposição e menor tempo de *turnover* da camada de serrapilheira no interior do fragmento. Associado a esse processo de decomposição mais dinâmico, a atuação dos predadores sobre outras populações de invertebrados do solo encerra em maior controle trófica da comunidade edáfica no interior, permitindo redistribuição da energia liberada entre um maior número de organismos (CORREIA, 2002).

Assim, a serrapilheira tendeu a se decompor de maneira mais lenta na borda que no interior do fragmento. Isso não foi tão evidente nos primeiros dias de decomposição, pois nesse período os mecanismos de lixiviação e perda de compostos hidrossolúveis são mais expressivos que outros mecanismos do processo de decomposição (MASON, 1980; LUIZÃO; SCHUBART, 1986; ANDRADE et al., 1999). No entanto, com a evolução do processo de decomposição, a atuação dos organismos decompositores se torna mais expressiva (MASON, 1980; HAAG 1985). Isso parece ter resultado em maiores perdas de massa no interior do fragmento, onde a comunidade de invertebrados do solo, além de ter sido mais diversa e com maior atividade de saprófago-predadores, possivelmente, exerce menor controle das populações de microorganismos decompositores.

Portanto, a diversidade e a funcionalidade de invertebrados do solo foram alteradas e a decomposição camada de serrapilheira parece ter sido retardada na borda do fragmento de floresta secundária, o que pode estar relacionado aos efeitos de borda presentes nessa área, grande parte dos quais não atingem o interior (LAURANCE et al., 2010). Nesse sentido, a fragmentação em florestas secundárias pode retardar a dinâmica da camada de serrapilheira e, dessa forma, alterar a ciclagem dos nutrientes nesses ambientes. Isso deve ser considerado para a conservação e o manejo de florestas secundárias, sobretudo no domínio ecológico da Mata Atlântica, cuja vegetação está representada, em grande parte, por pequenos remanescentes de floresta secundária isolados por matrizes agrícolas, em constante pressão sobre essas florestas.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq, pela concessão da bolsa de Iniciação Científica do primeiro autor; à Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa no Estado do Rio de Janeiro, pelo apoio financeiro do projeto; à pesquisadora Maria

Elizabeth F. Correia pelo auxílio na identificação dos invertebrados; aos mestres Anderson Ribeiro Diniz e Deivid Lopes Machado e ao IFRJ *campus*

Nilo Peçanha, Pinheiral, RJ, pelo apoio na execução das atividades; e a quatro revisores anônimos, pelas considerações para melhoria do manuscrito.

ABSTRACT: The vegetation of the forests edge shows characteristics of early succession stages. However, this initial stage forest produce leaves that are hard to decompose and have a lower diversity of the soil invertebrates that participate in litter decomposition. Thus, it is likely that the litter decomposition and soil fauna are influenced by the newly created fragments border characteristics. The aim of this study was to evaluate the litter decomposition and soil invertebrates in a Atlantic Rain Forest fragment located in Pinheiral, RJ, Brazil. Litter bags and pitfall traps were installed at the edge and in the interior of the forest to assess the loss of litter mass and the soil fauna, respectively. The litter decomposed more slowly on the edge, where the soil fauna was less diverse and with more expression of bacteria and fungi predators. On the forest interior, with greater soil fauna diversity and higher activity of decomposers and predators invertebrates, litter decomposition showed a tendency to be faster. Accordingly, the fragmentation in secondary forests may slow the dynamic of litter decomposition and, thus, alter the nutrient cycling in the upper soil layer.

KEYWORDS: Forest fragmentation. Forest edges characteristics. Soil fauna

REFERÊNCIAS

- AHMED, N.; DIXON, F.; DUTTA, J.; GELB, S.; BONDURANT, J.; ISHIKAWA, J.; JACOBS, L.; KELLY, K.; MAQSAT, A.; MITCHELL, D.; MURTHY, O.; NORBY, J.; POPOV, O.; RUBENSTEIN, S.; SAH, L.; YSARKAR, D.; SHIMBERG, B.; SPRAGENS, T.; TRIPATI, P.; YAREMCHUK, M. SigmaPlot for Windows version 10.0, Build 10.0.0.54. Copyright ©. 2006.
- ANDRADE, A. G.; CABALLERO, S. S. U.; FARIA, A. M. **Ciclagem de nutrientes em ecossistemas florestais**. Rio de Janeiro, EMBRAPA Solos, Documentos n. 13, 1999. 22p.
- BOEGER, M. R. T.; WISNIEWSKI, C. Comparação da morfologia foliar de espécies arbóreas de três estádios sucessionais distintos de floresta ombrófila densa (Floresta Atlântica) no Sul do Brasil. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 26, n. 1, p. 61-72, 2003.
- BOCOCK, K. L.; GILBERT, O. J. W. The disappearance of litter under different woodland conditions. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 9, n. 2, p. 179-185, 1957.
- CAMARGO, J. L. C.; KAPOV, V. Complex edge effects on soil moisture and microclimate in central Amazonian forest. **Journal of Tropical Ecology**, Cambridge, v. 11, p. 205-221, 1995.
- CARVALHO, K. S.; VASCONCELOS, H. L. Forest fragmentation in central Amazonia and its effects on litter-dwelling ants. **Biological Conservation**, Boston, v. 91, p. 151-157, 1999.
- CASENAVE, J. L.; PELOTTO, J. P.; PROTOMASTRO, J. Edge-interior differences in vegetation structure and composition in a Chaco semi-arid forest, Argentina. **Forest Ecology and Management**, Dorchester, v. 72, p. 61-69, 1995.
- CORREIA, M. E. F. **Relações entre a diversidade da fauna do solo e o processo de decomposição e seus reflexos sobre a estabilidade dos ecossistemas**. Seropédica, EMBRAPA Agrobiologia, Documentos n. 156, 2002. 33p.
- CORREIA, M. E. F.; OLIVEIRA, L. C. M. **Fauna de Solo: Aspectos Gerais e Metodológicos**. Seropédica, EMBRAPA Agrobiologia, Documentos n. 112, 2000. 46p.

CUNHA NETO, F. V.; CORREIA, M. E. F.; PEREIRA, G. H. A.; PEREIRA, M. G.; LELES, P. S. S. Soil fauna as an indicator of soil quality in forest stands, pasture and secondary forest. **Brazilian Journal of Soil Science**, Viçosa, v. 36, p. 1407-1417, 2012.

DIDHAM, R. K. Altered leaf-litter decomposition rates in tropical forest fragments. **Oecologia**, Munich, v. 116, p. 397-406, 1998.

DIDHAM, R. K.; LAWTON, J. H. Edge structure determines the magnitude of changes in microclimate and vegetation structure in Tropical Forest Fragments. **Biotropica**, East Anglia, v. 31, p. 17-30, 1999.

DIDHAM, R. K.; LAWTON, J. H.; HAMMOND, P. M.; EGGLETON, P. Trophic structure stability and extinction dynamics of beetles (Coleoptera) in tropical forest fragments. **Philosophical Transactions Royal Society Lond. B**, Londres, v. 353, p. 437-451, 1997.

DINIZ, A. R. **Dinâmica de Fragmentos Florestais da Mata Atlântica na Região do Médio Vale Paraíba do Sul, Rio de Janeiro**. (Dissertação) Seropédica: UFRRJ, 2011. 77p.

FERREIRA, L. V.; LAURANCE, W. F. Effects of Forest fragmentation on mortality and damage of selected trees in Central Amazonia. **Conservation Biology**, Washington, v. 11, n. 3, p. 797-801, 1997.

GOMES, J.; PEREIRA, M. G.; PIÑA-RODRIGUES, F. C. M.; PEREIRA, G. H. A.; GONDIM, F. R.; SILVA, E. M. R. Aporte de serapilheira e de nutrientes em fragmentos florestais da Mata Atlântica, RJ. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 5, n. 3, p. 383-391, 2010.

HAAG, H. P. **Ciclagem de nutrientes em florestas tropicais**. Campinas: Cargill, 1985. 144p.

HAMMER, O.; HARPER, D.A. & RYAN, P.D. 2004. PAST – Paleontological Statistics ver.1.12 Disponível em: <<http://www.folk.uio.no/ohammer/past>>. Acesso em 30 de jan. 2012.

HILL, J. L.; CURRAN, P. J. Species composition in fragmented forests: conservation implications of changing forest area. **Applied Geography**, Terre Haute, v. 21, p. 157-174, 2001.

LAURANCE, W. F.; CAMARGO, J. L. C.; LUIZÃO, R. C. C.; LAURANCE, S. G.; PIMMD, S. L.; BRUNA, E. M.; STOUFFER, P. C.; WILLIAMSON, B.; BENÍTEZ-MALVIDO, J.; VASCONCELOS, H. L.; VAN HOUTAN, K. S.; ZARTMAN, C. E.; BOYLE, S. A.; DIDHAM, R. K.; ANDRADE, A.; LOVEJOY, T. E. The fate of Amazonian forest fragments: A 32-year investigation. **Biological Conservation**, Boston, v. 144, p. 56-67, 2010.

LUIZÃO, F. J.; SCHUBART, H. O. R. Produção de decomposição de liteira em floresta de terra firme da Amazônia Central. **Acta Limnologica Brasiliensia**, Rio Claro, v. 1, p. 575-600, 1986.

MACHADO, D. L. **Indicadores da Dinâmica Sucessional em Fragmento de Mata Atlântica na Região do Médio Vale Paraíba do Sul, Pinheiral, RJ**. (Dissertação). Seropédica: UFRRJ, 2011. MASON, C. F. **Decomposition**. Temas de Biologia, v.18. São Paulo: EPU, 1980. 64p.

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

MENEZES, C. E. G.; PEREIRA, M. G.; CORREIA, M. E. F.; ANJOS, L. H. C.; PAULA, R. R.; SOUZA, M. E. Aporte e decomposição da serapilheira e produção de biomassa radicular em florestas com diferentes estágios sucessionais. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 20, n. 3, p. 439-452, 2010.

MERLIM, A. O. Macrofauna edáfica em ecossistemas preservados e degradados de araucária no Parque Estadual de Campos do Jordão. (Dissertação). Piracicaba: ESALQ-USP, 2005. 89p.

MESQUITA, R. C. G.; DELAMÔNICA, P.; LAURANCE, W. F. Effect of surrounding vegetation on edge-related tree mortality in Amazonian forest fragments. **Biological Conservation**, Boston, v. 91, p. 129-134, 1999.

MOÇO, M. K. S.; GAMA-RODRIGUES, E. F.; GAMA-RODRIGUES, A. C.; CORREIA, M. E. F. Caracterização da Fauna Edáfica em diferentes coberturas vegetais na região Norte Fluminense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, p. 555-564, 2005.

MOLDENKE, A. R. Arthropods. In: **Soil Science Society of America: Methods of Soil Analysis, Part 2. Microbiological and Biochemical Properties**. Madison, Book Series, n. 5, 1994.

MURCIA, C. Edge effects in fragmented forests: implications for conservation. **Trends in Ecology and Evolution**, Genebra, v. 10, n. 2, p. 58-62, 1995.

ODUM, E. P. The strategy of ecosystem development. **Science**, New Jersey, v. 164, p. 262-270, 1969.

OLIVEIRA, J. A. **Caracterização física da Bacia do Ribeirão Cachimbal-Pinheiral (RJ) e de suas principais paisagens degradadas**. (Dissertação) Seropédica: UFRRJ, 1998. 143p.

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

PAULA, R. R.; PEREIRA, M. G.; MENEZES, L. F. T. Aporte de nutrientes e decomposição da serrapilheira em três fragmentos florestais periodicamente inundados na ilha da Marambaia, RJ. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 19, n. 2, p. 139-148, 2009.

PEEL, M. C.; FINLAYSON, B. L.; MCMAHON, T. A. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. **Hydrology Earth System Sciences**, Göttingen, v. 11, p. 1633-1644, 2007.

REZENDE, C. P.; CANTARUTTI, R. B.; BRAGA, J. M.; GOMIDE, J. A.; PEREIRA, J. M.; FERREIRA, E.; TARRE, R.; MACEDO, R.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S.; CADISCH, G.; GILLER, K. E.; BODDEY, R. M. Litter deposition and disappearance in Brachiaria pastures in the Atlantic forest region of the South of Bahia, Brazil. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Bonn, v. 54, p. 99-112, 1999.

RODRIGUES, P. J. F. P.; NASCIMENTO, M. T. Fragmentação florestal: breves considerações teóricas sobre efeitos de borda. **Rodriguésia**, Rio de Janeiro, v. 57, n. 1, p. 64-74, 2006.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; OLIVEIRA, J. B.; COELHO, M. R.; LUMBRERAS, J. F.; CUNHA, T. J. F. (Ed.). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro, EMBRAPA Solos, 2006. 316p.

SCORIZA, R. N.; PEREIRA, M. G.; PEREIRA, G. H. A.; MACHADO, D. L.; SILVA, E. M. R. Métodos para coleta e análise de serrapilheira aplicados à ciclagem de nutrientes. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 2, n. 2, p. 01-18, 2012.

SELLE, G. L. Ciclagem de nutrientes em ecossistemas florestais. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 23, n. 4, p. 29-39, 2007.

SILVA, C. F.; PEREIRA, M. G.; CORREIA, M. E. F.; SILVA, E. M. R. Fauna edáfica em áreas de agricultura tradicional no entorno do Parque Estadual da Serra do Mar em Ubatuba (SP). **Revista de Ciências Agrárias**, Belém, v. 52, p. 107-115, 2009.

THOMAS, R. J.; ASAKAWA, N. M. Decomposition of leaf litter from tropical forage grasses and legumes. **Soil Biology & Biochemistry**, Netherlands, v. 25, p. 1351-1361, 1993.

TOLEDO, L. O.; PEREIRA, M. G.; MENEZES, C. E. G. Produção de serrapilheira e transferência de nutrientes em florestas Secundárias localizadas na região de Pinheiral, RJ. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 12, n. 2, p. 9-16, 2002.

TEWS, J.; BROSE, U.; GRIMM, U.; TIELBÖRGER, K.; WICHMANN, M.C.; SCHAWGER, M. & JELTSCH, F. Animal species diversity driven by habitat heterogeneity/ diversity: The importance of keystone structures. **Journal of Biogeography**, Oxford, v. 31, p. 79-92, 2004.

VELOSO, H. P. **Manual Técnico da Vegetação Brasileira**. Rio de Janeiro, IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 1992. 92p.

WILLIAMS-LINERA, G. Vegetation Structure and Environmental Conditions of Forest Edge in Panama. **The Journal of Ecology**, Londres, v. 78, n. 2, p. 356-373, 1990.

WILLIAMS-LINERA, G.; DOMINGUEZ-GASTELU, V.; GARCIA-ZURITA, M. E. Microenvironment and Floristics of Different Edges in a Fragmented Tropical Rainforest. **Conservation Biology**, Washington, v. 12, n. 5, p. 1091-1102, 1990.

XULUC-TOLOSA, F. J.; VESTERA, H. F. M.; RAMÍREZ-MARCIAL, N.; CASTELLANOS-ALBORES, J.; LAWRENCE, D. Leaf litter decomposition of tree species in three successional phases of tropical dry secondary forest in Campeche, Mexico. **Forest Ecology and Management**, Dorchester, v.174, p. 401–412, 2003.