

CICLAGEM DE NUTRIENTES EM DIFERENTES ESTÁGIOS SUCESSIONAIS DA MATA ATLÂNTICA NA BACIA DO RIO PARAÍBA DO SUL, RJ

NUTRIENT CYCLING IN DIFFERENT SUCCESSIONAL STAGES OF FOREST ATLANTIC, IN RIVER BASIN SUL PARAÍBA, RJ

**Deivid Lopes MACHADO¹; Marcos Gervasio PEREIRA²;
Maria Elizabeth Fernandes CORREIA³; Anderson Ribeiro DINIZ⁴;
Lauana Lopes dos SANTOS⁵; Carlos Eduardo Gabriel MENEZES⁶**

1. Pós-Graduação em Ciência Florestal, Departamento de Recursos Naturais, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Botucatu, SP, Brasil. deivid.machado@ig.com.br; 2. Professor Associado IV, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Instituto de Agronomia, Departamento de Solos, Seropédica, RJ, Brasil; 3. Pesquisadora da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Embrapa Agrobiologia, Seropédica, Rio de Janeiro, Brasil. 4. Pós-Graduação em Agronomia Ciência do Solo, Instituto de Agronomia, Departamento de Solos, Seropédica, RJ, Brasil; 5. Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, Departamento de Solos, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Brasil; 6. Professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro, Campus Nilo Peçanha, Pinheiral, Rio de Janeiro, Brasil.

RESUMO: Em ecossistemas florestais, o aporte e decomposição da serapilheira constituem o principal meio de transferência de nutrientes para o solo, sendo de grande importância para a sustentabilidade desses sistemas. Contudo, ainda são incipientes os estudos sobre a influência de estágios de sucessão na dinâmica da ciclagem de nutrientes em florestas secundárias, principalmente as localizadas em áreas de relevo movimentado, onde concentram-se grande parte dos fragmentos da Mata Atlântica na região sudeste do Brasil. Este trabalho teve como objetivo estudar a ciclagem de nutrientes em diferentes estágios de sucessão de uma Floresta Estacional Semidecidual Submontana, por meio da estimativa da deposição mensal e anual de serapilheira, do aporte de nutrientes e da taxa de decomposição do material foliar. Foram selecionadas três áreas com diferentes estágios sucessionais, localizadas em Pinheiral, RJ: floresta em estágio inicial (FEI), floresta em estágio médio (FEM) e floresta em estágio avançado (FEA). A produção de serapilheira foi avaliada mensalmente durante um ano (abril/2009 a março/2010) por meio de coletores cônicos de 0,21m². A serapilheira foi seca, estratificada nas frações folhas, ramos, materiais reprodutivos e outras (frações não identificáveis), e pesada. Foram determinados os teores dos macronutrientes N, P, K, Ca e Mg para a serapilheira produzida. A decomposição do material foliar foi avaliada durante 120 dias, utilizando-se sacolas de decomposição. A deposição anual de serapilheira foi estimada em 7,47 Mg ha⁻¹ na FEI; 8,96 Mg ha⁻¹ na FEM e 14,7 Mg ha⁻¹ na FEA, com a fração foliar representando, respectivamente, 86,4%, 80,7% e 66,1% do total aportado. Os teores e conteúdos de nutrientes, de maneira geral, foram menores na FEI, intermediários na FEM e maiores na FEA. A serapilheira se mostrou como uma importante via de transferência de N e Ca para o solo, destacando-se o N na FEA e o Ca na FEM e FEI. O tempo de meia vida para a FEA foi de 151 dias, seguido pela FEM (217 dias) e FEI (315 dias), observando-se na FEA maiores taxas de decomposição durante todo o período do estudo. Os resultados desse estudo evidenciaram que a idade sucessionaf afetou a quantidade total de nutrientes produzidos via serapilheira, função da complexidade estrutural em termos de aumento de riqueza de espécies vegetais e área basal. Desta forma, é possível supor que, desde que existam condições favoráveis tais como fontes de propágulos e dispersores, a sucessão florestal secundária, em áreas de relevo acidentado e com solos de baixa fertilidade natural, condicionará a formação de uma floresta nutricionalmente sustentável.

PALAVRAS-CHAVE: Serapilheira. Decomposição. Macronutrientes. Sucessão Florestal. Restauração assistida.

INTRODUÇÃO

Em ecossistemas florestais tropicais, principalmente de solos distróficos, a produção e decomposição da serapilheira são fundamentais para manutenção e melhoria dos fatores edáficos ligados à nutrição das plantas (HAAG, 1985; VITAL et al., 2004) e, conseqüentemente, para o equilíbrio ecológico e a sustentabilidade desses sistemas (MORAES et al., 1999).

A serapilheira é um componente fundamental na ciclagem de nutrientes em solos florestais (VITOUSEK; STANFORD, 1986), sendo formada por materiais depositados na superfície do solo, como folhas, cascas, ramos, flores, inflorescências, frutos, sementes e fragmentos vegetais e animais não identificáveis (MORELLATO, 1992). Atua no ambiente solo como um sistema de entrada e saída de nutrientes e energia, via aporte de material e sua posterior

decomposição, processos de suma importância na restauração da fertilidade do solo de florestas secundárias (ARATO et al., 2003; OSTERTAG et al., 2008). Quantidades significativas de nutrientes retornam ao solo pela deposição da serapilheira e sua posterior decomposição (TOLEDO; PEREIRA, 2004), sendo a fração foliar a principal contribuinte deste processo com valores que podem ser superiores a 70% de todo o material adicionado anualmente ao solo (MORELATO, 1992; FIGUEIREDO-FILHO et al., 2003).

Após o aporte desses materiais, o seu acúmulo ou estoque na superfície do solo é regulado pela decomposição, que é considerada uma das etapas mais importantes da ciclagem de nutrientes (VITOUSEK; STANFORD, 1986; MONTAGNINI; JORDAN, 2002; CORREIA; ANDRADE, 2008). A decomposição da serapilheira é um processo dinâmico, em que ocorre, simultaneamente, a fragmentação física das estruturas, a sua transformação química, a síntese de novos compostos e o transporte dos produtos formados para os horizontes subsuperficiais do solo (HEAL et al., 1997). A regulação das taxas de decomposição da serapilheira depende fundamentalmente das condições físicas e químicas do ambiente e da qualidade orgânica e nutricional do material que é aportado (CORREIA; ANDRADE, 2008). Associado a esses fatores, a fauna edáfica se encontra intimamente envolvida na fragmentação da serapilheira e estimulação da comunidade microbiana do solo (CORREIA; ANDRADE, 2008), a qual pode acelerar o processo de decomposição (CHAPIN et al., 2002).

Devido à sua importância para o equilíbrio dos ecossistemas florestais, tais processos têm sido adotados como indicadores da integridade ecológica de ecossistemas florestais (MARTINS; RODRIGUES, 1999), por sua estreita relação com a dinâmica sucessional da vegetação (PINTO et al., 2009), principalmente no que se refere a sua estrutura e florística (OSTERTAG et al., 2008). A partir do exposto, este estudo teve como objetivo avaliar o efeito da dinâmica sucessional florestal na produção de serapilheira e nutrientes e na taxa de decomposição do material foliar, tendo como hipótese que as florestas em estádios mais avançados de sucessão, por possuírem maior complexidade estrutural da vegetação, produzem mais serapilheira e nutrientes e apresentam maior velocidade de decomposição e ciclagem de nutrientes em comparação às florestas em estádios iniciais.

MATERIAL E MÉTODOS

Localização e caracterização da área de estudo

O estudo foi realizado no município de Pinheiral, Rio de Janeiro, na região do Médio Paraíba Fluminense, situado na sub-bacia do Ribeirão Cachimbal, que compõe a bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul, localizado entre as latitudes 22°29'03'' e 22°35'27''S e entre as longitudes 43°54'49''W e 44°04'05''W (MENEZES, 2008).

O clima da região, de acordo com a classificação de Köppen, foi identificado em Am - clima tropical chuvoso com inverno seco. Dados da antiga Estação Meteorológica do município de Piráí, RJ, apresentados por Oliveira (1998), indicam que a região apresenta precipitação anual em torno de 1.300 mm e temperatura média anual de 21°C. Os dados de precipitação e temperatura durante o período de estudo foram obtidos pela Estação Meteorológica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro, Câmpus Pinheiral (Figura 1).

A região está inserida no domínio ecológico do Bioma Mata Atlântica, cuja vegetação original denomina-se Floresta Estacional Semidecidual Submontana (IBGE, 1992), característica de zonas de altitudes entre 300 e 800 metros. A paisagem na região é dominada por pastagens implantadas e espontâneas não manejadas, que se apresentam em diferentes estádios de degradação, nível de uso e/ou abandono, dando origem às demais formas de vegetação da área, como os pastos com vegetação espontânea e as capoeiras em diferentes estádios sucessionais (MENEZES, 2008). Os solos predominantes nas encostas são Argissolo Vermelho-Amarelo, Latossolo Vermelho Amarelo e Cambissolo Háplico (MENEZES, 2008).

O estudo foi realizado em um fragmento de Floresta Estacional Semidecidual Submontana que possui área aproximada de 190 hectares e apresenta diferentes estádios sucessionais, sendo previamente investigado por Menezes (2008). O autor definiu as áreas com base na interpretação de fotografias aéreas e informações históricas de uso da terra obtidas com antigos moradores do município de Pinheiral, RJ, que residiam e utilizavam as terras na sub-bacia em estudo entre as décadas de 1950 e 2000. A partir dessas informações foi feito o reconhecimento do fragmento *in loco*, buscando-se definir áreas com diferentes estádios sucessionais, mas sob mesmas condições edafoclimáticas, como posicionamento na encosta (terço superior), face de exposição (sudeste), declividade (entre 40 e 70%) e classe de solo (Cambissolo Háplico Distrófico

típico). Em função dessas características foram selecionadas três áreas, sendo em cada uma delas delimitada uma parcela de 50 m x 50 m, onde foi realizado levantamento florístico e fitossociológico

da vegetação de todos os indivíduos lenhosos com diâmetro a altura do peito (DAP) superior a 2,5 cm (MENEZES, 2008).

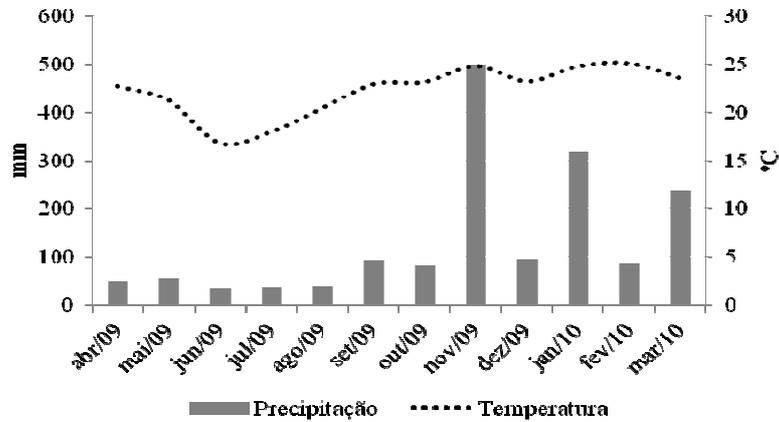


Figura 1. Valores médios de precipitação e temperatura, no período de 01/04/2009 a 31/03/2010. Fonte: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro, Câmpus Pinheiral.

A cobertura vegetal secundária foi classificada em diferentes estádios sucessionais da Mata Atlântica, segundo a resolução CONAMA 006/94 (CONAMA 2009). A seguir são apresentados o histórico e a caracterização das áreas estudadas, baseados em Menezes (2008).

Floresta em estágio inicial (FEI): possui aproximadamente 20 anos de sucessão natural e está localizada no terço superior da encosta (466,7 m de altitude). Até 1990 a área era composta por gramíneas e arbustos, manejada por simples roçada anual e queimadas eventuais. A partir desses eventos, a área foi ocupada por pequenos agricultores que, em função das dificuldades de acesso, apenas a cercaram, o que proporcionou o início da regeneração natural. A área apresenta fisionomia herbáceo/arbustiva com predomínio de espécies heliófilas, poucas espécies lenhosas (menos que vinte por hectare), altura média de 1,86 m e área basal de 5,3 m² ha⁻¹. Foram identificadas sete espécies, divididas em cinco famílias, sendo essas Annonaceae, Melastomataceae, Siparunaceae, Thelypteridaceae e Urticaceae. As cinco espécies com maior índice de valor de importância (IVI) foram *Clidemia urceolata* DC. (151,2), *Cecropia pachystachya* Trécul (51,4), *Miconia cinnamomifolia* (22,6), *Miconia calvescens* DC. (20,0) e *Siparuna guianensis* Aubl. (5,8).

Floresta em estágio médio (FEM): possui aproximadamente 25 anos de sucessão e está localizada na mesma altitude que a FEI. A área se encontrava até 1985 sob cobertura de gramíneas e arbustos, com formação inicial de capoeira, sendo

também protegida por cerca de arame, o que permitiu o desenvolvimento sucessional. Apresenta fisionomia arbustivo/arbórea, com início de estratificação e ocorrem espécies de grupo sucessional tardio. Foram identificadas o total de 10 espécies, sendo a altura média de 8 m e a área basal de 12,3 m² ha⁻¹. As famílias verificadas nesse estágio sucessional foram Anacardiaceae, Lecytidaceae, Melastomataceae, Moraceae, Myrsinaceae, Myrtaceae, Rubiaceae, Sapindaceae, Siparunaceae e Urticaceae. As cinco espécies com maior IVI foram *Cecropia pachystachya* Trécul (53,3), *Miconia calvescens* DC. (45,8), *Astrocaryum aculeatissimum* (Schott) Burret (41,4), *Siparuna guianensis* Aubl. (35,9) e *Cupanea oblongifolia* Mart. (22,3).

Floresta em estágio avançado (FEA): possui aproximadamente 65 anos de sucessão e encontra-se a 521,9 m de altitude. Pelos relatos de moradores, a área é considerada a mais antiga da porção inferior da sub-bacia, sendo a cobertura florestal formada após a decadência da cafeicultura na região. A área apresenta fisionomia arbórea, com árvores emergentes, sub-bosque já diferenciado e formado por espécies tolerantes, com variedade de espécies lenhosas, número expressivo de indivíduos regenerantes e presença de lianas e epífitas em abundância. Foram encontradas 35 espécies arbóreas, com altura média de 17,5 m e área basal de 23,5 m² ha⁻¹. As famílias verificadas nesse estágio foram Anacardiaceae, Bignoniaceae, Burceraceae, Fabaceae, Erytroxilaceae, Lauraceae, Lecytidaceae, Malvaceae, Meliaceae, Moraceae, Myrtaceae, Nyctaginaceae, Polygonaceae,

Rubiaceae, Sapindaceae, Siparunaceae, Solanaceae e Urticaceae. As cinco espécies com maior IVI foram *Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan (99,3), *Trichilia casaretti* C.DC. (22,8), *Spondias macrocarpa* Engl. (17,0), *Colubrina glandulosa* Perkins (13,2) e *Piptadenia gonoacantha* (Mart.) J.F.Macbr. (10,2).

Segundo Menezes (2008), os diferentes estádios sucessionais se encontram sob Cambissolo

Háplico Distrófico típico. Para caracterização do solo foram realizadas coletas de solo em março de 2009, sendo as análises realizadas segundo Embrapa (1997). O nitrogênio total (N) foi determinado segundo metodologia exposta em Tedesco et al. (1995). Na Tabela 1 são apresentados os atributos químicos do solo.

Tabela 1. Atributos químicos nas camadas de 0,0-0,10 e 0,10-0,20 m nas florestas em estágio inicial (FEI), médio (FEM) e avançado (FEA), Pinheiral, RJ.

Áreas de estudo	pH (H ₂ O)	N	P	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Na+	K ⁺	H+Al	S	V (%)
		g kg ⁻¹	mg dm ⁻³	-----cmol _c .kg ⁻¹ -----						
0,0-0,10 m										
FEI	5,05 a	0,94 b	2,2 b	1,06 b	1,02 b	0,01 c	0,18 a	5,65 a	2,27 b	28,66 b
FEM	5,38 a	1,45 a	2,2 b	2,77 a	2,10 a	0,06 a	0,37 a	4,50 a	5,30 a	54,08 a
FEA	4,14 b	1,23 ab	4,2 a	1,60 ab	0,99 b	0,03 b	0,22 a	5,89 a	2,84 b	32,53 ab
0,10-0,20 m										
FEI	4,79 a	0,50 a	1,0 b	0,22 a	0,36 b	0,01 c	0,07 a	5,23 a	0,66 b	11,21 b
FEM	4,93 a	0,99 a	1,2 b	0,57 a	0,87 a	0,05 a	0,23 a	4,99 a	1,72 a	25,63 a
FEA	4,22 b	1,03 a	2,4 a	0,63 a	0,54 b	0,02 b	0,11 a	5,39 a	1,30 ab	19,43 ab

P: P-assimilável por Mehlich-1; Soma de bases: S= Ca²⁺ + Mg²⁺ + Na⁺ + K⁺; Saturação por bases: V % = (S/ S+(H+Al))*100. Médias de cinco repetições. Valores seguidos de mesma letra na coluna entre áreas para cada profundidade não diferem entre si pelo teste t de Bonferroni (p<0,05).

Aporte de serapilheira e de nutrientes

A amostragem da serapilheira depositada e a avaliação da taxa de decomposição, em cada estágio sucessionais, foram realizadas nos limites da parcela de 50 m x 50 m, em uma subparcela de 30 m x 30 m (área útil de 900 m²). Esse procedimento se fez necessário para evitar o efeito entre os estádios sucessionais, já que as áreas de FEI e FEM são vizinhas.

Para interceptação da serapilheira foram instalados, em cada parcela de estudo, 10 coletores cônicos, construídos com tubo de 3/4" em material plástico de polietileno, com fundo de tela de 1 mm, com área de 0,21 m² (perímetro igual a 1,62 m), que foram fixados a altura de 1,0 metro acima da superfície do terreno (TOLEDO, 2003).

A serapilheira depositada foi coletada mensalmente durante um ano (abril de 2009 a março de 2010). Posteriormente, a cada coleta, após

secagem ao ar, o material foi estratificado em folhas, ramos, materiais reprodutivos e outras (frações não identificáveis). Após essa etapa, o material foi secado em estufa à temperatura de 65°C, até peso constante e pesado para avaliar a contribuição de cada fração no aporte total da serapilheira. O aporte total mensal de cada área foi determinado a partir da média aritmética dos dez coletores.

A quantidade de serapilheira produzida anualmente, para cada área de estudo, foi estimada a partir da expressão (Equação 1), modificada de Lopes et al. (2002):

$$\text{Equação 1: PS} = (\sum \text{PM} \times 10.000) / \text{Ac}$$

Em que: PS = produção de serapilheira (Mg ha⁻¹ ano⁻¹); PM = produção mensal de serapilheira (Mg mês⁻¹) obtida pela média dos 10 coletores; Ac = Área do coletor (m²).

Foi calculado o índice de sazonalidade, que expressa a relação entre o período de maior e o de menor produção da serapilheira total, a partir da equação 2 (MARIMON, 2007).

Equação 2: $IS = AP / BP$.

Em que: IS = índice de sazonalidade; AP = valor da serapilheira total produzida durante os seis meses de maior produção; BP = valor da serapilheira total produzida durante os seis meses de menor produção.

Após triagem e quantificação da contribuição de cada fração no aporte total, as amostras foram transferidas para bandejas e homogeneizadas. As 10 amostras, obtidas mensalmente para cada área, foram unidas duas a duas, totalizando cinco amostras para cada mês, perfazendo cinco repetições. Esse material foi moído e submetido à digestão sulfúrica (TEDESCO et al., 1995), sendo posteriormente determinado os teores de N (nitrogênio), P (fósforo), K (potássio), Ca (cálcio) e Mg (magnésio). O conteúdo de nutrientes (kg ha^{-1}) foi estimado pela multiplicação dos teores (g kg^{-1}) pela massa do material aportado (kg ha^{-1}). Os teores (g kg^{-1}) e conteúdos médios (kg ha^{-1}) mensais foram estimados a partir da média aritmética dos 12 meses avaliados. O conteúdo total anual (kg ha^{-1}) foi estimado a partir da soma dos conteúdos dos 12 meses analisados.

Taxa de decomposição do material foliar

Para estimar a taxa de decomposição foram utilizadas amostras de material foliar que foram depositados nos coletores cônicos acima descritos. Desse material, após secagem e triagem, foram retiradas 10 gramas e acondicionados em sacolas de decomposição, confeccionadas com tela de polivinil com malha de 4 mm, área de 25 cm x 25 cm e 1,5 cm de altura (ANDERSON; INGRAM, 1993).

Em cada área foram instaladas 20 sacolas de decomposição no início do período chuvoso (02 de outubro de 2009). As coletas foram realizadas após 15, 30, 72, 97 e 120 dias (t dias), sendo retiradas em cada coleta quatro sacolas, perfazendo quatro repetições por área.

A quantificação da taxa de decomposição foi obtida por meio de medidas de perda de massa, calculando-se a diferença entre as quantidades iniciais do material original contido na sacola de decomposição (tempo zero = 10 g) e as que permaneceram em cada período de coleta (t dias = X g). De posse desses valores, foi estimada a constante de decomposição k, por meio do seguinte modelo exponencial (OLSON, 1963) (Equação 3):

Equação 3: $X_t = X_0 \cdot e^{-kt}$.

Em que: X_t é o peso do material remanescente após t dias e X_0 o peso do material seco originalmente colocado nos sacos no tempo zero ($t = 0$).

O coeficiente deste modelo exponencial, bem como as curvas que caracterizam a perda de peso (decomposição) do material foliar, foi produzido com o auxílio do programa SIGMAPLOT 8.0. O tempo de meia-vida ($t^{1/2}$) do material foliar foi estimado conforme Rezende et al. (1999), por meio da equação 3:

Equação 3: $t^{1/2} = \ln(2) / k$.

Em que: k é a constante de decomposição.

Análise dos dados

Os resultados de todos os fatores estudados foram submetidos à análise de normalidade da distribuição dos erros (teste de Lilliefors) e homogeneidade das variâncias dos erros (teste de Cochran) e analisados por meio do Sistema para Análises Estatísticas (SAEG 9.1) (RIBEIRO JÚNIOR, 2001).

Os dados atenderam às pressuposições da análise de variância, tendo os valores médios sido comparados por meio do teste t de Bonferroni a 5% de probabilidade ($p < 0,05$), com a utilização do programa estatístico SISVAR 4.3 (FERREIRA, 2008).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Aporte de serapilheira

A produção total anual de serapilheira aportada foi de 7,47 $\text{Mg ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$ para a FEI, 8,96 $\text{Mg ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$ para a FEM e 14,70 $\text{Mg ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$ na FEA, conforme apresentada na Tabela 2, sendo os resultados de aporte deste trabalho próximos aos verificados em estudos desenvolvidos em florestas estacionais semidecíduais das regiões sul e sudeste do Brasil, cujos valores estiveram entre 5,09 $\text{Mg ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$ e 13,14 $\text{Mg ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$ (WERNECK et al., 2001; TOLEDO; PEREIRA, 2004; PEZZATO; WISNIEWSKI, 2006; PINTO et al., 2008; PIMENTA et al., 2011).

A maior produção média mensal de serapilheira ocorreu na FEA (1,22 Mg ha^{-1}), sendo menores na FEM (0,75 Mg ha^{-1}) e FEI (0,62 Mg ha^{-1}), as quais não se diferiram (Tabela 2). Maior aporte em estádios avançados também foi verificado nos estudos de Werneck et al. (2001), Pezzatto e Wisniewski (2006), Pinto et al. (2008) e Menezes et al. (2010), ambos realizados em florestas estacionais semidecíduais.

Tabela 2. Produção mensal* e anual de serapilheira (Mg ha⁻¹) nas áreas de floresta secundária em diferentes estádios sucessionais, Pinheiral, RJ.

Mês	Área de estudo					
	FEI		FEM		FEA	
	-----Mg ha ⁻¹ -----					
Abril	0,65 (0,080)	a ABCD	0,73 (0,098)	a AB	0,65 (0,061)	a C
Mai	0,41 (0,064)	a CD	0,67 (0,097)	a AB	0,53 (0,074)	a C
Junho	0,51 (0,092)	a CD	0,63 (0,110)	a AB	0,42 (0,063)	a C
Julho	0,50 (0,070)	a BCD	0,40 (0,076)	a B	0,46 (0,046)	a C
Agosto	0,41 (0,065)	a CD	0,61 (0,232)	a AB	0,83 (0,129)	a BC
Setembro	0,77 (0,105)	b ABC	0,77 (0,104)	b AB	1,91 (0,284)	a A
Outubro	0,54 (0,070)	b BCD	0,58 (0,098)	b AB	1,57 (0,167)	a AB
Novembro	0,98 (0,110)	b A	1,16 (0,215)	ab A	1,84 (0,250)	a A
Dezembro	0,83 (0,105)	b AB	0,97 (0,107)	b AB	2,01 (0,262)	a A
Janeiro	0,36 (0,045)	b D	0,59 (0,122)	b AB	1,76 (0,231)	a A
Fevereiro	0,51 (0,058)	b BCD	0,77 (0,125)	b AB	1,16 (0,111)	a BC
Março	1,00 (0,107)	b A	1,07 (0,089)	b A	1,56 (0,182)	a AB
Média mensal	0,62 b		0,75 b		1,22 a	
Total Anual	7,47 b		8,96 b		14,70 a	

*Médias de 10 repetições. Valores seguidos com mesma letra, minúscula na linha e maiúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste t de Bonferroni ($p < 0,05$). Valores entre parênteses correspondem ao erro padrão. Legenda: FEI - floresta em estágio inicial; FEM - floresta em estágio médio; FEA - floresta em estágio avançado.

O padrão de maior deposição em florestas com estádios avançados pode estar relacionado com a complexidade estrutural da vegetação, conforme avança o processo sucessional. Mueller-Dombois e Ellenberg (1974) e Chazdon (2012) relatam que, durante a trajetória sucessional, ocorrem alterações na composição e na riqueza de espécies vegetais, e aumento na complexidade estrutural da vegetação. Essas mudanças na vegetação das florestas, segundo Guariguata e Ostertag (2001), também são acompanhadas por alterações no hábitat, com diminuição da intensidade luminosa, incremento de biomassa e disponibilidade de nutrientes no solo. Nesse contexto, o aumento na produção de serapilheira em função do avanço do estágio sucessional, conforme observado neste estudo, pode estar relacionado com o aumento da riqueza de espécies e a área basal, os quais foram respectivamente de sete na FEI, 10 na FEM e 35 na FEA, e 5,3 m² ha⁻¹ na FEI, 12,3 m² ha⁻¹ na FEM e 23,5 m² ha⁻¹ na FEA. Estudos como os de Clark et al. (2001), ao avaliarem a produtividade primária em diversas florestas tropicais do mundo e Celentano et al. (2011), ao analisarem a dinâmica de produção de serapilheira em diferentes estratégias de restauração na Costa Rica, ratificam os resultados deste estudo, ao constatarem relações positivas entre o aumento da biomassa e o da produção de serapilheira. Scherer-Lorenzen et al. (2007) ao analisarem os efeitos da riqueza de espécies na

produção e na decomposição de serapilheira em um experimento de biodiversidade no Panamá, também verificaram relações positivas entre o número de espécies arbóreas e a produção de serapilheira. Dessa forma, pode-se inferir que a maior riqueza de espécies na FEA associada com uma maior densidade de indivíduos resultou em dossel mais denso e, conseqüentemente, influenciou a produção nessa área (WERNECK et al., 2001; CELENTANO et al., 2011). Trabalhos, como os de Pezzatto e Wisniewski (2006), realizados em florestas estacionais semidecíduais, também confirmam os resultados verificados neste estudo, em que constatarem que a produção de serapilheira aumenta em função do avanço do estágio sucessional.

Quanto à sazonalidade de deposição durante o período de estudo, verificou-se que a serapilheira aportada nas áreas de FEI e FEM, de maneira geral, distribuiu-se de forma mais homogênea do que na FEA (Tabela 2). Esse fato pode ser confirmado pelos valores do índice de sazonalidade que foi de 1,77 na FEI, 1,57 na FEM e 2,63 na FEA, ou seja, quanto menor o valor do índice menos sazonal é a produção durante o ano. Os valores do índice de sazonalidade estão próximos aos apresentados por Cabianchi (2010) para florestas semidecíduais, os quais variaram de 1,9 a 5,0. Pezzatto e Wisniewski (2006) também verificaram produção mais homogênea nos estádios iniciais avaliados em seu estudo. Segundo esses autores, o fato das áreas iniciais (capoeirinha e

capoeira) não apresentarem meses com expressivos valores de aporte, pode estar relacionado com as características fenológicas das espécies que dominaram as áreas, como as pioneiras *Aloysia virgata* (Ruiz e Pav.) Juss., *Trema micrantha* (L.) Blume e *Piper* sp., que apresentam perda de folhas uniforme ao longo do ano. Menezes (2008), realizando estudos nas mesmas áreas verificou que espécies pioneiras também ocorreram com maior frequência na FEI e FEM, com destaque para *Clidemia urceolata* DC. na FEI e *Cecropia pachystachya* Trécul na FEM. Deste modo, a ocorrência e dominância dessas espécies na FEI e FEM pode explicar a menor variação do aporte durante o ano, além das inexpressivas diferenças entre os meses (Tabela 2).

Diferindo das áreas de FEI e FEM, na FEA verificaram-se dois períodos cujos valores de deposição foram diferentes, sendo maiores nos meses de setembro, novembro, dezembro e janeiro, retratando o final do período seco e o período chuvoso, e menores entre os meses de abril a agosto. Além das diferenças na FEA, os valores de deposição entre as áreas também podem ser agrupados estatisticamente em dois períodos (Tabela 2), o primeiro de abril a agosto, no qual não foram observadas diferenças, e o outro de setembro a março, período cujos valores foram maiores na

FEA.

O padrão de maior deciduidade no final da estação seca, com início de maior aporte no mês de agosto, também foi observado por Pinto et al. (2008), estimando a produção de serapilheira em dois estádios sucessionais em Viçosa, no estado de Minas Gerais, e Gomes (2010), estudando o aporte de serapilheira e de nutrientes em fragmentos florestais da Mata Atlântica no estado do Rio de Janeiro. Os autores observaram valores máximos de aporte entre os meses de setembro a dezembro, e relataram que a maior produção no final da época seca é devido à resposta da vegetação ao estresse hídrico, já que a queda de folhas reduz a perda de água por transpiração. Associado a isso, possivelmente, o acréscimo nos valores de aporte no início do período chuvoso, em todas as áreas, pode estar relacionado com a precipitação (Figura 1) e a velocidade dos ventos em forma de tempestade, as quais podem ter atuado como fator mecânico na derrubada de material vegetativo, refletindo assim no aumento do aporte, sendo esse fato também constatado por Martins e Rodrigues (1999) e Terror et al. (2011).

Com relação às frações da serapilheira, a contribuição das folhas representou valores acima de 60% em todas as áreas de estudo, com valores acima de 80% nas áreas de FEI e FEM (Figura 2).

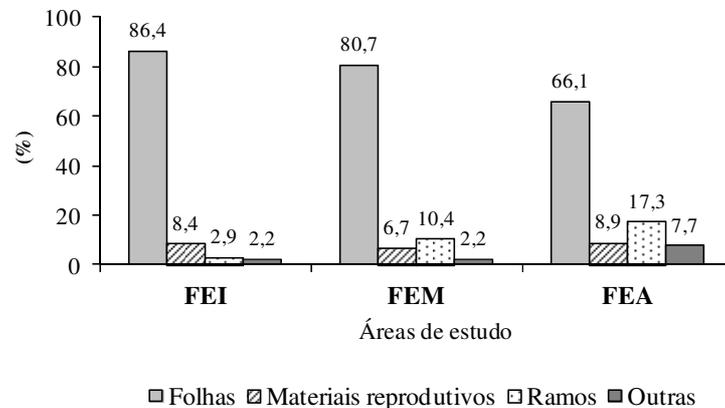


Figura 2. Valores percentuais das frações da serapilheira (folhas, materiais reprodutivos, ramos e outras), em relação ao aporte total. Legenda: FEI - floresta em estágio inicial; FEM - floresta em estágio médio; FEA - floresta em estágio avançado, Pinheiral, RJ.

Estudos como o de Figueira-Filho et al. (2003), Paula et al. (2009), Menezes et al. (2010) e Pimenta et al. (2011) corroboram os resultados encontrados, cujos os autores verificaram dentre as frações analisadas que as folhas expressaram maiores valores, contribuindo com mais de 70% de material adicionado ao solo. A expressiva contribuição dessa fração nas áreas de FEM e FEI pode ser decorrente do maior número de espécies

pioneiras verificadas nas áreas, como relatado anteriormente. Autores como Leitão-Filho et al. (1993) destacam o papel das espécies pioneiras na produção de serapilheira em estádios iniciais de sucessão, uma vez que investem abundantemente na produção de biomassa em curto espaço de tempo, com grande renovação foliar. Assim, conforme salientado por Pinto et al. (2009), do ponto de vista da ciclagem de nutrientes, o aporte de folhas

representa a via mais rápida de retorno de nutrientes para o solo, o que configura uma estratégia que as árvores nos estádios iniciais utilizam para o seu crescimento.

Com relação às demais frações da serapilheira, observa-se na Figura 2 que, enquanto a fração foliar diminuiu em função do avanço sucessional, as demais frações, de maneira geral, aumentaram (Figura 2). Resultados semelhantes também foram observados por Pezzatto e Wisniewski (2006), e segundo Guariguata e Ostertag (2001) nos estádios iniciais de sucessão a produção de biomassa é preferencialmente alocada

para formação de tecidos foliares, ao contrário dos estádios avançados em que é predominantemente alocada para formação de material lenhoso. Assim, a predominância de determinada fração em distintos estádios sucessionais a tornará mais disponível à queda para a formação da serapilheira naquele estádio.

Aporte de nutrientes

A quantidade dos teores e conteúdos dos nutrientes na FEA seguiu a ordem decrescente de $N > Ca > K > Mg > P$, ao passo que na FEM e FEI a ordem foi de $Ca > N > K > Mg > P$ (Tabela 3).

Tabela 3. Teor médio mensal ($g\ kg^{-1}$), conteúdo médio mensal ($kg\ ha^{-1}$) e conteúdo total anual (Total anual: $kg\ ha^{-1}$) de macronutrientes da serapilheira nas áreas de floresta secundária nos diferentes estádios sucessionais, Pinheiral, RJ.

Áreas de estudo		N	P	K	Ca	Mg
FEI	Teor ($g\ kg^{-1}$)	11,53 b	0,46 a	5,67 a	24,18 ab	2,90 b
	Conteúdo ($kg\ ha^{-1}$)	7,23 b	0,29 b	3,45 b	14,51 a	1,87 b
	Total anual ($kg\ ha^{-1}$) [*]	86,79 b	3,50 b	41,39 b	174,15 a	22,45 b
FEM	Teor ($g\ kg^{-1}$)	11,56 b	0,44 a	6,32 a	27,84 a	3,97 a
	Conteúdo ($kg\ ha^{-1}$)	8,47 b	0,35 b	4,46 ab	20,16 a	3,13 b
	Total anual ($kg\ ha^{-1}$) [*]	101,69 b	4,22 b	53,57 ab	241,87 a	37,57 b
FEA	Teor ($g\ kg^{-1}$)	20,76 a	0,53 a	5,22 a	17,54 b	4,13 a
	Conteúdo ($kg\ ha^{-1}$)	25,57 a	0,66 a	5,62 a	21,04 a	5,24 a
	Total anual ($kg\ ha^{-1}$) [*]	306,85 a	7,94 a	67,44 a	252,53 a	62,84 a

Médias de cinco repetições. *C. total anual: conteúdo total anual. Valores seguidos de mesma letra na coluna entre áreas não diferem entre si pelo teste t de Bonferroni ($p < 0,05$). Legenda: FEI - floresta em estádio inicial; FEM - floresta em estádio médio; FEA - floresta em estádio avançado.

A ordem de transferência de nutrientes via serapilheira, para a FEA, segue os padrão observado por Domingos et al. (1997), Vital et al. (2004), Barbosa e Faria (2006) e Pinto et al. (2009). Entretanto, nas áreas de FEI e FEM não foi verificado esse padrão, sendo a sequência similar com os resultados de Barbosa e Faria (2006) e Pimenta et al. (2011).

Os teores médios dos macronutrientes P e K não diferiram entre as áreas, ao passo que o elemento N foi superior na FEA. O Ca foi igual nas áreas de FEM e FEI, e maior na FEM quando comparado com a FEA. Já o Mg foi igual nas áreas de FEM e FEA e menor na FEI (Tabela 3).

Diferindo do que foi observado para os teores, de maneira geral, os conteúdos dos nutrientes N, P, K e Mg foram superiores na FEA, com exceção para o Ca que foi igual entre as áreas (Tabela 3). Em função disto, é possível confirmar que o conteúdo de nutrientes, de maneira geral, também seguiu o avanço sucessional da vegetação, sendo este fato relacionado diretamente com o aporte de serapilheira entre as áreas.

Dos nutrientes aportados no solo, destacam-

se os teores e conteúdos de N na FEA, com valores de retorno anual de $306,85\ kg\ ha^{-1}$, sendo esse valor proporcionalmente três vezes maior do que os valores nas áreas de FEM ($101,69\ kg\ ha^{-1}$) e FEI ($86,79\ kg\ ha^{-1}$) (Tabela 3). A alta produção anual de N na FEA se deve aos altos valores de produção de serapilheira, uma vez que os teores se encontram na faixa de outros estudos para florestas estacionais semidecíduais (BARBOSA e FARIA, 2006; PINTO et al., 2009; AMAZONAS et al. 2011). Segundo Davidson et al. (2007), as florestas tropicais são limitadas por N nas etapas iniciais da sucessão, com maior ciclagem interna e perda reduzida desse nutriente, ao passo que com o avanço sucessional ocorre um aumento gradativo das concentrações desse elemento. Amazonas et al. (2011), ao estudarem a dinâmica de nitrogênio em florestas secundárias em São Paulo, verificaram o mesmo padrão deste estudo ao constatarem aumento nos teores de N conforme a idade da floresta. Os autores constatarem valores de N foliar de 2,57% na floresta em restauração de 21 anos, 2,87% na floresta em processo de restauração de 52 anos e 2,99% na floresta natural (referência). Os maiores valores dos

teores de N na FEA se devem, além da idade sucessional conforme relatado por Amazonas et al. (2011), provavelmente, à composição florística da área, onde foi constatado por Menezes (2008) espécies da família Fabaceae (*Anadenanthera macrocarpa* Benth., *Andira* sp., *Clitoria fairchildiana* R.A. Howard, *Dalbergia nigra* Vell., *Inga edulis* Mart., *Piptadenia gonoacantha* Mart.), que possuem a capacidade de fixação biológica de nitrogênio (FARIA et al., 2011; CANOSA et al., 2012). Em função do exposto, pode-se deduzir que a recuperação dos mecanismos e processos da ciclagem de nitrogênio na sucessão secundária pode ser influenciada pelas características funcionais das espécies, como a fixação de nitrogênio por espécies leguminosas e também pela idade da floresta.

Os teores médios de P não diferiram entre as áreas avaliadas, ao passo que os conteúdos médios foram significativamente maiores na FEA, o que é devido ao maior valor de aporte nessa área. Entre as áreas de FEI e FEM não foram verificadas diferenças para os teores e conteúdos médios de P. O balanço de P na comunidade muda durante a sucessão secundária, ocorrendo a economia desse nutriente nas fases finais de sucessão, refletindo, assim, em menores valores de P no tecido foliar em estádios avançados (DAVIDSON et al., 2007). Alguns estudos como os de Pinto et al. (2009), estudando os teores de P na serapilheira de florestas em estágio inicial e maduro em Viçosa, e Amazonas et al. (2011) estudando os teores P nas folhas de florestas com diferentes idades, corroboram essa hipótese, ao constatarem, de maneira geral, diminuição nos teores de P conforme o avanço sucessional. Contudo, os resultados deste estudo e os de Feldpausch et al. (2004) e Johnson et al. (2001), ao analisarem as concentrações de P foliar em estudos de estoque de carbono e nutrientes em florestas secundárias na Amazônia Brasileira, não verificaram diminuição nos teores de P com a idade sucessional. Assim, pode-se supor que não existe um padrão em diminuição nos teores de P em função do avanço do estágio sucessional da floresta.

Maiores teores de Ca foram observados na FEM e menores na FEA. A FEI apresentou valores intermediários. Os teores de Mg foram iguais nas FEM e FEA as quais se diferenciaram da FEI. Barbosa e Faria (2006), estudando o aporte de serapilheira ao solo em estádios sucessionais florestais na reserva biológica de Poço das Antas, Rio de Janeiro, não constataram diferenças entre os estádios sucessionais de 20 anos e 40 anos. Já Pinto et al. (2009) verificaram diferenças entre os estádios iniciais e maduro, em Viçosa. Os mesmos autores não constataram diferenças entre os teores de Mg

nos diferentes estádios sucessionais avaliados. Quando se comparam os valores dos conteúdos médios mensais de Ca, não foram constatadas diferenças entre os estádios sucessionais analisados, ao passo que o conteúdo de Mg foi maior na FEA e menor na FEI e FEM. O menor teor de Ca na FEA pode estar associado ao porte arbóreo que as árvores nesse sistema possuem, sendo parte das concentrações do nutriente, antes da senescência do material vegetal, imobilizados no tronco (DAVIDSON et al., 2007). Guariguata e Ostertag (2001) acrescentam que, com a idade da floresta, ocorre diminuição na renovação de nutrientes, em função, principalmente, da menor concentração de elementos nos tecidos vegetais. Esses autores complementam que o padrão de ciclagem de nutrientes em florestas iniciais é de acúmulo de nutrientes nas folhas e nas raízes, com alta renovação de nutrientes, ao passo que em florestas em fase posterior de sucessão os nutrientes são imobilizados no tronco, sendo a renovação mais lenta.

A produção total anual de nutrientes via serapilheira aumentou conforme o avanço sucessional da vegetação (Tabela 3). No entanto, quando analisados os teores de nutrientes no solo verificaram-se, de maneira geral, maiores valores de N, Ca, Mg e K na FEM (Tabela 1), não constatando-se relações com a produção total. Aparentemente essas relações só existiram para os teores de P (Tabela 1). As menores concentrações de nutrientes na FEA podem estar relacionadas, possivelmente, com a rápida ciclagem de nutrientes nesse ambiente florestal (ver item decomposição do material foliar deste estudo). Associado a isso, nessa área foi observado maiores valores de biomassa de raízes finas (MENEZES et al. 2010), que podem estar favorecendo a rápida ciclagem e, conseqüentemente, influenciando nos teores dos elementos no solo. Estudos como os de Feldpausch et al. (2004) e Johnson et al. (2001), ao avaliarem os estoques de carbono e nutrientes em florestas secundárias na região Amazônica, também não demonstraram claramente um padrão com o total de nutrientes produzidos com as concentrações no solo. Desta forma, segundo os resultados verificados neste estudo e os mencionados pelos autores supracitados é possível supor que não existe um padrão entre o total de nutrientes aportados com as concentrações de nutrientes no solo.

Decomposição do Material Foliar

O percentual de massa foliar remanescente durante os 120 dias de estudo é apresentado na Tabela 4.

Tabela 4. Percentual de massa remanescente da fração foliar nos dias de coleta, Pinheiral, RJ.

Dias	Áreas de estudo		
	FEI	FEM	FEA
	% de massa remanescente		
15	91,0	89,0	86,5
30	80,4	80,2	73,6
72	79,5	79,8	71,9
97	79,4	72,8	58,0
120	72,0 a	61,8 ab	56,0 b

*Médias de quatro repetições. Valores seguidos com mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste t de Bonferroni ($p < 0,05$).
 Legenda: FEI - floresta em estágio inicial; FEM - floresta em estágio médio; FEA - floresta em estágio avançado.

Após 15 dias de permanência no campo, aproximadamente 14% do material foliar foi decomposto na FEA, enquanto nas outras áreas, nesse mesmo intervalo, apenas 10% do material foi degradado. Esse fato também ocorreu aos 30 dias, sendo constatada perda de massa de 15, 10 e 10%, respectivamente, para as áreas de FEA, FEM e FEI. Após 30 dias, não foram observadas perdas expressivas de material, e aos 120 dias, após o término das avaliações, o percentual de massa remanescente foi de 72,0% na FEI, 61,8% na FEM e 56,0% na FEA, indicando assim maior decomposição em função do avanço do estágio sucessional.

Resultados semelhantes, quanto à maior perda de massa no primeiro mês de estudo, também foram observados por Paula et al. (2009), avaliando

o aporte e decomposição da serapilheira em três áreas de floresta periodicamente inundáveis na Ilha da Marambaia, RJ. Segundo os autores, a rápida decomposição ocorrida no primeiro mês foi atribuída ao material que estava mais palatável aos organismos saprófagos nesse período, os quais fragmentaram mais rapidamente as folhas, e assim facilitaram sua decomposição.

Em relação à constante de decomposição, obtida pelas medidas de perda de massa, os valores foram de $0,0046 \text{ g g}^{-1}$ na FEA, $0,0033 \text{ g g}^{-1}$ na FEM e $0,0022 \text{ g g}^{-1}$ na FEI, ambos com significância inferior a 5%. Desta forma, os valores estimados do tempo de meia vida ($T^{1/2}$), ou seja, tempo no qual metade do material foliar é decomposto, foram de 151 dias para a FEA, 217 para a FEM e 315 dias para a FEI (Figura 3).

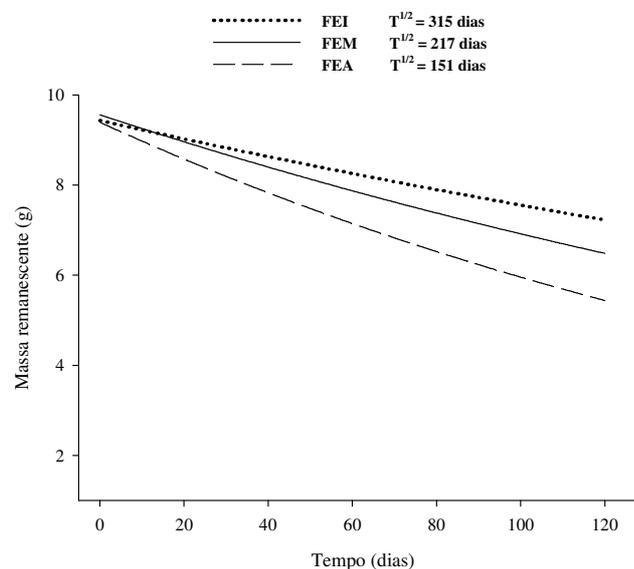


Figura 3. Curva de decomposição do material foliar, nas florestas em estágio inicial (FEI), em estágio médio (FEM) e em estágio avançado (FEA), Pinheiral, RJ.

O tempo de meia vida para as áreas de FEM e FEA foi próximo dos resultados observados por Paula et al. (2009) e Menezes et al. (2010), os quais verificaram valores entre 108 e 247 dias. No entanto, o valor do tempo de meia vida de 315 dias

na FEI pode ser considerado alto, quando comparado com esses autores. Uma possível explicação para a menor taxa de decomposição, e, consequentemente, maior tempo de meia vida na FEI, pode estar relacionada à composição de

espécies. Na FEI verificou-se maior número de indivíduos da família Melastomataceae, principalmente da espécie *Clidemia urceolata* DC. (MENEZES, 2008), a qual apresenta folhas coriáceas com elevada quantidade de tricomas. Essas características podem ter dificultado a fragmentação do material pela fauna do solo, e, conseqüentemente, a sua decomposição, refletindo assim no maior tempo de meia vida.

Já os maiores valores de decomposição na FEA podem ser atribuídos ao maior número de espécies e ao microclima mais favorável proporcionado por essas, em função do avançado processo de sucessão. Esse estágio sucessional apresenta o dossel relativamente fechado, com a presença de diferentes estratos e um sub-bosque com elevado número de indivíduos regenerantes, quando comparado com os outros estádios (MENEZES, 2008). Essas características conservam a água e reduzem as variações de temperatura, que por sua vez, favorecem a atividade da macrofauna e mesofauna nessa área (MACHADO, 2011) acelerando o processo de decomposição de material foliar. Outra possível explicação para as maiores taxas de decomposição na FEA pode estar relacionada à qualidade do material foliar, a qual apresentou maior teor de nitrogênio na serapilheira aportada e menor relação C:N na serapilheira estocada (MACHADO, 2011). Essas características nutricionais da serapilheira podem ter favorecido também a atividade de organismos decompositores.

Resultados de maior taxa de decomposição em florestas em estádios avançados também foram verificados por Pinto et al. (2009) estudando florestas inicial e madura, em Viçosa, Minas Gerais, e por Menezes et al. (2010), avaliando três estádios sucessionais em Pinheiral, Rio de Janeiro. Os autores atribuíram às maiores taxas de decomposição na floresta madura à qualidade do material foliar, em que verificaram, de maneira geral, maiores teores de nutrientes, em especial os altos teores de N. Menezes et al. (2010) destacam que a maior decomposição observada na floresta em estágio avançado, quando comparada com áreas de floresta em estágio inicial e médio, deve-se ao microclima que a vegetação densa e diversificada proporcionou para a atividade da macrofauna invertebrada do solo, influenciando, desta forma, no processo de decomposição do material foliar. Terror et al. (2011) complementa que a qualidade nutricional da serapilheira desempenha um importante papel na regulação do processo de

decomposição, sendo os elementos N e P orgânicos os mais importantes para o crescimento de microrganismos envolvidos no processo de decomposição da matéria orgânica.

Diante dos maiores valores do aporte de serapilheira e aporte de nutrientes e da maior decomposição do material foliar na FEA, esperava-se constatar maiores teores de cátions na solução do solo nessa área. Contudo, ao observar a Tabela 1, nota-se que essa área apresenta baixos teores de bases, quando comparada com a área de FEM.

A menor concentração de bases na FEA pode ter sido influenciada por uma maior absorção de nutrientes pela vegetação, já que nessa área foi verificado por Menezes et al. (2010) densidade de raízes finas três vezes maior que nas outras áreas. As raízes finas, por sua função de absorção de nutrientes, podem ter acelerado o processo de reciclagem de nutrientes, refletindo assim nos menores teores de nutrientes na solução do solo na FEA.

Já na FEI, os valores ainda menores da concentração de cátions podem ter sido afetados pelos menores valores de aporte de serapilheira e de nutrientes, associado à pequena regeneração natural. Essas condições podem ter favorecido a perda de material após eventos de precipitação, fazendo com que o material que seria estocado no solo fosse transportado para partes baixas da paisagem, favorecendo assim nas menores concentrações de nutrientes nessa área.

CONCLUSÕES

As mudanças na estrutura florestal em função do avanço sucessional afetaram a produção de serapilheira e nutrientes e a velocidade de decomposição do material foliar, reflexo principalmente da riqueza de espécies e área basal.

Foram observados, de maneira geral, menores valores de produção de serapilheira e nutrientes e velocidade de decomposição na floresta em estágio inicial, valores intermediários na floresta em estágio médio e maiores valores na floresta em estágio avançado.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), ao programa de pós-graduação em Ciências Ambientais e Florestais (PPGCAF), ao Instituto Federal do Rio de Janeiro “Câmpus Pinheiral”, à FAPERJ e à CAPES.

ABSTRACT: In forest ecosystems, the contribution and decomposition of litterfall are the primary means of transferring nutrients to the soil, being of great importance for the sustainability of these systems. However, studies about the influence of successional stages in the dynamics of nutrient cycling in secondary forests are scarce, especially those located in relief irregular, where are concentrated much of the Atlantic Forest fragments in southeastern Brazil. This work aimed to study the cycling of nutrients in different successional stages of submontane semideciduous seasonal forest, through of monthly and annual litterfall production, by nutrient availability and the rate of decomposition of leaf material. We studied three areas with different successional stages, located in Pinheiral, RJ: forest in initial stage (FIS), forest in intermediate stage (FINS) and forest in advanced stage (FAS). The litter production was evaluated monthly for one year (April/2009 to March/2010) through conical collector 0,21m². The litter collected was dried and stratified into leaves, branches, and other reproductive materials (fractions unidentifiable) and weighed. Subsequently, the material was homogenized and N, P, K, Ca and Mg concentrations were determined. The decomposition of leaf material was evaluated for 120 days using litter bags. It was found annual litter of 7.47 Mg ha⁻¹ in FIS, 8.96 Mg ha⁻¹ in FINS and 14.7 Mg ha⁻¹ in FAS, with the leaf fraction representing, respectively, 86.4%, 80.7% and 66.1% of the total contributed. Concentration and content of nutrients, in general, were less in FIS, intermediate in FINS and higher in FAS. The litter was shown to be an important route of transfer of N and Ca to the soil, especially N in FAS and Ca in FINS and FEI. The half-life in FAS was 151 days, followed FINS (217 days) and FIS (315 days), observing the FAS greater loss of material throughout the study period. Ours results showed that the successional age affected the total amount of nutrients produced via litter, according to the structural complexity in terms of increase of plant species richness and basal area. Thereby, one can expect that, provided there are favorable conditions such as sources of propagules and dispersers, secondary forest succession in areas of relief irregular and with low fertility soils, condition the formation of a nutritionally sustainable forest.

KEYWORDS: Litterfall. Decomposition. Macronutrients. Forest Succession. Assisted Restoration.

REFERÊNCIAS

- AMAZONAS, N.T.; MARTINELLI, L.A.; PICCOLO, M.C.; RODRIGUES, R.R. Nitrogen dynamics during ecosystem development in tropical forest restoration. **Forest Ecology and Management**, Dorchester, v. 262, p. 1551-1557, 2011. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2011.07.003>
- ANDERSON, J. M., INGRAM, J. S. I. **Tropical Soil Biology and Fertility: A handbook of methods**. 2 ed. CAB International, Wallingford, Estados Unidos, 1993. 221p.
- ARATO, H.D.; MARTINS, S.V.; FERRARI, S.H.S. Produção e decomposição de serapilheira em um Sistema Agroflorestal implantado para recuperação de área degradada em Viçosa-MG. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 27, p. 715-721, 2003.
- BARBOSA, J.H.C.; FARIA, S.M. Aporte de serapilheira ao solo em estágios sucessionais florestais na reserva biológica de Poço das Antas, Rio de Janeiro, Brasil. **Rodriguésia**, Rio de Janeiro, v. 57, p. 461-476, 2006.
- CABIANCHI, Giovana Mendonça. **Ciclagem de nutrientes via serapilheira em um fragmento ciliar do rio Urupá, Rondônia**. (Dissertação) Piracicaba: USP, 2010. 103p.
- CANOSA, G.A.; FARIA, S.M.; MORAES, L.F.D. **Leguminosas florestais da Mata Atlântica brasileira fixadoras de nitrogênio atmosférico. Seropédica**, EMBRAPA Agrobiologia, Comunicado Técnico n. 144, 2012. 12 p.
- CHAPIN, F.; MATSON, P.; MOONEY, H. **Principles of terrestrial ecosystem ecology**. New York, Springer Verlag, 2002. 398p.
- CHAZDON, ROBIN. **Regeneração de florestas tropicais. Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Naturais**. Belém, v. 7, p. 195-218, 2012.
- CELENTANO, D.; ZAHAWI, R.A.; FINEGAN, B.; OSTERTAG, R.; COLE, R.J.; HOLL, K.D. Litter dynamics under different tropical forest restoration strategies in Costa Rica. **Biotropica**, East Anglia, v. 43, p. 279-287, 2011.

CLARK, D.A.; BROWN, S.; KICKLIGHTER, D.W.; CHAMBERS, J.Q.; THOMLINSON, J.R.; NI, J.; HOLLAND, E.A. Net primary production in tropical forests: An evaluation and synthesis of existing field data. **Ecological Applications**, Washington, v. 11, p. 371-389, 2001. [http://dx.doi.org/10.1890/1051-0761\(2001\)011\[0371:NPPITF\]2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1890/1051-0761(2001)011[0371:NPPITF]2.0.CO;2)

CONAMA. Resolução 006 de 4 de maio de 1994, Ministério do Meio Ambiente. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/conama/legiano1.cfm>>. Acesso em: 25 jun. 2009.

CORREIA, M.E.F.; ANDRADE, A.G. **Formação de serapilheira e ciclagem de nutrientes**. In: _____. Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais. 2 ed. Rev. e atual. - Porto Alegre: Metrópole, 2008. p.137-158.

DAVIDSON, E.A.; CARVALHO, C.J.R.; FIGUEIRA, A.M.; ISHIDA, F.Y.; OMETTO, J.P.H.B.; NARDOTO, G.B.; SABÁ, R.T.; HAYASHI, S.N.; LEAL, E.C.; VIEIRA, I.C.G.; MARTINELLI, L.A. Recuperation of nitrogen cycling in Amazonian forests following agricultural abandonment. **Nature**, Londres, v. 447, p. 995-998, 2007. <http://dx.doi.org/10.1038/nature05900>

DOMINGOS, M.; MORAES, R.M.; VUONO, Y.S.; ANSELMO, C.E. Produção de serapilheira e retorno de nutrientes em um trecho de Mata Atlântica secundária, na Reserva Biológica de Paranapiacaba, SP. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 20, p. 91-96, 1997. <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-84041997000100009>

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

FARIA, S.M.; MORAES, L.F.D.; LIMA, H.C.; RIBEIRO, R.D.; MATTOS, C.M.J.; RODRIGUES, T.M.; CASTILHO, A.F.; CANOSA, G.A.; SILVA, M.A. **Composição florística de leguminosas com potencial para fixação biológica de nitrogênio em áreas de vegetação de Canga (savana metalófito) do entorno do complexo minerador de Carajás**. EMBRAPA Agrobiologia, Comunicado Técnico n. 140, 2011. 20 p.

FELDPAUSCH, T.R.; RONDON, M.A.; FERNANDES, E.C.M.; RIHA, S.J.; WANDELLI, E. Carbon and nutrient accumulation in secondary forests regeneration on pastures in Central Amazonia. **Ecological Applications**, Washington, v. 14, p. 164-176, 2004. <http://dx.doi.org/10.1890/01-6015>

FERREIRA, D.F. SISVAR: um programa para análises e ensino de estatística. **Revista Symposium**, Lavras, v. 6, p. 36-41, 2008.

FIGUEIREDO-FILHO, A.; MORAES, G.F.; SCHAAF, L.B.; FIGUEIREDO, D.J. Avaliação estacional da deposição de serapilheira em uma Floresta Ombrófila Mista localizada no sul do Estado do Paraná. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 13, p. 11-18, 2003.

FRANCO, A.A.; CAMPELLO, E.F.; SILVA, E.R.; FARIA, S.M. **Revegetação de solos degradados**. EMBRAPA, Agrobiologia, Comunicado Técnico n. 9, 1992. 9 p.

GOMES, J.M.; PEREIRA, M.G.; PIÑA-RODRIGUES, F.C.M.; PEREIRA, G. H. A.; GONDIM, F. R.; SILVA, E M. Aporte de serapilheira e de nutrientes em fragmentos florestais da Mata Atlântica, RJ, **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 5, p. 383-391, 2010. <http://dx.doi.org/10.5039/agraria.v5i3a552>

GUARIGUATA, M.R.; OSTERTAG, R. Neotropical secondary succession: changes in structural and functional characteristics. **Forest Ecology and Management**, Dorchester, v. 148,p. 85-206, 2001.

HAAG, H.P. **Ciclagem de nutrientes em florestas tropicais**. Campinas: Fundação Cargill, 1985. 44p.

HEAL, O.W.; ANDERSON, J.M.; SWIFT, M.J. Plant litter quality and decomposition: an historical overview, In: _____. **Driven by Nature: plant litter quality and decomposition**. Walingford: CAB International, 1997. 409 p.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, **Manual técnico da vegetação brasileira**, IBGE, Rio de Janeiro, 1992. 92 p.

JOHNSON, C.M.; VIEIRA, I.C.G.; ZARIN, D.J.; FRIZANO, J.; JOHNSON, A.H. Carbon and nutrient storage in primary and secondary forests in eastern Amazônia. **Forest Ecology and Management**, Dorchester, v. 147, p. 245-252, 2001. [http://dx.doi.org/10.1016/S0378-1127\(00\)00466-7](http://dx.doi.org/10.1016/S0378-1127(00)00466-7)

LEITÃO-FILHO, H.F.; PAGANO, S.N.; CESAR, O.; TIMONI, J.L.; RUEDA, J.J. **Ecologia da mata atlântica em Cubatão, SP**. São Paulo: EDUNESP/EDUNICAMP, 1993. 86p.

LOPES, M.I.M.; DOMINGOS, M.; VUONO, Y.S. Ciclagem de nutrientes. In: SYLVESTRE, L.S.; ROSA, M.M.T. **Manual metodológico para estudos botânicos na Mata Atlântica**. Seropédica, RJ: EDUR, 2002. p.72-90.

MACHADO, Deivid Lopes. **Atributos indicadores da dinâmica sucessional em fragmento de Mata Atlântica na região do médio vale do Paraíba do Sul, Pinheiral, Rio de Janeiro**. (Dissertação) Seropédica: UFRRJ, 2011. 103p.

MARIMON-JÚNIOR, Ben Hur. **Relação entre diversidade arbórea e aspectos do ciclo biogeoquímico de uma floresta monodominante de *Brosimum rubescens* Taub. e uma floresta mista no leste Mato-Grossense**. (Tese) Brasília: UNB, 2007. 274p.

MARTINS, S.V.; RODRIGUES, R.R.. Produção de serapilheira em clareiras de uma floresta estacional semidecidual no município de Campinas, SP. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 22, p. 405-412, 1999. <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-84041999000300009>

MENEZES, Carlos Eduardo Gabriel. **Integridade da paisagem, manejo e atributos do solo no Médio Vale do Paraíba do Sul, Pinheiral-RJ**. (Tese) Seropédica: UFRRJ, 2008. 175p.

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 em Pinheiral, RJ. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 20, p. 439-452, 2010.

MONTAGNINI, F.; JORDAN, C. Reciclaje de nutrientes. In: _____. **Ecologia y conservación de bosques neotropicales**. Cartago: Ediciones LUR, 2002. p.591-623.

MORAES, R.M.; DELITTI, W.B.C.; VUONO, Y.S. Litterfall and litter nutrient content in two Brazilian Tropical Forests. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 22, p. 9-16, 1999. <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-84041999000100002>

MORELLATO, L.P.C. Sazonalidade e dinâmica de ecossistemas florestais na Serra do Japi. In: _____. **História natural da Serra do Japi: ecologia e preservação de uma área florestal no Sudeste do Brasil**. Campinas: Editora UNICAMP, 1992. p. 97-110.

MUELLER-DOMBOIS, D.; ELLENBERG, H. **Aims and methods of vegetation ecology**. New York: Wiley, 1974. 547 p.

OLIVEIRA, José Arimathéa. **Caracterização física da Bacia do Ribeirão Cachimbal-Pinheiral (RJ) e de suas principais paisagens degradadas**. (Dissertação) Seropédica: UFRRJ, 1998. 154p.

- OLSON, J. S. Energy storage and the balance of producers and decomposers in ecological systems. **Ecology**, New York, v. 44, p. 322-331, 1963. <http://dx.doi.org/10.2307/1932179>
- OSTERTAG, R.; MARIN-SPIOTTA, E.; SILVER, W.L.; SCHULTEN, J. Litterfall and decomposition in relation to soil carbon pools along a secondary forest chronosequence in Puerto Rico. **Ecosystems**, New York, 11: 701-714, 2008. <http://dx.doi.org/10.1007/s10021-008-9152-1>
- PAULA, R.R.; PEREIRA, M.G.; MENEZES, L.F.T. Aporte de nutrientes e decomposição da serapilheira em três fragmentos florestais periodicamente inundados na Ilha da Marambaia, RJ. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 19, p. 139-148, 2009.
- PEZZATTO, A.W.; WISNIEWSKI, C. Produção de serapilheira em diferentes seres sucessionais da Floresta Estacional Semidecidual no oeste do Paraná. **Floresta**, Paraná, v. 36, p. 111-120, 2006. <http://dx.doi.org/10.5380/ufv.v36i1.5596>
- PIMENTA, J.A.; ROSSI, L.B.; TOREZAN, J.M.D.; CAVALHEIRO, A.L.; BIANCHINI, E. Produção de serapilheira e ciclagem de nutrientes de um reflorestamento e de uma floresta estacional semidecidual no sul do Brasil. **Acta Botânica Brasílica**, Belo Horizonte, v. 25, p. 53-57, 2011.
- PINTO, S.I.C.; MARTINS, S.V.; BARROS, N.F.; DIAS, H.C.T. Produção de serapilheira em dois estádios sucessionais de floresta estacional na reserva mata do paraíso, em Viçosa, MG. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 32, p. 545-556, 2008.
- PINTO, S.I.C.; MARTINS, S.V.; BARROS, N.F.; DIAS, H.C.T. Ciclagem de nutrientes em dois trechos de floresta estacional na Reserva Florestal Mata do Paraíso, em Viçosa, MG, Brasil. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 33, p. 653-663, 2009.
- REZENDE, C.P.; CANTARUTTI, R.B.; BRAGA, J.M.; GOMIDE, J.A.; PEREIRA, J.M.; FERREIRA, E.; TARRÉ, R.; MACEDO, R.; ALVES, B.J.R.; URQUIAGA, S.N.; CADISCH, G.; GILLER, K.E.; BODDEY, R.M. Litter deposition and disappearance in *Brachiaria* pastures in Atlantic forest region of South Bahia, Brazil. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Bonn, v. 54, p. 99-112, 1999. <http://dx.doi.org/10.1023/A:1009797419216>
- RIBEIRO JÚNIOR, José Ivo. **Análises estatísticas no SAEG**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2001. 301p.
- SCHERER-LORENZEN, M.; BONILLA, J.L.; POTVIN, C. Tree species richness affects litter production and decomposition rates in a tropical biodiversity experiment. **Oikos**, Lund, v. 116, p. 2108-2124, 2007. <http://dx.doi.org/10.1111/j.2007.0030-1299.16065.x>
- TOLEDO, Luciano de Oliveira. **Aporte de serapilheira, fauna edáfica e taxa de decomposição em áreas de floresta secundária no município de Pinheiral, RJ**. (Dissertação) Seropédica: UFRRJ, 2003. 80 p.
- TOLEDO, L.O.; PEREIRA, M.G. Dinâmica da deposição de serapilheira em floresta secundária do município de Pinheiral. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 11, p. 39-46, 2004.
- TEDESCO, M.J.; VOLKWEISS, S.J.; BOHNEN, H. **Análise de solo, plantas e outros materiais**, Porto Alegre, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Boletim Técnico de Solos n.5, 1995. 188p.
- TERROR, V.L.; SOUZA, H.C.; KOZOVITS, A.R. Produção, decomposição e qualidade nutricional da serapilheira foliar em uma floresta paludosa de altitude. **Acta Botânica Brasílica**, Belo Horizonte, v. 25, p. 113-121, 2011.

VITAL, A.R.T.; GUERRINI, I.A.; FRANKEN, W.K.; FONSECA, R.C.B. Produção de serapilheira e ciclagem de nutrientes de uma floresta estacional semidecidual em zona ripária. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 28, p. 793-800, 2004.

VITOUSEK, P. M.; SANFORD, R. L. Nutrient cycling in moist tropical forest. **Annual Review of Ecology and Systematics**, Stanford, v. 17, p. 137-167, 1986. <http://dx.doi.org/10.1146/annurev.es.17.110186.001033>

WERNECK, M.S.; PEDRALLI, G.; GIESEKE, L.F. Produção de serapilheira em três trechos de uma floresta semidecidual com diferentes graus de perturbação na Estação Ecológica de Tripuí, Ouro Preto, MG. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 24, p. 195-198, 2001.