ISSN 0103-9954

ANÁLISE ESPACIAL DA PRODUTIVIDADE DE SERAPILHEIRA EM UMA MATA DE GALERIA

SPATIAL ANALYSE OF LITTERFALL IN A GALLERY FOREST

Priscila Sales Rodrigues Aquino[1] Mauro Eloi Nappo[2] Marcos Sales Rodrigues[3]
Ismael Martins Pereira[4] Eraldo Aparecido Trondoli Matricardi[2] Gláucia de Mello Pelá[5]

RESUMO

Matas de galeria possuem grande diversidade genética e desempenham importantes funções ecológicas, como a proteção das nascentes, controle da erosão e funcionam como filtros retendo poluentes. A serapilheira, que pode ser usada como um indicativo de produtividade ecológica é amplamente coletada por meio de coletores que são distribuídos aleatoriamente em um ecossistema florestal. No entanto, a distribuição da vegetação pode apresentar dependência espacial, logo, a produtividade da serapilheira pode ser mapeada utilizando técnicas geoestatísticas o que permite a delimitação de zonas de manejo. Portanto, o objetivo deste estudo foi avaliar a eficiência de métodos geoestatísticos na delimitação de zonas de manejo da produtividade de serapilheira em uma área de mata de galeria. O estudo foi realizado na mata de galeria do córrego Lava-pés (3 ha) em Ipameri - GO, utilizando-se 60 coletores (cada um com 0,33 m² de área e suspensos a 0,65 m do solo) instalados em uma malha regular georreferenciada de 32 x 32 m. A serapilheira foi coletada mensalmente de dezembro de 2011 a novembro de 2012. Todas as amostras foram separadas manualmente nas frações: folhas (FF), ramos (FR - galhos e cascas), e estruturas reprodutivas (FER - flores, frutos e sementes) e foram expressas em kg ha^{-1}. Realizou-se a análise estatística descritiva e geoestatística dos dados. A produtividade de serapilheira para a FF e o total apresentou forte dependência espacial. A FR e a FER apresentaram efeito pepita puro. O mapa dos valores de serapilheira total obtido pelo método de interpolação Krigagem indicaram áreas de produtividade variando de 900 a 10.900 Kg ha^{-1}ano, evidenciando alta variabilidade na área. Foi possível por meio da técnica de interpolação krigagem delimitar zonas de manejo da produtividade de serapilheira na mata de galeria estudada, o que permitiu o manejo florestal específico da serapilheira.
Palavras-chave: ecossistemas florestais; krigagem; dependência espacial.

ABSTRACT

The gallery forests have great genetic diversity and important ecological functions, such as protecting the headwaters, controlling erosion, and functioning as buffer zones and filtering chemicals. Litterfall, which can be used as an indicator of ecological productivity, is widely collected using litter traps that are randomly distributed in a forest plot. However, vegetation distribution may present spatial dependence,

1 Engenheira Florestal, MSc., Doutoranda pelo Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Campus Universitário Darcy Ribeiro, CEP 70910-900, Brasília (DF), Brasil. priscila.ueg@gmail.com
2 Engenheiro Florestal, Dr., Professor Associado do Departamento de Engenharia Florestal, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Campus Universitário Darcy Ribeiro, CEP 70910-900, Brasília (DF), Brasil. mauronappo@yahoo.com.br
3 Engenheiro Agrônomo, Dr., Professor Adjunto do Colegiado de Engenharia Agronômica, Universidade Federal do Vale do São Francisco, Campus Ciências Agrárias, Rodovia BR 407, 12 Lote 543, Projeto de Irrigação - Nilo Coelho – S/N C1, CEP 56300-990, Petrolina (PE), Brasil. marcos.rodrigues@univasf.edu.br
4 Biólogo, Dr., Professor da Universidade Estadual de Goiás, Rod. GO 330, km 241 s/n, Anel Viário Zona Rural, CEP 75780-000, Ipameri (GO), Brasil. ismaelmpufg@gmail.com
5 Engenheira Agrônoma, Drª., Professora da Universidade Estadual de Goiás, Rod. GO 330, km 241 s/n, Anel Viário Zona Rural, CEP 75780-000, Ipameri (GO), Brasil. glauciapela@gmail.com

Recebido para publicação em 25/07/2013 e aceito em 20/08/2014

thus the yield of the litterfall can be mapped using geostatistical techniques allowing the delineation of management zones. Therefore, the objective of this study was to evaluate the efficiency of geostatistical methods using the zoning management productivity of litterfall on a gallery forest in central Brazil. The study was conducted on the gallery forest along the 'Lava-pés' stream in Goiás State, Brazil where the experimental site (3 ha) was structured in a grid of 60 litterfall traps, each of 0.33 m^2 held 0.65 m above the ground, georeferenced, spaced at 32 x 32 m intervals. Litterfall was monthly collected from December 2011 to November 2012. All litterfall samples were manually separated into three fractions: leaves (LE), branch bark (BB), and reproductive parts (RP) and they were expressed in kg ha^{-1}. Statistical analyses consisted of data description and geostatistics. The litterfall of for LE and total showed strong spatial dependence. The BB and RP showed pure nugget effect. The total litterfall maps obtained by the Kriging interpolation method indicated zones in the map ranging from 900 to 10,900 kg ha^{-1} per yr. The kriging interpolation technique delineate management zones of productivity in the gallery forest litterfall studied, which allowed the specific forest management of litterfall.
Keywords: forest ecosystems; kriging; spatial dependence.

INTRODUÇÃO

Matas de galeria podem ser definidas como a vegetação florestal que acompanha os rios e córregos de pequeno porte do Planalto Central do Brasil formando corredores fechados (galerias) sobre o curso d'água (RIBEIRO; WALTER, 1998). Esta fitofisionomia destaca-se pelas importantes funções ambientais, tais como: a preservação dos recursos hídricos, da estabilidade geológica e da biodiversidade, favorecimento do fluxo gênico de fauna e flora e proteção do solo, conforme descrito na Lei 12.651 de 2012. Tipologias florestais ripárias tais como as matas de galeria, podem atuar como zonas tampão e dentre as suas funções agir como um filtro retendo poluentes (LOWRANCE et al., 1984; BARLING; MOORE, 1994). Ressalta-se que as matas de galeria são ambientes de grande complexidade estrutural de *habitat*, abrigando ampla riqueza e diversidade de espécies da flora e da fauna do bioma Cerrado, além de apresentarem grande produção de serapilheira (SILVA JÚNIOR, 1995; REATTO et al., 2001).

Entende-se por serapilheira a camada de resíduos orgânicos formada sobre os solos devido à queda periódica de folhas, ramos, cascas, flores, frutos e da acumulação de detritos animais. É um componente fundamental dentro de um ecossistema florestal, principalmente por atuar na proteção do solo e na ciclagem de nutrientes (FIGUEIREDO-FILHO et al., 2003) bem como na regulação das condições microclimáticas do solo, devido à camada protetora que se forma na sua superfície (SAYER, 2005).

Os estudos sobre a produtividade de serapilheira utilizam-se, na sua maioria, de métodos clássicos de análise estatística de dados (WERNECK; PEDRALLI; GIESEKE, 2001; ARAÚJO et al., 2005; CIANCIARUSO et al., 2006; GONÇALVES, 2008; LONGHI et al., 2011; GIÁCOMO; PEREIRA; MACHADO, 2012; PEREIRA et al., 2012), os quais, em geral, supõem que as realizações das variáveis aleatórias são independentes entre si (SNEDECOR; COCHRAN, 1967). No entanto, fenômenos naturais podem apresentar algum grau de dependência espacial (HAMLETT; HORTON; CRESSIE, 1986; ISAAKS; SRIVASTAVA, 1989, GUIMARÃES, 1993), logo, a distribuição da vegetação de determinado local pode apresentar continuidade espacial (MILLER; FRANKLIN; ASPINALL, 2007) a qual os métodos estatísticos clássicos não são capazes de descrever. Assim sendo, a geoestatística pode atuar como uma alternativa ou complementação das análises estatísticas tradicionais, uma vez que esta ferramenta incorpora a dependência espacial.

A utilização de métodos que incluem a dependência espacial, tais como a geoestatística, é fundamental para estudos da ecologia da vegetação, incluindo a deposição de serapilheira, sendo esta dependente da vegetação de uma determinada área, a qual pode apresentar dependência espacial em sua distribuição (MILLER; FRANKLIN; ASPINALL, 2007). A geoestatística, também, é essencial em locais nos quais deseja-se definir zonas de manejo, como áreas em recuperação, unidades de conservação entre outras. Uma zona de manejo em uma área agrícola ou florestal é a expressão de uma sub-região desta área, a qual é relativamente homogênea, formada pela combinação de dados

de produtividade das culturas ou da vegetação e seus fatores limitantes e que permite a aplicação de técnicas localizadas de manejo (LI; SHI; LI, 2007).

Portanto, o estudo teve como objetivo avaliar a uso da geoestatística na determinação de zonas de manejo de serapilheira em uma mata de galeria não inundável.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido no município de Ipameri - GO, na mata de galeria do córrego Lava-pés (17º43' 57''S, 48º08'04''W e altitude de 820 m), classificada como mata de galeria não inundável, segundo critérios sugeridos por Ribeiro e Walter (1998). A mata abrange uma área de três hectares e está inserida na Sub-bacia hidrográfica do rio Paranaíba, Bacia hidrográfica do Rio Paraná. O clima local é classificado, segundo critérios de Köppen, como Aw, denominado clima tropical de inverno seco. A precipitação anual média é de 223 mm, e as temperaturas médias são da ordem de 17°C (inverno) e 29°C (verão) e a média anual é de 22°C (INMET-Instituto Nacional de Meteorologia). O solo predominante na área de estudo é um Latossolo Vermelho Distroférrico (IBGE, 2013).

Para melhor caracterizar a área de estudo foram construídos mapas de elevação e de escoamento preferencial da água. Em cada um dos 60 pontos amostrais da área em estudo foi obtida a elevação do terreno com GPS (*Global Positining System* - modelo Garmin 60 CSx) para a construção dos mapas de elevação, os quais foram interpolados pelo método da triangulação com interpolação linear (Figura 1a) utilizando-se o programa Sufer 8.0 (SURFER, 2002). As setas da Figura 1b representam o escoamento preferencial da água, obtido pela função *Grid Vector Map* do programa Surfer 8.0 (SURFER, 2002).

Para avaliar a produtividade de serapilheira na área, foram utilizados 60 coletores instalados em uma malha regular georreferenciada (Figura 2) de 32 x 32 m, gerada no programa ArcGIS 10.1. Os coletores foram confeccionados com moldura circular de mangueira de 0,65 m de diâmetro. Sobre tal moldura, foi costurada uma tela de náilon de 2 mm de abertura de malha, formando um saco cônico de 0,45 m de profundidade. Os coletores foram presos por quatro barras de ferro de 4,2 mm, suspensos a 0,65 m do solo.

As coletas foram realizadas com intervalo de 30 dias, durante 12 meses, de dezembro de 2011 a novembro de 2012. Em cada coleta, o material interceptado pelos coletores foi acondicionado em embalagem plástica devidamente identificada e conduzido ao Laboratório de Morfologia Vegetal da Universidade Estadual de Goiás, Unidade de Ipameri. O material coletado foi separado manualmente nas frações folhas (FF), ramos (FR - ramos, galhos e cascas) e estruturas reprodutivas (FER - flores, frutos e sementes), conforme sugerido por Costa et al. (2010). Após a triagem, as frações foram acondicionadas em sacos de papel etiquetados e levados à secagem em estufa com circulação de ar, a 70ºC, durante 72 horas, até atingirem peso constante. Posteriormente, cada fração foi pesada separadamente em balança analítica.

Para utilização da análise espacial, no presente estudo, cada coletor foi utilizado para estimar a produtividade mensal e anual de serapilheira na mata de galeria. Assim sendo, a produtividade mensal do coletor foi estimada pela seguinte expressão, a qual é uma adaptação da equação proposta por Lopes, Domingos e Struffaldi-De-Vuono (2002):

$$PSC = (\Sigma PMC \times 10.000) / Ac$$

Em que: PSC = Produtividade anual de serapilheira do coletor$_i$ (Kg ha^{-1} ano^{-1}); PMC = Produtividade mensal de serapilheira do coletor$_i$ (Kg ha^{-1} mês^{-1}); Ac = Área do coletor (m^2).

Para investigar a possível correlação entre produtividade de serapilheira com fatores climáticos, foram utilizados dados meteorológicos mensais incluindo temperatura média do ar, precipitação e dias com chuva (Figuras 3 e 4). Estas variáveis foram escolhidas, pois temperatura e precipitação estão entre as variáveis climáticas que afetam a deposição de serapilheira (BRAY; GORHAM, 1964; SINGH; GUPTA, 1977; MASON, 1980; MEGURO; VINUEZA; DELITTI, 1980). Os dados meteorológicos utilizados no estudo foram comparados com as Normais Climatológicas do município no período de 1961-1990. Estes dados são provenientes da estação meteorológica do município de Ipameri – GO, disponibilizados pelo INMET (Instituto Nacional de Meteorologia).

Foi realizada a correlação linear simples de Pearson (r) entre a produtividade de serapilheira e os dados climáticos. Os valores de r podem variar de -1 a 1 e podem ser classificados qualitativamente, segundo Callegari-Jacques (2003), da seguinte forma: 0,00 a 0,30 fraca correlação; 0,30 a 0,60 moderada correlação; 0,60 a 0,90 forte correlação;

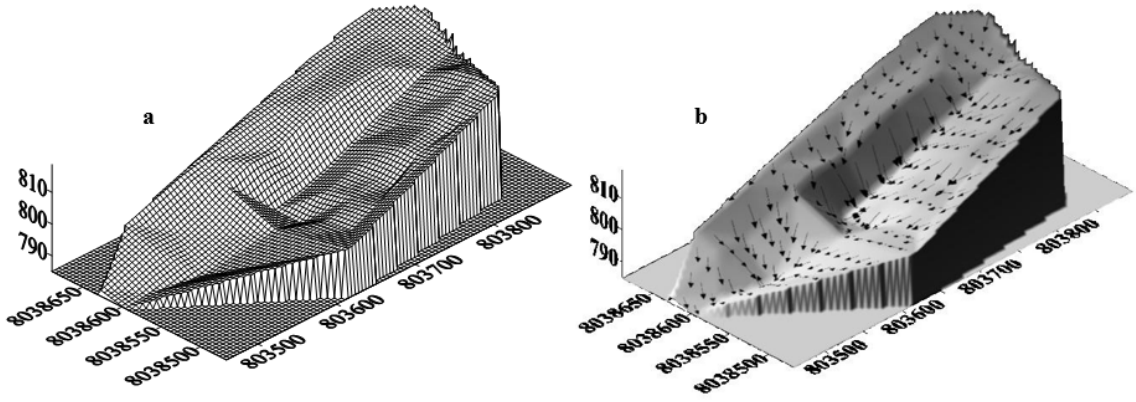

FIGURA 1: a- Modelo digital de elevação do terreno e b- Mapa 3D de escoamento preferencial da água na mata de galeria do córrego Lava-pés, Ipameri - GO.

FIGURE 1: a- Terrain elevation model and b- 3D map of preferential flow of water in the gallery forest, Ipameri - GO, Brazil.

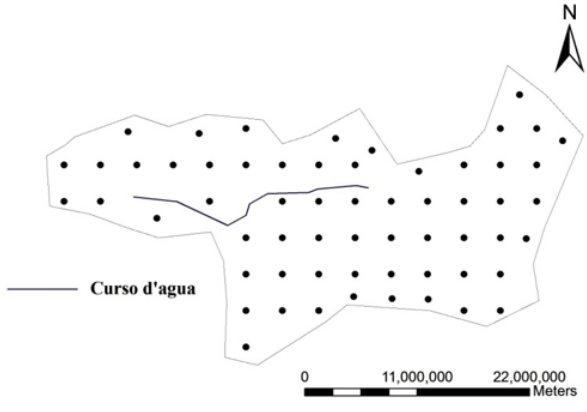

FIGURA 2: Malha amostral dos coletores na área de estudo. Ipameri - GO.

FIGURE 2: Sampling grid of the litterfall traps in the study area. Ipameri - GO, Brazil.

0,90 a 1 correlação muito forte.

Os dados de produtividade de serapilheira foram submetidos à análise estatística descritiva para determinação da média, valores máximos e mínimos, coeficiente de variação (CV%), coeficientes de assimetria e curtose, distribuição de frequência e normalidade dos dados (SHAPIRO; WILK, 1965), utilizando-se do programa SAS (*Statistical Analysis System*) 9.3 (SAS Institute, Inc.; Cary, North Carolina, release 9.3). A variabilidade da produtividade de serapilheira foi classificada de acordo com a magnitude do seu coeficiente de variação (CV%) como: baixa para valores menores que 10%; média, quando entre 10 e 20%; alta, quando entre 20 e 30%; e muito alta, se maior que 30% (PIMENTEL-GOMEZ; GARCIA, 2002).

Para estimar a dependência espacial entre as amostras, bem como identificar se as variações foram sistemáticas ou aleatórias, foram utilizados modelos de semivariogramas estimados com o programa GS+ (ROBERTSON, 2004). A seleção dos modelos foi realizada com base na menor soma de quadrados do resíduo (SQR) e melhor coeficiente de determinação (R^2). Para a análise do grau de dependência espacial foi utilizada a classificação de Cambardella et al. (1994), que consideram dependência espacial forte os semivariogramas que têm efeito pepita igual a 25% do patamar, de dependência espacial moderada quando o efeito pepita está entre 25 e 75% e dependência espacial fraca, quando o efeito pepita é maior que 75%.

Posteriormente à estimação dos semivariogramas experimentais e ao ajuste dos modelos teóricos foi realizada a interpolação dos dados pelo método da krigagem utilizando o programa GS+ (ROBERTSON, 2004). Os mapas foram editados utilizando o programa Surfer 8.0 (SURFER, 2002).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Análise estatística descritiva e correlação de Pearson

Os valores da média e da mediana da fração

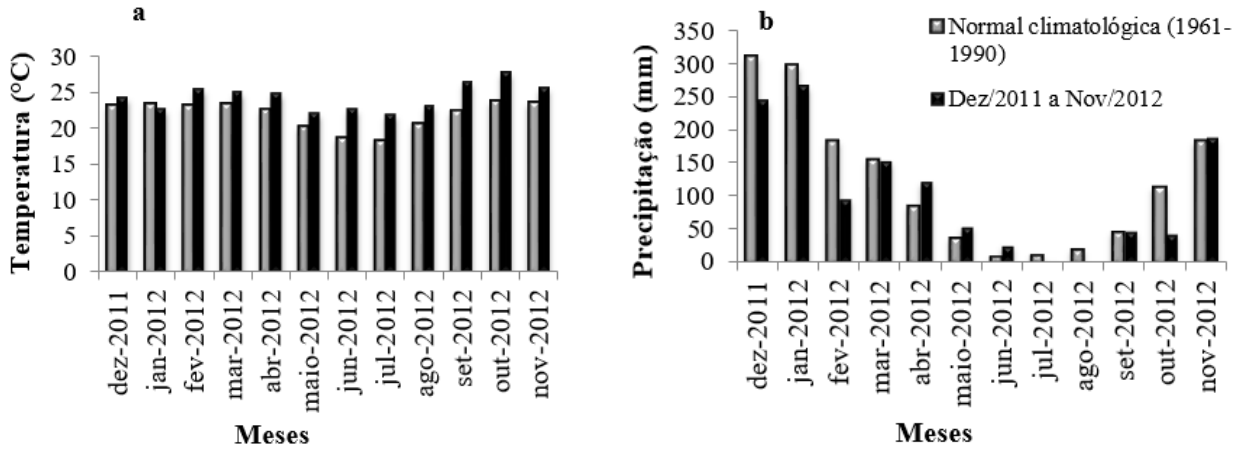

FIGURA 3: a- Temperatura média mensal (Dezembro de 2011 a Novembro de 2012) e média de 30 anos de dados (1961-1990) e b- Precipitação mensal acumulada (Dezembro de 2011 a Novembro de 2012) e média de 30 anos de dados (1961-1990) em Ipameri - GO.

FIGURE 3: a- Monthly average temperature and average of 30 years of data (1961-1990) and b- Monthly precipitation and average of 30 years of data (1961-1990) in Ipameri - GO, Brazil.

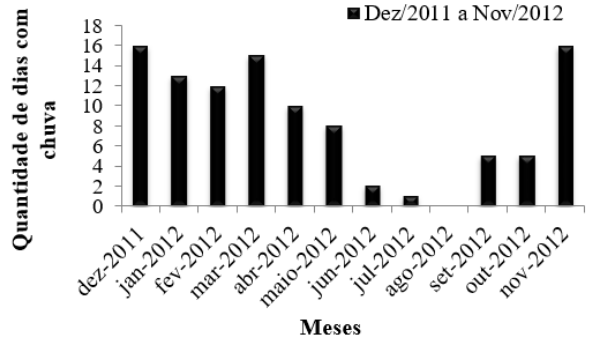

FIGURA 4: Quantidade mensal de dias com chuva no período de dezembro de 2011 a novembro de 2012, em Ipameri - GO.

FIGURE 4: Monthly amount of days with rain during the period December 2011 to November 2012 in Ipameri - GO, Brazil.

folhas e total de serapilheira foram semelhantes, indicando distribuições simétricas (Tabela 1). A normalidade dos dados para produtividade de serapilheira total e para fração folhas foi confirmada pelo teste de Shapiro-Wilk (1965), apesar de o coeficiente de curtose da fração folhas não ser próximo de zero (Tabela 1). Os valores da média e da mediana não foram semelhantes para a produtividade da fração ramos e estruturas reprodutivas, assim como os valores dos coeficientes de assimetria e curtose apresentaram valores distantes de zero, indicando assimetria nos dados. Esta foi confirmada pela não normalidade dos dados, baseada nos resultados teste de Shapiro-Wilk (1965) (Tabela 1).

A mata de galeria estudada pode ser considerada pequena (três hectares) quando comparada a outras matas de galeria, como as que foram estudadas por Oliveira e Felfili (2005) com 79 hectares e a estudada por Sampaio et al. (2000) com 64 hectares. Entretanto, apesar do tamanho da área de estudo, verificou-se elevada variabilidade nos valores de produtividade e acúmulo de serapilheira baseando-se nos valores de máximo e mínimo e na classificação do CV% sugerida por Pimentel-Gomez e Garcia (2002), pois variaram de 26 a 102% (Tabela 1).

Cunha et al. (1993) observaram alta variabilidade nos valores de CV% para as frações e serapilheira total. Os autores encontraram CV% mensais da FF variando de 25% a 44%, da FR de 56% a 146%, da FER de 95% a 362% e total variando de 26% a 43%. Resultados semelhantes também foram relatados por Abreu (2006), o qual avaliou a dinâmica da serapilheira em um trecho de floresta atlântica secundária. O autor obteve valores de CV% de 45% para FF, 63% para FR, 83% para FER e 44% para serapilheira total. Nos resultados relatados por estes autores, assim como os encontrados no presente estudo, nota-se que os valores de CV% foram muito altos, sendo de 26% para a FF, 80% para a FR, 102% para FER e 30% para o total (Tabela 1). De acordo com a classificação

TABELA 1: Estatística descritiva para dados de produtividade de serapilheira coletados no período de dezembro de 2011 a novembro de 2012 na mata de galeria do córrego Lava-pés, Ipameri - GO.
TABLE 1: Descriptive statistics for litterfall data collected from December 2011 to November 2012 in the gallery forest, Ipameri - GO, Brazil.

Produtividade (Kg ha^{-1}ano)									
	Média	Mediana	Min.	Max	DP	CV (%)	Coeficientes		Pr < W
							Assimetria	Curtose	
FF	4.609	4.821	682	6.853	1.184	26	-0,89	2,1	0,01
FR	1.233	1.048	131	4.573	985	80	1,88	3,9	0,00
FER	605	393	36	2.937	615	102	2,11	4,4	0,00
Total	6.446	6.390	960	10.285	1.958	30	-0,32	0,4	0,58

Em que: Min: Mínimo; Max: Máximo; FF: Fração folhas; FR: fração ramos; FER: Fração estruturas reprodutivas; DP: Desvio padrão; CV%: Coeficiente de variação; Pr <W = resultado de Shapiro-Wilk (1965) teste de normalidade (a normalidade = P <W ≥ 0,01)

de Pimentel-Gomez e Garcia (2002), estes valores de CV% são muito elevados, com destaque para a FER (102%).

A grande variabilidade dos valores de CV% para os dados de produtividade de serapilheira encontrados neste estudo sugere que a variável estudada pode apresentar padrões distintos de deposição em função da localização espacial. A análise estatística clássica é um método eficaz na comparação de produtividade de serapilheira ou outras variáveis entre diferentes áreas ou ecossistemas. Entretanto, a análise estatística convencional somente indica a presença ou não de alta variabilidade, mas não define a localização no espaço desta variabilidade, mostrando a necessidade da análise espacial quando se deseja, por exemplo, delimitar zonas homogêneas de manejo.

As correlações da produtividade de serapilheira com as variáveis climáticas do período avaliado são apresentadas na Tabela 2. Conforme a classificação de Callegari-Jacques (2003), verificou-se correlação negativa moderada entre a FF com a variável precipitação mensal e também com a variável dias com chuva, indicando que esta fração é afetada também pela frequência da distribuição de precipitação. Para a FF a correlação foi inversamente proporcional, ou seja, quanto maior a temperatura maior a produtividade. Pode-se observar que para serapilheira total, também, houve correlação negativa moderada com a precipitação mensal, contudo, não foi encontrada correlação significativa entre as FR e FER com a precipitação. Isto indica que a correlação encontrada entre o total da produtividade de serapilheira com a precipitação é resultante da correlação encontrada na FF, uma vez que esta contribui com a maior porcentagem na

TABELA 2: Valores dos coeficientes de correlação de Pearson entre a produtividade mensal de serapilheira (total e frações) e as variáveis climáticas mensais de precipitação, dias com chuva, temperatura média do ar, no período de dezembro/2011 a novembro/2012, na mata de galeria do córrego Lava-pés, Ipameri - GO.
TABLE 2: Coefficients of Pearson correlation between litterfall monthly (total and fractions) and climatic variables monthly rainfall, days with precipitation, average air temperature in the period of the November/2012 December/2011 in gallery forest, Ipameri - GO, Brazil.

Frações da serapilheira (Kg ha^{-1}ano)	Precipitação mensal (mm)	Dias com chuvas	Temperatura média do ar
FF	-0,586*	-0,637*	0,187 ns
FR	-0,305ns	-0,265ns	0,014ns
FER	0,076ns	0,046ns	0,586*
Total	-0,551*	-0,585*	0,203ns

Em que: ns = não significativo; * = significativo a 5%.

formação da serapilheira total (KLEINPAUL et al., 2005).

Diversos estudos têm apresentado padrões muito distintos quanto à correlação das variáveis climáticas e à deposição de serapilheira (KÖNIG et al., 2002; FIGUEIREDO-FILHO et al., 2003; PINTO et al., 2008, CHAVE et al., 2010). Contudo, destaca-se a correlação negativa entre a serapilheira total e a precipitação, a qual tem sido um padrão para algumas florestas tropicais (ESPIG et al., 2009; SANCHES et al., 2009; WHITE et al. 2013). Alguns autores (AMARASINGHE; BALASUBRAMANIAM, 1992; DIAS; OLIVEIRA FILHO, 1997; MARTINS; RODRIGUES, 1999) atribuem o maior aporte de serapilheira pela floresta no período seco, como uma estratégia de defesa, uma vez que a queda das folhas reduz a perda de água por transpiração, acarretando em uma economia de água no período de estresse hídrico. Entretanto, de acordo com Ribeiro e Walter (1998), nas matas de galeria não inundáveis, como é o caso da floresta em estudo, o lençol freático não fica próximo ou aflora sobre a superfície do solo na maior parte da floresta durante todo ano, mesmo na estação chuvosa. Ainda, segundo os autores, a fitofisionomia também é caracterizada por apresentar trechos com topografia acidentada e poucos locais planos o que pode afetar a dinâmica da disponibilidade de água na floresta. Portanto, seria necessário um estudo mais detalhado acerca destes fatores, para avaliar como a precipitação e dinâmica da água afeta a deposição de serapilheira na floresta em estudo.

Análise geoestatística

A FF e a produtividade total de serapilheira apresentaram dependência espacial quando se utilizaram os dados dos 12 meses de coleta (Tabela 3). Ajustou-se o modelo exponencial para ambas as variáveis. Os semivariogramas não se diferenciaram nas direções: 45º, 90º e 135º o que indicou ausência de anisotropia. As frações ramos, galhos e cascas e estruturas reprodutivas apresentaram efeito pepita puro, ou seja, nenhum grau de dependência espacial foi observado (Tabela 3). Estes resultados sugerem que as FR e FER têm distribuição aleatória na área em estudo, ou talvez a continuidade espacial para estas frações exista a uma distância inferior ao do menor espaçamento (32 m) entre as amostras utilizadas na área. Deste modo, para estudos futuros, seria necessária a realização da amostragem em menores distâncias para identificar a dependência espacial destas frações.

Alguns estudos apontam para um padrão muito variável da produtividade da FER. Martins e Rodrigues (1999) ao estudarem a produtividade de serapilheira em clareiras de uma floresta estacional semidecidual constataram que a fração flores foi a mais variável. Vogel et al. (2007) encontraram alta variação na fração miscelânea (flores, frutos, sementes e restos vegetais não identificáveis) ao estudar a produtividade de serapilheira em Floresta Estacional Decidual. Os autores atribuíram este fato ao período de floração de algumas espécies, pois notaram, em alguns meses de coleta, grande incidência de pequenas flores e sementes em abundância, aumentando a quantidade da fração miscelânea em alguns meses e, por conseguinte, elevado CV%. Diante disso, nota-se que a alta variação para a FER pode estar relacionada aos diversos padrões fenológicos das espécies, bem

TABELA 3: Parâmetros dos modelos de semivariogramas das variáveis de produtividade de serapilheira avaliadas no período de dezembro/2011 a novembro/2012, na mata de galeria do córrego Lava-pés, Ipameri - GO.

TABLE 3: Semivariogram model parameters of litterfall variables evaluated from the November/2012 December/2011 in gallery Forest in Central Brazil.

Variáveis (Kg ha^{-1})	Modelo	C_0	Patamar	Alcance (m)	$[(C_0/C_0+C)]x100$	GDE	R^2	SQR
FF	Exp	731856	3372918	90	22	F	0,281	1,26E+12
FR	EPP	1246545	1246545	-	-	-	-	-
FER	EPP	1422230	1422230	-	-	-	-	-
Total	Exp	1620513	8729473	84	19	F	0,347	6,55E+12

Em que: FF: Fração folhas; FR: Fração ramos; FER: Fração estruturas reprodutivas; Exp: Exponencial; EPP: Efeito pepita puro; C_0: Efeito pepita; GDE: Grau de dependência espacial; F: Forte; SQR: Somas dos quadrados dos resíduos

como ao tamanho e tipo de frutos, flores e sementes, o que por ventura pode afetar a dependência espacial.

Segundo a classificação de Cambardella et al. (1994), tanto a FF quanto a serapilheira total apresentaram forte dependência espacial. Portanto, verificou-se que esta é a fração que mais influenciou na dependência espacial da produtividade de serapilheira (Tabela 3). Hansen et al. (2009) relataram que há uma forte relação entre a FF e a serapilheira total de forma que é possível estimá-la por meio da serapilheira total. A FF representa a maior porcentagem de formação da serapilheira (OLIVEIRA, 1997; MARTINS; RODRIGUES, 1999; ARATO; MARTINS; FERRARI, 2003; CIANCIARUSO et al., 2006) o que explica a dependência espacial forte na serapilheira total, uma vez que as demais frações não apresentaram continuidade espacial.

Entretanto, o efeito pepita (C_0) encontrado para a produtividade de serapilheira, para a FF e total, foi elevado (Tabela 3). Isto deve ter ocorrido, provavelmente, devido à complexidade da dinâmica das variáveis ecológicas, uma vez que a deposição da serapilheira sofre influência de diversos fatores, entre eles climáticos e edáficos (PINTO, 2005; SOARES et al., 2008). O alto valor do (C_0) pode comprometer a acurácia dos mapas estimados pelo método de krigagem, pois a intensidade amostral pode interferir significativamente na estrutura espacial da variável estudada, conforme encontrado por Rodrigues, Cora e Fernandes (2012) para atributos do solo de um Latossolo Vermelho distrófico. Para a redução do (C_0), possivelmente, uma amostragem mais intensa seria necessária.

Observou-se que o alcance da dependência espacial para a FF foi de 90 metros (Tabela 2) e, portanto, as distâncias entre amostras (32 x 32 m) utilizadas no presente estudo foram suficientes para detecção da dependência para esta fração. Para a serapilheira total verificou-se que o alcance da dependência espacial foi de 84 m (Tabela 2). Observa-se que o alcance para serapilheira total é semelhante ao alcance obtido para a FF evidenciando, novamente, que esta fração foi a determinadora da dependência espacial da fração total. Assim como observado, para esta fração, as distâncias entre as amostras (32 x 32 m) utilizadas no estudo foram suficientes para detecção da dependência espacial na serapilheira total.

A produtividade de serapilheira para a FF e o total é apresentada no mapa de isolinhas (Figura 5). A maior produtividade de serapilheira para a fração folhas (7090 a 9090 Kg ha^{-1} ano) pode ser observada na parte direita do mapa (Figura 5) no terço superior (TS) da mata e se estende até uma pequena parte que inclui o terço médio (TM) da mata. Contudo, notou-se também que no TS da mata (parte direita superior do mapa) há regiões apresentando menor produtividade (3090 a 5090 Kg ha^{-1} ano). Na parte superior do mapa observa-se outra zona de maior produtividade da FF localizada no TM da mata, porém, bem próximo ao terço inferior (TI) (Figura 5).

Observa-se que as regiões que concentram a menor produtividade da FF localizam-se no TI da mata (Figura 5). O TI da mata encontra-se perturbado decorrente do pisoteio de gado e a entrada frequente de pessoas nesta parte, o que, pode ter afetado a dinâmica da serapilheira nesta região. Entretanto, König et al. (2002) relatam que florestas perturbadas investem grande aporte de energia na produção de material foliar e reprodutivo, depositando também maior conteúdo de serapilheira como estratégia de recuperação. Deste modo, em estudos futuros, deve haver uma investigação sobre o que pode estar afetando a deposição de serapilheira nesta região da mata.

No mapa de produtividade de serapilheira da FF e serapilheira total nota-se que há regiões que variam de 1090 a 9090 Kg ha^{-1} ano e 900 a 10.900 Kg ha^{-1} ano respectivamente (Figura 5). Estes resultados confirmam a alta variabilidade encontrada nos valores do coeficiente de variação (Tabela 1) e apontam para o problema de usar os valores médios quando se deseja manejar a área de forma especificada por meio de zonas homogêneas de manejo.

Verificou-se que os mapas de produtividade da FF e total de serapilheira assemelharam-se entre si mantendo as regiões com maior e menor produtividade de serapilheira (Figura 5). Isto, novamente, confirma os resultados dos semivariogramas, os quais indicaram que fração folhas é a que compõe a maior parte da formação da serapilheira total, e, assim, governa a dependência espacial desta variável. Verificou-se, também, a predominância da FF na composição da produtividade total de serapilheira utilizando-se os valores médios (Figura 6).

A produtividade de serapilheira pode ser usada como bioindicador da eficiência do restabelecimento dos processos ecológicos em reflorestamentos em áreas degradadas. Os bioindicadores são utilizados para monitorar

alterações ambientais (KLUMPP, 2001) e podem ser empregados na comparação de diferentes sistemas de revegetação (RODRIGUES; GANDOLFI, 2000; KLUMPP, 2001; MACHADO et al., 2008) ou mesmo de diferentes áreas dentro de um mesmo ecossistema. Isso pode ser evidenciado no presente estudo, pois como se verifica no mapa de isolinhas (Figura 5) a serapilheira está indicando áreas de maior e menor produtividade, sendo a última na zona que mais sofre ação antrópica (TI). A serapilheira pode ser utilizada também em projetos de recuperação de áreas degradadas, por meio da técnica de transposição. A utilização desta técnica pode ser uma alternativa para acelerar o processo

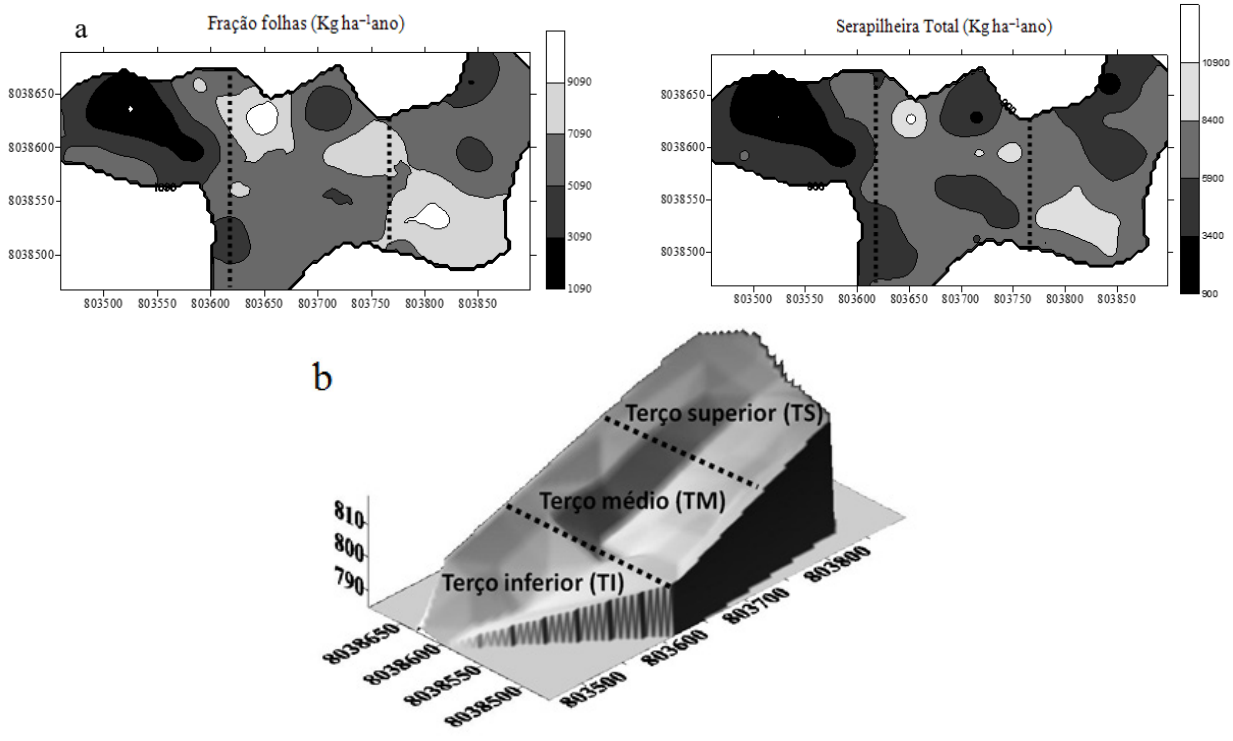

FIGURA 5: a- Mapas de produtividade de serapilheira para FF e total, no período de dezembro de 2011 a novembro de 2012, estimados pelo método de interpolação Krigagem e, b- Esquema da divisão dos terços superior, médio e inferior na mata de galeria do córrego Lava-pés, Ipameri - GO.

FIGURE 5: a- Maps to litterfall fraction leaves and total litterfall, from December 2011 to November 2012, estimated by Kriging interpolation method and b- Scheme of division of the upper, middle and lower in gallery forest, Ipameri - GO.

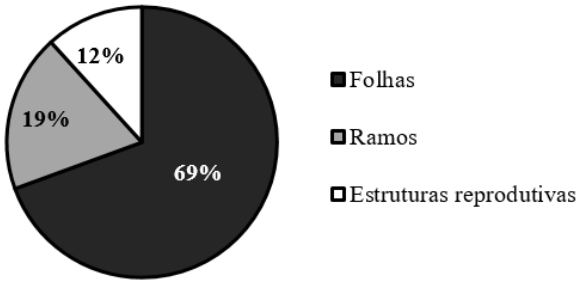

FIGURA 6: Proporção média da produtividade de serapilheira por fração (Kg ha^{-1} ano) para mata de galeria do córrego Lava-pés, Ipameri - GO.

FIGURE 6: Average proportion the litterfall per fraction (Kg ha^{-1} yr) to the gallery forest, Ipameri - GO, Brazil.

de sucessão em áreas em que o solo foi degradado (MARTINS, 2007; 2009) e fornecer enriquecimento da flora e da fauna ao ambiente a ser recuperado. Contudo, para utilização da serapilheira como bioindicador ou para a técnica de transposição, é necessário avaliar a capacidade de produtividade de serapilheira da floresta fornecedora (MACHADO et al., 2008), o que pode ser feito por meio do mapa de isolinhas. Verificou-se que o uso do mapa de isolinhas na área em estudo pode ser usado para definir zonas de manejo e utilizar medidas como: transposição de serapilheira das zonas de maior produtividade para estimular a sucessão florestal na região perturbada ou mesmo em outras áreas degradadas e o isolamento da área no terço inferior com o intuito de eliminar os fatores de perturbação.

Portanto, o presente estudo demonstrou o potencial do uso dos mapas isolinhas para o manejo da floresta, pois, por meio dele, é possível conhecer melhor a dinâmica da serapilheira na área, visualizar as zonas de maior e menor produtividade e relacioná-las com as características de cada região, tais como ocorrência de clareiras, características e fertilidade do solo, inclinação do terreno, afloração do lençol freático, perturbação, entre outras.

CONCLUSÃO

A produtividade de serapilheira para a mata de galeria do córrego Lava-pés apresentou dependência espacial, a qual foi classificada como forte para a fração folhas e o total.

Com os mapas de produtividade de serapilheira (fração folhas e total) obtidos pelo método de interpolação geoestatístico krigagem foi possível visualizar regiões a partir das quais se definem zonas de manejo, que podem ajudar na tomada de decisão com relação à transposição de serapilheira, coleta de banco de sementes para recuperação de áreas, entre outros.

AGRADECIMENTOS

A Capes pela concessão de bolsa de estudo ao primeiro autor deste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, J. R. S. P**. Dinâmica da serapilheira em um trecho de floresta atlântica secundária em área urbana do Rio de Janeiro**. 2006. 79 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Instituto de Florestas, Seropédica, 2006.

AMARASINGHE,M.D.;BALASUBRAMANIAM. Net primary productivity of two mangrove forest stands on the northwestern coast of Sri Lanka. **Hydrobiologia**, Baarn, v. 247, p. 37-47, 1992.

ARATO, H. D.; MARTINS, S. V.; FERRARI, S. H. S. Produção e decomposição de serapilheira em um sistema agroflorestal implantando para recuperação de área degradada em Viçosa-KG. **Revista Árvore,** Viçosa, v. 27, n. 5, p. 715-721, 2003.

ARAÚJO, R. S. et al. Aporte de serapilheira e nutrientes ao solo em três modelos de revegetação na Reserva Biológica de Poço das Antas, Silva Jardim, RJ. **Revista Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 12, n. 2, p. 16-24, 2005.

BARLING, R. D.; MOORE, I. D. Role of buffer strips in management of waterway pollution: a review. **Environmental Management**, Springer, US, v.18, p. 543-558, 1994.

BRAY, J. R.; GORHAM, E. Litter production in the forests of the world. **Advances in Ecological Research**, New York, v. 2, p. 101-157, 1964.

CALLEGARI-JACQUES, Sintia M. **Bioestatística**: princípios e aplicações. Porto Alegre: Artmed, 2003.

CAMBARDELLA, C. A. et al. Field scale variability of soil properties incentral Iowa soils. Soil. Science **Society of America Journal**, Madison, v. 58, n. 5, p.1501-1511, 1994

CIANCIARUSO, M. V. et al. Produção de serapilheira e decomposição do material foliar em um cerradão da Estação Ecológica de Jataí, Luiz Antônio, SP. **Acta Botânica Brasilica**, Belo Horizonte, v. 20, n. 1, p. 49-59, 2006

CHAVE J. et al. Regional and seasonal patterns of litterfall in tropical South America. **Biogeosciences**, Alemanha, v. 7, p. 43-55, 2010.

COSTA, C. C. A. et al. Análise comparativa da produção de serapilheira em fragmentos arbóreos e arbustivos em área de caatinga na Flona de Açu - RN. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 2, n. 34, p. 259-265, 2010

CUNHA, G. C. et al. Dinâmica nutricional em floresta estacional decidual com ênfase aos minerais provenientes da deposição de serapilheira. **Ciência Florestal,** Santa Maria, v. 3, n. 1, p. 35-64, 1993.

DIAS, H. C. T.; OLIVEIRA FILHO, A. T. Variação temporal e espacial da produção de serapilheira em uma área de Floresta Estacional Semidecídual Montana em Lavras- MG. **Revista Árvore**, Viçosa,

v. 21, p. 11-26, 1997.

ESPIG, A. S. et al. Sazonalidade, composição e aporte de nutrientes da serapilheira em fragmento de mata atlântica. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 33, n. 1, p. 949-956, 2009.

FIGUEIREDO-FILHO, A. et al. Avaliação estacional da deposição de serapilheira em uma floresta ombrófila mista localizada no Sul do Estado do Paraná. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 13, n. 1, p. 11-18, 2003.

GIÁCOMO, R. G.; PEREIRA, M. G.; MACHADO, D. L. Aporte e decomposição de serapilheira em áreas de cerradão e mata mesofítica na Estação Ecológica de Pirapitinga–KG. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 22, n. 4, p. 669-680, 2012.

GONÇALVES, M. A. M. **Avaliação da serapilheira em fragmento de floresta atlântica no sul do estado do Espírito Santo**. 2008. 85 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, 2008.

GUIMARÃES, E. C. **Variabilidade espacial da umidade e da densidade do solo em um Latossolo Roxo**. 1993. 135 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1993.

HAMLETT, J. M.; HORTON, R.; CRESSIE, N. A. C. Resistant and exploratory techniques for use in semivariogram analyses. **Soil Scienc Society of América Journal**, Madison, v. 50, p. 868-875, 1986.

HANSEN, K. et al. Litterfall and nutrient return in five tree species in a common garden experiment. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 257, n. 10, p. 2133-2144, 2009

IBGE. **Temáticos**: solos. [2013]. Disponível em: <http://mapas.ibge.gov.br/tematicos/solos> Acesso em: 2 abr. 2013.

ISAAKS, E. H.; SRIVASTAVA, R. M. **An introdution to applied geoestatistics.** New York: Oxford University Press, 1989. 561p.

KLEINPAUL, I. S. et al. Suficiência amostral para coletas de serapilheira acumulada sobre o solo em Pinus elliotti Engelm, Eucalyptus sp. e Floresta Estacional Decidual. **Revista Árvore,** Viçosa, v. 29, n. 6, p. 965-972, nov./dez. 2005.

KÖNIG, F. G. et al. Avaliação da sazonalidade da produção de serapilheira numa floresta estacional decidual no município de Santa Maria, RS. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 26, n. 4, p. 429-435, 2002

LI, Y.; SHI, Z.; LI, F. et al. Delineation of sitespecific management zones using fuzzy clustering analysis in a coastal saline land. **Computers and Electronics in Agriculture**, Elsevier, Netherlands, v. 56, n. 2, p. 174-186, 2007.

LONGHI, R. V. et al. Produção de serapilheira e retorno de macronutrientes em três grupos florísticos de uma floresta ombrófila mista, RS. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 21, n. 4, p. 699-710, out./dez. 2011.

LOPES, M. I. S.; DOMINGOS, M.; STRUFFALDI-DE-VUONO, Y. Ciclagem de nutrientes minerais. In: SYSLVESTRE, L. S.; ROSA M. M. T. **Manual metodológico para estudos botânicos na mata atlântica.** Seropédica: EDUR- UFRRJ, 2002. p. 72-102.

LOWRANCE, R. et al. Riparian forest as nutrient filters in agricultural watersheds. **BioScience**, Uberlândia, v. 34, p. 374-377, 1984

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.

MASON, C. F. **Decomposição**. São Paulo: EPU, 1980. 63 p.

MEGURO, M.; VINUEZA, G. N.; DELITTI, W. B. C. Ciclagem de nutrientes na Mata Mesófila Secundária, São Paulo, III - Decomposição do material foliar e liberação dos nutrientes minerais. **Boletim de Botânica da Universidade de São Paulo,** n. 8, p. 7-20, 1980.

MILLER, J.; FRANKLIN, J.; ASPINALL, R. Incorporating spatial dependence in predictive vegetation models. **Ecological Modelling**, Elsevier, Netherlands v. 202, p. 225-242, 2007

OLIVEIRA, E. C. L.; FELFILI, J. M. Estrutura e dinâmica da regeneração natural de uma mata de galeria no Distrito Federal, Brasil. **Acta Botânica Brasílica**, Belo Horizonte, v. 19, n. 4, p. 801-811, 2005.

OLIVEIRA, R. E. **Aspectos da dinâmica de um fragmento florestal em Piracicaba-SP: silvigênese e ciclagem de nutrientes**. 1997. 79 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 1997.

PEREIRA, M. G. et al. Aporte e decomposição de serapilheira em Floresta Periodicamente Inundável na Restinga da Marambaia, RJ. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 22, n. 1, p. 59-67, jan./mar. 2012.

PIMENTEL-GOMEZ, F.; GARCIA, C. H. **Estatística aplicada a experimentos agronômicos e florestais:** exposição com exemplos e orientações

para uso de aplicativos. Piracicaba, FEALQ, 2002. 309 p.

PINTO, S. I. C et al. Produção de serapilheira em dois estádios sucessionais de floresta estacional semidecidual na reserva Mata do Paraíso, em Viçosa, MG. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 32, n. 3, p. 545-556, 2008.

_____ et al. Produção de serapilheira em dois estádios sucessionais de floresta estacional semidecidual na reserva Mata do Paraíso, em Viçosa, MG. **Revista Árvore**, v. 32, n. 3, p. 545-556, 2008.

REATTO, A. et al. Solos de ocorrência em duas áreas de mata de galeria no distrito federal: aspectos pedológicos, uma abordagem química e físico hídrica. In: RIBEIRO, J. F.; FONSECA, C. E. L.; SILVA, J. C. S. (Eds.). **Cerrado**: caracterização e recuperação de matas de galeria. [s. l.]: Embrapa cerrados, 2001. p.115-140.

RIBEIRO, J. P.; WALTER, M. T. Fitofisionomias do Bioma Cerrado. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P. (Eds.). **Cerrado:** ambiente e flora. Planaltina: Embrapa, 1998. p. 89-166.

ROBERTSON, G. P. Release 7. **GS+:** Geostatistics for the environmental sciences. Plainwell: Gamma Design Software, 2004.

RODRIGUES, M. S.; CORA, J. E.; FERNANDES, C. Soil sampling intensity and spatial distribution pattern of soils attributes and corn yield in notillage system. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 32, n. 5, p. 852-865, 2012.

SAYER, E. J. Using experimental manipulation to access the role of leaf litter in functioning of forest ecosystems. **Biological Reviews**, Cambridge, v. 81, n. 1, p. 1-31, 2005.

SHAPIRO, S. S.; WILK, M. B. An analysis of variance test for normality: complete samples. **Biometrika**, London, v. 52, p. 591-611, 1965.SILVA JÚNIOR, M. C. **Tree Communities of Gallery Forests of the IBGE Ecological Reserve, Distrito Federal, Brazil.** 1995. Tese (Doutorado em Ecologia Florestal) - University of Edinburgh, Edinburgh, Scotland, 1995.

SINGH, J. S.; GUPTA, S. R. Plant decomposition and soil respiration in terrestrial ecosystems. **The Botanical Review**, Springer, US, n. 43, p. 449-528, 1977.

SNEDECOR, G. W.; COCHRAN, W. G. **Statistical methods**. 6. ed. Ames: Iowa State University Press, 1967. 593 p.

SOARES, I. et al. Produção de serapilheira e ciclagem de nutrientes na cultura do cajueiro anão precoce. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 32, n. 1, p. 173-181, 2008.

SURFER. **Release 8.0**. Contouring and 3D surface mapping for scientist's engineers. User's Guide. New York: Golden software, 2002. 619p.

VOGEL, H. L. M. et al. Avaliação da devolução de serapilheira em uma floresta Estacional Decidual em Itaara, RS, Brasil. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 17, n. 3, p. 187-196, jul./set. 2007.

WERNECK, M. S.; PEDRALLI, G.; GIESEKE, L. F. Produção de serapilheira em três trechos de uma floresta semidecídua com diferentes graus de perturbação na Estação Ecológica do Tripuí, Ouro Preto, KG. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 24, n. 2, p. 195-198, 2001

WHITE, B. L. A. et al. Dynamics of the production and decomposition of litterfall in a Brazilian Northeastern Tropical Forest (Serra de Itabaiana National Park, Sergipe State). **Acta Scientiarum Biological Science**, Maringá, v. 35, n. 2, p. 195-201, 2013.