

CHUVA DE SEMENTES COMO INDICADORA DO ESTÁDIO DE CONSERVAÇÃO DE FRAGMENTOS FLORESTAIS EM SOROCABA - SP

SEED RAIN AS INDICATOR OF FOREST FRAGMENT CONSERVATION IN SOROCABA, SÃO PAULO STATE

Fatima Conceição Márquez Piña-Rodrigues¹ Juliana Aoki²

RESUMO

O objetivo do estudo foi analisar o nível de degradação de fragmentos florestais a partir do uso da chuva de sementes como indicador ambiental. Fragmentos (n= 5) de Floresta Estacional Semidecidual na região de Sorocaba - SP foram estudados de agosto a outubro de 2007 e janeiro a dezembro de 2008, utilizando-se coletores instalados em 11 parcelas (10 x 10 m). Do material coletado foram separadas as frações de sementes e frutos para identificação e classificação por síndrome de dispersão e hábito. Os resultados demonstraram que, embora os fragmentos F4 e F5 apresentem os maiores índices de riqueza, diversidade e equitabilidade, há a dominância de espécies anemocóricas e herbáceas. Os fragmentos F1, F2 e F4 foram os com maior aporte de sementes, respectivamente com 36,8%, 26,8% e 17,8% e os fragmentos F3 e F5, apenas 12,6% e 5,9%. O aporte de propágulos foi sazonal sendo maior na transição da estação seca para a úmida, o que resulta em 63% do total de propágulos aportados. A síndrome com maior representatividade foi a anemocoria (86%), comum em áreas abertas e degradadas. Os resultados obtidos indicam a viabilidade da aplicação do estudo quantitativo da chuva de sementes para o monitoramento da restauração de fragmentos, tendo sido eficiente em detectar diferenças ambientais entre os fragmentos.

Palavras-chave: regeneração natural; recuperação de áreas degradadas; síndromes de dispersão.

ABSTRACT

The aim of this study was to analyze the degradation state of forest fragments applying seed rain as an indicator. Fragments (n = 5) in semideciduous forest, in Sorocaba, SP state, were studied from August to October, in 2007, and from January to December, in 2008, and seed traps were established in 11 plots (10 x 10 m). The material was separated and seeds and fruits were identified and classified based on dispersion syndrome and habit. Although fragments F4 and F5 showed high richness, diversity and equitability, there were dominance of herbaceous and anemochoric species. The highest proportion of seed rain was observed in F1, F2 and F4, with 36.8%, 26.8% and 17.8%, and F3 and F5, showed only 12.6% and 5.9%. The seed rain was seasonal and higher in the transition from dry to wet season, with 63% of total seed rain. The anemochory was the most representative syndrome (86%), that is more observed in open and degraded areas. The results indicated viability of the quantitative analysis of seed rain for monitoring the fragment restoration, being effective to detect environmental differences among fragments.

Keywords: natural regeneration; restoration of degraded areas; dispersion syndromes.

1 Engenheira Florestal, Dr^a., Professora Associada do Departamento de Ciências Ambientais, Universidade Federal de São Carlos, Rod. João Leme dos Santos (SP-264), Km 110, Bairro do Itinga, CEP 18052-780, Sorocaba (SP), Brasil. fpina@ufscar.br

2 Engenheira Florestal, Curso de Engenharia Florestal, Universidade Federal de São Carlos, Rod. João Leme dos Santos (SP-264), Km 110, Bairro do Itinga, CEP 18052-780, Sorocaba (SP), Brasil. juliana.aoki@yahoo.com.br

INTRODUÇÃO

Com a crescente expansão da fronteira agrícola e demais regiões produtivas no Brasil, extensas áreas anteriormente ocupadas por florestas naturais tornaram-se fragmentadas devido ao alto índice de desmatamento (SILVA et al., 2004). Em estudos realizados por Kronka et al. (2005), é possível observar que no Estado de São Paulo os remanescentes de vegetação natural, entre os anos de 2000 e 2001, estavam em cerca de 3.457.301 hectares, o equivalente a 13,94% da área do estado. Só na região da bacia hidrográfica do Médio Tietê-Sorocaba foi verificada a presença de 133.039 hectares de vegetação natural, correspondendo à aproximadamente 3,8% do total estadual (KRONKA et al., 2005). Esta região caracteriza-se pela alta fragmentação e por ser zona de intersecção de diferentes formações como a Floresta Ombrófila Mista, Cerrado *sensu lato*, Floresta Ombrófila Densa, e a Floresta Estacional Decidual, sendo esta última predominante (ALBUQUERQUE, 1999). A intensa fragmentação aliada às diferentes tipologias florestais requer a proposição de medidas que venham a promover a conservação desta biodiversidade.

A fragmentação afeta a dinâmica de um ecossistema, o que interfere na presença ou ausência de determinadas espécies, como os polinizadores e agentes dispersores (VIANA e PINHEIRO, 1998). Nas áreas fragmentadas, as características genéticas da população são alteradas, como o aumento da deriva genética e dos efeitos endogâmicos, o que resulta na diminuição da variabilidade genética e dificulta o estabelecimento de espécies florestais (KAGEYAMA e GANDARA, 1998).

Para a conservação de tais áreas, é necessário observar o comportamento dos fragmentos por meio da análise do ecossistema em que se encontram, o seu tamanho, localização e o histórico de ocupação (VIANA e PINHEIRO, 1998). Uma das técnicas utilizadas visando à manutenção da biodiversidade de áreas fragmentadas é a formação de corredores ecológicos, interligando áreas próximas, com o objetivo de diminuir a presença destes “mosaicos” florestais (SILVA et al., 2004). Além disto, a conservação dos fragmentos remanescentes depende também do estudo aprofundado da área e de seus aspectos ecológicos. Por isto, o estudo fenológico das espécies, a dinâmica dos ecossistemas, a variação do período de frutificação e a formação de sementes são essenciais para identificar o potencial

de recuperação de áreas degradadas (SANTOS e KINOSHITA, 2003).

Técnicas para acelerar o processo de restauração de um ecossistema vêm sendo utilizadas constantemente para evitar a extinção das espécies animais e vegetais de um ambiente (VIEIRA e GANDOLFI, 2006). A própria floresta também apresenta mecanismos para sua autorregeneração, como a formação de banco de sementes e plântulas e chuva de sementes (ARAÚJO et al., 2004). Contudo, a presença de sementes em determinado fragmento é dependente da fonte produtora desses propágulos, das suas síndromes de dispersão e da ação dos agentes dispersores (GROMBONE-GUARATINI, 1999). A dispersão de sementes é um fator favorável ao estabelecimento das espécies vegetais, pois essas podem encontrar um local mais propício ao seu desenvolvimento e auxiliar na recuperação de um fragmento (RUDGE, 2008).

O estudo da chuva de sementes permite avaliar a dinâmica de um fragmento e como ele se comporta após sofrer perturbações tanto naturais, quanto antrópicas (RUDGE, 2008). Os propágulos da chuva são provenientes de fontes externas (alóctones) ou da própria área (autóctones) os quais afetam o processo de sucessão da floresta (GROMBONE-GUARATINI, 1999; ARAÚJO et al., 2004) e chegam às áreas por meio de diferentes formas de dispersão. As síndromes de dispersão e o conjunto de suas proporções em uma formação vegetal são denominados de “espectro de dispersão”, o qual pode ser afetado pelas características da vegetação (HUGHES et al., 1994). Isto se observa, por exemplo, em formações mais abertas de cerrado, as quais apresentam taxas de anemocoria entre 30 e 60% (BATALHA e MANTOVANI, 2000; VIEIRA et al. 2002) enquanto vários estudos mostram que áreas de florestas mais conservadas apresentam taxa de zoocoria superior a 60% (MORELLATO et al., 2000; CARMO e MORELLATO, 2001; KINOSHITA et al., 2006). Sendo assim, e considerando que a anemocoria é mais frequente em fisionomias florestais abertas (HOWE e SMALLWOOD, 1982; OLIVEIRA e MOREIRA, 1992), a análise de sua presença pode ser considerada como indicadora de perturbação ambiental, uma vez que a dispersão pelo vento é favorecida nestas condições.

Diversas pesquisas sobre a chuva de sementes vêm sendo realizadas, demonstrando que esse mecanismo é um bom indicador para avaliar o estabelecimento de novas espécies (ARAÚJO

et al., 2004; GONDIM, 2005; RUDGE, 2008) e que, grande parte dos propágulos encontrados são provenientes do próprio ambiente, o que interfere significativamente no processo de recuperação (GROMBONE-GUARATINI, 1999). Estes conhecimentos, além de fornecerem importantes informações sobre a riqueza, diversidade e disponibilidade de sementes são essenciais para o monitoramento de áreas em processo de recuperação.

Desta forma, o objetivo deste estudo foi avaliar a chuva de sementes como indicadora para responder às seguintes questões: (a) Se existe variação quantitativa no aporte total e sazonal da chuva de sementes em fragmentos de diferentes estádios sucessionais; (b) Se o espectro da chuva de sementes pode indicar o estágio sucessionais ou nível de degradação dos fragmentos; (c) Qual a relação entre a diversidade de aporte de sementes e a diversidade de espécies encontradas? (d) E, baseado nos resultados obtidos, quais as propostas para o manejo e conservação dos fragmentos estudados?

MATERIAL E MÉTODOS

Caracterização e localização da área de estudo

A pesquisa foi realizada de julho de 2007 a dezembro de 2009, na região da Bacia Hidrográfica do Rio Sorocaba e Médio Tietê, no município de Sorocaba, localizado na microbacia do rio

Ipaneminha, na latitude 23°34'40,02"S e longitude 47°31'17,80"W, no estado de São Paulo. No local são observados fragmentos florestais circundados por uma matriz ambiental de pastagem dominada por *Brachiaria decumbens* L. e *Melinis minutifolia* L.

O clima da região é tropical quente e úmido com inverno seco e verão chuvoso. No verão, as médias térmicas são superiores a 22°C e a pluviosidade média é cerca de 200 mm; o inverno corresponde à estação seca, com temperatura média inferior a 18°C e índice pluviométrico mensal de cerca de 30 mm. Na classificação de Köppen predomina o clima Cwa na depressão periférica e Cwb nas áreas mais elevadas (REDE DAS ÁGUAS, 2009). A cobertura vegetal original região é do tipo Estacional Semidecidual, não apresentando nenhuma formação de caráter primário. Como resultado da alteração da paisagem, as florestas foram substituídas por campos e pastagens, os quais são interrompidos por matas altas como faxinais, cerrados, capoeirões e matas ciliares.

Para a realização do estudo foram selecionados cinco fragmentos onde foram instaladas parcelas de 10 x 10 m, sendo marcados e identificados todos os indivíduos com diâmetro a altura do peito maior ou igual a 15 cm. Os fragmentos estudados medem respectivamente: F1 - 4,5 ha, F2 - 1,68 ha, F3 - 4,75 ha, F4 - 4,16 ha e F5 - 1,54 ha (Figura 1).

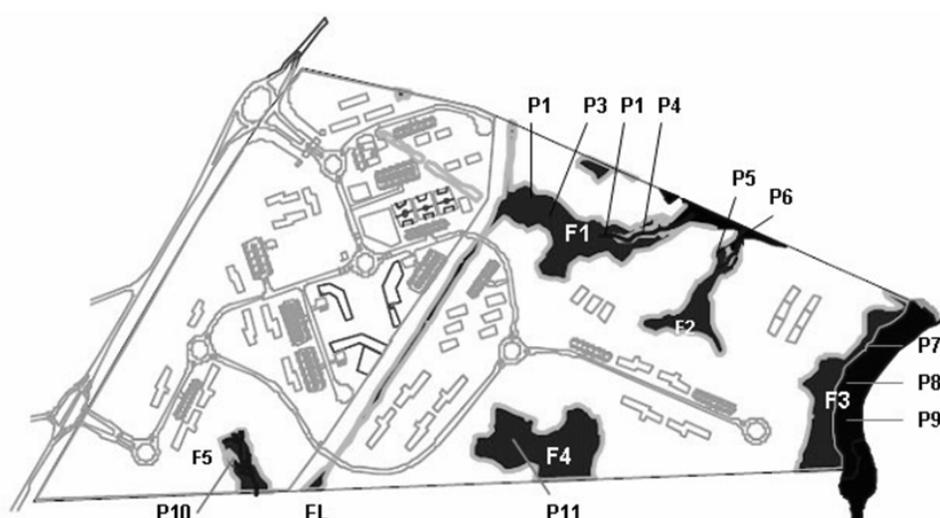


FIGURA 1: Localização dos cinco fragmentos e a distribuição das parcelas utilizadas para o estudo da chuva de sementes na região da microbacia do rio Ipaneminha-Sorocaba - SP (F = fragmento; P = parcela; FL= faixa de vegetação).

FIGURE 1: Location of the five studied fragments and distribution of plots in Ipaneminha's watershed, in Sorocaba, SP state (F = fragment, P = plot, FL = vegetation line).

A caracterização ambiental dos fragmentos foi realizada com base na Resolução 01 do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) de 31 de janeiro de 1994 e na avaliação do seu estágio de degradação. Para isto, em cada fragmento, foi realizada a análise dos seguintes atributos: altura do dossel, presença de epífitas, grau de interferência antrópica (pisoteio, queimada, podas, lixo), presença de herbáceas, taxa de cobertura do solo e presença de erosão. Para “altura do dossel” foi atribuída uma escala de notas variando de zero (0) para alturas inferiores a 3 m e de até quatro (4) para dossel superior a 8-10 m. Para os demais critérios foram aplicados valores de zero (presente, alta ou abundante) a quatro (ausência, baixo ou nenhuma). O valor de degradação (Vd) foi calculado pela somatória dos valores dos atributos analisados. Para o parâmetro presença de “epífitas” foram atribuídas notas de zero (ausência) a quatro (presentes em abundância).

Composição da chuva de sementes

Em cada uma das parcelas ($n = 11$) foram instalados em julho de 2007, três coletores de malha de helanca, cônicos de $0,25 \text{ m}^2$, e dispostos equidistantes em diagonal nas parcelas, a $1,30 \text{ m}$ do solo. Mensalmente, de agosto a outubro de 2007 e de janeiro a dezembro de 2008, foi coletada a biomassa aportada nos coletores. O material retirado foi triado separando-se a fração material reprodutivo, a qual foi separada em sementes e frutos para classificação e identificação.

A identificação dos frutos e sementes e de suas síndromes foi efetuada por comparação com mostruário e bibliografia específica (BARROSO et al., 2004). As sementes foram classificadas por “morfoespécie” considerando sua morfologia externa. As morfoespécies obtidas foram posteriormente digitalizadas com o uso de *scanner* de mesa marca Samsung SCX 4200 series®, com resolução de 300 ppp tendo como plano de fundo escala de $1 \times 1 \text{ cm}$ e disponibilizadas em mostruário eletrônico de consulta pública para auxílio a futuros trabalhos que necessitem identificação de sementes (http://www.flickr.com/photos/chuva_de_sementes).

Cada propágulo foi classificado considerando-se o tamanho, cor e sua morfologia, de acordo com Van der Pijl (1982), como anemocóricas (dispersão pelo vento), quando apresentavam a presença de estruturas ou formas que facilitam a

planação ou voo; zoocóricas, como aquelas que apresentavam características de dispersão por animais, em especial frutos drupáceos, bagas e sementes ariladas, e autocóricas para aquelas cujas sementes são dispersas por gravidade ou deiscência explosiva. Do total observado foram também analisadas as que apresentavam hábito herbáceo. A identificação das morfoespécies, quanto às respectivas famílias botânicas, foi realizada segundo o sistema de classificação APG II (Angiosperm Phylogeny Group APG II, 2003).

Para as estações do ano, foram considerados como verão os períodos de 22/12 a 20/03, outono de 20/03 a 21/06, inverno de 21/06 a 22/09 e primavera de 22/09 a 22/12. Como “estação úmida” foi considerado o período compreendido pela primavera e verão, e como seca, o inverno e outono.

Análise dos dados

A análise dos dados foi efetuada por fragmento ($n = 5$), considerando-se cada coletor como repetição. A abundância de sementes (número de sementes) e a riqueza de morfoespécies de sementes (número de morfoespécies de sementes) foram registradas nos meses de agosto a outubro de 2007 e de janeiro a dezembro de 2008. A abundância de sementes foi calculada em relação à área da superfície de coletor, gerando o número de sementes/ m^2 , sementes/ $\text{m}^2/\text{mês}$ e sementes/ $\text{m}^2/\text{estação}$. Para fins de apresentação do aporte de propágulos pelas espécies, foi utilizado o número absoluto e a proporção de sementes obtidas. A análise da diversidade da chuva de sementes foi efetuada pelo cálculo do número de morfoespécies (S) e indivíduos (N), riqueza de morfoespécies de Margalef (d), equitabilidade de Pielou (J') e diversidade de Shannon-Wiener (H'), determinados com o programa PRIMER 5.0 (CLARKE e GORLEY, 2001) para os diferentes fragmentos. Para esta análise foi utilizado o número propágulos/ m^2/ano e o número propágulos/ $\text{m}^2/\text{estação}$ obtido na chuva de sementes.

A similaridade entre os fragmentos foi avaliada a partir da análise de agrupamentos com distância euclidiana como método de distância e Ward's como ligação, com o uso do pacote PC-ORD 4.0 (MacCUNE e MEFFORD, 1997). Para esta análise foi utilizado o número propágulos/ m^2/ano e o número propágulos/ $\text{m}^2/\text{estação}$ das espécies de cada síndrome de dispersão.

O número de sementes/ m^2 obtido em cada

estação (úmida e seca) foi comparado pelo teste de qui-quadrado. A diferença entre os fragmentos em relação ao número propágulos/m² foi avaliada empregando-se a análise não paramétrica de Kruskal-Wallis. A comparação do aporte de sementes mensal foi efetuada por pares de fragmentos pelo teste-T-pareado. Todas as análises foram realizadas com o programa Statistix 8.0. Para determinar as relações entre a quantidade de sementes mensal e o número de morfoespécies e, diversidade de espécies arbóreas e a de morfoespécies da chuva, utilizou-se o coeficiente de correlação de Spearman (ZAR, 1998). A tendência da distribuição da diversidade de espécies arbóreas e de morfoespécies da chuva de sementes nos fragmentos foi determinada com o cálculo da equação de regressão (ZAR, 1998).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A caracterização ambiental dos fragmentos indicou que os fragmentos F1, F2 e F3 podem ser classificados como em estágio médio de regeneração, com a presença de indivíduos arbóreos de altura superior a 10 m e diâmetro a altura do peito até 20 cm, com número de espécies arbóreas inferior a 50, distribuídas em pelo menos três estratos, com o dossel variando de aberto a semiaberto e presença de estrato arbustivo ralo. Os fragmentos F4 e F5 foram classificados em estágio sucessional inicial, sendo caracterizados pela presença de indivíduos arbóreos com altura inferior a 10 m, diâmetro inferior a 20 cm, presença abundante do estrato herbáceo. A classificação sucessional dos fragmentos foi confirmada por estudos de caracterização ambiental realizados nos mesmos fragmentos por Fonseca (2011), com a aplicação de

um conjunto de indicadores.

A presença de trepadeiras, lianas e cipós foi observada em todos os fragmentos e podem indicar o grau de degradação, conforme foi observado por Fonseca (2011). Estas foram mais abundantes nos fragmentos F1, F2 e F3, contudo, somente foram observadas epífitas neste último, considerada como um atributo que indica maior conservação em relação aos demais. Entre as áreas, os fragmentos com maior valor de degradação foram o F1 e F5 ambos como *Vd* de 16 pontos, principalmente devido à presença de erosão e atividade antrópica. Por sua vez, F3 (*Vd* = 9) foi o mais conservado, em relação a F2 (*Vd* = 12) e F4 (*Vd* = 15).

Kortz (2009) realizou levantamento florístico nos mesmos fragmentos do presente estudo e verificou maior número de espécies no F4 (n=58) e o menor no F5 (n=16), sendo que os demais apresentaram número de espécies de 29 (F2), 36 (F3) e 39 (F1). Nos fragmentos não foram observadas espécies clímax, porém, houve predomínio de arbóreas secundárias tardias (45,6%) e de pioneiras (35,1%). As espécies tardias mais abundantes foram *Guatteria nigrescens* (F1), *Actinostemon communis* e *Nectandra rigida* (F2), *Cabralea canjerana*, *Inga marginata* e *Trichilia elegans* (F3), *Machaerium villosum* e *Trichilia claussenii* (F4), *Mollinedia widgrenii* (F5). Entre as pioneiras, as mais frequentes foram *Gochnatia polymorpha* (Less.) Cabrera, *Piptadenia gonoacantha* e *Celtis iguanea* (COELHO e CARDOSO-LEITE, 2009). Desta forma, com base nestas informações o nível de degradação dos fragmentos pode ser classificado como F5 > F4 > F1 ≈ F2 > F3.

O número total de propágulos na chuva de sementes, incluindo frutos inteiros e sementes, foi de

TABELA 1: Valores dos índices de diversidade, riqueza e equitabilidade da chuva de sementes em fragmentos florestais localizados na região de Sorocaba - SP. S = n. de morfoespécies; N = n. de indivíduos; d (Margaleff) = riqueza de espécies; J' (Pielou) = equitabilidade e H' (Shannon) = diversidade.

TABLE 1: Index values of seed rain diversity, richness and evenness in forest fragments, Sorocaba, SP state. S = N. of species; N = N. of individuals; d (Margaleff) = species richness; J' (Pielou) = evenness and H' (Shannon-Wiener) = diversity.

Fragmentos	Área (ha)	S	N	d	J'	H'(log10)
F1	4,50	8	1081	1,002	0,5358	0,4839
F2	1,68	47	1850	6,115	0,3479	0,5818
F3	4,75	38	873	5,464	0,4915	0,7764
F4	4,16	43	1231	5,903	0,5540	0,9050
F5	1,54	27	409	4,323	0,6736	0,9642

6905 unidades, pertencentes a 138 morfoespécies. Analisando-se os índices de riqueza, equitabilidade e diversidade, foi observado que o F2 apresentou o maior número de morfoespécies ($S = 47$), seguido pelo F4 ($S = 43$) (Tabela 1). Contudo, considerando que a diversidade de Shannon é uma relação entre a riqueza e a abundância, apesar de F2 ter sido o fragmento com maior número de espécies presentes, estas apresentaram alta abundância ($N = 1850$), o que interferiu diretamente no valor da diversidade (H'), fazendo com que o índice de Shannon seja reduzido. Por outro lado, no F5 apesar na menor riqueza ($S = 27$) em relação a F2, a abundância foi mais baixa ($N = 409$) elevando assim o índice de diversidade.

Em termos de espécies, o F2 apresentou-se muito similar ao F4, com maior número, quantidade e riqueza de morfoespécies, porém, com baixa equitabilidade do F2 ($J' = 0,3479$), indicando que, nesse fragmento, poucas espécies concentraram a maior quantidade de sementes aportada na chuva. Por sua vez, o fragmento F1 foi o que apresentou a menor diversidade ($H' = 0,4839$), devido, principalmente, à presença abundante de sementes da espécie *Gochnatia polymorpha*. Esta situação permite afirmar que o processo de degradação deste fragmento se reflete na sua baixa diversidade, além de baixa riqueza de espécies ($d = 1,002$) e número de morfoespécies na chuva de sementes ($S = 8$). Apesar disto, analisando o índice de equitabilidade do F1 ($J' = 0,5358$), verifica-se que este foi o terceiro maior valor, muito próximo do índice do F4 ($J' = 0,554$), que apresentou distribuição mais homogênea das morfoespécies.

Embora as maiores diversidades tenham sido obtidas no F5 e F4, houve grande aporte de sementes concentrado em espécies pioneiras, típicas colonizadoras de bordas de floresta e áreas abertas. Nestas condições, a maior incidência de luz tende a favorecer a produção de sementes (PIÑA-RODRIGUES e PIRATELLI, 1993; LEAL FILHO, 2000). Conforme o levantamento florístico, F5 foi o fragmento com menor número de espécies (16), o que pode também ter se refletido na chuva de sementes a qual apresentou a segunda menor riqueza, porém, com alta equitabilidade e diversidade indicando que várias espécies contribuem para o aporte de sementes, em proporções similares. Estudos realizados em fragmentos por Pivello et al. (2006) também mostraram maior riqueza de espécies iniciais e pioneiras nas bordas e em fragmentos pequenos, contudo, como afirmam os autores, não

há uma relação linear entre o tamanho da área e o padrão de chuva de sementes, uma vez que esta é influenciada pela estrutura da vegetação e pelo grau de conectividade da paisagem.

A quantidade de sementes coletadas em cada fragmento foi variável entre as morfoespécies identificadas, com maior aporte de propágulos de *G. polymorpha*, apresentando 2361 sementes, o que representou 34% do total de sementes. A dominância desta espécie ocorreu principalmente nos fragmentos F2 e F1, com respectivamente 56,3% e 30,4% do total de sementes. A presença abundante de propágulos de espécies típicas de Cerrado, como *G. polymorpha* e mesmo a pioneira *Handroanthus* sp., demonstra que o local, anteriormente ocupado por vegetação de Floresta Estacional Semidecidual, sofreu modificações ao longo dos anos, principalmente devido à ocupação da área e consequentes fragmentações.

Segundo Ivanauskas et al. (1999), a fragmentação pode gerar a ocupação das áreas por cerrado, faxinais e capoeirões. Dados florísticos obtidos nos mesmos fragmentos mostraram que a maioria das espécies arbóreas (56,4%) ocorre em diferentes formações florestais, sendo 35,8% na Floresta Estacional, Semidecidual ou Ombrófila densa e apenas 7,7% delas são típicas de áreas de Cerrado (KORTZ, 2009).

Em relação à abundância de sementes (n° de sementes/ m^2) não houve diferença significativa entre os fragmentos ($F = 1,42$; $p = 0,2369$) para a quantidade média aportada. A densidade média de sementes foi de 128 ± 257 sementes/ m^2 , situando-se na faixa obtida em outros estudos. Empregando o mesmo tipo de coletores, Araujo et al. (2004) obtiveram de 128 ± 36 sementes/ m^2 a 208 ± 98 sementes/ m^2 em área de floresta ripária inserida em Floresta Estacional, enquanto que em fragmentos de Floresta Estacional Decidual foi observado de 116 propágulos/ m^2 (GONDIM, 2005) a 188 sementes/ m^2 (RUDGE, 2008).

Em todos os fragmentos, o coeficiente de variação da média mensal de sementes aportadas foi superior a 100%, excetuando-se apenas o F3 ($CV = 64,1\%$). Isto indica alta variação entre os coletores e meses, o que pode explicar a não significância entre os fragmentos para a quantidade de propágulos da chuva de sementes. A distribuição das espécies e coletores pode formar uma deposição localizada próxima às plantas matrizes, o que gera alta variação entre amostras no espaço e no tempo (ARAÚJO et al., 2004). Resultado similar foi constatado

por Pivello et al. (2006) que identificaram uma associação positiva entre a posição dos coletores e a quantidade de sementes de cada espécie.

O pico de deposição de sementes ocorreu no mês de fevereiro com 1919 sementes, o que representou 28% do total amostrado (Figura 2). O restante esteve distribuído nos meses de março, abril e setembro com valores próximos de 15%, maio e junho com 6% e os demais meses com valores abaixo dos 6% do total amostrado por ano.

A maior deposição de sementes ocorreu no final da estação seca (906 sementes/ha/mês) e início da úmida (4335 sementes/ha/mês), ou seja, de setembro a março (primavera e verão), com 63% de aporte de sementes neste período. As diferenças de abundância de sementes entre as estações úmida e seca foram significativas ($\chi^2 = 345,91$; $p < 0,01$), demonstrando que houve sazonalidade no aporte de propágulos em relação à quantidade, com maior aporte na estação úmida (primavera-verão). Contudo, não se pode deixar de considerar a influência do aporte de *Gochnatia polymorpha*, cuja significativa presença nos fragmentos pode se refletir no maior aporte obtido no início da estação úmida, constituindo-se, portanto, em um viés na análise do aporte de sementes nesta estação. O verão foi a estação com maior aporte de sementes (7414 sementes), seguida da primavera (1490 sementes) e do outono (1323 sementes) e inverno (1053 sementes) (Figura 3).

Por sua vez, a quantidade total de propágulos da chuva de sementes não esteve relacionada ao número de espécies dispersando ($r = 0,32$). Isto fica evidente quando se observa que, no mês de fevereiro, o pico de aporte correspondeu também à alta diversidade de espécies, porém, no mês anterior se observa grande número de espécies dispersando (> 120), com produção de poucos propágulos por espécie (Figura 2).

Para a quantidade mensal de sementes (n° de sementes/mês) aportadas nas áreas em cada fragmento houve diferença significativa entre os fragmentos F1 e F3 ($F = 14,26$; $p < 0,01$), F1 e F5 ($F = 16,46$; $p < 0,01$); F2 e F3 ($F = 24,97$; $p < 0,01$); F2 e F4 ($F = 3,82$; $p = 0,009$); F2 e F5 ($F = 28,81$; $p < 0,01$), F3 e F4 ($F = 6,53$; $p < 0,01$), F4 e F5 ($F = 7,54$; $p = 0,01$). De maneira geral, os fragmentos F1 e F2 apresentaram padrão mensal similar de dispersão de sementes, enquanto o F3 foi similar apenas ao F5. A porcentagem de propágulos totais na chuva de sementes foi maior no F1, com 2542 sementes, o que correspondeu a 22,5% do total de sementes

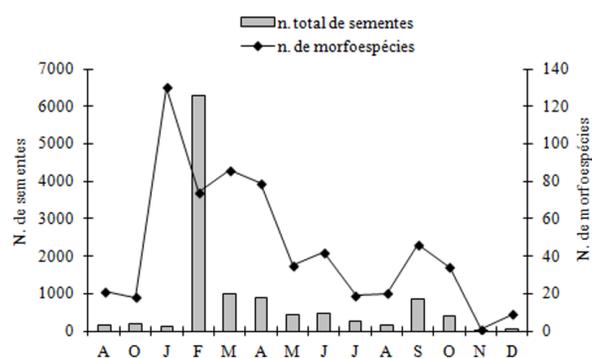


FIGURA 2: Quantidade total de sementes aportadas e de morfoespécies identificadas ao longo dos meses de agosto a outubro de 2007 e de janeiro a dezembro de 2008, em fragmentos florestais localizados em Sorocaba - SP.

FIGURE 2: Total amount of seed and morphospecies sampled from August to October 2007 and from January to December 2008, in forest fragments, Sorocaba, SP state.

aportadas (Figura 3). Em seguida, encontra-se o F2, com 1850 sementes (16,4%), das quais 1224 sementes foram depositadas no verão.

A deposição sazonal de sementes observada (Figura 3) está de acordo com a literatura, a qual cita que o maior aporte de sementes tende a ocorrer durante a estação seca e início da estação úmida (GROMBONE-GUARATINI, 1999; SIQUEIRA, 2002; GONDIM, 2005). Este período de deposição de propágulos é afetado pela época de floração e frutificação das espécies, que dependem das condições ambientais, como solo, temperatura e luminosidade, para o desenvolvimento floral e maturação de frutos (SIQUEIRA, 2002).

Em relação ao espectro de dispersão, a anemocoria foi a que apresentou maior proporção, com 86% do total de propágulos com 3218 sementes/ha/mês. Do total de 14 morfoespécies anemocóricas identificadas, a maioria ($> 90\%$) pertencia a espécies herbáceas das famílias Asteraceae, Bignoniaceae e Malvaceae. Em menor quantidade se observou a zoocoria, com 13,5% (507 sementes/ha/mês) e autocoria, com a menor representatividade (0,3%) dentre as síndromes identificadas. Entre os fragmentos, no F2 foi constatado o maior percentual de propágulos anemocóricos (1335 sem/ha/mês) e

no F3, o maior de propágulos zoocóricos (445 sem/ha/mês) na chuva de sementes (Figura 4).

A grande quantidade de sementes anemocóricas aportadas reflete o fato de que as correntes de ar em locais abertos, como nos fragmentos estudados, podem favorecer a dispersão deste tipo de síndrome (MARTINI, 2002). As sementes anemocóricas possuem estruturas adaptadas para reduzir seu peso específico e facilitar seu movimento por meio do vento, chegando rapidamente ao solo em locais e áreas abertas (ALMEIDA-CORTEZ, 2004).

As espécies anemocóricas apresentaram dois picos de deposição (Figura 5), um no início (fevereiro) e outro no final da estação seca (outubro). Geralmente, a estação seca é a mais favorável para a dispersão de sementes anemocóricas (PIÑA-RODRIGUES e PIRATELLI, 1993), pois a queda das folhas e a ação dos ventos são mais acentuadas, favorecendo sua dispersão (SIQUEIRA, 2002). As espécies zoocóricas apresentaram quantidades de sementes elevadas durante o período de fevereiro a maio, assim como observado também por Gondim (2005). Para as espécies autocóricas, não houve grande representatividade durante todos os meses de pesquisa. Estas espécies dispersam o ano todo, principalmente durante os meses de fevereiro e março.

No F5, todas as sementes foram classificadas como anemocóricas e apenas no F3 foi observada maior porcentagem de zoocoria (58%) do que anemocoria (41%) (Figura 4). A baixa presença de espécies zoocóricas nos demais pode refletir as condições degradadas dos fragmentos analisados. Florestas mais conservadas tendem a apresentar mais do que 60% de suas espécies com síndrome de dispersão zoocórica (HOWE e SMALLWOOD, 1982; TABARELLI et al., 1999; PEREIRA et al., 2010). Percentuais inferiores a 50-60% de zoocoria podem indicar o grau avançado de degradação destes fragmentos (GONDIM, 2005).

O potencial de aplicação da análise do espectro de dispersão como indicador de perturbações fica mais evidente quando se observa que, em formações florestais mais fechadas, a presença de espécies anemocóricas tem sido observada como inferior a 30% (TALORA e MORELLATO, 2000; KINOSHITA et al., 2006). Da mesma forma, estudos conduzidos em áreas mais conservadas de florestas tropicais mostraram dominância superior a 60% de espécies arbóreas com síndrome zoocórica (GENTRY, 1982; MORELLATO e LEITÃO

FILHO, 1992; RUDGE, 2008; PEREIRA et al., 2010).

Estes resultados são corroborados pelos dados de caracterização ambiental dos fragmentos estudados, que indicaram o F3 com maior percentual de espécies de estádios sucessionais mais tardios (secundárias) em relação aos demais e os menores valores de degradação. Tanto F3 quanto F5 se localizam em área de mata ciliar e apresentaram padrão similar de aporte mensal de sementes, o que é também confirmado quando se analisa a similaridade na composição e na abundância de morfoespécies por fragmento. Houve alta similaridade entre o F3 e F5, os quais apresentaram similaridade também ao F4. Por sua vez formaram-se grupos totalmente distintos agregando o F1 e F2, situados mais próximos (Figuras 1 e 6). Embora os fragmentos F2 e F4 tenham sido os que apresentaram maior número de morfoespécies (Tabela 1), estes foram distintos em termos de composição florística. Da mesma forma, a diversidade de morfoespécies mais alta para o F3, F4 e F5, em função da similaridade entre os fragmentos, refletiu uma composição similar, ainda que com aportes quantitativos bastante distintos.

Embora F5 apresente similaridade na composição da chuva de sementes com o F3, a análise do espectro de dispersão mostra que o F5 apresentou maiores sinais de degradação, com a dominância de espécies herbáceas anemocóricas, refletindo a presença de clareiras e bordas. Deve-se também considerar que este é o menor fragmento da área e que, portanto, pode ser mais influenciado pelos efeitos de borda que, segundo também observado por Pivello et al. (2006) podem levar ao aumento de espécies colonizadoras de áreas abertas, notadamente anemocóricas.

As análises florísticas realizadas nos fragmentos mostraram a baixa diversidade de espécies no F5, onde foram observadas apenas 16 espécies (KORTZ, 2009). Segundo o levantamento florístico efetuado nas mesmas parcelas estudadas, ocorrem nos fragmentos 170 espécies de herbáceas, arbustivas e arbóreas (KORTZ, 2009); contudo, deste total, Coelho e Cardoso-Leite (2009), identificaram apenas 75 espécies arbóreas. Por outro lado, na chuva de sementes foram encontradas 138 morfoespécies, o que sugere que o aporte de propágulos seja oriundo tanto das espécies arbóreas quanto de outras de hábito não arbóreo e que frutificaram dentro e fora da área dos fragmentos. A dispersão dos propágulos é dependente da presença de agentes dispersores no local, como o vento ou a

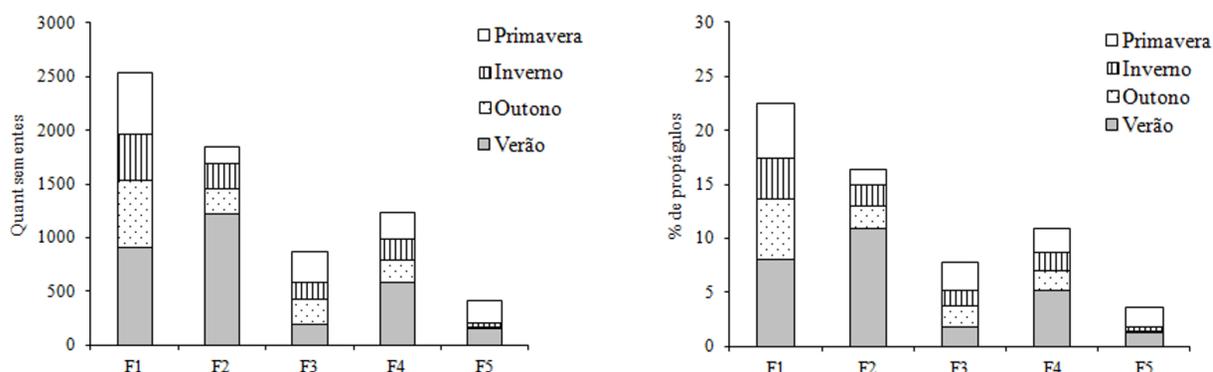


FIGURA 3: Quantidade (quant.) e porcentagem (%) de propágulos aportados ao longo dos meses de agosto a outubro de 2007 e de janeiro a dezembro de 2008, em fragmentos florestais (F1 a F5) localizados em Sorocaba - SP.

FIGURE 3: Number (quantity) and percentage (%) of propagules in the seed rain from August to October 2007 and from January to December 2008 in forest fragments (F1 to F5), Sorocaba, SP state.

fauna local (GROMBONE-GUARATINI, 1999) e, no caso dos fragmentos estudados, os dados obtidos mostram a predominância da ação do vento.

Quando se compara a diversidade da chuva de sementes com a de espécies arbóreas, não houve correlação entre elas ($r = -0,43$), porém, observa-se a tendência de que as áreas com menor diversidade de

espécies arbóreas apresentem a maior diversidade de morfoespécies na chuva de sementes (Figura 7). Isto evidencia que a diversidade da chuva de sementes não reflete a presença de arbóreas, mas principalmente a de outros hábitos, em especial, herbáceas anemocóricas presentes dentro ou no entorno, como constatado no F5.

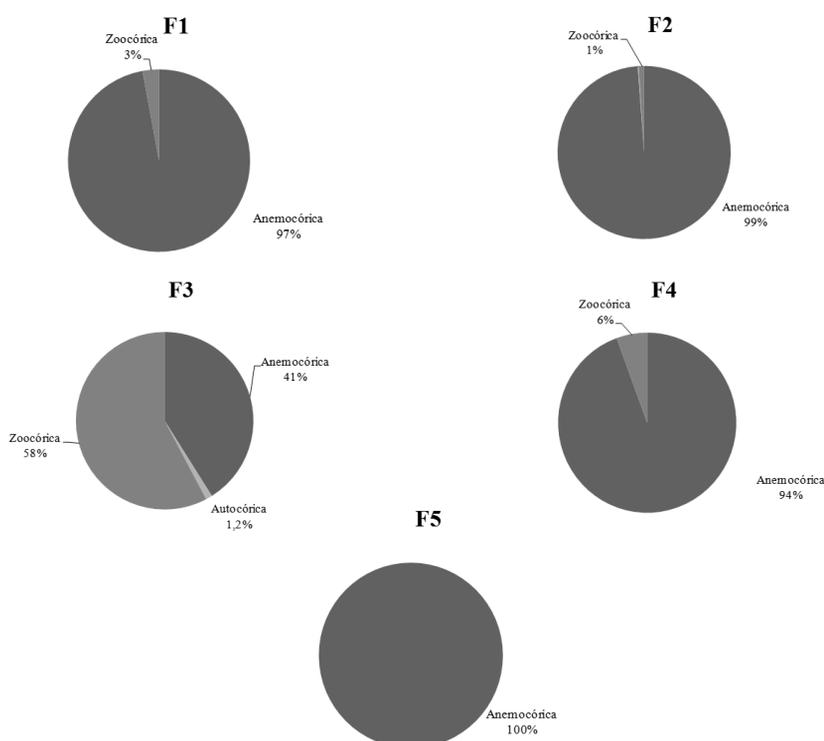


FIGURA 4: Percentual de sementes em relação à síndrome de dispersão amostradas nos cinco fragmentos (F1 a F5), Sorocaba - SP.

FIGURE 4: Percentage of seeds in relation to dispersal syndrome, sampled in the forest fragments (F1 to F5), Sorocaba, SP state.

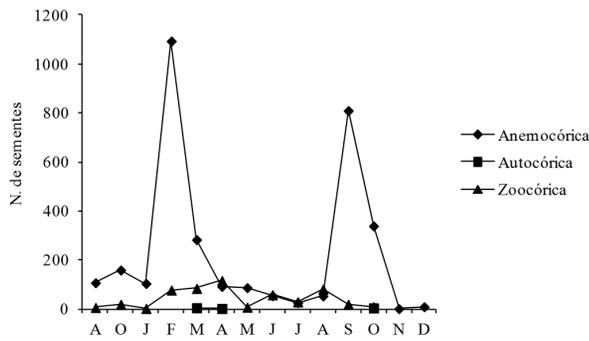


FIGURA 5: Quantidade total de sementes aportadas em relação à sua síndrome de dispersão ao longo dos meses de agosto a outubro de 2007 e de janeiro a dezembro de 2008, em fragmentos florestais localizados em Sorocaba - SP.

FIGURE 5: Total number of propagules in the seed rain in relation to dispersal syndrome from August to October 2007 and from January to December 2008, in forest fragments, Sorocaba, SP state.

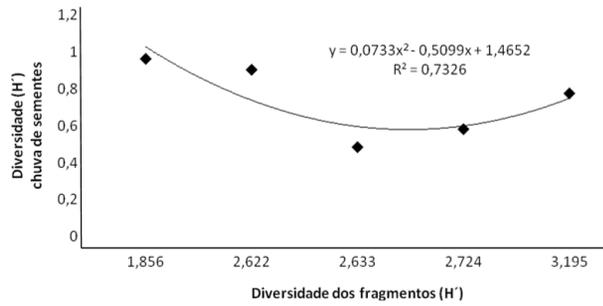


FIGURA 7: Curva de tendência e resultado da análise de regressão ($p < 0,05$) para a diversidade (H') de espécies arbóreas e de morfoespécies da chuva de sementes amostradas em fragmentos florestais estudados ao longo dos meses de agosto a outubro de 2007 e de janeiro a dezembro de 2008 em Sorocaba-SP.

FIGURE 7: Trend line and the result of regression analysis ($p < 0.05$) for diversity index (H') of forest species and morphospecies in the seed rain of forest fragments sampled from August to October 2007 and from January to December 2008, Sorocaba, SP state.

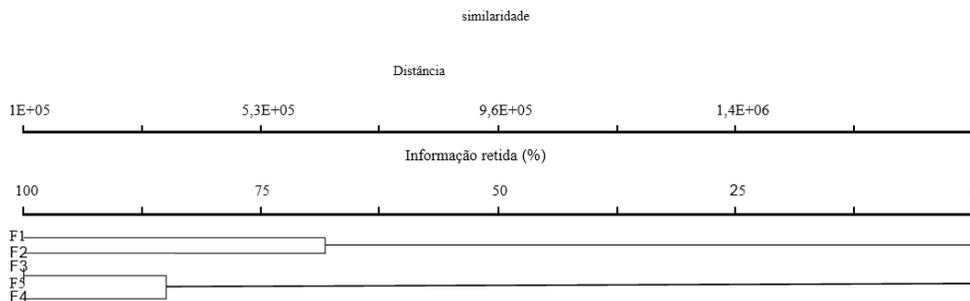


FIGURA 6: Dendrograma obtido pela análise de agrupamento para a chuva de sementes de cinco áreas de fragmentos florestais estudados ao longo dos meses de agosto a outubro de 2007 e de janeiro a dezembro de 2008 em Sorocaba - SP.

FIGURE 6: Dendrogram from cluster analysis based on seed rain from five forest fragments sampled from August to October 2007 and from January-December 2008, Sorocaba, SP state.

O uso da chuva de sementes como indicador permitiu detectar a dominância de espécies colonizadoras nas áreas estudadas, refletindo características que foram observadas na análise ambiental das áreas. Contudo, esta análise quantitativa da chuva de sementes deve ser associada à caracterização do espectro de dispersão e do hábito dos propágulos. Também algumas ressalvas devem ser destacadas em relação à intensidade de amostragem, a qual deve ser aumentada por fragmento. Isto porque a metodologia empregada

pode afetar os resultados, assim como citado por Siqueira (2002), pois espécies mais abundantes na área serão mais capturadas. Porém, o estudo da chuva de sementes mostrou-se essencial em diversos aspectos para compreender a dinâmica florestal de ambientes fragmentados, indicando a necessidade de enriquecimento das áreas com espécies zoocóricas, tendo como principal fonte o F3. Da mesma forma, foi constatado aporte dominante de espécies herbáceas anemocóricas nos fragmentos indicando que o processo de restauração não está

se estabelecendo, necessitando a interferência para promover a recuperação das áreas degradadas.

CONCLUSÕES

Houve variação sazonal no aporte total de sementes entre os fragmentos, contudo, estes valores não refletiram as diferenças em termos de estádios de conservação, uma vez que fragmentos mais conservados como o F3 apresentaram quantidade mensal de sementes similar ao mais degradado (F5).

A chuva de sementes apresentou comportamento sazonal, sendo maior o aporte de propágulos no início e no final da estação seca, principalmente devido à presença de anemocóricas, porém, não havendo diferença entre os fragmentos.

A análise quantitativa aliada à do hábito e espectro de dispersão da chuva de sementes refletiu as diferenças entre os fragmentos e mostrou-se importante para analisar o grau de conservação ou degradação das áreas, tendo sido mais eficiente do que a composição de espécies para detectar a maior conservação do F3.

A presença de anemocoria (> 40%) na chuva de sementes pode ser empregada para avaliar o estágio de degradação dos fragmentos, e indicou a presença de espécies colonizadoras de áreas abertas, em especial no fragmento mais degradado, o F5.

Não houve associação entre a diversidade da chuva de sementes e das espécies arbóreas, indicando a entrada de propágulos externos, provavelmente provenientes das áreas do entorno dos fragmentos.

Pelos resultados obtidos, sugere-se que o F3, onde ocorreu a maior proporção de espécies zoocóricas, pode atuar como fonte disponível de propágulos para a regeneração e enriquecimento dos fragmentos estudados. Contudo, sugere-se a colheita de sementes de material coletado na região para aumento da diversidade botânica e genética.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA-CORTEZ, J. S. Dispersão e banco de sementes. In: FERREIRA, A. G.; BORGHETTI, F. (Eds.). *Germinação: do básico ao aplicado*. Porto Alegre: Artmed, 2004. cap. 14, p. 225-235.

ANGIOSPERM PHYLOGENY GROUP II. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG II. *Botanical Journal of the Linnean*

Society, v. 141 n. 4, p. 399-436, 2003.

ARAÚJO, M. M. et al. Caracterização da chuva de sementes, banco de sementes do solo e banco de plântulas em Floresta Estacional Decidual ripária Cachoeira do Sul, RS, Brasil. *Scientia Forestalis*, n. 66, p. 128-141, dez. 2004.

BARROSO, G. M. et al. **Frutos e sementes: morfologia aplicada à sistemática de Dicotiledôneas**. Viçosa, Ed. UFV, 2004. 443 p.

BATALHA, M. A.; MANTOVANI, W. Reproductive phenological patterns of cerrado plant species at the Pé-de Gigante Reserve (Santa Rita do Passa Quatro, SP, Brazil): a comparison between the herbaceous and woody floras. *Revista Brasileira de Biologia*, n. 60, v. 1, p. 129-145, 2000.

CARMO, M. R. B.; MORELLATO, L. C. Fenologia de árvores e arbustos das matas ciliares da bacia do Rio Tibagi, estado do Paraná, Brasil. In: RODRIGUES, R. R.; LEITÃO FILHO, H F. (Eds.). **Matas ciliares: Conservação e Recuperação**. 2. ed. São Paulo: Ed. da Universidade de São Paulo/Fapesp, 2001, p.125-141.

CLARKE, K. R.; GORLEY, R. N. **Primer v5: user's manual/tutorial**. Plymouth, UK: Primer-E Ltd, 2001.

COELHO, S.; CARDOSO-LEITE, E. **Fitossociologia dos fragmentos florestais do Campus da Ufscar- Sorocaba**. Dados não publicados. 2009.

FONSECA, V. H. **Seleção de indicadores ecológicos para a avaliação de planos de restauração de áreas degradadas**. 2011. 106 f. Dissertação (Mestrado em Diversidade Biológica e Conservação)- UFSCar, Sorocaba.

GENTRY, A. H. Patterns of neotropical plant species diversity. *Evolution Biology*, v. 15, p. 1-84, 1982.

GONDIM, F. R. **Aporte de serrapilheira e chuva de sementes como bioindicadores de recuperação ambiental em fragmentos de Floresta Atlântica**. 2005. 85 f. Dissertação (*Magister Scientiae* em Ciências Ambientais e Florestais) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2005.

GROMBONE-GUARATINI, M. T. **Dinâmica de uma floresta Estacional Semidecidual: o banco, a chuva de sementes e o estrato de regeneração**. 1999. 159 f. Dissertação (Doutorado em Biologia Vegetal) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1999.

HOWE, H. F.; SMALLWOOD, J. Ecology of seed dispersal. *Annual Review of Ecology and Systematics*, v. 13, p. 201-228, 1982.

HUGHES, L. et al. Predicting dispersal spectra: a

- minimal set of hypotheses based on plant attributes. **Journal of Ecology**, v. 82, p. 933-950, 1994.
- IVANAUSKAS, N. M.; RODRIGUES, R. R.; NAVE, A. G. Fitossociologia de um trecho de Floresta Estacional Semidecidual em Itatinga, São Paulo, Brasil. **Scientia Forestalis**, n. 56, p. 83-99, dez. 1999.
- KAGEYAMA, P. Y.; GANDARA, F. B. Conseqüências genéticas da fragmentação sobre populações de espécies arbóreas. **IPEF**, Piracicaba, n. 32, p. 65-70, dez. 1998.
- KINOSHITA, L. S. et al. Composição florística e síndromes de polinização e de dispersão da mata do Sítio São Francisco, Campinas, SP, Brasil. **Acta Botânica Brasileira**, v. 20, n. 2, p. 313-327, 2006.
- KORTZ, A. R. Composição florística dos fragmentos do campus da UFSCar-Sorocaba. Sorocaba: CBBS, 49 p. 2009. Disponível em: http://www.sorocaba.ufscar.br/ufscar/mce/arquivo/pagina49/tcc_alessandra_kortz_cbbs2006.pdf.
- KRONKA, J. N. F.; et al. Monitoramento da vegetação natural e do reflorestamento no Estado de São Paulo. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12., 2005, Goiânia. **Anais...** Goiânia: INPE, 2005. p. 1569-1576.
- McCUNE, B.; M. J. MEFFORD. **PC-ORD: Multivariate analysis of ecological data**. Gleneden Beach: MjM Software Design, 1997.
- MARTINI, A. M. Z. **Estrutura e composição da vegetação e chuva de sementes em sub-bosque, clareiras naturais e área perturbada por fogo em floresta tropical no sul da Bahia**. 2002. 150 f. Tese (Doutorado em Ecologia) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2002.
- MORELLATO, L.P.C.; LEITÃO FILHO, H. F. Padrões de frutificação e dispersão na serra do Japi. In: MORELLATO, L. P. C. (Org). **História natural da serra do Japi: ecologia e preservação de uma área florestal no sudeste do Brasil**. Campinas: Ed. da Unicamp, 1992, p.112-140.
- MORELLATO, L. P. C. et al. Phenology of Atlantic rain forest trees: a comparative study. **Biotropica**, Lawrence, v. 32, n. 4, p. 811-823, 2000.
- OLIVEIRA, P. E. A. M.; MOREIRA, A. G. Anemocoria em espécies do cerrado e mata de galeria de Brasília, DF. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 15, n. 2, p. 163-174, 1992.
- PEREIRA, I. M.; BOTELHO, S. A.; VAN DEN BERG, E. Caracterização ecológica de espécies arbóreas ocorrentes em ambientes de mata ciliar, como subsídio à recomposição de áreas alteradas nas cabeiras do Rio Grande, Minas Gerais, Brasil. **Ciência Florestal**, v. 20, n. 2, p. 235-253, abr./jun., 2010.
- PIÑA-RODRIGUES, F. C. M.; PIRATELLI, A. J. Aspectos ecológicos da produção de sementes florestais. In: AGUIAR, I. B.; PIÑA-RODRIGUES, F. C. M. E FIGLIOLIA, M. B. (Ed.). **Sementes florestais tropicais**. Brasília: ABRATES, 1993.
- PIVELLO, V. R. et al. Chuva de sementes em fragmentos de Floresta Atlântica (São Paulo, SP, Brasil), sob diferentes situações de conectividade, estrutura florestal e proximidade da borda. **Acta Botânica Brasileira**, v. 20, n. 4, p. 845-859, 2006.
- REDE DAS ÁGUAS. **Caracterização Geral da UGRHI-10**. Disponível em: <(www.rededasaguas.org.br/comite)> Acesso em: 14 abril de 2009.
- RUDGE, A. C. **Contribuição da chuva de sementes na recuperação de áreas e do uso de poleiros como técnica catalisadora da sucessão natural**. 2008. 114 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2008.
- SANTOS, K; KINOSHITA, L. S. Flora arbustivo-arbórea do fragmento de floresta Estacional Semidecidual do Ribeirão Cachoeira, município de Campinas, SP. **Acta Botânica Brasileira**, v. 17, n. 3, p. 325-341, 2003.
- SILVA, N. R. S. et al. Composição florística e estrutura de uma floresta Estacional Semidecidual Montana em Viçosa, MG. **Revista Árvore**, Viçosa, n. 3, p. 397-405, 2004.
- SIQUEIRA, L. P. **Monitoramento de áreas restauradas no interior do estado de São Paulo, Brasil**. 2002. 116 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2002.
- TABARELLI, M.; MANTOVANI, W.; PERES, C. A. Effects of habitat fragmentation on plant guild structure in the montane Atlantic forest of southeastern Brazil. **Biological Conservation**, v. 91, p. 119-127, 1999.
- TALORA, D. C.; MORELLATO, P. C. Fenologia de espécies arbóreas em floresta de planície litorânea do sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Botânica**. v. 23, n. 1, p.13-26, mar. 2000.
- VAN DER PIJL, L. **Principles of dispersal in higher plants**. 3rd ed. New Cork: Springer-Verlag, 1982.
- VIANA, V. M.; PINHEIRO, L. A. F. V. Conservação da biodiversidade em fragmentos florestais. **IPEF**, Piracicaba, n. 32, p. 25-42, 1998.
- VIEIRA, D. C. M., GANDOLFI, S. Chuva de sementes e regeneração natural sob três espécies

arbóreas em uma floresta em processo de restauração. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, n. 4, p. 541-554, out./dez. 2006.

VIEIRA, D. L. M. et al. Síndromes de dispersão de espécies arbustivo-arbóreas em cerrado *sensu*

stricto do Brasil Central e savanas amazônicas. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 25, n. 2, p. 215-220, jun. 2002.

ZAR, J. H. *Biostatistical Analysis*. 4th ed. New Jersey: Englewood Cliffs, 1998.