

Avaliação da estrutura florestal na bacia hidrográfica do Rio Corumbataí, SP

Forest structure assessment in the Corumbataí river basin, SP

Roberta de Oliveira Averka Valente
Carlos Alberto Vettorazzi

RESUMO: O presente trabalho teve por objetivo avaliar a estrutura florestal da Bacia do rio Corumbataí, SP. Essa análise foi feita por sub-bacia, tendo por base o mapa de uso e cobertura do solo (ano de 2001) e índices de Ecologia da Paisagem em níveis de fragmento e classe. Constatou-se que 90% dos fragmentos de floresta nativa têm área menor que 5ha, forma irregular e que se encontram dispersos por toda a bacia. Os maiores fragmentos concentram-se nas sub-bacias do Alto Corumbataí e do rio Passa-Cinco. Dessa forma, essas duas sub-bacias têm um padrão de estrutura florestal com predominância de fragmentos aptos à preservação, enquanto as sub-bacias do Baixo Corumbataí, do Ribeirão Claro e do Médio Corumbataí são as porções da bacia onde a fragmentação foi mais intensa e têm uma estrutura florestal com fragmentos devendo ser conservados. O cerrado, por sua vez, foi a vegetação que mais sofreu com as ações antrópicas na bacia. Conclui-se que os índices de Ecologia da Paisagem, em nível de fragmento e classe, possibilitam a avaliação da estrutura florestal da bacia, e que esses índices permitem, ainda, identificar as diferenças de estruturas florestais existentes entre as sub-bacias, além daquelas que ocorrem entre a floresta nativa e o cerrado.

PALAVRAS-CHAVE: Ecologia da paisagem, Conservação florestal

ABSTRACT: The present research aimed at evaluating the forest cover of the Corumbataí river basin, SP. Such analysis was made for each sub-basin, based upon the land-use/land-cover map (year 2001) and metrics of Landscape Ecology at the patch and class levels. The results showed that 90% of the native forest patches have an area lower than 5ha, irregular shape and are dispersed along the whole basin. The landscape's largest patches were found grouped in the Alto-Corumbataí and Passa-Cinco sub-basins. In this conditions these two sub-basins present a forest structure pattern with predominance of patches able to be preserved, whereas, the Baixo-Corumbataí, Ribeirão Claro, and Médio-Corumbataí sub-basins have the most severely fragmented forest cover, needing conservation actions. Savanna is the most damaged and endangered vegetation type due to the anthropic actions in the basin. It was concluded that metrics of Landscape Ecology at the patch and class levels can be used in the forest structure assessment; and with these indices it is possible to define the differences in the forest structure of the sub-basins and between native forest and savanna.

KEYWORDS: Landscape ecology; Forest preservation and conservation

INTRODUÇÃO

A Bacia do rio Corumbataí representa muito bem a situação de grande parte do território brasileiro originalmente coberto pela Mata Atlântica – classificada por Myers *et al.* (2000) como um dos cinco hotspots, dentre os 25 identificados mundialmente (MITTERMEIER *et al.*, 1998) – e que é marcado por uma intensa fragmentação florestal.

No caso específico dessa bacia, a fragmen-

tação florestal é um dos resultados do processo desordenado de uso e ocupação do solo que se observa nessa região, considerada de grande importância econômica, do Estado de São Paulo.

Na tentativa de garantir a manutenção da estrutura e dos processos de paisagens, em situações semelhantes à dessa região, tornam-se prioritárias ações relacionadas à conservação e à preservação de sua cobertura florestal.

A espacialização dessas ações depende, contudo, do prévio entendimento da distribuição e das características de seus fragmentos florestais, assim como da interação desses fragmentos com os outros componentes da paisagem, ou seja, depende do entendimento da estrutura da paisagem.

A Ecologia da Paisagem que é, segundo Risser (1987), uma ciência básica para o desenvolvimento, manejo, conservação e planejamento das paisagens, fornece os subsídios para esse entendimento da estrutura de uma determinada região, por meio de índices de estatística espacial.

O sensoriamento remoto e a análise espacial em sistemas de informações geográficas (SIGs) são, para Turner e Carpenter (1998), técnicas que se tornaram essenciais em Ecologia da Paisagem, porque têm a capacidade de caracterizar, no tempo e no espaço, os padrões de uso e cobertura do solo, que são a base para a posterior aplicação dos índices de análise espacial.

Neste contexto, o presente trabalho teve por objetivo avaliar a estrutura florestal (composição e configuração) da Bacia do rio Corumbataí, SP, e de suas sub-bacias, por meio de índices de Ecologia da Paisagem, em níveis de fragmento e classe.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

A Bacia do rio Corumbataí (Figura 1), com aproximadamente 170.000ha, está localizada na porção centro-leste do Estado de São Paulo, entre os paralelos 22°04'46"S e 22°41'28"S e os meridianos 47°26'23"W e 47°56'15"W. Tradicionalmente, essa bacia é dividida nas seguintes sub-bacias: Alto Corumbataí (31801,68ha), Passa-Cinco (52757,60ha), Médio Corumbataí (29316,60ha), Ribeirão Claro (28174,90ha) e Baixo Corumbataí (28724,84ha).

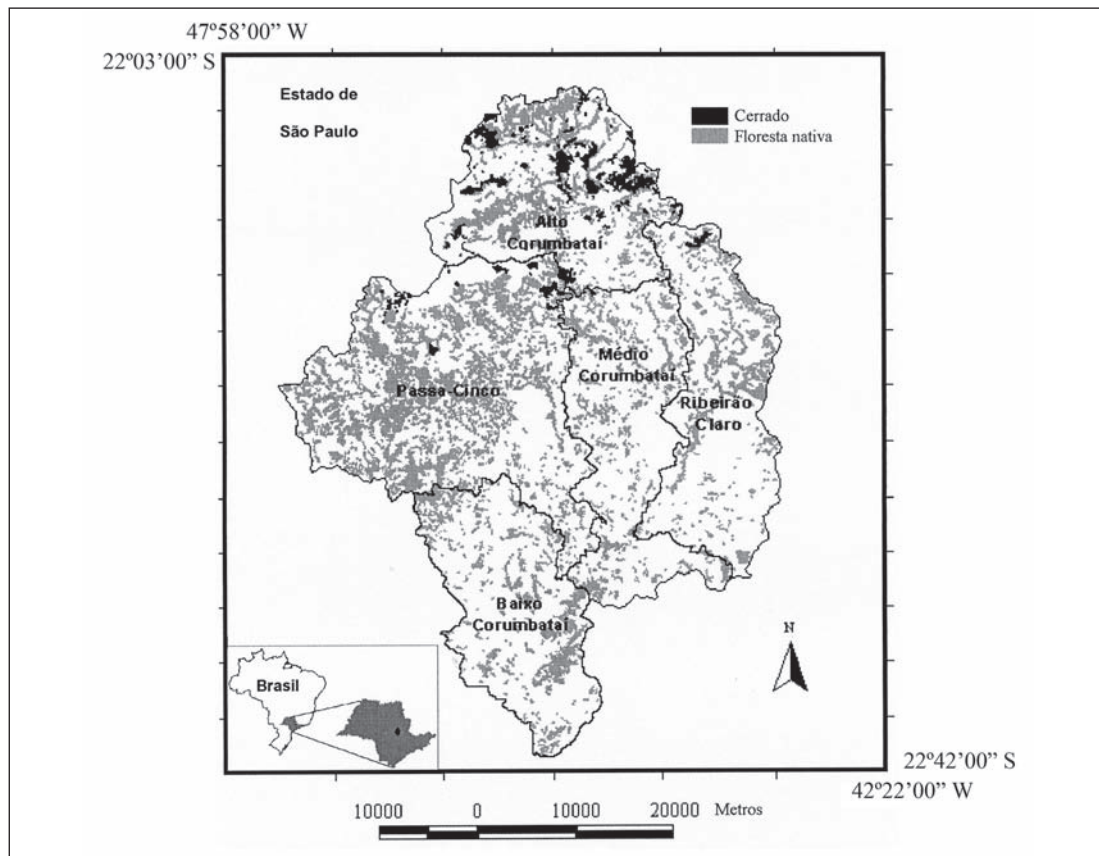


Figura 1. Distribuição dos fragmentos de floresta na Bacia do rio Corumbataí (2001). (Distribution of forest patches in the Corumbataí river basin)

O relevo varia de plano a muito íngreme, sendo que as maiores declividades são encontradas nas sub-bacias do Alto Corumbataí e do Passa-Cinco. Os solos pertencem predominantemente às classes Podzólico (44%) e Latossolo (22%) (IPEF, 2001).

Sua vegetação natural era constituída por florestas e cerrados (KOFFLER, 1993). Atualmente, segundo Valente e Vettorazzi (2003), predominam os usos agrícolas, sendo que a pastagem se concentra preferencialmente nas sub-bacias do Alto Corumbataí e do rio Passa-Cinco e representa, aproximadamente, 44% de sua cobertura. A cana-de-açúcar é o segundo uso agrícola de maior representatividade e se concentra nas sub-bacias do Ribeirão Claro e Baixo Corumbataí, correspondendo a, aproximadamente, 26% de sua área total. A porção mediana da bacia (sub-bacia do Médio Corumbataí) é uma zona de transição entre as regiões com predomínio da pastagem e aquelas ocupadas, principalmente, por cana-de-açúcar.

Os autores citam ainda que a floresta nativa recobre 11% da área da bacia e o cerrado lato sensu, 1,25%. Seus remanescentes de floresta nativa pertencem às formações florestais: Floresta Estacional Semidecidual, Floresta Ripária, Floresta Paludosa e Floresta Estacional Decidual. O

cerrado lato sensu, na atualidade, é representado predominantemente por cerradão (Savana Florestada). Essas duas classes de cobertura do solo encontram-se altamente fragmentadas, destacando-se, em área ocupada, as sub-bacias do rio Passa-Cinco e do Alto Corumbataí. A floresta nativa ocupa 15,67% do Passa-Cinco, 12,44% do Alto Corumbataí, 8,64% do Baixo Corumbataí, 8,28% do Ribeirão Claro e 6,60% do Médio Corumbataí. O cerrado, por sua vez, representa, em área, 5,24% do Alto Corumbataí, 0,74% do Passa-Cinco e 0,26% do Ribeirão Claro, não tendo sido observados fragmentos desse tipo de vegetação nas outras sub-bacias.

Descrição quantitativa da estrutura florestal da bacia

A descrição quantitativa da estrutura florestal foi feita por sub-bacia, com o software FRAGSTATS 2.0 para DOS, e teve por base o mapa de uso e cobertura do solo do ano de 2001, produzido por Valente e Vettorazzi (2003), com a exatidão de classificação de 91,10% e com um índice Kappa (K) de 0,9516. Foram utilizados os índices de Ecologia da Paisagem (software FRAGSTATS) para fragmentos e para classes de uso e cobertura do solo, propostos por McGarigal e Marks (1995) e apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Índices de Ecologia da Paisagem para quantificação da estrutura da paisagem da Bacia do rio Corumbataí.

(Landscape ecology metrics for quantifying landscape structure of the Corumbataí river basin)

Sigla	Nome (unidade)	Escala	Descrição ^a
NP	Número de fragmentos	classe	Número de fragmentos da classe correspondente
PD	Densidade de fragmentos (NP/100ha)	classe	Número de fragmentos por unidade de área (100ha)
NCA	Número de áreas nucleares	classe	Número de áreas nucleares disjuntas de uma determinada classe
MPI	Índice de proximidade média	classe	Distância média entre fragmentos, de diferentes classes, para um raio determinado (100m)
IJI	Índice de dispersão e justaposição (%)	classe	Grau de agregação dos fragmentos componentes das classes, na paisagem
AREA	Área (ha)	fragmento	Área total de um fragmento
SHAPE	Índice de forma	fragmento	Perímetro (m) dividido pela raiz quadrada da área (m ²) do fragmento, ajustado por uma constante para ter-se a equivalência a um círculo padrão
FRACT	Índice de forma na dimensão fractal	fragmento	Igual a duas vezes o logaritmo do perímetro (m) do fragmento dividido pelo logaritmo da área do fragmento (m ²)
CORE ^b	Área nuclear (ha)	fragmento	Área (m ²) interna de um fragmento, após ter sido retirada a faixa referente ao efeito de borda (20m), dividida por 10.000 (para converter para hectares)
NEAR	Distância média entre fragmentos (m)	fragmento	Distância (m) entre fragmentos de mesma classe, baseada na menor distância entre bordas desses fragmentos

^a Consultar McGarigal e Marks (1995) para as fórmulas e descrição completa de cada índice

^b determinada somente para a floresta nativa.

Para a determinação desses índices (Tabela 1) os mapas de uso e cobertura do solo das sub-bacias foram reclassificados, de maneira a obterem-se somente três categorias: a floresta nativa, o cerrado e outras. A categoria “outras” contemplou as classes de uso e cobertura do solo que não são floresta, para assim ter-se somente as quantificações referentes aos fragmentos de floresta. Para essas quantificações foram considerados fragmentos com tamanho mínimo de 0,04ha, que é o menor tamanho permitido pela resolução espacial das imagens orbitais utilizadas (20m).

O índice AREA possibilitou o agrupamento dos fragmentos de floresta em classes de área: menores que 1ha e os maiores que 1ha, de 5ha em 5ha. Para cada índice de fragmento utilizado, foram determinados seus valores de moda e mediana, para ter-se o padrão dos fragmentos de floresta quanto a sua forma, borda, área nuclear e distribuição na paisagem.

Para o índice de proximidade média (MPI) foi necessário considerar-se todas as classes de uso e cobertura do solo. Isto porque ele permite a quantificação da distância média entre fragmentos de diferentes classes de uso e cobertura do solo, o que o caracteriza como um bom indicativo do grau de isolamento de uma classe.

Com o índice área nuclear, que é, segundo McGarigal e Marks (1995), a área de um fragmento sem considerar seu efeito de borda (nesse estudo considerou-se uma faixa de 20m, ou seja um pixel) foi feita uma avaliação das sub-bacias, sob o ponto de vista de conservação e preservação de sua floresta nativa. Foram considerados como fragmentos de floresta nativa aptos à preservação florestal, aqueles com área nuclear superior a 30ha e, os restantes, aptos à conservação. A determinação da área nuclear considerada como suficiente para estabelecimento de uma estrutura interna teve por base os trabalhos sobre Floresta Estacional Semidecidual desenvolvidos por Metzger (1997) e Farina (1998).

O estabelecimento da estrutura interna de um fragmento está relacionado a uma área mínima, capaz de manter as espécies típicas do tipo de formação florestal a que o fragmento pertence. Para Turner e Gardner (1990), um fragmento pode ser grande o suficiente para conter algumas espécies, mas não ter área nuclear suficiente para suportar essas espécies e, sobretudo, manter a integridade de sua estrutura natural.

Para o cerrado não foi feita essa análise, porque se torna complexo para essa vegetação determinar uma área mínima nuclear necessária para que seus fragmentos sejam considerados remanescentes de biodiversidade e tenham condições de manter sua própria estrutura interna. Isto porque essa vegetação tem características, quanto à composição florística e ao desenvolvimento vegetacional, que as difere de outras formações, como no caso das formações florestais existentes na bacia.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Descrição quantitativa da estrutura florestal da bacia

Índices de tamanho e de densidade da floresta nativa

Com o índice de tamanho de fragmento pode-se constatar que as sub-bacias do rio Passa-Cinco e do Alto Corumbataí diferenciam-se das demais por apresentarem maior número de fragmentos com área maior que 85ha (maiores fragmentos existentes na bacia), conforme a Tabela 2. A presença desses fragmentos nas duas sub-bacias está relacionada à ocorrência, nessas regiões, dos solos mais sensíveis à erosão e das maiores declividades da bacia. Esses fragmentos maiores que 85ha, representam 40% da área de floresta nativa do Passa-Cinco e 55% do Alto Corumbataí, enquanto que para as sub-bacias do Baixo Corumbataí, do Ribeirão Claro e do Médio Corumbataí eles representam, respectivamente, 34%, 24% e 18%.

Foi possível constatar, ainda, em todas as sub-bacias, pequenos fragmentos distribuídos por suas paisagens, principalmente aqueles menores que 5ha (Tabela 2), que representam, em número, aproximadamente 90% dos remanescentes de floresta nativa de toda a bacia. Esses fragmentos correspondem, na sub-bacia do Passa-Cinco a 17% de sua área de floresta nativa e no Alto Corumbataí, a 12%. Nas sub-bacias do Baixo Corumbataí e do Ribeirão Claro eles constituem 20% de sua área de floresta nativa e no Médio Corumbataí 35%.

A distribuição dos fragmentos de floresta nativa e também de cerrado, na bacia, pode ser observada no mapa de vegetação (Figura 1), extraído do mapa de uso e cobertura da bacia (Valente e Vettorazzi, 2003).

Tabela 2. Número de fragmentos de floresta nativa por classe de área, para a Bacia do rio Corumbataí (2001).

(Number of native forest patches per area class, for the Corumbataí river basin).

Classes (ha)	Passa-Cinco	Alto Corumbataí	Médio Corumbataí	Ribeirão Claro	Baixo Corumbataí	Total
<1	1523	471	668	451	567	3680
1 – 5	449	162	231	160	186	1188
5 – 10	91	44	45	36	37	253
10 – 15	40	22	17	20	10	109
15 – 20	14	6	4	10	5	49
20 – 25	11	6	5	8	2	32
25 – 30	9	4	2	2	1	18
30 – 35	7	3	3	1	1	15
35 – 40	7	--	1	--	1	9
40 – 45	3	--	1	--	3	7
45 – 50	6	1	2	2	3	14
50 – 55	2	2	--	3	3	10
55 – 60	3	1	--	1	2	7
60 – 65	1	1	--	1	1	4
65 – 70	--	1	--	--	--	1
70 – 75	2	--	--	1	--	3
75 – 80	1	--	--	--	--	1
80 – 85	3	1	--	--	--	4
> 85	15	8	3	4	4	34
Total	2187	733	982	700	826	5428

Na sub-bacia do rio Passa-Cinco a presença dos fragmentos menores que 5ha, associada ao fato de essa ser a porção da bacia com maior número de fragmentos de floresta nativa, resultou no maior valor para a densidade de fragmentos (4,15 frags./100ha) dentre as sub-bacias, conforme a Tabela 3.

Tabela 3. Densidade de fragmentos (PD) de floresta nativa, para a Bacia do Rio Corumbataí (2001).

(Patch density (PD) for native forest, for the Corumbataí river basin)

Sub-bacia	NP ^a /100ha
Passa-Cinco	4,15
Alto Corumbataí	2,07
Médio Corumbataí	3,35
Ribeirão Claro	2,48
Baixo Corumbataí	2,88

^a NP: número de fragmentos

Para o Alto Corumbataí, pode-se observar (Tabela 3) valor de densidade de fragmentos (2,07 frags./100ha) inferior ao observado para a sub-bacia do Ribeirão Claro (2,48 frags./100ha), do Baixo Corumbataí (2,88 frags./100ha) e, principalmente, do Médio Corumbataí (3,35 frags./

100ha). Considerando que o Alto Corumbataí é a segunda sub-bacia em área ocupada com floresta nativa (20,85% do total de floresta nativa de toda bacia) e também a segunda em área total, seu menor valor de densidade de fragmentos indica que sua área de floresta nativa está concentrada em fragmentos de maior tamanho. Já os valores de densidade de fragmentos das outras três sub-bacias, refletem a composição florestal de suas paisagens: com poucos fragmentos de maior tamanho (maiores que 85ha), muitos fragmentos pequenos, principalmente menores que 5ha e com menor número de fragmentos, quando comparadas ao Passa-Cinco e ao Alto Corumbataí, distribuídos nas classes de área, principalmente naquelas compreendidas entre 25ha e 85ha.

O valor de densidade de fragmentos obtido para o Médio Corumbataí (3,35 frags./100ha) foi semelhante ao observado por Oliveira (2000), na avaliação de uma paisagem com Floresta Atlântica Semidecidual, altamente fragmentada (3,3 frags/100ha).

A composição florestal das sub-bacias do Ribeirão Claro, do Baixo Corumbataí e do Médio Corumbataí está, por sua vez, relacionada ao uso e ocupação do solo de suas paisagens que, com

exceção do Médio Corumbataí, têm o predomínio da cana-de-açúcar. Vettorazzi *et al.* (2000) classificaram como de alto risco para incêndios florestais as regiões da Bacia do rio Corumbataí com predomínio dessa cultura agrícola, uma vez que o fogo é utilizado antes da colheita da cana-de-açúcar para eliminação das folhas. Dessa forma, além de contribuir para o processo de fragmentação florestal, o manejo da cana-de-açúcar pode estar ocasionando a alteração da forma dos fragmentos de floresta existentes, aumentando consequentemente o efeito de borda.

No Médio Corumbataí, além de ter-se aproximadamente 25% de sua área ocupada por cana-de-açúcar, seus fragmentos de floresta sofrem, ainda, com a ameaça da expansão urbana, visto ser essa a sub-bacia com maior percentual de ocupação por área urbana.

Índice de forma da floresta nativa

Com o índice de forma SHAPE pode-se constatar que os fragmentos de floresta nativa da bacia, com exceção dos menores que 1ha (moda = 1), apresentam forma irregular (não circular) sendo que, de maneira geral, tornam-se mais irregulares à medida que se tem um aumento de tamanho e que somente os fragmentos menores que 10ha possuem formas semelhantes em todas as sub-bacias (Figura 2A).

Os fragmentos maiores que 85ha foram os que apresentaram formas mais irregulares, des-

tacando-se aqueles localizados nas sub-bacias do Alto Corumbataí e do Passa-Cinco, mesmo quando comparados aos fragmentos, de mesma classe de área, das demais sub-bacias. Essa irregularidade de forma é característica de paisagens com relevo ondulado, como é o caso das sub-bacias do Passa-Cinco e do Alto Corumbataí, podendo ser acentuada com a presença de ações antrópicas.

As ações antrópicas podem, além de levar à alteração da forma dos fragmentos de floresta, causar a sua total extinção, principalmente daqueles fragmentos de menor tamanho que estão sob total influência da matriz. Essa região sob influência da matriz é caracterizada, em um fragmento, como sua região de borda e tem composição diferente da sua área nuclear, justamente porque está sob maior influência da matriz.

O índice de forma FRACT demonstrou a mesma tendência, quanto à forma, dos fragmentos de floresta nativa da bacia. Por possuir uma amplitude de variação (1-2) conhecida, é possível definir mais facilmente, com esse índice, um padrão, e também uma comparação da forma dos fragmentos de uma paisagem. Por esse índice (Figura 2B), os fragmentos pertencentes à classe de área entre 10ha a 15ha, também possuem formas semelhantes nas sub-bacias, com exceção do Baixo Corumbataí que, para essa classe de área, tem fragmentos com forma mais irregular que as demais.

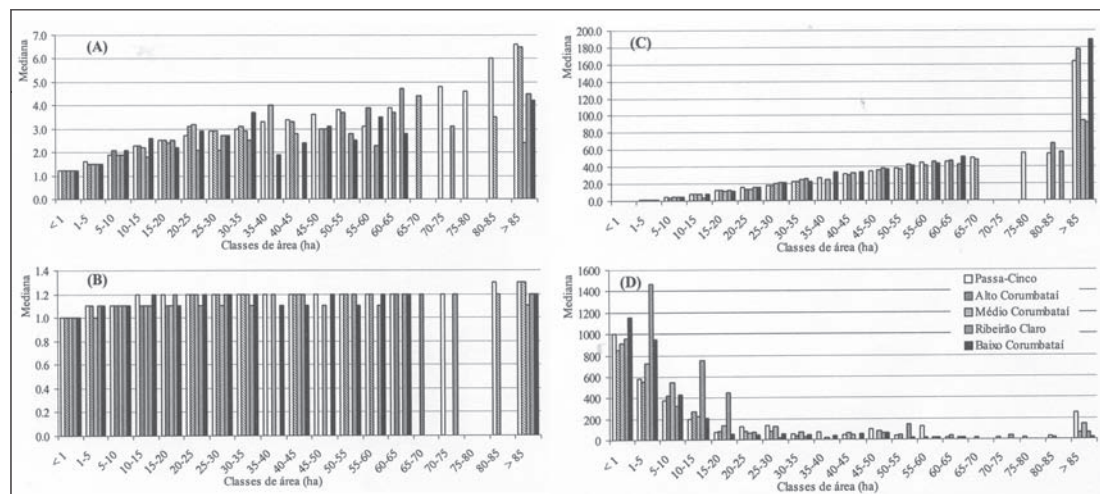


Figura 2. Floresta nativa, na Bacia do rio Corumbataí (2001): mediana dos índices SHAPE (A), FRACT (B), CORE (C) e limite superior do índice NEAR (D).

(Native forest patches, in the Corumbataí river basin (2001): mediana of SHAPE index (A), FRACT index (B), CORE index (C), and upper limit of NEAR index (D)).

Índice de distância da floresta nativa

Com o índice de distância (NEAR) entre fragmentos, constatou-se que, de maneira geral, os fragmentos que apresentam maior distribuição nas sub-bacias são os menores que 5ha. Esse grupo de fragmentos e, na maioria das sub-bacias, principalmente os fragmentos menores que 1ha, foram os que apresentaram os maiores valores de distância (NEAR) entre fragmentos, conforme pode ser observado na Figura 2D. Na sub-bacia do Ribeirão Claro observou-se valor máximo de distância de 1467m para os fragmentos menores que 5ha. Para as sub-bacias do Baixo Corumbataí, do Passa-Cinco, do Médio Corumbataí e do Alto Corumbataí os máximos valores de distância para os fragmentos menores que 1ha foram de 1152m, 1001,8m, 910,8m e 849,7m, respectivamente.

Com os valores de amplitudes de classes (Figura 2D) e respectivas medianas desse índice de distância, percebeu-se que existe a tendência de, com o aumento da área total dos fragmentos, ocorrer uma diminuição nas distâncias que separam um remanescente de floresta de outro, de mesma classe de área. Foi possível notar ainda que, de maneira geral, existem fragmentos com mesma classe área a uma distância de 20m uns dos outros (moda=20m), mesmo para aqueles fragmentos menores que 5ha.

Para a maioria dos fragmentos entre 15ha e 60ha observou-se valor máximo de distância, entre fragmentos de mesma classe de área, de aproximadamente 140m, enquanto que para os fragmentos entre 60ha e 85 ha esse valor foi de aproximadamente 40m. Exceções são observadas, como no caso da sub-bacia do Ribeirão Claro (449m – classe: 15ha a 20ha).

A respeito dos fragmentos maiores que 85ha pode-se dizer, em função do valor de moda de 20 m, que estão dentre aqueles mais próximos entre si. Mesmo nessas condições foram observados valores máximos de distâncias de 255m para a sub-bacia do rio Passa-Cinco (NP=15), de 144m para o Médio Corumbataí (NP = 3), de 63m para as sub-bacias do Alto Corumbataí (NP = 8) e do Ribeirão Claro (NP = 4) e de 20m para o Baixo Corumbataí (NP = 4).

O efeito da distância entre fragmentos é difícil de ser estimado, contudo Jarvinen (1982) cita que, quanto maior o grau de isolamento de um fragmento de floresta, maior será a taxa de crescimento de espécies de borda, que podem che-

gar a ocupar todo o remanescente. Isto porque o grau de isolamento afeta diretamente a qualidade de um remanescente de floresta, em função de afetar a movimentação de organismos e a dispersão de espécies de floresta.

Nessas condições, sub-bacias como a do Passa-Cinco e do Alto Corumbataí, que possuem maior número de fragmentos mais próximos entre si (maiores que 15ha), têm sua estrutura florestal apresentando maior conectividade entre seus fragmentos que as demais.

No que diz respeito à distribuição dos fragmentos de floresta nativa em relação aos demais usos e coberturas do solo da bacia, pode-se constatar com o índice de proximidade média (MPI) entre fragmentos, para um raio de 100m (Tabela 4), que as sub-bacias do Passa-Cinco (MPI=369,36) e do Alto Corumbataí (MPI=328,98) possuem seus fragmentos de floresta com uma menor interação com os outros usos e coberturas do solo do que as sub-bacias do Baixo Corumbataí (147,25), do Ribeirão Claro (86,53) e do Médio Corumbataí (33,72) que são, assim, as regiões da bacia sob a maior influência da ação antrópica na suas estruturas florestais.

Tabela 4. Índice de proximidade média (MPI) para os fragmentos de floresta nativa, considerando um raio de 100m, para a Bacia do rio Corumbataí (2001).

(Mean proximity index (MPI) for the native forest patches within a radius of 100m, for the Corumbataí river basin).

Sub-bacia	MPI
Passa-Cinco	369,36
Alto Corumbataí	328,98
Médio Corumbataí	33,72
Ribeirão Claro	86,53
Baixo Corumbataí	147,25

Índice de área nuclear da floresta nativa

Os fragmentos menores que 1ha possuem forma circular (índices SHAPE e FRACT), mas em função de seu tamanho reduzido não apresentam, de acordo com o índice CORE, área nuclear, estando assim sob total influência da matriz.

Para os fragmentos maiores que 1ha, nota-se que existe um aumento da área nuclear à medida que se tem um aumento da área total dos fragmentos (Figura 2C) e que os fragmentos menores que 10ha, assim como ocorreu com o índice de forma, apresentam em todas as sub-bacias valores semelhantes para esse índice.

Nas sub-bacias do Passa-Cinco e do Alto Corumbataí, os fragmentos maiores que 85ha (Figura 2C), mesmo tendo forma mais irregular que os demais fragmentos da bacia, foram os que apresentaram as maiores áreas nucleares. Essas duas sub-bacias têm, portanto, como principal diferença em relação à estrutura florestal das demais sub-bacias, o fato de apresentarem sua área de floresta nativa concentrada em fragmentos de maior tamanho (maiores que 85ha) e esses fragmentos terem, por sua vez, as maiores áreas nucleares dentre os fragmentos existentes na bacia. Por esse motivo, essas duas sub-bacias tiveram, de acordo com número de fragmentos com área nuclear (NCA) (Tabela 5), maior percentual de fragmentos com área nuclear do que as demais. Elas apresentaram, respectivamente, 91,3% e 84,0% de seus fragmentos com área nuclear.

Tabela 5. Número de fragmentos de floresta com área nuclear (NCA), para a Bacia do rio Corumbataí (2001). (Number of native forest patches with core area (NCA), for the Corumbataí river basin).

Sub-bacia	NCA	%
Passa-Cinco	1837	84,0
Alto Corumbataí	669	91,3
Médio Corumbataí	733	74,6
Ribeirão Claro	557	79,6
Baixo Corumbataí	633	76,6

Para as outras porções da bacia obteve-se menor percentual de fragmentos com área nuclear, nas regiões com maior densidade de fragmentos. Hierarquicamente tem-se o Médio Corumbataí (PD=3,35 frags./100ha; NCA% = 74,6%), seguido pelo Baixo Corumbataí (PD=2,88 frags./100ha; NCA% = 76,6%) e pelo Ribeirão Claro (PD=2,48 frags./100ha; NCA% = 79,6%).

A respeito da avaliação das sub-bacias, sob o ponto de vista de conservação e preservação de sua floresta nativa, feita com esse índice de área nuclear, pode-se dizer que na Bacia do rio Corumbataí os fragmentos de floresta nativa aptos à preservação (área nuclear maior que 30ha) constituem aproximadamente 2% do total de seus fragmentos e são representados por fragmentos com área total superior a 35ha na sub-bacia do Baixo Corumbataí e superior 40ha nas demais sub-bacias. De acordo com os índices já discutidos, esses fragmentos têm como outras características, em comparação aos demais (área nuclear menor que 30ha) de suas respectivas sub-bacias, formas mais irregulares e menores valores de distâncias entre fragmentos de mesma classe de área.

Nas sub-bacias, esses remanescentes de biodiversidade e “focos” de irradiação e colonização de áreas adjacentes, representam da área de floresta nativa: 56% no Alto Corumbataí, 55% no Passa-Cinco, 48% no Baixo Corumbataí, 42% no Ribeirão Claro e apenas 24% no Médio Corumbataí (Figura 3).

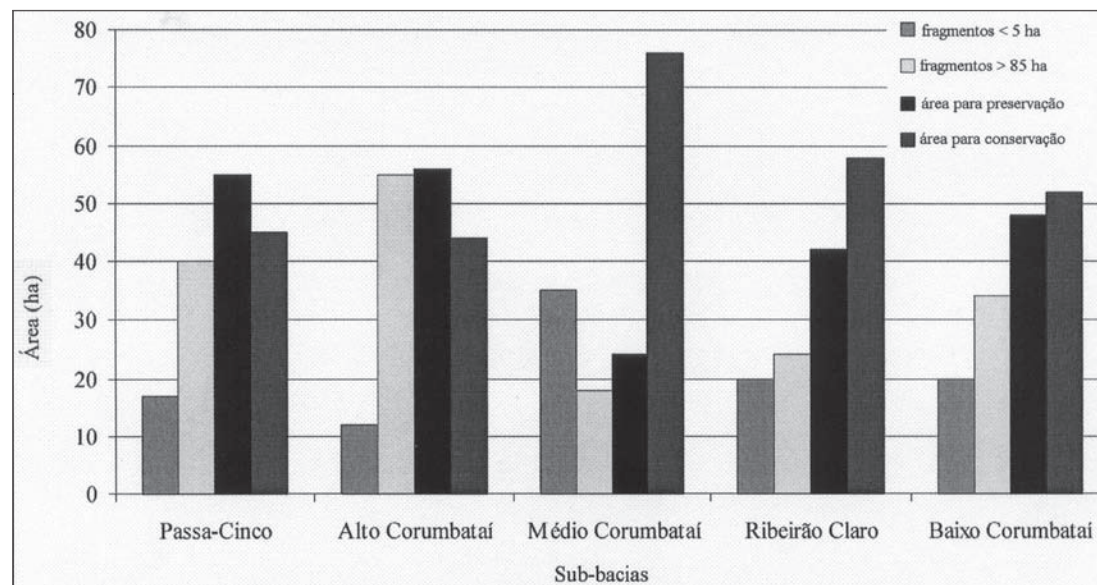


Figura 3. Áreas de floresta nativa: fragmentos menores que 5ha, fragmentos maiores que 85ha, para preservação e conservação na Bacia do rio Corumbataí (2001). (Areas of native forest: patches with less than 5ha, patches with more than 85ha, to preservation and conservation in the Corumbataí river basin).

As regiões da bacia que apresentaram área de floresta nativa com menor percentual de fragmentos menores que 5ha e maior percentual de fragmentos de maior tamanho (maiores que 85ha) são as com maior percentual de áreas aptas à preservação florestal, dentre elas, conforme a caracterização de suas estruturas florestais, destacam-se as sub-bacias do Alto Corumbataí e do Passa-Cinco (Figura 3).

Na maioria das paisagens onde a matriz é agrícola, os fragmentos com área suficiente para a estabilidade de processos e fenômenos são praticamente inexistentes mas, para as paisagens onde estão presentes, Lovejoy *et al.* (1986) defendem a necessidade de preservá-los. Esses fragmentos são a base da estrutura florestal de uma paisagem, pois são detentores de parte da biodiversidade da formação a que pertencem.

Para a preservação dos remanescentes com área nuclear suficiente para manter sua estrutura interna é necessária, ainda, a interação e, principalmente, a conservação dos que ainda não possuem essa condição. Todos os fragmentos de floresta têm sua importância, nesse processo, mesmo aqueles com área reduzida. Metzger (1997) cita que fragmentos com área superior a 0,72ha podem exercer a função de stepping-stones na conexão florestal e serem úteis à locomoção de animais e à dispersão de sementes na paisagem. Além de contribuir com a preservação florestal, podem auxiliar no desenvolvimento da área nuclear dos fragmentos que não possuem uma estrutura interna definida, ou seja, podem promover a conservação florestal.

As sub-bacias do Médio Corumbataí, do Ribeirão Claro e do Baixo Corumbataí são as regiões da bacia com maior percentual de suas áreas aptas à conservação. Elas apresentam, respectivamente, 76%, 58% e 52% de suas áreas de floresta nativa nessas condições. Nas sub-bacias do Passa-Cinco e do Alto Corumbataí esses percentuais são, respectivamente, de 45% e 44%.

Nas três sub-bacias, o maior percentual de áreas de florestas aptas à conservação é função da intensa ação antrópica sofrida pelos fragmentos, como indicado pelo índice de proximidade média entre fragmentos (MPI). Essa ação antrópica resultou, além da redução da área total e nuclear da maioria dos remanescentes florestais, no maior distanciamento entre esses fragmentos de floresta de mesma classe (NEAR mínimo = 141m).

Índices de tamanho e de densidade do cerrado

O cerrado é um bioma que tem sido intensamente devastado no Brasil, para dar lugar às atividades agropecuárias. No Estado de São Paulo resta apenas 1% desse tipo de vegetação, que está distribuído, preferencialmente, na região centro-norte (Kronka *et al.*, 1998). É uma formação com características ecológicas e fisiológicas que a diferem das formações florestais, tendo alto valor para a conservação da biodiversidade.

Na Bacia do rio Corumbataí o cerrado ocupa apenas 1,25% (2131,20ha) de sua paisagem (Valente e Vettorazzi, 2003). Desse total, tem-se nas sub-bacias do Alto Corumbataí: 1667ha (5,24% de sua área), do Passa-Cinco: 390,44ha (0,74% de sua área) e do Ribeirão Claro: 73,12ha (0,26% de sua área).

Na sub-bacia do Alto Corumbataí esses fragmentos de cerrado encontram-se espacializados, conforme a Tabela 6, com uma densidade de 0,47 Frag./100ha. As sub-bacias do rio Passa-Cinco e do Ribeirão Claro apresentaram, respectivamente, densidade de 0,12 Frag./100ha e 0,05 Frag./100ha (Tabela 6). Tem-se assim a sub-bacia do Alto Corumbataí com a maior densidade de fragmentos de cerrado. Mesmo para essa sub-bacia a densidade de fragmentos de cerrado foi inferior à da floresta nativa, já como consequência da sua reduzida área de domínio e de seu número de fragmentos.

Tabela 6. Densidade de fragmentos (PD) de cerrado, para a Bacia do rio Corumbataí (2001). (Patch density (PD) of savanna, for the Corumbataí river basin).

Sub-bacia	NP ^a /100ha
Passa-Cinco	0,12
Alto Corumbataí	0,47
Médio Corumbataí	---
Ribeirão Claro	0,05
Baixo Corumbataí	---

^a NP: número de fragmentos.

A sub-bacia do Alto Corumbataí possui 325 fragmentos de cerrado, enquanto que as sub-bacias do Passa-Cinco e do Ribeirão Claro possuem, respectivamente, 61 e 14 fragmentos (Tabela 7). Como ocorreu com a floresta nativa, a maioria dos fragmentos de cerrado (aproximadamente 81,5%) da bacia possuem área menor que 5ha. Esses pequenos remanescentes correspondem a 77,05%, 82,46% e 78,57% dos fragmentos

de cerrado das sub-bacias, respectivamente, do Passa-Cinco, do Alto Corumbataí e do Ribeirão Claro e equivalem a 8,5%, 12,8% e 9,7% da área dessas mesmas sub-bacias.

No que diz respeito aos maiores fragmentos de cerrado tem-se que na sub-bacia do Passa-Cinco eles pertencem à classe de área com amplitude de 55ha a 60ha e equivalem a 30% da área coberta por essa vegetação. Na sub-bacia do Ribeirão Claro são aqueles com tamanho variando de 30ha a 35ha e correspondem a 47% de sua área de cerrado. Na sub-bacia do Alto Corumbataí os maiores fragmentos de cerrado são, como os de floresta nativa, aqueles maiores que 85ha e representam aproximadamente 36% da área coberta por essa vegetação.

Tabela 7. Número de fragmentos de cerrado por classe de área, para a Bacia do rio Corumbataí (2001). (Number of savanna patches per classes area, for the Corumbataí river basin).

Classe (ha)	Passa-Cinco	Alto Corumbataí	Ribeirão Claro	Total
<1	36	198	9	243
1 - 5	11	70	2	83
5 - 10	4	26	1	31
10 - 15	2	10	--	12
15 - 20	1	5	--	6
20 - 25	1	2	--	3
25 - 30	1	3	1	5
30 - 35	1	1	1	3
35 - 40	--	2	--	2
40 - 45	2	--	--	2
45 - 50	--	--	--	--
50 - 55	--	1	--	1
55 - 60	2	--	--	2
60 - 65	--	--	--	--
65 - 70	--	--	--	--
70 - 75	--	1	--	1
75 - 80	--	--	--	--
80 - 85	--	1	--	1
> 85	--	5	--	5
Total	61	325	14	400

Índice de forma do cerrado

Os fragmentos menores que 1ha das sub-bacias do Passa-Cinco e do Alto Corumbataí são, de acordo com o índice de forma SHAPE, os únicos fragmentos de cerrado da bacia com área circular (moda = 1), tendo os demais fragmentos dessas duas sub-bacias e também da sub-bacia do Ribeirão Claro forma irregular (não-circular), conforme a Figura 4A.

Com esse índice de forma foi possível, ainda, constatar a maior irregularidade da forma de alguns fragmentos de cerrado das sub-bacias do Passa-Cinco (20ha a 25ha) e do Alto Corumbataí (30ha a 55ha), principalmente a dos fragmentos maiores que 85ha dessa última sub-bacia.

Quando se comparam os valores do índice SHAPE dos dois tipos de vegetação florestal da bacia tem-se, para as mesmas classes de área, os fragmentos de cerrado com valores inferiores aos observados para a floresta nativa, ou seja, com formas menos irregulares.

Com o índice de forma na dimensão fractal FRACT pode-se observar, além da irregularidade da maioria dos fragmentos de cerrado da bacia, que esses têm, nas três sub-bacias, formas semelhantes (mediana=1,1), com exceção daqueles fragmentos existentes nas sub-bacias do Passa-Cinco (20ha a 25ha) e do Alto Corumbataí (30ha a 55ha e maiores que 85ha), que já haviam demonstrado ter forma mais irregular que os demais. Esses fragmentos de forma mais irregular possuem, de acordo com o índice FRACT, semelhanças entre suas formas (Figura 4B).

Índice de distância do cerrado

Com o índice de distância (NEAR) entre fragmentos de mesma classe de área foi possível constatar que os fragmentos de cerrado apresentaram-se distribuídos de maneira distinta nas três sub-bacias (Figura 4C).

Na sub-bacia do Alto Corumbataí a maioria dos seus fragmentos de cerrado tem, de acordo com os valores de moda desse índice, a uma proximidade de 20m outro fragmento de cerrado de mesma classe de área. Mesmo assim, existem fragmentos espalhados por essa área, como os menores que 30ha e os que têm entre 50ha e 55ha, com os aproximados valores máximos de distâncias de, respectivamente, 3700m (classe de área: 1ha a 5ha) e 213m. Os fragmentos maiores que 30ha estão próximos uns aos outros, com NEAR assumindo valores entre 20m e 40m.

Na sub-bacia do Passa-Cinco o maior valor de distância foi o da classe dos fragmentos menores que 1ha (1884m), mas valor de moda de 20m.

Para os fragmentos maiores que 1ha, as distâncias máximas observadas variaram de 28m (classe 20ha a 25ha) a aproximadamente 717m (classe 40ha a 45ha). Os maiores fragmentos (classe 55ha a 60ha) dessa sub-bacia apresentaram valor máximo de distância de 220m (moda = 124m), valores estes superiores aos observados para os maiores fragmentos de cerrado da sub-bacia do Alto Corumbataí.

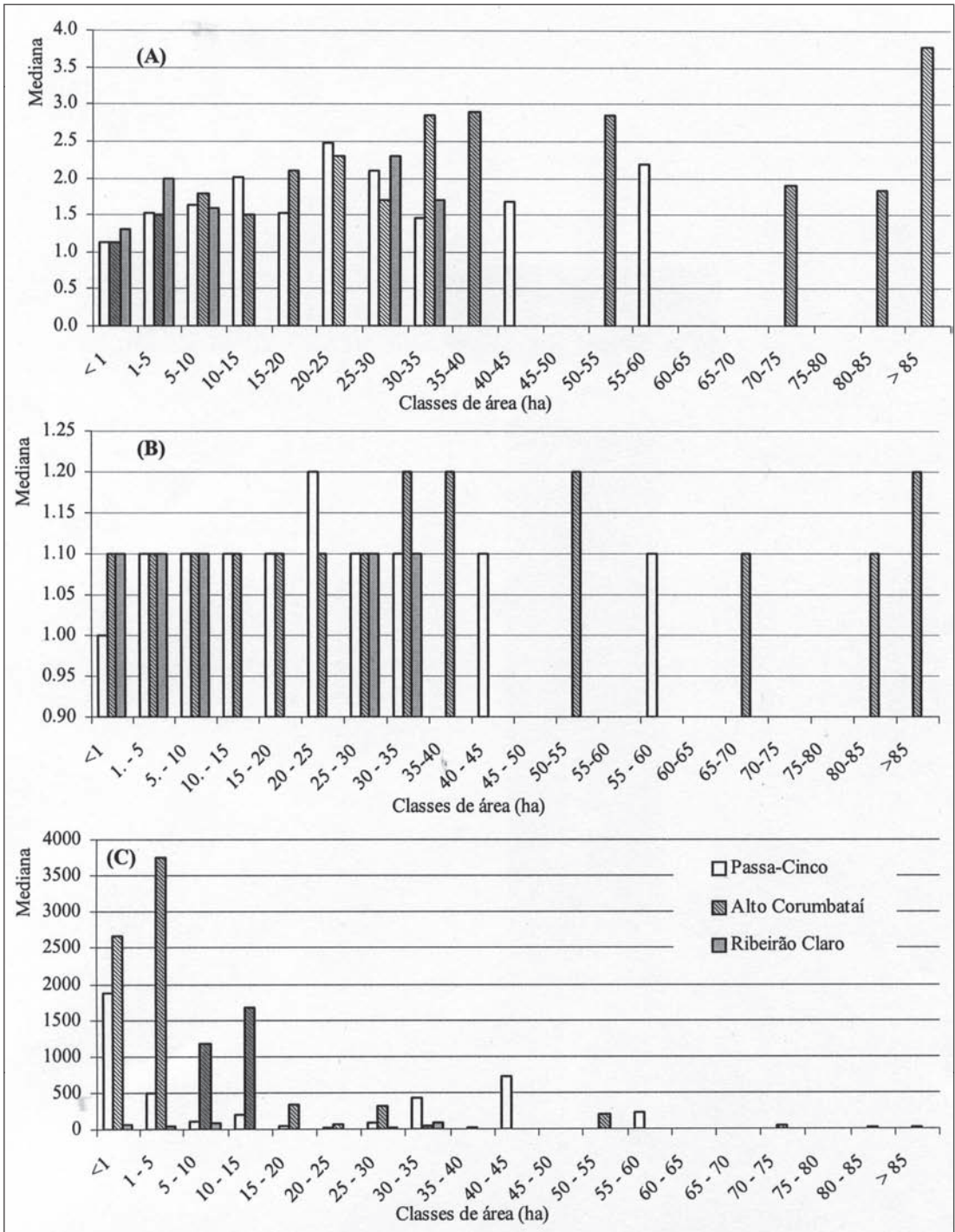


Figura 4. Cerrado, na Bacia do rio Corumbataí (2001): mediana dos índices SHAPE (A), FRACT (B), e limite superior do índice NEAR (C). Savanna patches in the Corumbataí river basin (2001): mediana of SHAPE index (A), FRACT index (B), and upper limit of NEAR index (C).

Na sub-bacia do Ribeirão Claro o índice de distância NEAR demonstrou que os fragmentos de cerrado ocupam uma mesma região de sua paisagem. Isto porque apresentaram valores de NEAR variando de 20m a 80m. Há nessa sub-bacia poucos fragmentos de cerrado (NP=14), mas todos próximos uns aos outros (NEAR máximo = 80m).

Quanto à distribuição dos fragmentos de cerrado em relação aos demais usos e coberturas do solo da bacia, avaliada com o índice de proximidade média (MPI) entre fragmentos, para um raio de 100m (Tabela 8) tem-se que os fragmentos de cerrado do Alto Corumbataí (MPI=254,04) interagem menos com os outros usos e coberturas do solo do que os fragmentos das sub-bacias do Ribeirão Claro (93,99) e do Passa-Cinco (40,74).

Tabela 8. Índice de proximidade média (MPI) para os fragmentos de cerrado, considerando um raio de 100m, para a Bacia do rio Corumbataí (2001). (Mean proximity index (MPI) for the savanna patches within a radius of 100m, for the Corumbataí river basin).

Sub-bacia	MPI
Passa-Cinco	40,74
Alto Corumbataí	245,04
Médio Corumbataí	--
Ribeirão Claro	93,99
Baixo Corumbataí	--

Nota-se que as sub-bacias que têm fragmentos mais próximos entre si, como no caso do Alto Corumbataí, aqueles maiores que 30ha (NEAR: 20m a 40m), são os que apresentaram a menor interação de sua vegetação de cerrado com os outros usos e coberturas do solo.

Comparando a distribuição da floresta nativa e do cerrado tem-se, com os índices de distância (NEAR e MPI), que os fragmentos de cerrado, com exceção daqueles da sub-bacia do Ribeirão Claro, estão mais distantes uns dos outros e sob maior influência dos outros usos e coberturas do solo que os fragmentos de floresta nativa. Pode-se constatar, assim, que foi o cerrado a formação que mais sofreu com as ações antrópicas na Bacia do rio Corumbataí.

Índice de dispersão e justaposição da Floresta Nativa e Cerrado

Com o índice de dispersão e justaposição (IJI) (Tabela 9), foi possível avaliar o grau de interação entre as duas formações: o cerrado e a floresta nativa. A sub-bacia do Alto Corumbataí (IJI =

67,19%) apresentou, de acordo com esse índice, maior grau de interação entre os fragmentos de floresta nativa e cerrado do que as sub-bacias do Passa-Cinco (IJI=12,28%) e do Ribeirão Claro (IJI=11,81%).

Tabela 9. Índice de dispersão e justaposição para os fragmentos de floresta, para a Bacia do rio Corumbataí (2001). (Interspersion and juxtaposition index (IJI) of forests patches for the Corumbataí river basin).

Sub-bacia	IJI (%)
Passa-Cinco	12,28
Alto Corumbataí	67,19
Ribeirão Claro	11,81

Na sub-bacia do Alto Corumbataí essa maior interação das duas formações florestais é função da maior área ocupada por cerrado do que observado para as demais sub-bacias e, ainda, da presença dos maiores fragmentos de cerrado da bacia.

Quanto à semelhança dos valores de IJI das sub-bacias do Passa-Cinco e do Ribeirão Claro é função da primeira (NP = 61) possuir maior número de fragmentos que a segunda (NP=14), mas apresentar esses fragmentos espalhados por sua área (NEAR máximo = 1884m) enquanto a outra tem seus fragmentos concentrados em uma única região (NEAR máximo = 80m).

Pode-se dizer, ainda, que o cerrado influencia diferentemente no grau de isolamento e na estrutura florestal dessas três sub-bacias, tendo maior influência na sub-bacia do Alto Corumbataí.

CONCLUSÕES

- Os índices de Ecologia da Paisagem, em nível de fragmento e classe, possibilitam a avaliação da estrutura florestal da bacia, mesmo ela apresentando uma alta variabilidade nas características de seus fragmentos de floresta;
- Esses índices permitem, ainda, identificar as diferenças de estruturas florestais existentes entre as sub-bacias, além daquelas que ocorrem entre a floresta nativa e o cerrado;
- O índice de forma na dimensão fractal (FRACT) é mais adequado para a definição de um padrão de forma para os fragmentos de floresta que o índice de forma (SHAPE). Porém, quando se deseja avaliar a variabilidade de forma existente entre fragmentos, o índice SHAPE é o mais indicado;
- Com relação à estrutura florestal dessa bacia,

tendo por base os índices utilizados, conclui-se que, de maneira geral, ela se encontra altamente fragmentada, com predominância de pequenos fragmentos espalhados por sua paisagem, como consequência do próprio histórico de uso e ocupação dessa região;

- O cerrado foi a formação que mais sofreu com as ações antrópicas na bacia. Com exceção do Alto Corumbataí, o tamanho e, principalmente, as distâncias entre seus fragmentos são, nas condições atuais, desfavoráveis à perpetuação desses remanescentes na Bacia do rio Corumbataí.

AUTORES

Roberta de Oliveira Avena Valente é Doutora em Recursos Florestais pela ESALQ/USP.

Carlos Alberto Vettorazzi é Professor Doutor do Departamento de Engenharia Rural da ESALQ/USP - Caixa Postal 9 – Piracicaba, SP - 13400-970 - E-mail: cavettor@esalq.usp.br

REFERÊNCIAS

FARINA, A. **Principles and methods in landscape ecology**. Londres: Chapman & Hall, 1998. 235 p.

IPEF – INSTITUTO DE PESQUISAS E ESTUDOS FLORESTAIS. **Conservação dos recursos hídricos e da cobertura florestal na Bacia do rio Corumbataí**. Piracicaba: IPEF, 2001. 301 p. (Relatório do projeto).

JARVINEN, O. Conservation of endangered plant populations: single large or several small reserves? **Oikos**, v.38, p.301-307, 1982.

KOFFLER, N.F. Uso das terras da Bacia do rio Corumbataí em 1990. **Geografia**, v.18, n.1, p.135-150, 1993.

KRONKA, F.J.N.; NALON, M.C.; MATSUKUMA, C. **Áreas de domínio do cerradão no Estado de São Paulo**. São Paulo: Secretaria do Meio Ambiente, 1998. 84 p.

LOVEJOY, T.E.; BIERREGARD JUNIOR, R.O.; RYLANDS, A.B.; MALCOM, J.R.; QUINTELA, C.E.; HAPER, L.H.; BROWN JUNIOR, K.S.; POWELL, A.H.; POWELL, G.V.N.; SCHUBART, H.O.R.; HAYS, M.B. Edge and other effects of isolation on Amazon forest fragments. **Conservation Biology**, v.2, p.257-285, 1986.

MCGARIGAL, K; MARKS, B.J. **FRAGSTATS: spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure**. Portland: Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station, 1995. 122 p.

METZGER, J.P. Relationships between landscape structure and tree species diversity in tropical forests of south-east Brazil. **Landscape and Urban Planning**, v.37, p.29-35, 1997.

MITTERMEIER, R.A.; MYERS, N.; THOMSEN, M.B. Biodiversity hotspots and major tropical wilderness areas: approaches to setting conservation priorities. **Conservation Biology**, v.12, p.516-520, 1998.

MYERS, N.; MITTERMEIER, R.A.; MITTERMEIER, C.G.; FONSECA, G.A.B.; KENT, J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, v.403, p.853-857, 2000.

OLIVEIRA, L.T. **Fragmentos de Floresta Atlântica Semidecidual no município de Lavras: uma comparação ecológica entre a cobertura atual e a cobertura exigida pela legislação**. 2000. 103 p. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2000.

RISSER, P.G. Landscape ecology: state-of-the-art. In: TURNER, M.G. **Landscape heterogeneity and disturbance**. New York: Springer-Verlag, 1987. p.3-14.

Turner, M.G.; Carpenter, S. At last a journal devoted to ecosystem. **Ecosystems**, v.11, p.1-4, 1998.

TURNER, M.G.; GARDNER, R. H. **Quantitative methods in landscape ecology: the analysis and interpretation of landscape heterogeneity**. New York: Springer Verlag, 1990. 536 p.

VALENTE, R.O.A.; VETTORAZZI, C.A. Mapeamento do uso e cobertura do solo na bacia do rio Corumbataí, SP. **Circular Técnica IPEF**, Piracicaba, n.196, p.1-10, maio 2003.

VETTORAZZI, C.A.; VALENTE, R.O.A.; BALLESTER, M.V.R. Forest fire hazard mapping in a GIS environment for a river basin in the State of São Paulo, Brazil. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON GEOSPATIAL INFORMATION IN AGRICULTURE AND FORESTRY, 2., 2000, Lake Buena Vista. **Proceedings**. Ann Arbor: ERIM International, 2000. v.1, p.10-12.