

**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”
Centro de Energia Nuclear na Agricultura**

**Caracterização estrutural e física de fragmentos florestais no contexto
da paisagem da Bacia do Rio Corumbataí, SP**

Adriana Basile

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestre em Ecologia Aplicada.

Piracicaba
2006

Adriana Basile
Licenciatura e Bacharel em Ciências Biológicas

Caracterização estrutural e física de fragmentos florestais no contexto da paisagem da Bacia do Rio Corumbataí, SP

Orientador:
Prof. Dr. **CARLOS ALBERTO VETTORAZZI**

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestre em Ecologia Aplicada.

Piracicaba
2006

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - ESALQ/USP**

Basile, Adriana

Caracterização estrutural e física de fragmentos florestais no contexto da paisagem da
Bacia do Rio Corumbataí, SP / Adriana Basile. - - Piracicaba, 2006.
86 p. : il.

Dissertação (Mestrado) - - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Centro de
Energia Nuclear na Agricultura, 2006.

1. Bacia hidrográfica – Rio Corumbataí 2. Desmatamento 3. Ecologia da paisagem
4. Proteção ambiental 5. Vegetação – Índices I. Título

CDD 551.483

“Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor”

Dedico este trabalho a meus pais, Gilberto e Cleuza Basile que sempre apoiaram todas as minhas decisões. Pelo amor, incentivo à minha pesquisa e a quem devo o fato de ter conseguido chegar até aqui! Dedico também ao meu companheiro Matheus que sempre esteve ao meu lado me ensinando a cada dia como viver melhor.

"A grandiosidade de uma nação e o seu progresso moral podem ser medidos pela forma de como a natureza é tratada." - Mahatma Gandhi

"É essencialmente a simpatia do homem por todas as criaturas que verdadeiramente faz dele um homem". Albert SCHWEITZER (1875-1965)

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Prof. Dr. Carlos Alberto Vettorazzi pela sua orientação, apoio, confiança desde o início, amizade e compreensão nos momentos que mais precisei. Admiro muito essa pessoa!

Ao Silvio Frosini de Barros Ferraz pela sua paciência, amizade e pelos ensinamentos sobre geoprocessamento. Muito obrigada por ter me ajudado a dar início, meio e fim em pesquisa e a conseguir entender pelo menos um pouco de ciência de boa qualidade. À sua esposa Kátia pela amizade, pelos incentivos iniciais que tanto me ajudaram, e pelas dicas estritamente necessárias no início da minha pesquisa (saudações à Giulia).

Ao Prof. Dr. Rubens Angulo Filho pela sua grande contribuição durante a finalização do meu mestrado.

À Profa Dra Tsai Siu Mui, pela grande ajuda, confiança e amizade que tanto estimo.

À Regina, nossa querida secretária, pela ajuda e carinho dedicado desde sempre.

A CAPES, pela concessão da bolsa de estudo.

Aos colegas de trabalho, Priscylla, Marcelo, Roberta, Katia Sonoda, e Benito. E também ao Pedro (Ogro) e Anderson pelas idas e vindas na Bacia do Corumbataí e pelas divertidas conversas, muitas risadas e boas dicas sobre rock progressivo.

Aos funcionários (Vanda e Jesuíno) da área de Topografia, pela ajuda durante esses anos. E também às meninas da biblioteca (Eliana e Silvia) pelo auxílio indispensável.

A todos os que me acolheram na cidade de Piracicaba: Eli e Sardinha, vó Ruth, tio Sérgio, Marina e Diego, meninas (Pri, Roberta, Esmerê, Grace, Fliper e Nai, todas muito figuras!) e seus respectivos dogs queridos (Pisgui, Brida, Hermeto, Janda e Mica).

À grande amiga de todas as horas Robertinha, pelas boas conversas, por me agüentar às vezes dividindo o seu quarto, e pelas caronas tão necessárias em horas tão inoportunas.

Aos amigos queridos sem ordem de importância, pois todos vocês têm um lugarzinho no meu coração: Renata, Poli, Bigato, Ellen, Eli, Sardis, Rene, Gabi, Chris (São Bernardo), Fabi, Pingüim, Allan, Psicose, George, Aninha (figura do Norte), Márcia (cabeluda), Saulão, TG, Esmerê, Lingüiça, Krakinha, Lagartixa, Frei, Bel, Raquel, Silvia (Oka), Keka, Juju, Simone, Rogê, Athos, Pri, Daniel, Laís, Vico, Marina, Flávia e Lícia, que mesmo distantes é muito bom saber que todos vocês existem, sendo que a nossa ligação permaneceu sempre muito estreita.

Às meninas da casa quatro por terem me acolhido em momento tão necessário mesmo com ausência de espaço físico, Giovanna, Gisele, Gabi, Helô e Perrito, muito obrigada por tudo, sem vocês não teria sido tão bom.

Aos amigos do Goiás: Kátia e Aldo, Gegê e Alexandre, Hugo e Débora, Valéria e Lenildo. Muito obrigada pela amizade, boas risadas e conversas tão agradáveis.

À Grazi Dotta e Carla Gheler pela troca de idéias, pela amizade e também pelos ensinamentos durante nossas poucas idas à campo.

Ao meu irmão Gilberto e à sua querida família (Ledir, Tuani, Nub e Júnior).

Aos meus queridos tios Cléia e Armando pela grande amizade e carinho desde sempre dedicado.

Aos queridos mestres de Reiki (Joseph e Sandra), Yoga (Hermógenes e Niu) e também à Shiva que tanto me ensinaram sobre a importância do autoconhecimento, auxiliando não só a mim, mas a todos que são importantes para a minha existência terrena, nas piores e melhores horas da minha vida.

Ao bom e velho rock'n roll pelos momentos de grande descontração!!!

Aos queridos amigos adoráveis que já se foram: Miucha, Preta, Babalú, e Raika.

Ao Silvio Carmo Palmieri pela amizade, admiração, grande carinho e aquele “espaguete al molho pesto” maravilhoso que só você sabe fazer. E à Heloisa (*in memoriam*) por terem colocado meu Matheus ao mundo.

Ao meu companheiro e grande amigo Matheus Palmieri pela paciência, e por me ensinar a ser forte nas horas que precisei. Pelos vinhos de sexta-feira à noite, pelos shows da melhor qualidade e por tornar meus dias e horas tão felizes. Ao Zappinha (Frank Zappa), que é o ser mais doce e amigo que tive a oportunidade de conhecer, e também à Lola (Lolita), a minha mais nova criança.

Agradeço principalmente aos meus pais pelo carinho, por todo apoio financeiro, pela oportunidade de crescer em todos estes anos dedicados ao estudo pela confiança e por terem me ensinado tudo sobre responsabilidade. Tenho grande orgulho deles!

Muito obrigada a todos!

SUMÁRIO

RESUMO.....	10
ABSTRACT	11
LISTA DE FIGURAS	12
LISTA DE TABELAS	14
LISTA DE SIGLAS	15
1 INTRODUÇÃO	16
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	18
2.1 Fragmentação na Mata Atlântica.....	18
2.2 Ecologia da Paisagem no estudo da fragmentação	19
2.3 Conseqüências da fragmentação florestal	23
2.4 Instrumentos para o diagnóstico da fragmentação.....	27
2.5 Análise da estrutura da paisagem	29
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	33
3.1 Área de estudo	33
3.2 Base cartográfica	38
3.3 Mapeamento dos fragmentos da Bacia.....	38
3.4 Caracterização estrutural e física dos fragmentos em nível de paisagem	40
3.4.1 Caracterização estrutural dos fragmentos em nível de paisagem.....	40
3.4.2 Caracterização física dos fragmentos	43
3.4.3 Variação da área dos fragmentos de 1999 em relação a 2002 (Var_Area).....	46
3.4.4 Cálculo da média dos pixels dos mapas de caracteres físicos em relação aos fragmentos da bacia	46
3.5 Análise estatística	48
3.5.1 Análise de agrupamento.....	48
3.5.2 Análise de correlação	48
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	49
4.1 Caracterização da estrutural dos fragmentos no contexto de paisagem.....	49
4.2 Caracterização física dos fragmentos	51

4.2.1 Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI).....	60
4.2.2 Variação de área de 1999 em relação a 2002 (Var_area)	60
4.3 Resultado da análise de agrupamento dos fragmentos	61
4.4 Resultado da análise de correlação entre as variáveis	63
4.4.1 Correlação entre as variáveis calculadas e o NDVI	63
4.4.2 Correlação da variação da área florestal em fragmentos da bacia entre 2002 e 1999	68
4.4.3 Considerações finais	70
5 CONCLUSÕES	72
REFERÊNCIAS.....	73
ANEXOS	83

RESUMO

Caracterização estrutural e física de fragmentos florestais no contexto da paisagem da Bacia do Rio Corumbataí, SP

A alta fragmentação da cobertura original da Bacia do Rio Corumbataí, SP, ocasionada principalmente por atividades agropecuárias, resultou em remanescentes florestais em diferentes condições ecológicas, em função dos aspectos físicos, naturais e antrópicos, do meio em que estão inseridos. Neste trabalho esses fragmentos foram analisados individualmente, considerando-se a estrutura da paisagem de seu entorno, por meio de uma caracterização física e estrutural, tendo o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) como variável-chave, em função da sua relação com o vigor da vegetação. O presente estudo teve como objetivo principal analisar a relação entre NDVI dos remanescentes e variáveis físicas do ambiente (relevo, distância à rede hidrográfica, áreas urbanas, estradas e precipitação), além de variáveis estruturais dos próprios fragmentos (forma, área, área nuclear, distância do vizinho mais próximo, contraste de borda e perímetro). Também foi verificada a alteração da cobertura florestal da bacia entre os anos de 1999 e 2002, a fim de compreender melhor as suas condições de conservação. Como principais resultados foi constatado uma relação inversa entre NDVI e algumas variáveis físicas e estruturais como por exemplo o contraste de borda, a distância à rede hidrográfica, a distância ao vizinho mais próximo e a área total; já a área nuclear, a declividade e a distância às estradas apresentaram uma relação direta com o NDVI. A perda de vegetação nativa entre 1999 e 2002, foi maior que o acréscimo (1.886 ha e 895 ha, respectivamente), tendo ocorrido em maior proporção nos fragmentos mais próximos às áreas urbanas. Fragmentos com as maiores áreas nucleares, mais próximos à rede hidrográfica e em terrenos mais declivosos foram aqueles que apresentaram maiores valores de NDVI. Os resultados mostraram que características físicas e estruturais dos fragmentos podem influenciar o vigor da vegetação e, conseqüentemente, o seu estado de conservação.

Palavras chave: NDVI, fragmento, ecologia da paisagem, Corumbataí, fragmentação

ABSTRACT

Physical and landscape structural characterization of forest patches of Corumbataí river basin, SP

Forest fragmentation of Corumbataí river basin caused by agriculture dominance directly affects the condition of forest remnants to support plant and animal species. These forest patches present different ecological conditions, depending on many physical and anthropogenic aspects of the landscape they are inserted. In this study, forest patches were individually analyzed considering their landscape structure and the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) as response variable, due to its relationship to vegetation vigor. The main objective was to analyze the relationship between forest patches NDVI, physical variables of landscape (relief, distance to rivers, distance to roads, distance to urban areas and precipitation) and forest patches landscape structure (shape, area, core area, nearest neighbor distance, edge contrast and perimeter). Also, forest cover changes between 1999 and 2002 were analyzed in order to understand better patches conditions and their relation to landscape variables. As results, we found an inverse relationship between NDVI and distance to rivers, edge contrast, nearest neighbor distance and total area. Core area, slope and distance to roads presented direct relationship to NDVI. Forest losses between 1999 and 2002 were greater than gains (1886 ha and 895 ha, respectively), and they occurred commonly near urban areas. Greater NDVI values were observed on patches with large core areas, near to rivers and on high slope areas. The results showed that physical and structural patches characteristics have influence on vegetation vigor and, consequently, on their conservation status.

Key words: NDVI, forest patch, landscape ecology, Corumbataí, fragmentation

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Mapa da localização dos remanescentes florestais da Bacia do Rio Corumbataí.....	33
Figura 2 -	Classes de solo presentes na Bacia do Rio Corumbataí.....	36
Figura 3 -	Distribuição do número de fragmento por classe de tamanho para a Bacia do Corumbataí.....	39
Figura 4 -	Escala de pesos para diferentes classes de uso do solo quanto ao contraste de borda	42
Figura 5 -	Esquema geral da metodologia utilizada para a caracterização estrutural e física dos fragmentos estudados.....	47
Figura 6 -	Número de fragmentos em função das classes de altitude, na Bacia do Corumbataí, SP.....	53
Figura 7 -	Número de fragmentos em função das classes de declividade, na Bacia do Rio Corumbataí, SP.....	54
Figura 8 -	Número de fragmentos em função das classes de distância à rede hidrográfica, na Bacia do Corumbataí, SP.....	55
Figura 9 -	Número de fragmentos em função das classes de distância às estradas, na Bacia do Corumbataí, SP	56
Figura 10 -	Área e número de fragmentos em função das classes de distância às áreas urbanas, na Bacia do Corumbataí, SP.....	57

- Figura 11 - Representação da distribuição espacial das características físicas dos fragmentos da bacia quanto a: a) Altitude, b) Declividade e c) Precipitação..... 58
- Figura 12 - Representação da distribuição espacial das características físicas dos fragmentos da bacia quanto à d) Distância à rede hidrográfica, e) Distância às estradas e f) Distância às áreas urbanas..... 59
- Figura 13 - Dendograma da análise de agrupamento, com cinco grupos de fragmentos em relação às variáveis, sendo o primeiro grupo representado em vermelho, o segundo em verde, o terceiro em laranja, o quarto em rosa e o quinto em azul..... 62

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classes de solo presentes na Bacia do Rio Corumbataí.....	37
Tabela 2 - Estatística descritiva das métricas da paisagem para a Bacia do Rio Corumbataí, SP.....	49
Tabela 3 - Estatística descritiva das variáveis físicas dos fragmentos analisados da Bacia do Rio Corumbataí.....	52
Tabela 4 - Estatística descritiva dos valores de NDVI para os fragmentos analisados da Bacia do Rio Corumbataí	60
Tabela 5 - Estatística descritiva dos valores de Var_Area para os fragmentos analisados da Bacia do Rio Corumbataí	61
Tabela 6 - Resultado da análise de correlação entre as variáveis (n=163)	64

LISTA DE SIGLAS

A_nucl	- Área Nuclear do fragmento, medida em hectares
Altit	- Altitude média do terreno no fragmento, em metros
APP	- Área de Proteção Permanente
Chuva	- Precipitação média no fragmento, em mm
Contr	- Índice de Contraste de Borda
Decl	- Declividade média do terreno, em %
Dist_estr	- Distância média do fragmento às estradas, em metros
Dist_hidr	- Distância média do fragmento à rede hidrográfica, em metros
Dist_urb	- Distância média do fragmento às áreas urbanas, em metros
Forma	- Índice de forma do fragmento, sem unidade
IBGE	- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
MDT	- Modelo Digital do Terreno
NDVI	- Índice de Vegetação da Diferença Normalizada
Perimet	- Perímetro médio do fragmento, em metros
SIG	- Sistema de Informações Geográficas
UTM	- Sistema de projeção Universal Transverso de Mercator
TM	- <i>Thematic Mapper</i>
V_prox	- Distância do fragmento ao vizinho mais próximo, em metros
Var_Area	- Variação de área dos fragmentos de 1999 em relação a 2002, em hectares

1 INTRODUÇÃO

A Mata Atlântica representa um dos biomas mais fragmentados e ameaçados do mundo e tem no Estado de São Paulo um forte representante da alta fragmentação ocasionada principalmente pela ocupação por culturas agrícolas, devido a sua localização e à fertilidade dos solos, favoráveis à agricultura. A Bacia do Rio Corumbataí apresenta um ambiente alterado pela agricultura e pecuária desde o início do século XIX, resultando no comprometimento de suas florestas nativas. Muitos dos remanescentes florestais são especialmente importantes porque ainda conservam razoável biodiversidade e necessitam de conhecimento específico sobre a sua estrutura associada à paisagem desta bacia.

No contexto da alta fragmentação, os remanescentes de mata nativa armazenam em seu histórico um papel significativo, pois são considerados como áreas fontes para recolonizações de plantas e animais, que rapidamente se extinguem em cenários muito fragmentados.

Considerando a importância desses fragmentos, a Ecologia da Paisagem, uma área de conhecimento recente que, dentre outras finalidades, procura estudar os processos que ocorrem em mosaicos antropizados, tem recebido contribuições de diversas áreas da ciência, identificando os principais impactos locais sobre a paisagem, com o objetivo principal de reabilitar as funções dos ecossistemas degradados.

A análise da paisagem é normalmente realizada por meio de indicadores, conhecidos como métricas da paisagem, que possibilitam diagnosticar os fragmentos florestais inseridos em matriz predominantemente agrícola, para que futuramente isso venha a contribuir com o aumento da conectividade de fragmentos importantes e de tamanhos mais significativos, dentro de uma paisagem extremamente fragmentada, como o caso da Bacia do Corumbataí.

Essas métricas podem ser em nível de: 1) fragmento; 2) classes; e 3) paisagem, sendo que no presente estudo será utilizado o primeiro, que analisa os fragmentos individualmente em relação à paisagem (uso do solo) e sua posição espacial, em uma situação mais detalhada quando se trata de estudar a dinâmica de fragmentos com ênfase em conservação. Desse modo, o presente estudo visou a uma caracterização

geral da estrutura de fragmentos florestais na Bacia do Rio Corumbataí, a fim de:

- 1) analisá-los individualmente no contexto da paisagem;
- 2) estudar a relação entre a estrutura do fragmento (em nível de paisagem) e variáveis físicas do ambiente, em função do NDVI (Índice de Vegetação da Diferença Normalizada);
- 3) estudar a relação entre o grau de conservação de cada fragmento, através da variação da área de vegetação nativa entre os anos 1999 e 2002 e relacioná-la com as variáveis físicas e estruturais estudadas;

É importante conhecer as características físicas e estruturais dos fragmentos de floresta nativa da Bacia do Corumbataí, pois esta é uma área que vem sendo amplamente estudada por muitos pesquisadores de fauna e de flora de várias instituições e, como essa bacia já dispõe de uma base cartográfica consolidada e estudos da sua estrutura em nível de classes e de paisagem, este estudo em nível de fragmento, pretende complementar a base de dados sobre a bacia.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Fragmentação da Mata Atlântica

A Floresta Atlântica Brasileira vem passando por perturbações de origem antrópica há aproximadamente 10 mil anos, com a chegada dos primeiros exploradores, que utilizavam o fogo como principal ferramenta, tanto para encurralar animais como para converter a floresta mais densa em verdadeiros campos, a fim de facilitar a localização das presas (DEAN, 1997). Porém, o desmatamento mais significativo desse bioma teve início após a chegada dos primeiros colonizadores europeus no Brasil que, então, possuía 82,5% de sua área coberta por Mata Atlântica (SOS MATA ATLÂNTICA; INPE, 1998). A partir daí o processo de exploração e a conseqüente fragmentação da floresta intensificou-se até os dias de hoje, ou seja, após quinhentos anos de colonização muitas dessas florestas foram devastadas, restando atualmente menos de 7% de sua área original, distribuída principalmente nos Estados de São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul (TESSLER, 2001).

Atualmente, a vegetação natural remanescente do Estado de São Paulo abriga 15% do que resta da Mata Atlântica brasileira, cuja densidade de espécies de plantas e animais exclusivos equivale à da Amazônia. A área coberta pelos remanescentes de vegetação natural, correspondente a 13,9% do total do estado, sendo praticamente a mesma que a ocupada pelas plantações de cana-de-açúcar (KRONKA; NALON; MATSUKUMA, 2005).

Ainda no início do século XIX, a expansão da agricultura nos estados da região Sudeste resultou na derrubada de florestas para a implantação de lavouras e pastos. A expansão agrícola e pecuária, a extração seletiva de madeira para a indústria, a caça e o uso do fogo foram os responsáveis pelo alto índice de fragmentação e perturbação da Mata Atlântica, persistindo ainda nos dias atuais (VIANA, 1990; SILVA, 1994).

Considerada como um dos biomas mais ameaçados do planeta, a Mata Atlântica vem sendo apontada como um dos cinco mais importantes “pontos quentes” (*hotspots*) de biodiversidade (MYERS et al., 2000), boa parte constituída de espécies endêmicas (DEAN, 1997) e se concentra em áreas de relevo acidentado, solos inapropriados para a agricultura e alta pluviosidade, fatores que restringiram a ocupação humana durante a

colonização (SOS MATA ATLÂNTICA; INPE, 1998; BRASIL, 2000).

A ocupação das terras pelos colonizadores europeus realizou-se de forma desordenada, dada a falta de conscientização sobre os danos ambientais, e essa percepção tardia dos efeitos adversos do desmatamento tornou crucial o desenvolvimento de estudos científicos dirigidos ao monitoramento e às informações sobre os processos que levam às mudanças do uso e cobertura das terras (NAGENDRA; SOUTHWORTH; TUCKER, 2003).

Com o avanço de estudos direcionados e aumento da conscientização ambiental, a Ecologia da Paisagem passou a ser muito utilizada no estudo da fragmentação, pois proporciona grande capacidade de lidar de forma cada vez mais funcional com florestas naturais, estudando a distribuição de fragmentos florestais diante de um cenário antropizado, e percebendo a paisagem de forma adequada como, por exemplo, associando o cenário da paisagem às características ambientais e biológicas relevantes que, possivelmente, entre outras coisas, influenciam a dinâmica e a capacidade de conservação e recuperação destes fragmentos na paisagem como um todo.

2.2 Ecologia da Paisagem no estudo da fragmentação

A Ecologia da Paisagem é marcada pela existência de duas abordagens principais: uma geográfica, que privilegia o estudo da influência do homem sobre a paisagem e a gestão do território; e outra ecológica, que enfatiza a importância do contexto espacial sobre os processos ecológicos e a importância destas relações em termos de conservação biológica. (METZGER, 2001). Estas abordagens apresentam conceitos e definições distintas e por vezes conflitantes e para que haja um arcabouço teórico comum Metzger (2001) definiu paisagem como “um mosaico heterogêneo formado por unidades interativas, sendo essa heterogeneidade existente para pelo menos um fator, segundo um observador, e numa determinada escala de observação”. Esse mosaico heterogêneo é visto pelo olhar do homem, na abordagem geográfica, e pelo olhar das espécies, na abordagem ecológica.

A associação dessas abordagens é fundamental neste estudo e, segundo Metzger (2001), a Ecologia da Paisagem apresenta a combinação de uma análise espacial da Geografia com um estudo funcional da Ecologia, sendo que as intervenções antrópicas

em áreas de vegetação natural resultam em alterações nos processos ecológicos estabelecidos ao longo do tempo evolutivo, dada a dinâmica na estrutura espacial das paisagens (TURNER, 1989), possibilitando à Ecologia da Paisagem avaliar os atributos da terra como componentes de ecossistemas e também os processos que influenciam estes componentes, incluindo um estudo especial de variáveis-chave controladas pela inteligência humana (NAVEH; LIEBERMAN, 1994 apud METZGER, 2001).

Para saber claramente como a paisagem está respondendo a diversos fatores que interagem entre os fragmentos, é preciso conhecer e avaliar parâmetros relevantes dentro do mosaico da paisagem. A diversidade de espécies de uma determinada área tem sido relacionada a uma complexa interação entre fatores físicos, históricos, processos biológicos (competição, mutualismo e predação) e eventos casuais (DIAMOND; CASE, 1986). Sendo assim, a diversidade de diferentes grupos de seres vivos pode estar associada a gradientes latitudinais, altitudinais, ambientais e a outros fatores como o tamanho e o desenho das áreas de ocorrência de espécies (HUSTON, 1994). É importante o conhecimento de informações sobre a configuração dos elementos presentes em uma paisagem pois, segundo Valente e Vettorazzi (2003), o entendimento das relações espaciais entre os fragmentos florestais, interações e mudanças estruturais de uma paisagem, têm sido objeto de estudo da Ecologia da Paisagem.

O ponto central da análise em Ecologia da Paisagem é o reconhecimento da existência de uma dependência espacial entre as unidades da paisagem: o funcionamento de uma unidade depende das interações que ela mantém com as unidades vizinhas (METZGER, 2001).

A paisagem pode ser estudada a partir de três tipos de elementos e que formam a sua estrutura: as manchas, os corredores e a matriz envolvente. Qualquer ecossistema ou elemento da paisagem pode ser reconhecido como mancha, corredor ou matriz, pois elementos ecológicos podem estar distribuídos heterogeneamente entre estes. Determinar a distribuição espacial é entender a estrutura da paisagem (FORMAN; GODRON, 1986).

As manchas de uma paisagem são definidas por Metzger (2001) como áreas homogêneas (numa determinada escala) de uma unidade de paisagem, que se

distinguem das unidades vizinhas e têm extensões espaciais reduzidas e não lineares. Em relação ao tamanho da mancha, ou seja, sua proporção entre borda e interior, ressalta-se que quanto menor uma mancha, maior o efeito de borda observado e também a proporção do número de espécies, pois quanto maior a mancha maior o número de espécies esperado (ODUM, 1988). Manchas também podem ser definidas como fragmentos, pois “fragmento é uma mancha originada por fragmentação” (i. e., por subdivisão de uma unidade que inicialmente apresentava-se sob forma contínua, como uma matriz) (METZGER, 2001).

Corredores são faixas estreitas de terra que diferem da matriz em ambos os lados e podem ser encontradas isoladas ou unindo manchas. Eles podem ter o mesmo tipo de origem das manchas e podem ser, quanto ao formato, corredores em linha, em faixa e ripários. Eles são reconhecidos por terem uma função chave no controle de fluxos hídricos e biológicos na paisagem (FORMAN; GODRON, 1986).

A análise primordial que se realiza em corredores é a de conectividade, que é a medida para se saber o quão espacialmente contínuo é um corredor, e pode ser quantificada pela medida de quebras por unidade de comprimento. A presença e a ausência de quebras em um corredor determinam sua efetividade em relação às funções de barreira ou condutor (FORMAN; GODRON, 1986).

A eficiência de um corredor está diretamente ligada à largura desta unidade em uma paisagem, pois corredores mais largos favorecem o movimento de espécies de interior de mata (i. e., restritas às condições ambientais que existem nas áreas internas dos fragmentos). Dessa forma, corredores com largura superior a 100 m são considerados ideais, pois aumentam significativamente a riqueza de espécies numa determinada paisagem, ou seja, o aumento da riqueza de espécies nos corredores mais largos está diretamente relacionado com o aumento da porção de mata não sujeita à influência periódica das cheias (METZGER et al., 1987, 1998a e 1998b apud METZGER, 2003). Sendo assim, ao construir um corredor devem-se evitar os de menores larguras, que excluirão as espécies de interior de mata por competição entre estas e as espécies adaptadas a este tipo de habitat.

Apesar de ainda não haver dados científicos suficientes sobre a função de um corredor, acredita-se que eles tenham mais efeitos positivos do que negativos, sendo

assim melhor mantê-los, lembrando que conservar é muito menos custoso do que restaurar, e fragmentos conectados unicamente por corredores de baixa qualidade são mais vulneráveis à extinção local (METZGER, 2003).

Finalmente, a última unidade da paisagem e que controla toda dinâmica: a matriz (FORMAN, 1995). “Em geral essa unidade pode ser reconhecida por recobrir a maior parte da paisagem (i. e., sendo a unidade dominante em termos de recobrimento espacial), ou por ter maior grau de fragmentação” (METZGER, 2001). Ela pode ser definida primeiramente a partir de seu tamanho em área total quando comparada com os elementos manchas e corredores. Para tanto devem-se separar os elementos observados numa paisagem e somar suas áreas; a princípio, se houver uma grande diferença entre os tamanhos relativos, a área maior é que será a matriz (FORMAN; GODRON, 1986).

Na Mata Atlântica a paisagem da matriz varia significativamente, principalmente no interior do Estado de São Paulo onde é geralmente composta por pastagens e culturas agrícolas, sendo vista como algo inóspito. Porém, a paisagem nem sempre tem uma unidade dominante, podendo apresentar um mosaico bastante heterogêneo, considerando a matriz como um conjunto de unidades que compõem um mosaico inter-habitat. Dessa forma, a matriz seria formada por unidades com diferentes qualidades, algumas se assemelhando mais ao habitat e outras menos; portanto, a matriz não seria um ambiente totalmente inóspito, pois algumas das unidades que a compõem podem desempenhar um papel importante para as espécies do habitat (METZGER, 2003).

Cada unidade da paisagem pode ser caracterizada por sua permeabilidade aos fluxos biológicos, portanto quanto mais permeáveis as unidades da matriz, maior a conectividade da paisagem. Sendo assim, uma matriz pouco permeável possui baixa similaridade florística e fisionômica com ambientes de habitat, e uma matriz permeável possui alta similaridade com o habitat, podendo favorecer a manutenção de espécies, numa paisagem fragmentada (METZGER, 2003).

Todas as três unidades da paisagem desempenham papéis fundamentais no controle da dinâmica da paisagem, mas todo processo de sucessão ecológica dependerá das espécies de plantas e animais aptos a fornecerem propágulos em áreas onde já foram extintos (BROWN; BROWN, 1992), pois cada espécie percebe a estrutura

da paisagem de forma diferente em função da capacidade de dispersão, tolerância a ambientes alterados, e plasticidade alimentar e comportamental, ou seja, a maneira com que as espécies se locomovem na paisagem e interagem com seus elementos (fragmentos, corredores e matriz) (METZGER, 2003).

“A conservação da biodiversidade em fragmentos florestais é afetada pelo histórico de perturbações, tamanho, grau de isolamento, vizinhança e formato do fragmento”. Esses fatores podem apresentar relações estreitas com fenômenos biológicos que afetam a natalidade e mortalidade de plantas como, por exemplo, o efeito de borda, a deriva genética e as interações animal-planta. (VIANA et al., 1992; VIANA et al., 1997).

2.3 Conseqüências da fragmentação florestal

“A fragmentação e perda de habitat são processos intimamente relacionados” (LAURANCE; BIERREGAARD, 1997) e podem resultar, por conseqüência, na diminuição direta do número de indivíduos de uma população, favorecendo a perda da variação genética. A população remanescente então passa a ter um tamanho menor que o mínimo adequado para que o mesmo possa ter sua continuidade normal e evolução. Nessa população pequena pode ocorrer, em curto prazo, deriva genética, o que significa ter as freqüências de seus genes afastadas daquela da população original, inclusive chegando a perder alelos. Em prazo mais longo pode haver ainda um aumento da endogamia, decorrente da maior probabilidade de autofecundação e acasalamento entre indivíduos aparentados (KAGEYAMA; GANDARA, INGLEZ DE SOUZA, 1998).

Populações locais, isoladas de outras coespecíficas, são mais sujeitas a extinções. Entretanto, a chance de sobrevivência pode ser maior numa paisagem de fragmentos de habitats conectados por dispersão de indivíduos (HANSKI, 1997; 1998). Porém, ambientes fragmentados e isolados podem não ser suficientemente grandes para manter populações viáveis ou capazes de suprir todas as exigências necessárias para completar o ciclo de vida das espécies (NEWMARK, 1986; SOULÉ, 1987; WIENS, 1997).

A fragmentação florestal produz um mosaico de vegetação remanescente; e algumas das conseqüências são as alterações do microclima dentro e ao redor do remanescente e o isolamento das populações vegetais (SAUNDERS; HOBBS;

MARGULES, 1991). De acordo com Redford (1992), a preservação de florestas tropicais, como é o caso da Mata Atlântica, não se concretiza se a fauna florestal também não for preservada. Estudos comprovaram que a remoção de certos grupos de mamíferos resultou em grandes alterações na estrutura da vegetação (BROWN; HESKE, 1990 apud REDFORD, 1992). Polinização e dispersão de sementes são pontos críticos na fragmentação, pois eles afetam diretamente a reprodução e sucessão de plantas, e em espécies tropicais eles usualmente envolvem interações diretas com animais (SILVA; TABARELLI, 2000).

Ambientes antropicamente alterados, como pastagens, áreas agrícolas e matas secundárias, podem causar diferentes efeitos em biotas fragmentadas (STOUFFER; BIERREGAARD, 1995). Além disso, o valor da conservação de habitats fragmentados dependerá não somente de características, tais como a área dos fragmentos e seu isolamento, mas também de sua matriz, que influenciará a conectividade dos fragmentos, efeito de borda e outros fenômenos (WIENS, 1994).

Um dos efeitos mais evidentes oriundos do processo de fragmentação florestal é o efeito de borda, aumentando a permeabilidade das condições impostas pelo ecossistema periférico (ESTRADA; COATES-ESTRADA, 2002; HILL; CURRAN, 2001; TURNER 1996). Murcia (1995) define efeito de borda como uma zona ecótone, resultado da interação de ecossistemas, o florestal e o adjacente, separados por uma transição abrupta. Segundo Forman e Godron (1986), efeito de borda é definido como uma alteração na composição ou na abundância relativa de espécies na parte marginal do fragmento. Pode também ser definido como a influência que o meio externo tem sobre a área florestada em sua parte mais marginal, causando alterações físicas e estruturais. Este efeito resulta da combinação de fatores bióticos e abióticos que alteram as condições ambientais ao longo da borda do fragmento, comparadas ao seu interior (HANSEN; DI CASTRI, 1992).

Existem três tipos de efeitos causados pela ação da borda: abiótico, biótico direto e biótico indireto. Os efeitos abióticos envolvem alterações nas condições ambientais que resultam da proximidade de uma matriz estruturalmente dissimilar, os bióticos diretos envolvem alterações na distribuição e abundância de espécies causadas diretamente pelas condições físicas próximas da borda, e os efeitos bióticos indiretos, que envolvem

alterações nas interações das espécies, como a predação, parasitismo, competição, herbivoria, polinização e dispersão de sementes (MURCIA, 1995).

Alterações no fluxo de radiação, vento e água, podem ter sérios efeitos em remanescentes de vegetação nativa. O efeito mais óbvio da fragmentação da paisagem é ocasionado pela presença do vento (SAUNDERS; HOBBS; MARGULES, 1991). Os fragmentos são sujeitos ao aumento de exposição ao vento, que pode resultar em dano na vegetação (MOEN, 1974; GRACE, 1977) ou aumento na evapotranspiração, que reduz significativamente a umidade florestal, aumentando também sua dessecação (TRANQUILINI, 1979 apud SAUNDERS; HOBBS; MARGULES, 1991) (LOVEJOY et al., 1986). Pode ainda haver o aumento do depósito de sementes de espécies exóticas em distâncias consideráveis no interior do remanescente e ainda proporcionar a transferência de insetos e outros organismos contaminados (SAUNDERS; HOBBS; MARGULES, 1991). Murcia (1995) observou que mudanças na estrutura da floresta podem afetar a dinâmica de interação de espécies próximas à borda e cita o exemplo de uma planta invasora atrair insetos, podendo atrair pássaros e, por conseqüência, servir de atração para predadores e parasitas de ninhos. Assim, o efeito de borda sobre a disponibilidade de luz e a abundância de insetos, inicia uma série de efeitos-cascata, que cruzam o ecossistema por meio de interações interespecíficas.

O efeito de borda não é constante entre as diferentes faces de exposição do fragmento, pois ele apresenta elevada correlação com o histórico de perturbações do fragmento (VIANA et al., 1997) e apresenta resposta diferenciada para os vários taxa (LAURANCE et al., 1997).

Segundo Viana (1990), a forma é um indicativo de efeito de borda, pois os fragmentos de forma arredondada ou circular apresentam uma baixa razão borda/interior e essa razão indica a fração da área do fragmento que se encontra sob efeito de borda.

Com a maior percepção dos problemas ecológicos e ambientais, cresce o número de projetos que procuram entender processos de mudanças de forma cada vez mais detalhada. Este tipo de análise requer informações capazes de lidar, de forma flexível, com grandes massas de dados (SMITH et al., 1987). Os princípios da ecologia da paisagem, por exemplo, estão sendo cada vez mais utilizados no estabelecimento de

estratégias de conservação (MELO, 1993).

A Bacia do Rio Corumbataí apresenta com problemas ecológicos crescentes desde o início do século XIX, devido ao intenso desmatamento provocado pela implantação significativa de culturas agrícolas e pastagens (GARCIA, 2000), que alteraram a cobertura do solo na região, resultando na alta fragmentação das florestas, poucos fragmentos de cerrado (KOFFLER, 1993) e trechos inexistentes de matas ciliares (IPEF, 2001). Vale ressaltar a importância desta bacia, pois ela é responsável pelo abastecimento de água de quase todos os municípios da região, principalmente Rio Claro e Piracicaba, que possuem considerável densidade populacional.

Neste contexto, Lima (2000) constatou grande modificação na qualidade das águas do Rio Corumbataí após receber a contribuição de seus tributários e passar pelo município de Rio Claro, onde recebe grande parte de esgoto *in natura* e resíduos industriais. Segundo Branco e Rocha (1977), o lançamento de efluentes industriais aquecidos, tais como água de refrigeração de caldeiras e turbinas, provoca poluição térmica nos rios, podendo afetar diretamente a flora e a fauna aquáticas e, devido à diminuição da concentração de oxigênio dissolvido, agravar o problema de poluição.

Para a contribuição da proteção das águas dos rios, as matas ciliares são essenciais, pois interceptam e absorvem radiação solar, colaborando para a estabilidade térmica e evitando excessivos aquecimentos diurnos e resfriamentos noturnos. Constituem ecótonos entre zonas aquáticas e terrestres e mesmo corredores que conectam regiões e funcionam, em termos micrometeorológicos, absorvendo energia, evaporando a água, aumentando a umidade do local e diminuindo sua temperatura (FRITZSONS; MANTOVANI; RIZZI, 2005).

Estes aspectos, em conjunto, afetam diretamente a permanência de muitas espécies nativas na área, porém ainda ocorrem nesta bacia fragmentos florestais com áreas significativas de floresta nativa e cerrado, como é o caso da sub-bacia do Passa-Cinco e Alto Corumbataí, inseridas na Bacia do Corumbataí (VALENTE; VETTORAZZI, 2002).

De acordo com Koffler (1994), a altitude da Bacia do Rio Corumbataí varia de 470 m, na foz do Rio Corumbataí, a 1058 m, na Serra do Cuscuzeiro, em Analândia. Para condições de relevo (acima de 600 m), Santiago; Barros e Sylvestre (2004)

observaram riqueza específica encontrada em regiões serranas e presença de elementos característicos de vegetação herbácea, como algumas famílias e gêneros de pteridófitas. Ainda segundo os autores, o relevo ondulado, formando encostas, açudes e rios que cortam as matas e até mesmo as condições climáticas encontradas nas serras da área estudada, propiciam a existência de mata fechada, com dossel denso. Este tipo de ambiente pode ser comparado com o da Bacia do Corumbataí, porém esta possui uma matriz predominantemente agrícola, e que acaba em alguns locais descaracterizando áreas de Floresta Estacional Semidecidual, pertencente à área.

A Bacia do Rio Corumbataí originalmente foi coberta por Floresta Estacional Semidecidual (KOFFLER, 1993), sendo este considerado o ecossistema mais fragmentado e ameaçado do domínio de Mata Atlântica. Atualmente é representada por fragmentos moldados pelo isolamento, extração de madeira e incêndios, além dos reflexos das atividades agrícola, industrial e urbana (VIANA; TABANEZ, 1996).

Perdas de grandes proporções devidas, principalmente, às ações antrópicas, parecem ser maiores em países em desenvolvimento, onde as pressões exercidas pelo crescimento populacional humano são mais agudas (KRICHER, 1997).

Frente a essa perda de biodiversidade, são necessários estudos sobre a composição, levantamento e monitoramento da biodiversidade que, aliados a informações sobre a estrutura e função, formam a base sobre a qual planos de manejo e conservação devem ser traçados (MORITZ, 1994).

2.4 Instrumentos para o diagnóstico da fragmentação

Com o aumento da resolução das imagens dos satélites de observação da terra, o potencial de extração de informação fica muito ampliado atualmente. As imagens digitais obtidas por satélites e aeronaves representam formas de captura indireta da informação espacial. Armazenados como matrizes, cada elemento de imagem, denominado pixel, tem um valor proporcional à energia eletromagnética refletida ou emitida pela área da superfície terrestre correspondente (CÂMARA; MEDEIROS, 1998). Devido à natureza do processo de aquisição de imagens, os objetos geográficos ficam contidos na imagem, fazendo-se necessário o uso das técnicas de fotointerpretação ou de classificação digital para individualizá-los (CÂMARA; MEDEIROS, 1998).

A partir dessas imagens de satélite é possível calcular o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI), que é geralmente reconhecido como um índice confiável do vigor da cobertura vegetal. Para monitorar a vegetação, o NDVI é um dos índices mais usados, e tem como principais vantagens: 1) a simplicidade de cálculo; e 2) o alto grau de correlação com uma variedade de parâmetros de vegetação (HESS; STEPHENS; GRAHAM, 1996). Este índice tem sido extensivamente usado para inferir qualitativamente alterações na resposta da vegetação ao período chuvoso em regiões sazonalmente áridas (LAMBIN et al., 1993).

O NDVI pode também ser utilizado para determinar a densidade de verde em fragmentos, através de diferentes comprimentos de onda de luz do vermelho e do infravermelho próximo. Pesquisadores medem a intensidade de luz vinda da terra nos comprimentos de onda visível e infravermelho próximo e quantificam a capacidade fotossintética da vegetação em um dado pixel de superfície da terra (<http://earthobservatory.nasa.gov/>, 2005). O vermelho é inversamente proporcional à quantidade de fitomassa verde e o infravermelho próximo é diretamente relacionado à fitomassa verde, sendo que o NDVI relaciona estas duas variáveis de forma inversa, para obter um valor diretamente proporcional à fitomassa verde, e normalizado, ou seja os valores variam sempre de -1 até 1 (BITENCOURT-PEREIRA, 1986).

Para determinar a extensão e influência espacial da posição da paisagem frente ao impacto de perturbações naturais e antrópicas, deve-se compreender a escala física dos processos que influenciam tais impactos ecológicos em grande extensão (MILLWARD; KRAFT, 2004). Desse modo, o manejo de paisagens poderá ser auxiliado por instrumentos como o SIG, no apoio ao processo de tomada de decisões complexas que envolvem muitos fatores espacialmente distribuídos (FERRAZ; VETTORAZZI, 2003).

Mesquita Junior (2006) identificou, no Parque Estadual do Vassununga, SP, as classes fisionômicas espectral e sazonalmente, construindo um mapa com áreas de probabilidade de ocorrência de fitofisionomias através da utilização de imagens NDVI do período de estiagem, pré-estiagem e de chuvas, com o objetivo principal de calibrar as assinaturas espectrais das fisionomias do cerrado sazonalmente e fornecer subsídios para o manejo e conservação dos remanescentes da gleba Pé-de-Gigante.

Utilizando estes instrumentos, a execução do trabalho pode estar no nível de um ecólogo do campo com somente o mínimo requerido de equipe de funcionários dedicada à tecnologia de informação (STALMANS; ROBINSON; BALKWILL, 2001), aumentando cada vez mais a disponibilidade de métodos para armazenar, recuperar e analisar dados espaciais (GARDNER; TURNER, 1991). Muitos resultados de pesquisas que envolvem o NDVI sugerem que tal procedimento se transformará num instrumento extremamente útil para os ecólogos terrestres que querem compreender melhor o funcionamento da dinâmica e distribuição da vegetação que afetam a diversidade, história de vida, padrões do movimento e a dinâmica das populações animais (PETTORELLI et al., 2005).

2.5 Análise da estrutura da paisagem

A análise de paisagens é normalmente realizada por meio de indicadores conhecidos como métricas da paisagem, as quais possibilitam a quantificação da composição e configuração dessas paisagens e têm sido empregadas para caracterizações quantitativas, pois permitem a comparação entre paisagens, a identificação das principais diferenças e a determinação das relações entre os processos funcionais e padrões das paisagens (TURNER; GARDNER, 1990). Segundo McGarigal e Marks (1995), a composição refere-se às feições associadas à presença ou à ausência dos elementos na paisagem, enquanto que a configuração está relacionada à distribuição física desses elementos na paisagem.

De acordo com Baskent e Jordan (1995), a mensuração da paisagem é um processo hierárquico, envolvendo várias medidas estruturais de florestas em várias escalas. Métricas podem ser tanto em grande escala, em nível de fragmento, como em pequena escala, em nível florestal global.

Na análise da estrutura espacial em nível de fragmento, as métricas são limitadas, identificando e caracterizando propriedades espaciais de fragmentos individualmente, principalmente quanto à forma e ao tamanho (BASKENT; JORDAN, 1995). Um fragmento é definido como uma unidade espacial distinta, representando uma pequena área, uma grande área, uma porção estreita, ou uma área contínua definida espacialmente, que tem características espaciais distintas a partir de elementos que o cercam (WIENS, 1976).

Os limites que determinam os fragmentos são arbitrários e significativos somente quando referenciados a um fenômeno particular em escala apropriada (WIENS, 1989). Por exemplo, na análise em nível de fragmento, medida de tamanho é a área total ocupada pelo fragmento. Medida de área nuclear é a área interna de um fragmento não sujeita ao efeito de borda (Mc GARIGAL; MARKS, 1995).

Na avaliação de características sobre a estrutura dos fragmentos, a análise relacionada a certos parâmetros físicos dos fragmentos é de extrema importância para um bom diagnóstico local. Por exemplo, a análise do tamanho, borda, contraste, vizinhança, forma, área nuclear e proximidade em fragmentos florestais. Informações somente sobre o tamanho do fragmento poderiam ser utilizadas em modelos de riqueza de espécies, ocupação e padrões de distribuição de espécies em uma paisagem, dando relações empíricas apropriadas, derivadas de estudos de campo. Como exemplo, a riqueza de espécies de aves e ocorrência e abundância de muitas espécies, são fortemente correlacionadas com o tamanho do fragmento (ROBBINS et al., 1989 apud Mc GARIGAL; MARKS, 1995).

O contraste de borda entre um fragmento e sua vizinhança também pode influenciar um número de importantes processos ecológicos (FORMAN; GODRON, 1986). Alterações microclimáticas provavelmente afetarão mais fragmentos com alta estrutura de contraste do que os com baixa estrutura de contraste (RANNEY et al., 1981 apud Mc GARIGAL; MARKS, 1995). O grau de contraste entre um fragmento de habitat local e a paisagem circundante pode influenciar padrões de dispersão e sobrevivência e, então, afetar indiretamente o grau de isolamento do fragmento. O limite entre os fragmentos pode funcionar como uma barreira para movimentação, uma membrana de permeabilidade diferencial que facilita muitos processos ecológicos, mas impede outros, ou como uma membrana semipermeável que parcialmente prejudica o fluxo biológico (HANSEN; DI CASTRI, 1992). O alto contraste de borda pode inibir e impedir muitos organismos de buscar recursos suplementares em fragmentos ao redor. Inversamente, muitas espécies parecem preferir a justaposição de tipos de fragmentos com alto contraste, como um processo de complementação da paisagem (DUNNING; DANIELSON; PULLIAM, 1992). Em nível de fragmento, índice de contraste de borda mede o grau de contraste entre um fragmento e sua vizinhança imediata. Cada

segmento do perímetro do fragmento é ponderado através do grau de contraste com o fragmento adjacente (Mc GARIGAL; MARKS, 1995).

A forma de um fragmento pode influenciar muitos processos importantes em uma paisagem fragmentada como a rápida diminuição da área nuclear do fragmento, quando a sua forma se torna muito irregular (RANTA et al., 1998). Segundo Saunders; Hobbs e Margules (1991), a forma é somente importante para pequenas áreas. Já os efeitos relacionados à forma do fragmento sobre a diversidade biológica e sustentabilidade da floresta podem ser tão marcantes como os do tamanho. No entanto, o principal significado da forma na determinação da natureza dos fragmentos numa paisagem, parece ser relacionado com o efeito de borda, pois os fragmentos de forma arredondada ou circular apresentam uma baixa razão borda/interior, tendo, por conseguinte, uma menor fração da área do fragmento que se encontra sob o efeito de borda, ou seja, menor efeito de borda (VIANA, 1990).

A área nuclear tem sido considerada o melhor prognóstico de qualidade de habitat quando comparado à área total dos fragmentos (TEMPLE, 1986 apud Mc GARIGAL; MARKS, 1995). Diferentemente da área do fragmento, a área nuclear é afetada pela forma do fragmento, e enquanto um fragmento pode ser grande o suficiente para suportar uma dada espécie, ele pode não conter área nuclear suficiente para suportar espécies. Área nuclear é definida como a área interna de um fragmento que não sofre efeito de borda (Mc GARIGAL; MARKS, 1995) e diminui rapidamente com o aumento da borda (RANTA et al., 1998). Segundo Stevens e Husband (1998), espécies que dependem das condições exclusivas do interior da mata perdem seus habitats pela expansão da borda ao interior do remanescente.

Cada espécie, em função de suas capacidades de deslocamento através da paisagem, de suas exigências de habitats específicos e de suas interações com outras espécies, tende a perceber a paisagem numa determinada escala, ou seja, espécies com pequena capacidade de dispersão ou deslocamento vão perceber a paisagem num contexto mais local, ao contrário de espécies com maior capacidade de deslocamento, que tenderão a perceber a paisagem num contexto mais amplo; ou ainda espécies com habitats muito especializados que tenderão a ver a paisagem com um grau maior de detalhamento em relação a espécies mais generalistas (METZGER, 2001).

Para algumas espécies, a distância entre fragmentos remanescentes influencia diretamente na capacidade de colonização de espécies em outros remanescentes florestais (SAUNDERS; HOBBS; MARGULES, 1991). Os resultados de dinâmica de populações de plantas e animais locais em um fragmento sugerem ser influenciados pela sua proximidade a outras sub-populações de mesma espécie ou espécies competitivas. A distância entre fragmentos pode influenciar importantes processos ecológicos e pode ser definida como a distância de um fragmento em relação ao fragmento vizinho mais próximo de mesmo tipo, baseado em distância borda a borda. Proximidade considera o tamanho e grau da distância de todos fragmentos, tendo a borda dentro de um raio especificado de busca de um fragmento focal. O índice de proximidade quantifica o contexto espacial de um fragmento de habitat na sua relação com os seus vizinhos; especificamente, o índice distingue escassez de distribuições de pequenos fragmentos de habitat, a partir de configurações onde o habitat forma um complexo agrupamento de grandes fragmentos (McGARIGAL; MARKS, 1995).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Área de estudo

O estudo foi realizado na Bacia do Rio Corumbataí, localizada na porção centro-leste do Estado de São Paulo, aproximadamente entre os paralelos 22°04'46" S e 22°41'28" S e os meridianos 47°26'23" W e 47°56'15" W (Figura 1).

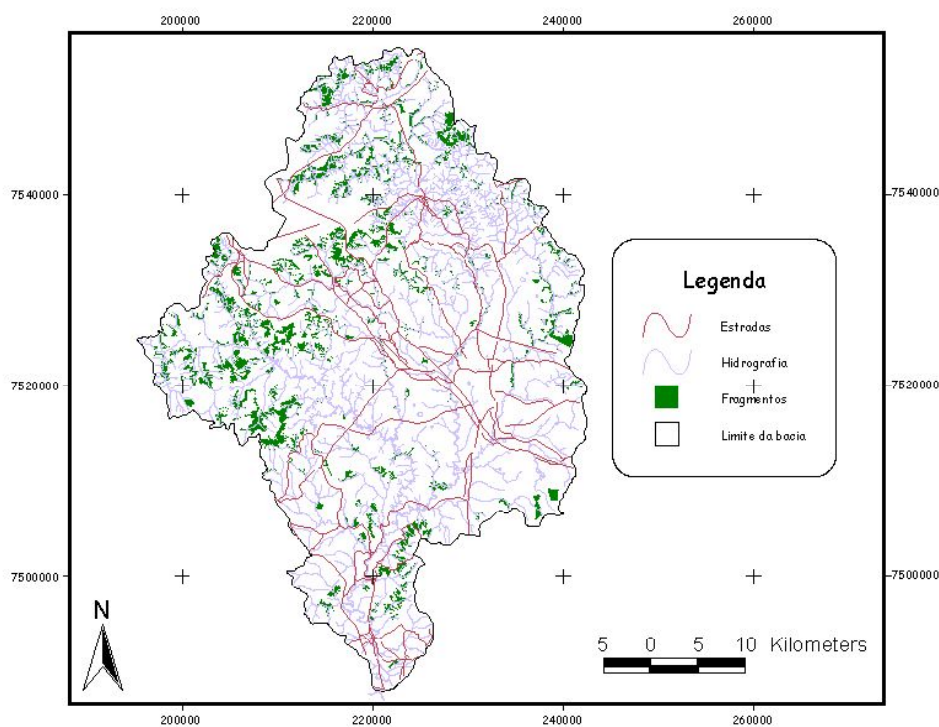


Figura 1- Mapa da localização dos remanescentes florestais da Bacia do Rio Corumbataí. Sistema de projeção Universal Transversa de Mercator - fuso 23S ; Datum Córrego Alegre

A Bacia do Corumbataí possui uma área aproximada de 170.775 hectares, sendo tradicionalmente dividida em cinco sub-bacias (Alto Corumbataí, Médio Corumbataí, Ribeirão Claro, Passa-Cinco e Baixo Corumbataí) e drena total ou parcialmente os municípios de Corumbataí, Ipeúna, Santa Gertrudes, Rio Claro, Analândia, Itirapina, Charqueada e Piracicaba.

A bacia localiza-se predominantemente na Depressão Periférica Paulista e posiciona-se na unidade intracratônica denominada Bacia Sedimentar do Paraná, mais

precisamente na sua porção nordeste, aflorando neste setor litologias que datam do Cenozóico, Mesozóico e Paleozóico (SILVA, 2001).

No Cenozóico predominam as areias, argilas e cascalhos e arenitos, argilitos e conglomerados relativos à formação Rio Claro e Coberturas Indiferenciadas. Do Mesozóico prevalecem areias, folhelhos e conglomerados da Formação Itaqueri, pertencente ao Grupo Bauru; derrames basálticos e diabásios da Formação Serra Geral (*Cuestas*) e arenitos e arenitos conglomeráticos provenientes das Formações Botucatu e Pirambóia, todas pertencentes ao Grupo São Bento. Já no Paleozóico, dominam os argilitos e siltitos da Formação Corumbataí e os folhelhos e calcáreos dolomíticos da Formação Irati pertencentes ao Grupo Passa Dois e os siltitos e arenitos, advindos das formações Tatuí e Itararé, pertencentes ao Grupo Tubarão (BACCI, 1994 apud SILVA, 2001).

No contexto da Bacia do Paraná, afloram na região várias unidades estratigráficas da bacia, devido ao caráter marginal da localização. Assim, se fazem presentes: o Subgrupo Itararé e as Formações Aquidauana e Tatuí, do Grupo Tubarão; e as Formações Irati e Corumbataí, do Grupo Passa Dois; as Formações Pirambóia, Botucatu e Serra Geral, do Grupo São Bento; rochas intrusivas associadas ao derrame, da Formação Serra Geral, e diferentes tipos de coberturas Cenozóicas, como a Formação Rio Claro, sobre a qual situa-se o perímetro urbano do município de Rio Claro (BONOTTO; MANCINI, 1992).

Segundo Penteado (1976), o setor drenado pelo Rio Corumbataí, apresenta desníveis que vão de 200 m a 300 m em relação às escarpas arenito-basálticas situadas ao norte (região de Analândia e Morro Grande) e a oeste (Serra de Itaqueri; Serra de Santana e Morro Grande), cujas cotas ficam entre 800 m e 1000 m de altitude e integram a região da Alta bacia. Essas escarpas constituem-se nos principais nichos de nascentes dos rios vinculados à bacia. A Média bacia, também relacionada às *Cuestas* e à Depressão Periférica, apresenta relevo pouco acidentado, com desníveis de 20 m a 50 m, com topos de interflúvios entre 550 m e 650 m, onde predominam vertentes convexas e retilíneas. As variações da altitude neste setor da bacia não vão além de 100 m e, excepcionalmente quando ocorrem, estão relacionadas a intrusões de basalto (*Cuestas*) vinculadas à formação Serra Geral.

O Rio Corumbataí, afluente da margem direita do Rio Piracicaba, nasce na Serra de Santana, no município de Analândia, a 800 m de altitude, percorrendo aproximadamente 120 Km. No alto curso, o Corumbataí é encachoeirado e corre em vales estreitos e profundos. Ao cortar o município de Rio Claro, que é o médio curso, o declive é pequeno, ou seja, dois metros por quilômetro. Os vales são abertos e o rio descreve curvas e meandros, diminuindo assim, a velocidade das águas, tornando-o um rio mais caudaloso e lento, com fracas espaciais rupturas topográficas no seu leito (TROPMAIR, 1992). Já no seu baixo curso, o Rio Corumbataí apresenta um canal de sinuoso a retilíneo, com vales abertos, o que lhe permite retomar sua característica inicial de maior velocidade. Tais características favorecem a sedimentação, o assoreamento e o aumento da poluição, já que não há características naturais que favorecem o processo aeróbio da água, principalmente no médio e baixo cursos, áreas onde se manifestam de forma mais evidente (SILVA, 2001).

O clima na Bacia do Rio Corumbataí é do tipo Cwa, na classificação de Köppen, isto é, subtropical com inverno seco e verão chuvoso, e temperatura média do mês mais quente maior que 22°C. O período de dezembro a março concentra as temperaturas mais altas, e o bimestre junho-julho apresenta as temperaturas mais baixas, com a média de 17°C (SALATI, 1996). O regime de chuvas pode ser caracterizado como tropical, com duas estações bem definidas: seca, de março a setembro, quando chove apenas 20% do total, e chuvosa, de outubro a fevereiro, concentrando 80% da precipitação anual (TROPMAIR; MACHADO, 1974).

Segundo Viadana (1985), os solos da área são em geral pobres, não somente pela fertilidade original, mas pelo uso inadequado dos mesmos durante anos, caracterizando-se principalmente pela textura arenosa.

Os solos predominantes na bacia são os Podzólicos Vermelho-Amarelos (43,46%) e os Latossolos Vermelho-Amarelos (21,58%), como pode ser observado na Figura 2 e na Tabela 1.

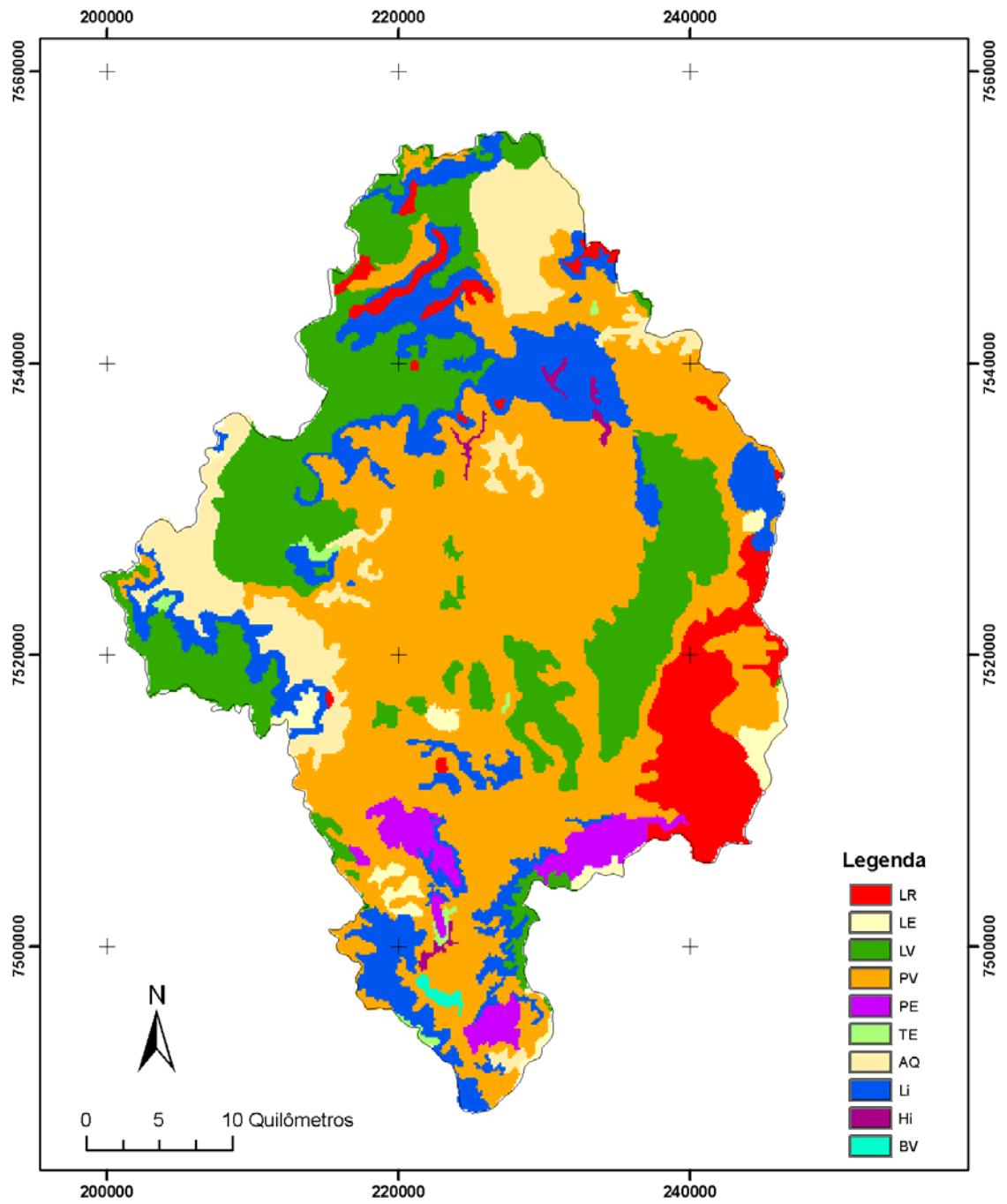


Figura 2 – Classes de solo presentes na Bacia do Rio Corumbataí.

Fonte: IPEF (2001)

Tabela 1 - Classes de solo presentes na Bacia do Rio Corumbataí. Fonte: IPEF (2001)

Classe de Solo	Área	
	(ha)	(%)
Podzólico Vermelho-Amarelo (PV)	74.219,07	43,46
Latossolo Vermelho-Amarelo (LV)	36.853,37	21,58
Litólico (Li)	23.601,19	13,82
Areia Quartzosa (AQ)	15.130,72	8,86
Latossolo Roxo (LR)	11.476,12	6,72
Podzólico Vermelho-Escuro (PE)	4.764,64	2,79
Latossolo Vermelho-Escuro (LE)	3.039,81	1,78
Terra Roxa Estruturada (TE)	700,18	0,41
Solos Hidromórficos (Hi)	683,10	0,40
Brunizem Avermelhado (BV)	307,40	0,18
Total	170.775,60	100,00

Com base na primeira ordem do Novo Sistema de Classificação de Solos Brasileiros (EMBRAPA, 1999), os solos apresentados anteriormente enquadram-se nas seguintes ordens: Latossolos (LR, LE e LV); Argissolos (PV e PE); Nitossolos (TE); Neossolos (AQ e Li); Gleissolos (Hi) e Chernossolos (BV). Assim, a bacia do Rio Corumbataí apresenta 46,21% de sua área constituída por Argissolos; 30,14% por Latossolos; 22,66% por Neossolos; 0,41% por Nitossolos; 0,40% por Gleissolos; e 0,18% por Chernossolos.

Quanto à vegetação, Rodrigues (1999) destaca cinco tipos de formações vegetais naturais na bacia: floresta estacional semidecidual; floresta ripária; floresta paludosa, floresta estacional decídua; e cerrado. Atualmente a bacia apresenta uma cobertura predominante de pastagem (42,37%), seguida de cana-de-açúcar (27,8%), reflorestamento (5,7%), floresta semidecídua (11,3%) e cerrado (0,7%) (VALENTE, 2005).

3.2 Base cartográfica

O banco de dados do Laboratório de Geoprocessamento do Departamento de Engenharia Rural, da ESALQ/USP, contém os mapas digitais do Projeto Corumbataí (IPEF, 2001), com resolução espacial de 20 m, e sistema de projeção Universal Transversa de Mercator (UTM) - fuso 23S, tendo por base o Datum Córrego Alegre:

- O Modelo Digital de Terreno (MDT) foi extraído da base cartográfica produzido para a Bacia do Piracicaba (Projeto PiraCena, 2000), com base em cartas planialtimétricas, 1:50.000, ano de 1969 (IBGE, 1969).
- O mapa de estradas foi digitalizado (em tela) com base em um mosaico de imagens digitais orbitais da área de estudo do ano de 1999.
- A rede hidrográfica, digitalizada (via mesa digitalizadora) com base nas cartas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), na escala de 1:50.000, do ano de 1969 e complementada com digitalização em tela tendo por base um mosaico de imagens digitais orbitais, da área de estudo, do ano de 1999.
- O mapa de uso e cobertura do solo foi cedido por Valente (2005) e produzido pela análise de imagens de satélite LANDSAT, sensor TM, do dia 02 de setembro de 1999, e sensor ETM+, do dia 17 de agosto de 2002, com resolução de 30 metros.

3.3 Mapeamento dos fragmentos da bacia

Os fragmentos florestais foram extraídos do mapa de uso e cobertura do solo por meio do software Idrisi, selecionando-se apenas os fragmentos de floresta nativa. Posteriormente o mapa já classificado foi exportado para o software ArcView para executar os cálculos referentes ao presente estudo.

A maioria dos fragmentos menores que 20 ha, de acordo com uma análise prévia, estava sob forte efeito de borda, fato que não retira o seu valor para conservação, pois sabe-se da importância desses pequenos fragmentos como “stepping stones”, em uma paisagem antropizada, pois são utilizados como refúgio para a fauna, tornando esses fragmentos menos resistentes aos fluxos biológicos (METZGER, 2001). Porém, a exclusão dos mesmos foi pertinente para uma análise mais detalhada dos fragmentos de áreas mais significativas.

Para Bierregaard e Dale (1996), o tamanho mínimo de um fragmento de floresta que sustenta uma proporção considerável de espécies florestais (com exceção de grandes mamíferos) é de 100 ha. Ainda neste sentido, de acordo com Saunders; Hobbs e Margules (1991), remanescentes de área reduzida apresentam padrões frágeis de sustentabilidade ao longo do tempo, e Stouffer e Bierregaard Junior (1995) relatam que eles não têm a capacidade de proteger a diversidade biológica. Sendo assim, pequenos fragmentos apresentam o risco de não se manter na área por muito tempo, tal a intensidade do efeito de borda a que estão sujeitos.

Em estudos realizado por Fleury e Galetti (2006), analisando três microhabitats diferentes (interior, borda e clareira) em oito fragmentos de Floresta Semidecídua no Estado de São Paulo, com a área de 9,5 a 33 mil ha, foi constatado que em fragmentos menores de 100 ha não houve interação animal-plantas nos diferentes microhabitats estudados.

A Figura 3 mostra a distribuição de tamanho de todos os fragmentos existentes na bacia. O gráfico foi utilizado para a diferenciação do tamanho mínimo considerado (20 ha) no estudo, procurando reduzir o número total de fragmentos. A retirada dos fragmentos menores que 20 ha resultou em 163 fragmentos, os quais foram considerados para as análises propostas.

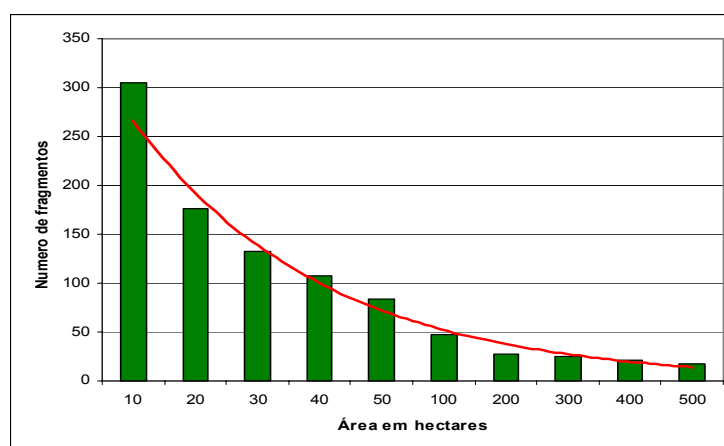


Figura 3 – Distribuição do número de fragmento por classe de tamanho para a Bacia do Corumbataí

3.4 Caracterização estrutural e física dos fragmentos em nível de paisagem

A caracterização estrutural consistiu de uma análise da paisagem realizada com o auxílio do software FRAGSTATS (McGARIGAL; MARKS, 1995) em fragmentos de floresta nativa (total de 163 fragmentos), utilizando-se seis métricas da paisagem descritas a seguir. Quanto à caracterização física, esta foi realizada com o auxílio do software ArcView, com base no valor médio dos pixels no polígono dos fragmentos, dos mapas representando os fatores físicos. O aspecto qualitativo da condição da vegetação (vigor) dentro de cada fragmento foi verificado por meio do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) médio em cada fragmento florestal.

3.4.1 Caracterização estrutural dos fragmentos em nível de paisagem

Utilizando o software FRAGSTATS, para cada fragmento analisado foram calculadas as seguintes métricas da paisagem:

- **Área (Area)**

Essa métrica quantifica a área em hectares. Informações somente sobre o tamanho do fragmento poderiam ser utilizadas para modelos de riqueza de espécies, ocupação e padrões de distribuição de espécies em uma paisagem (ROBBINS et al., 1989; Mc GARIGAL; MARKS, 1995).

$$\text{Area} = a_j \left(\frac{1}{10000} \right), \quad (1)$$

sendo:

j = nº do fragmento

a_j = área do fragmento j , em m^2

A escala da área é limitada pelo tamanho do pixel e pela extensão da imagem. Pode também ser limitada pela especificação de um tamanho mínimo do fragmento que é maior que o tamanho do pixel.

- **Perímetro (Perimet)**

O perímetro pode ser relacionado ao grau do efeito de borda encontrado em um fragmento florestal, pois efeito de borda pode ser indexado utilizando a razão

perímetro/área do fragmento. Em nível de fragmento, borda é uma função de perímetro do fragmento.

$$\text{Perimet} = p_j \quad , \quad (2)$$

sendo:

p_j = perímetro do fragmento j , em metros

• Índice de contraste de borda (Contr)

Em nível de fragmento, o índice de contraste de borda mede o grau de contraste, em porcentagem, entre um fragmento e sua vizinhança imediata (Mc GARIGAL; MARKS, 1995).

Contr = 0 quando todo segmento do perímetro do fragmento envolve tipos de fragmentos adjacentes. Contr = 100 quando o total do perímetro do fragmento é o máximo contraste de borda ($d=1$). Contr < 100 quando uma porção do perímetro do fragmento é menor que o contraste máximo de borda ($d<1$).

$$\text{Contr} = \frac{\sum_{k=1}^{m'} (p_{j,k} * d_{j,k})}{p_j} (100) \quad , \quad (3)$$

sendo:

p_j = perímetro do fragmento j , em m

p_{jk} = comprimento de borda do fragmento j adjacente para o tipo de classe (k) correspondente

(d_{jk}) = peso do contraste de borda entre os tipos de fragmento j e k

$m' = n^2$ de classes vizinhas ao fragmento

k = tipo de classe

De acordo com essa métrica, é necessário estabelecer uma escala de pesos para as diferentes classes de uso do solo que fazem parte da bacia e fazem a divisa com os 163 fragmentos florestais em estudo. No Anexo B encontra-se uma tabela com os critérios utilizados para o estabelecimento dos pesos que são apresentados na Figura 4.

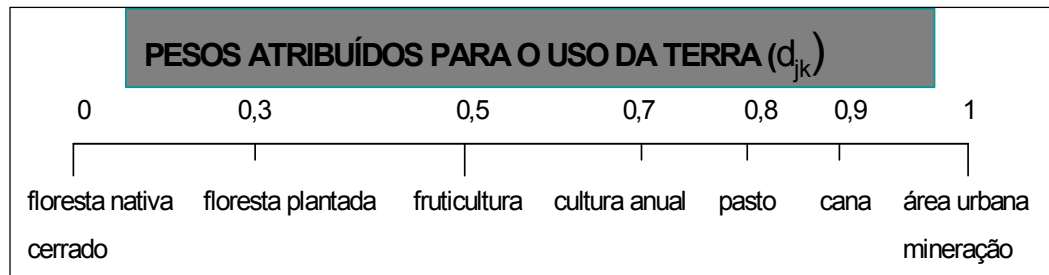


Figura 4 - Escala de pesos para diferentes classes de uso do solo quanto ao contraste de borda

• Índice de forma (Forma)

Índice de forma mede a complexidade da forma do fragmento, comparada à forma padrão (Mc GARIGAL; MARKS, 1995). Na versão raster do software FRAGSTATS, este índice é avaliado com o padrão quadrado.

$$\text{Forma} = \frac{p_j}{2\sqrt{\pi * a_j}}, \quad (4)$$

sendo:

p_j = perímetro do fragmento j , em m

a_j = área do fragmento j , em m^2

Forma = 1 quando o fragmento é circular (vetorial) ou quadrado (raster) e aumenta sem limite quanto mais irregular for a forma do fragmento.

• Área nuclear (A_{nucl})

Representa a área interior do fragmento (em hectares). Área nuclear é definida como a área interna de um fragmento, que não sofre efeito de borda (Mc GARIGAL; MARKS, 1995). Para este estudo considerou-se a faixa de borda como 50 metros.

$$A_{nucl} = ac_j \left(\frac{1}{10000} \right), \quad (5)$$

sendo:

j = nº do fragmento

ac_j = área nuclear (m^2) do fragmento j baseado na largura da faixa a partir da borda, em m

$A_{nucl} = 0$ quando toda posição dentro do fragmento está dentro de uma distância especificada de borda para o perímetro do fragmento (largura da borda).

- **Distância ao vizinho mais próximo (V_{prox})**

Esta medida descreve o isolamento do fragmento, tomando-se como base a sua mínima distância em relação aos demais.

$$V_{prox} = hj , \quad (6)$$

sendo:

hj = distância em metros para o fragmento vizinho mais próximo, baseado na menor distância borda à borda

3.4.2 Caracterização física dos fragmentos

A representação das variáveis físicas da bacia foi feita por meio de mapas no formato raster, sendo descritos a seguir:

- **Distância às estradas ($Dist_{estr}$)**

Utilizando um operador de distância, no software ArcView, foi calculada a distância dos pixels (em metros) de cada fragmento de floresta até as estradas. A utilização desta variável é útil para avaliar a probabilidade de interferência humana, já que a proximidade de estradas tende a prejudicar a conservação dos fragmentos.

- **Distância à rede hidrográfica ($Dist_{hidr}$)**

Utilizando um operador de distância, no software ArcView, foi calculada a distância dos pixels (em metros) de cada fragmento de floresta até a rede hidrográfica. Fragmentos próximos aos rios tendem a apresentar melhor estado de conservação, devido à maior disponibilidade de água, mas, por outro lado, também podem sofrer interferência humana devido às atividades como pesca ou caça, ficando mais suscetíveis ao fogo, que pode ser utilizado nestas atividades (acampamentos).

- **Distância às áreas urbanas (Dist_urb)**

Utilizando um operador de distância, no software ArcView foi calculada a distância dos pixels (em m) de cada fragmento de floresta até a mancha urbana mais próxima, no mapa da bacia. Por meio desta variável é possível verificar se a interferência humana nas proximidades das cidades está desfavorecendo a conservação dos fragmentos florestais, pois neste caso, estes podem ficar mais vulneráveis ao fogo, animais domésticos, caça, desmatamento, invasões, etc. Modificando, assim, o grau de conservação dos fragmentos florestais.

- **Altitude (Altit)**

A altitude (em m) foi extraída do Modelo Digital do Terreno (MDT). A Bacia do Corumbataí apresenta um relevo bem diferenciado, localizando-se em maior parte na Depressão Periférica entre as *Cuestas* de Arenito (altitudes elevadas). No entanto, relacionar as altitudes com a conservação dos fragmentos pode ser muito importante, pois geralmente as florestas localizadas na faixa de altitude em que a Bacia do Corumbataí se encontra, possuem maior estratificação entre as diferentes fisionomias da Mata Atlântica. A estrutura dessa mata possui variações dependentes das condições específicas de cada área, mas em muitas formações as maiores árvores atingem até 40 metros, e o dossel superior encontra-se entre 25 e 30 metros. (<http://www.ibama.gov.br>, 2006). A existência de gradientes ambientais, como o aumento da precipitação ou a diminuição da temperatura com a altitude, pode acarretar em diferentes respostas das espécies a essa variação, podendo conter variações significativas no perfil das espécies que colonizam fragmentos de maior altitude.

- **Declividade (Decl)**

A declividade (em porcentagem) foi derivada do Modelo Digital do Terreno. É uma variável importante a ser estudada, pois as declividades na Bacia do Corumbataí variam de planas a muito íngremes (IPEF, 2001).

Há como pressuposto que em áreas mais declivosas a conservação dos fragmentos é mais evidenciada, pelo difícil acesso e também por serem consideradas Áreas de Proteção Permanente (APPs) quando a declividade excede a 100%. Dessa

forma essa investigação é importante, já que as APPs são protegidas por Lei Federal.

- **Precipitação (Chuva)**

Utilizando dados do Projeto PiraCena (<http://www.cena.usp.br>, 2005), foi possível obter informações dos principais postos pluviométricos próximos à bacia.

Foi realizada a soma total anual de cada posto pluviométrico (Anexo A), para obtenção do valor de precipitação total média dos postos até o ano de 1993. Após isso foram interpolados os valores totais no mapa da bacia utilizando o método do inverso do quadrado da distância. É importante relacionar os fragmentos florestais à pluviosidade para entender o comportamento da fitomassa florestal diante das chuvas ao longo desta bacia, e a relevância ou não desta variável em estudo.

- **Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI)**

Para o cálculo do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) (ROUSE et al., 1973) foram utilizadas imagens do satélite Landsat nas faixas espectrais do vermelho (TM-3) e do infravermelho próximo (TM-4), transformadas em imagem NDVI. Este índice vem sendo apontado como um bom indicador de vegetação viva (GAMON et al., 1997), ou seja, relaciona-se com o vigor da vegetação (qualitativamente), e pode ser inferido através da seguinte fórmula:

$$NDVI = \frac{TM4 - TM3}{TM4 + TM3}, \quad (7)$$

sendo:

TM3 = banda 3 do sensor TM, referente à faixa do vermelho

TM4 = banda 4 do sensor TM, referente à faixa do infravermelho próximo

Pelo fato do NDVI estar relacionado à qualidade da fitomassa florestal, este índice foi considerado como variável-chave, pois apresenta um alto grau de correlação com uma variedade de parâmetros de vegetação (HESS et al., 1996). Sendo assim, o presente estudo foi focado em função da relação deste índice com as demais variáveis físicas e estruturais aqui descritas.

3.4.3 Variação de área dos fragmentos de 1999 em relação a 2002 (Var_Area)

Devido ao banco de dados deste estudo já apresentar mapas dos fragmentos florestais do ano de 1999 e também de 2002, foi possível analisar a relação entre os fragmentos de ambos os mapas, ou seja, aqueles fragmentos que se mostraram correspondentes (n=74 fragmentos) foram analisados quanto ao aumento ou perda de área florestal. Feito isso, foi realizada a subtração da área dos fragmentos para constatação da alteração:

$$\text{Var_Area} = \text{frag1999} - \text{frag2002}, \quad (10)$$

Esta subtração verifica onde houve aumento ou perda da vegetação no referido período. Se o número for positivo houve uma diminuição de vegetação no fragmento, se negativo, aumento.

3.4.4 Cálculo da média dos pixels dos mapas de variáveis físicas em relação aos fragmentos da bacia

Para extrair os valores médios dos pixels dos fragmentos da Bacia em relação a todas as variáveis físicas e seus respectivos mapas descritos anteriormente, foi utilizada uma função de estatística zonal no ArcView, relacionando o mapa dos fragmentos da Bacia a cada mapa de variável física. Este procedimento possibilitou o cruzamento de mapas em formato shape/grid, que resultou em valores médios dos pixels dos fragmentos da Bacia em relação a cada variável, ou seja, de nove mapas de variáveis físicas foi possível a criação de um banco de dados dos fragmentos, tendo como atributo os valores médios de cada fragmento em relação a cada mapa. A Figura 5 explica resumidamente os passos e comandos utilizados no trabalho.

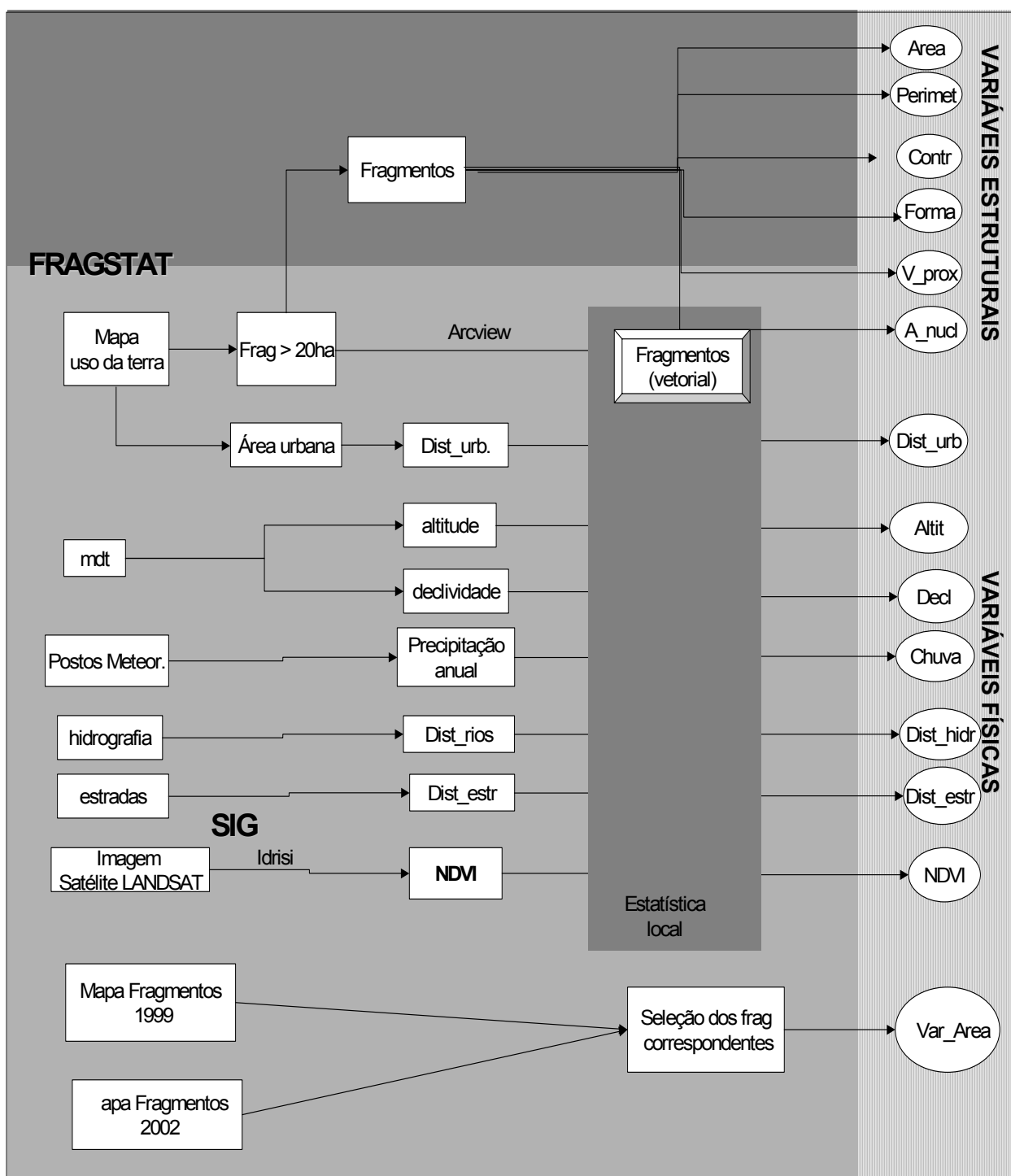


Figura 5 – Esquema geral da metodologia utilizada para a caracterização estrutural e física dos fragmentos estudados

3.5 Análise estatística

3.5.1 Análise de agrupamento

Após a caracterização física e estrutural dos fragmentos foi realizada uma análise para reunir em grupos os fragmentos com características semelhantes.

Para tal utilizou-se a análise de agrupamento (método de ligação pela distância média de Pearson), com o auxílio do software MINITAB 14.

3.5.2 Análises de correlação

Para a realização da análise de correlação as variáveis foram normalizadas por meio de transformação de Box-Cox (Anexo C).

Foram realizadas as análises de correlação de Pearson entre as variáveis físicas e estruturais calculadas e as seguintes variáveis:

(a) Valores de NDVI médio (NDVI);

(b) Variação da área dos fragmentos de 1999 em relação a 2002 (Var_Area).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Caracterização da estrutura dos fragmentos no contexto de paisagem

Área (Area): Indicou grande variação entre os fragmentos da bacia, apresentando um desvio padrão muito elevado em relação à média estimada (Tabela 2). Apresentou baixo número (34) de fragmentos maiores que 100 hectares, destacando a presença do fragmento 202 como sendo o maior fragmento encontrado em análise, com área de 1167 ha. Segundo Stouffer e Bierregaard Junior (1995), esses fragmentos são os que possuem a maior capacidade de proteção da diversidade biológica das espécies, e de acordo com Saunders, Hobbs e Margules (1991) eles contêm maior diversidade de habitat quando comparado aos menores fragmentos.

Tabela 2 – Estatística descritiva das métricas da paisagem para a Bacia do Rio Corumbataí, SP

Variáveis	Mínimo	Média	Máximo	Desvio Padrão
Área (ha)	20,04	94	1166	151
Perimet (m)	2520	19708	158640	24182
Forma	1,3	5	12	2
A_nucl (ha)	0,71	41	713	86
V_prox (m)	40	262	3403	410
Contr	22	76	88	9

Perímetro (Perimet): Em relação ao perímetro, observou-se grande variabilidade entre os fragmentos. A grande quantidade de pequenos fragmentos já descrita na métrica anterior é ainda mais ressaltada com o perímetro, tornando-o intimamente relacionado à área. Em relação aos menores fragmentos presentes na análise, nota-se por consequência a existência de menores perímetros, mas há exceções, por exemplo,

quando se trata de fragmentos de área muito reduzida e perímetro desproporcionalmente extenso, como se observa no fragmento 120, que possui 22 ha de área com um perímetro de 10360 m, sendo possível constatar seu alto grau de efeito de borda neste, pois nota-se um aumento da permeabilidade da superfície do habitat adjacente e conseqüentemente sua forma.

Forma (Forma): Considerando-se que quanto mais a forma se aproxima de 1, mais próximo da forma circular o fragmento se torna, esta análise ressalta um valor médio relativamente alto (Tabela 2), com o desvio padrão também elevado para este índice. A análise denota considerável variação nas formas dos fragmentos da bacia, possibilitando se encontrar desde formas muito próximas da circular, como o exemplo do fragmento 131 (forma = 1,37), até muito irregulares, como no fragmento 9 (forma = 12,87). Em relação a este índice, assim como o perímetro, é possível relacioná-lo ao grau de efeito de borda dos fragmentos em análise, pois fragmentos circulares apresentam baixa razão borda/interior, tendo uma menor fração da área do fragmento que se encontra sob o efeito de borda.

Área nuclear (A_nucl): Quanto à área nuclear, esta também demonstrou grande variação entre os fragmentos. Ranta et al. (1998), estudando áreas nucleares em relação à borda, constataram que borda maior de 100 m acarretou em uma diminuição significativa da área nuclear nos fragmentos estudados, dando o exemplo de um fragmento de 1500 ha com borda de 100 m ainda apresentar área nuclear de 500 ha, que decresce rapidamente à medida que excede o tamanho da borda. Dessa forma, os fragmentos da Bacia do Corumbataí, apresentam diferentes condições de conservação. Por exemplo, o fragmento 178 conserva 10 ha de área nuclear enquanto que o fragmento 179 apenas 3 ha. Considerando-se o fato de que, em geral, quanto maior a área total, maior a área nuclear, o fragmento 179 apresenta condições desfavoráveis de conservação em relação ao fragmento 178 pois estes possuem a mesma área total em hectares. Apesar do presente estudo considerar a largura de borda como de 50 m, admite-se o fato da existência de alto grau de comprometimento da fauna e flora locais, que perdem seus habitats devido à alta competição com espécies de borda, ou seja,

aquelas que afetam negativamente a paisagem, pois são espécies generalistas e oportunistas, dado o aumento de competição destas com espécies de interior de mata, que por sua vez são denominadas de especialistas, pois dependem de enorme restrição de habitat, sendo mais sensíveis a doenças provindas de espécies exóticas.

Distância ao vizinho mais próximo (V_{prox}): Apresentou valores contendo uma variação significativamente alta, principalmente nos fragmentos da parte mais baixa da bacia (Baixo Corumbataí), o que indica maior comprometimento desta porção por demonstrar uma grande distância entre as florestas nativas e, por conseguinte, uma menor capacidade de colonização de espécies em direção a outros fragmentos florestais, prejudicando assim o fluxo gênico desta área, podendo até mesmo ocasionar extinções locais. Pela análise em questão é possível verificar, devido ao elevado desvio padrão (Tabela 2), uma alta variação relacionada a este índice sendo, por exemplo, melhor visualizada comparando-se o fragmento 153 (V_{prox} de 40 m) e o fragmento 292 (V_{prox} de 3,5 km).

Contraste de borda (Contr): Apresentou a média relativamente elevada, ou seja, bem próxima do máximo (Tabela 2). Isso indica um efeito de vizinhança muito impactante em toda a área da bacia, provavelmente em função de alto contato com a matriz predominantemente agropecuária. A Bacia do Corumbataí, em sua porção mais baixa, aparece como a área onde os fragmentos possuem um maior contraste de borda, predominando na matriz a cultura da cana-de-açúcar. Como exemplo, o fragmento 190 (Contr = 48) apresenta floresta plantada como uso do solo adjacente, já o fragmento 281 (Contr = 88) a cana-de-açúcar em toda a sua vizinhança, fato que demonstra com mais nitidez o efeito dos diferentes usos do solo nas adjacências dos fragmentos florestais da bacia.

4.2 Caracterização física dos fragmentos

- **Altitude (Altit)**

A análise mostra um relevo com grande variação na altitude, evidenciada pelo alto desvio padrão (Tabela 3). Os fragmentos da porção norte e oeste desta bacia, relativos

às sub-bacias do Passa Cinco e Alto Corumbataí, são aqueles localizados nas proximidades das *Cuestas* de arenito, ou seja, áreas com altitudes mais elevadas. Esta característica tende a influenciar positivamente a conservação dos fragmentos pois, de certo modo, proporcionam maior dificuldade de acesso pelo homem.

De acordo com a análise, é possível encontrar fragmentos em diferentes altitudes como exemplo o fragmento 281 com altitudes, de 488 m e o fragmento 207 com 964 m de altitude.

Tabela 3 – Estatística descritiva das variáveis físicas dos fragmentos analisados da Bacia do Rio Corumbataí

Variáveis	Mínimo	Média	Máximo	Desvio Padrão
Altit (m)	480	654	975	89
Decl (%)	0	7	20	4,40
Chuva (mm)	1330	1381	1437	19
Dist_hidr (m)	37	194	900	159
Dist_estr (m)	139	723	3281	506
Dist_urb (m)	200	3748	8607	1966

Em relação à Figura 6 é possível observar que a maioria dos fragmentos se localiza em áreas de altitudes médias, sendo que os fragmentos localizados em altitudes elevadas, provavelmente em melhor estado de conservação, estão presentes em menor quantidade, mas possuem tamanhos mais significativos.

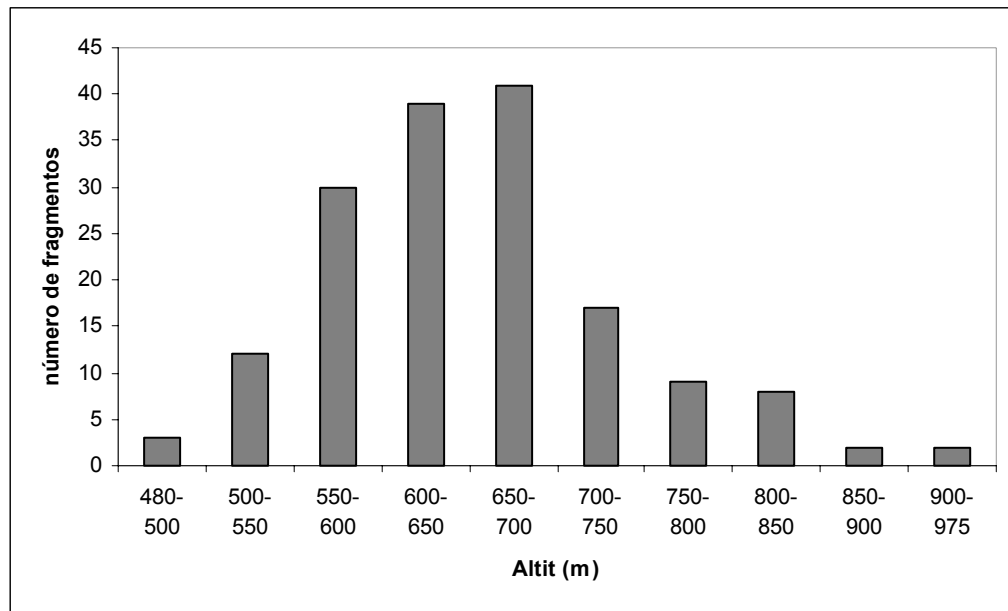


Figura 6 - Número de fragmentos em função das classes de altitude, na Bacia do Rio Corumbataí, SP

- **Declividade (Decl)**

A análise em questão possui grande variação nos valores de declividade, salientando o fato de que fragmentos sujeitos a maiores declividades (>100%) estão em locais considerados Áreas de Proteção Permanente (APPs), ou seja, apresentam, de forma semelhante à altitude, a tendência de proporcionar melhores condições de conservação aos fragmentos florestais. “...regiões mais acidentadas tendem a ter paisagens mais complexas e menos modificadas pelo homem em relação a regiões de relevo plano” (METZGER, 2001). De acordo com esta análise foi detectada a presença de fragmentos com declividades planas a íngremes, como exemplo o fragmento 157, que apresenta declividade de 20,8 %, e o fragmento 38 a 0% de declividade.

A Figura 7 evidencia o baixo número de fragmentos em áreas declivosas, e isso se deve ao fato de que os fragmentos sujeitos a maiores declividades assim como a altitude, representa os maiores fragmentos da paisagem que se encontram nesta área em menores quantidades.

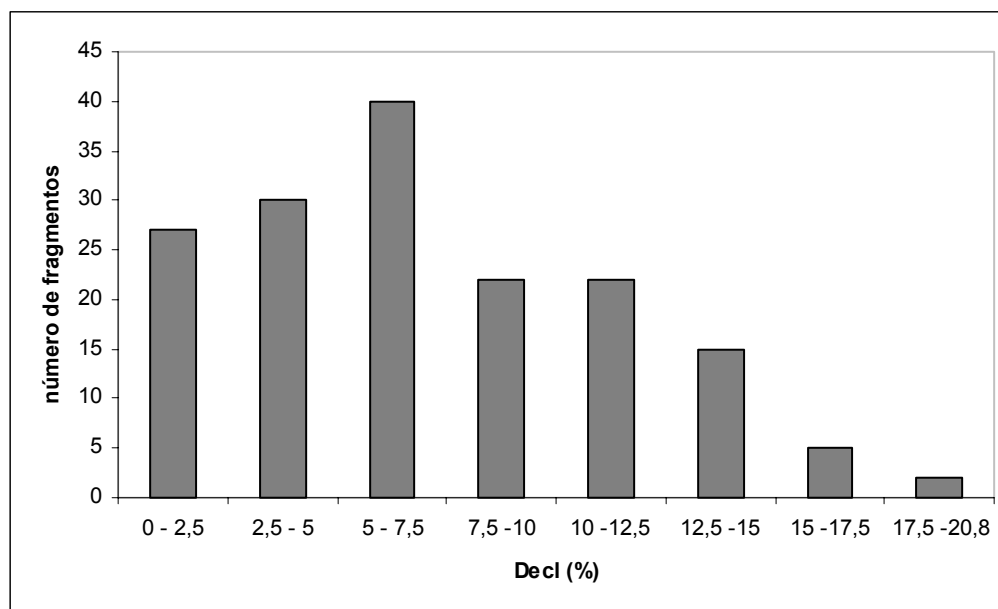


Figura 7 - Número de fragmentos em função das classes de declividade, na Bacia do Rio Corumbataí, SP

- **Distância à rede hidrográfica (Dist_hidr)**

Esta variável permitiu observar que os fragmentos da Bacia do Corumbataí são, em sua maioria, fragmentos ripários, e estes estão distribuídos ao longo de toda rede hidrográfica, principalmente em fragmentos situados nas sub-bacias do Alto Corumbataí e do Passa-Cinco (regiões norte e oeste da bacia).

Mesmo assim, pode-se constatar a presença de fragmentos tanto próximos quanto distantes da rede hidrográfica, como o exemplo do fragmento 32, com distância de 37 m até a rede hidrográfica e o fragmento 249, localizado a uma distância de aproximadamente 1 km.

Na Figura 8 verifica-se a grande quantidade de fragmentos próximos à rede hidrográfica, confirmando os valores expressos na Tabela 3, com a média de 194 m da rede hidrográfica.

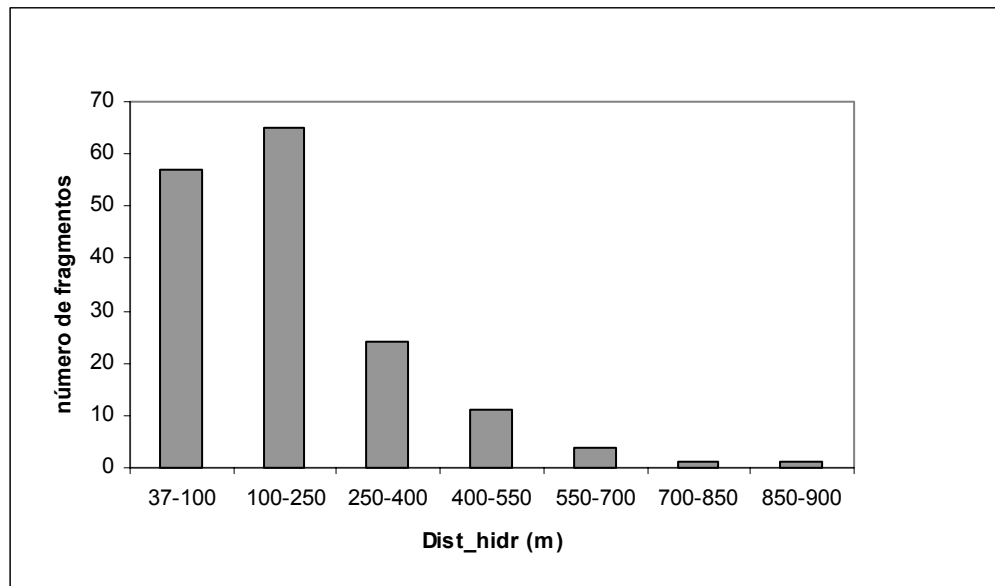


Figura 8 - Número de fragmentos em função das classes de distância à rede hidrográfica, na Bacia do Rio Corumbataí, SP

- **Distância às estradas (Dist_estr)**

Na Bacia do Corumbataí há a presença de rodovias de grande importância, sendo a principal via de acesso à área a rodovia Washington Luís (SP 310) que se interliga com as rodovias Anhangüera e Bandeirantes, dando acesso à capital do Estado, São Paulo, e outros centros importantes como Campinas, Jundiaí, Araraquara e São José do Rio Preto. As rodovias de tráfego menos intenso constituem vias de acesso secundárias, tais como SP 225 (Analândia – Itirapina), SP 191 (Charqueada – Araras) e SP 127 (Rio Claro – Piracicaba).

Rodovias próximas às matas representam um impacto negativo, pois são consideradas como barreiras antrópicas, ou seja, corredores humanos. Na Bacia do Corumbataí encontram-se fragmentos próximos e distantes das estradas. O fragmento 154, por exemplo, está a 159 m de distância das estradas, e o fragmento 228 encontra-se a mais de 3 km das rodovias.

Na Figura 9 é possível observar a concentração maior de fragmentos distantes até 1 Km de rodovias.

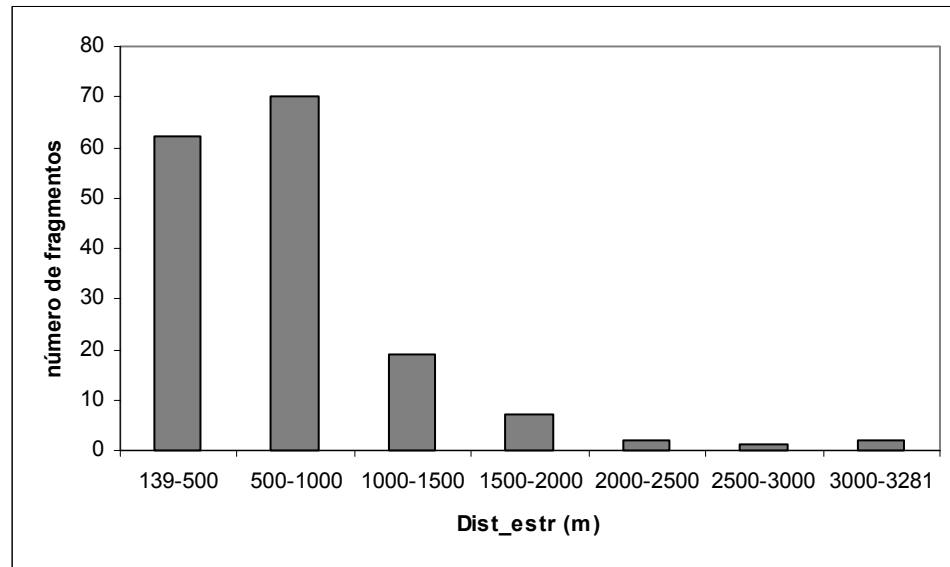


Figura 9 - Número de fragmentos em função das classes de distância às estradas, na Bacia do Corumbataí, SP

- **Distância às áreas urbanas (Dist_urb)**

Esta variável possui uma abordagem semelhante à anterior, ou seja, a princípio não favorece a conservação dos fragmentos, pois quanto mais próximos estes fragmentos estiverem das cidades, mais suscetíveis às ações do homem e de animais domésticos.

Pela Figura 10 verifica-se que a maior parte dos fragmentos está localizada em um raio de 1 a 5 km das áreas urbanas. Por meio da análise encontraram-se fragmentos que estão desde muito distantes das cidades até aqueles extremamente próximos, como o caso do fragmento 205, que está a 200 m da área urbana, e distante está o fragmento 157, localizado a uma distância de mais de 8 km.

Na Figura 12, que mostra diferentes classes de fragmentos na Bacia do Corumbataí, é possível observar que alguns destes estão muito próximos aos centros urbanos (em azul claro), sendo as cidades representadas pela cor violeta, e dentre estas a maior é Rio Claro.

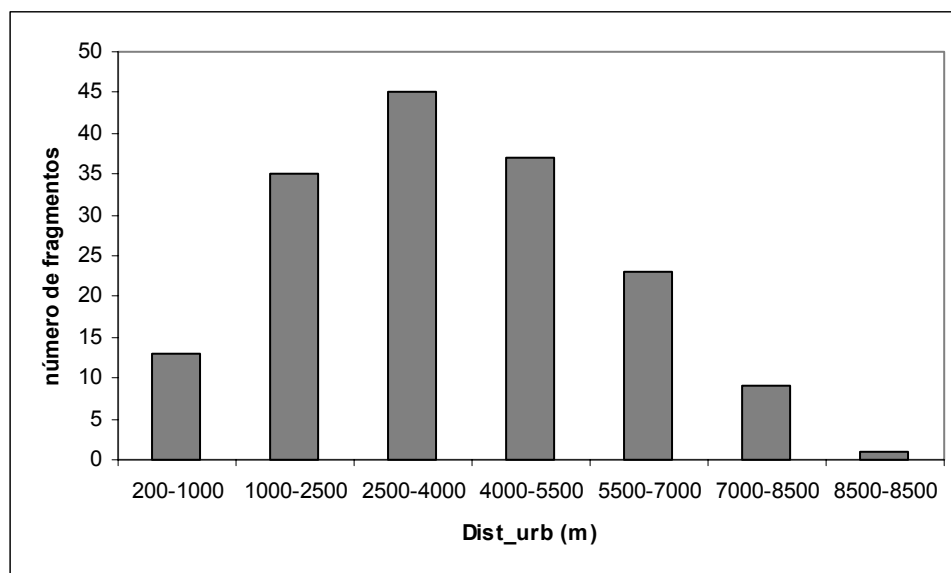


Figura 10 - Número de fragmentos em função das classes de distância às áreas urbanas, na Bacia do Corumbataí, SP

As Figuras 11 e 12 ilustram os fragmentos analisados em relação a cada variável física estudada. Nestas figuras os fragmentos são apresentados em diferentes classes de desvio padrão, representados por diferentes cores, sendo que fragmentos em tonalidades de vermelho indicam maiores valores de desvio, e os azulados são relacionados aos menores desvios em relação à média.

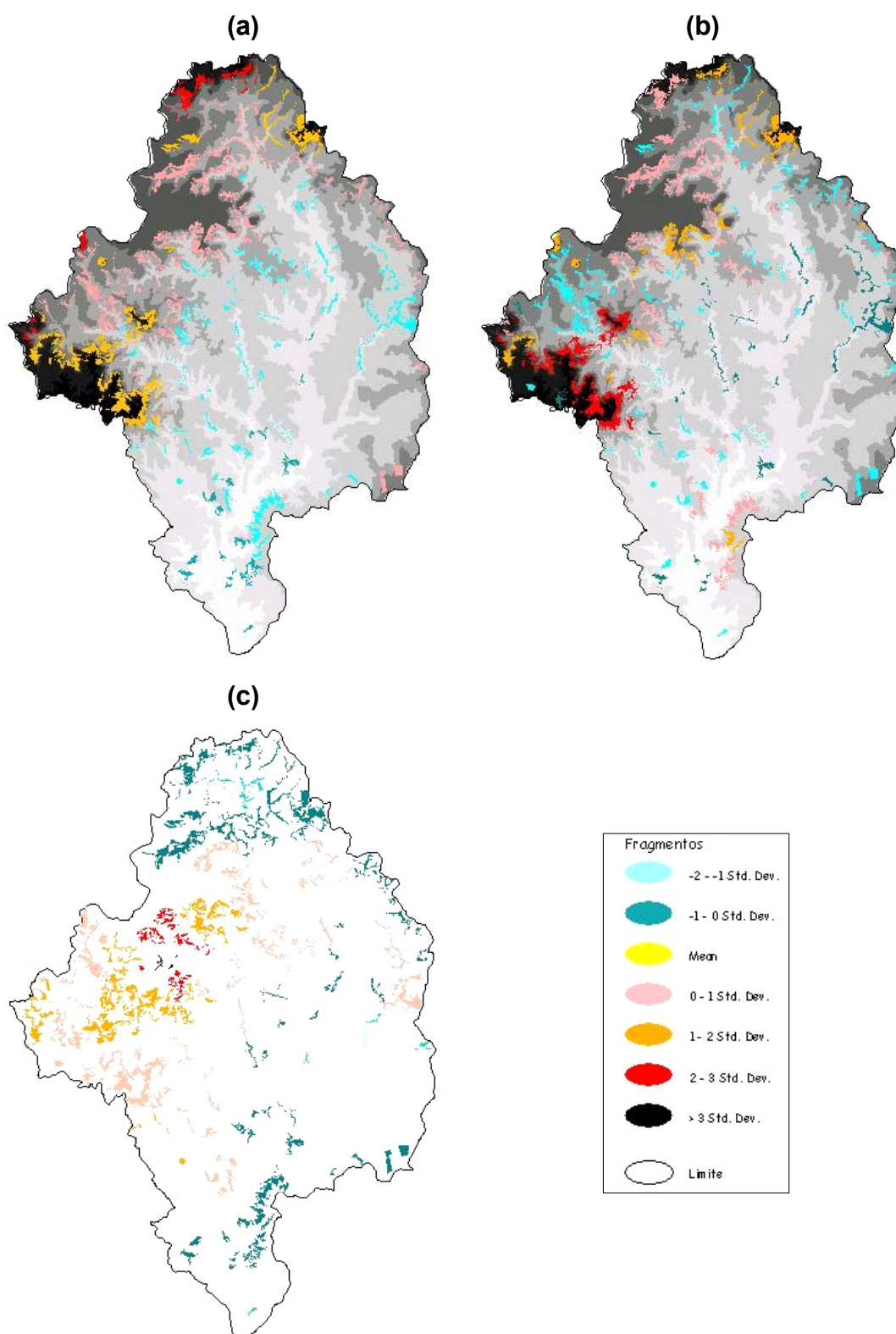


Figura 11 - Representação da distribuição espacial das características físicas dos fragmentos da Bacia do Rio Corumbataí quanto a: a) Altitude, b) Declividade e c) Precipitação

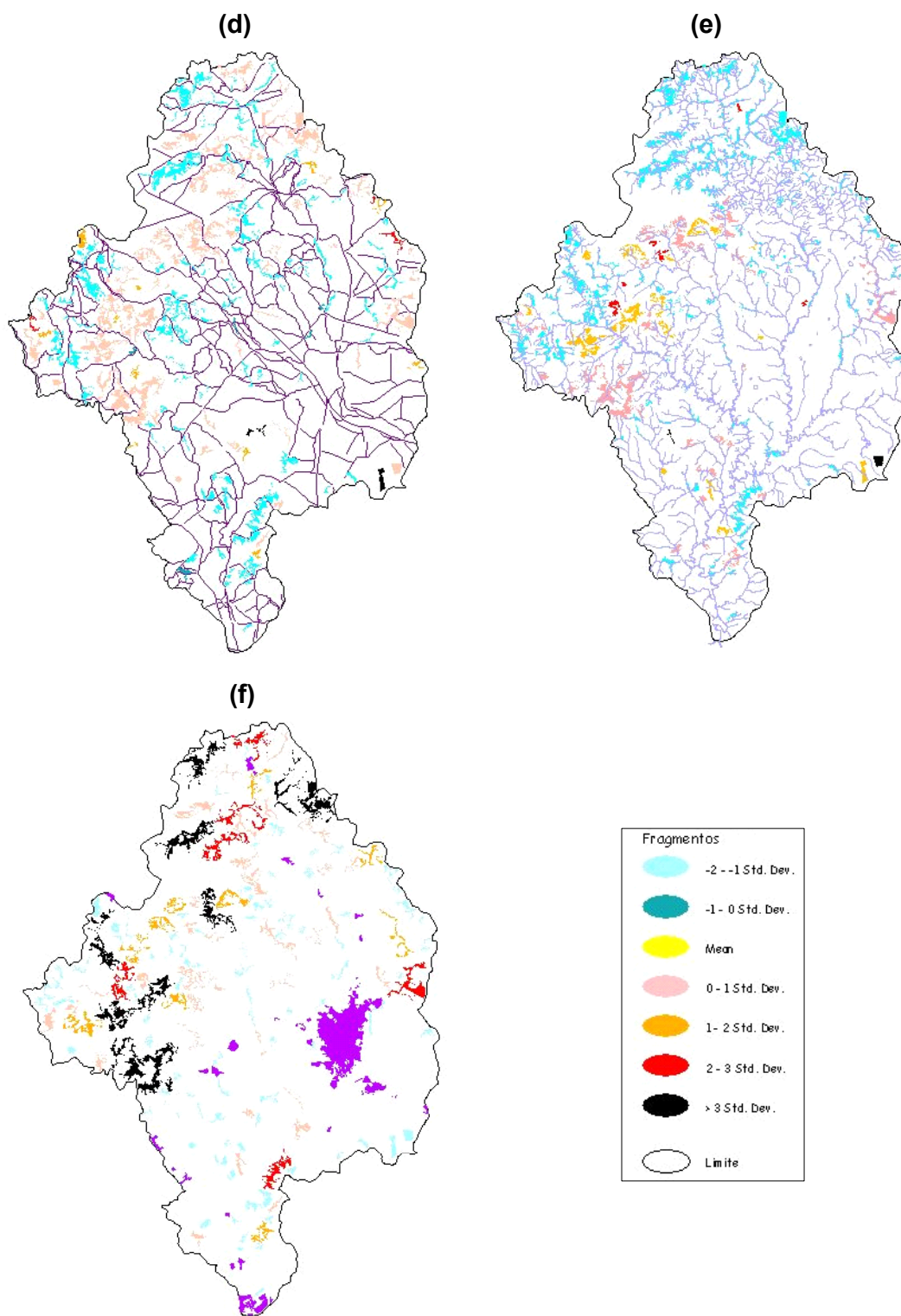


Figura 12 - Representação da distribuição espacial das características físicas dos fragmentos da Bacia do Rio Corumbataí quanto a: d) Distância às estradas, e) Distância à rede hidrográfica e f) Distância às áreas urbanas

4.2.1 Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI)

Esta variável apresentou variação entre os fragmentos, com um desvio padrão relativamente baixo (Tabela 4). De acordo com dados de altitude foi possível verificar que os fragmentos mais próximos das *Cuestas* (elevadas altitudes) são aqueles com valores de médio a alto NDVI.

Segundo Viedma et al. (1997), NDVI é um indicador espectral de vegetação usado extensivamente para monitorar o vigor da vegetação, como uma medida substituta para estimar a densidade do dossel. Desse modo, a estimativa de biomassa por meio do NDVI tornou-se muito útil em pesquisas que visam ao monitoramento florestal. Porém, é preciso grande cautela ao inferir o vigor da vegetação em fragmentos de mata nativa, pois o cálculo do NDVI está relacionado com a qualidade do vigor da vegetação (GAMON et al., 1997), podendo variar sazonalmente (LAMBIN et al., 1993).

Tabela 4 - Estatística descritiva dos valores de NDVI para os fragmentos analisados da Bacia do Rio Corumbataí

Variável	Mínimo	Média	Máximo	Desvio Padrão
NDVI	0,34	0,53	0,66	0,06

4.2.2 Variação de área de 1999 em relação a 2002 (Var_area)

Esta variável indicou grande variação entre os fragmentos da bacia, apresentando um desvio padrão muito elevado em relação à média estimada (Tabela 5). Este cálculo apresentou uma perda de vegetação florestal nativa de 1.886,82 ha e ganho de 895,65 ha, entre os anos de 1999 e 2002. É importante identificar os respectivos locais de perdas e relacioná-los com as variáveis em estudo, e assim melhorar o conhecimento sobre a conservação dos fragmentos maiores de 20 ha da Bacia do Corumbataí.

Tabela 5 - Estatística descritiva dos valores de Var_Area para os fragmentos analisados da Bacia do Rio Corumbataí

Variável	Mínimo	Média	Máximo	Desvio Padrão
Var_Area (ha)	-320	11,53	415	74,11

4.3 Resultado da análise de agrupamento dos fragmentos

Para a realização da análise de agrupamento foi necessária a retirada de alguns dos fragmentos com características muito discrepantes, como por exemplo quanto à área, para a otimização da análise. Sendo assim, foram retirados da análise os fragmentos de número 9, 50, 52, 87, 121, 131, 156, 202, 205 e 235. Na análise de agrupamento, houve a formação de cinco grupos em relação aos fragmentos estudados (Figura 13).

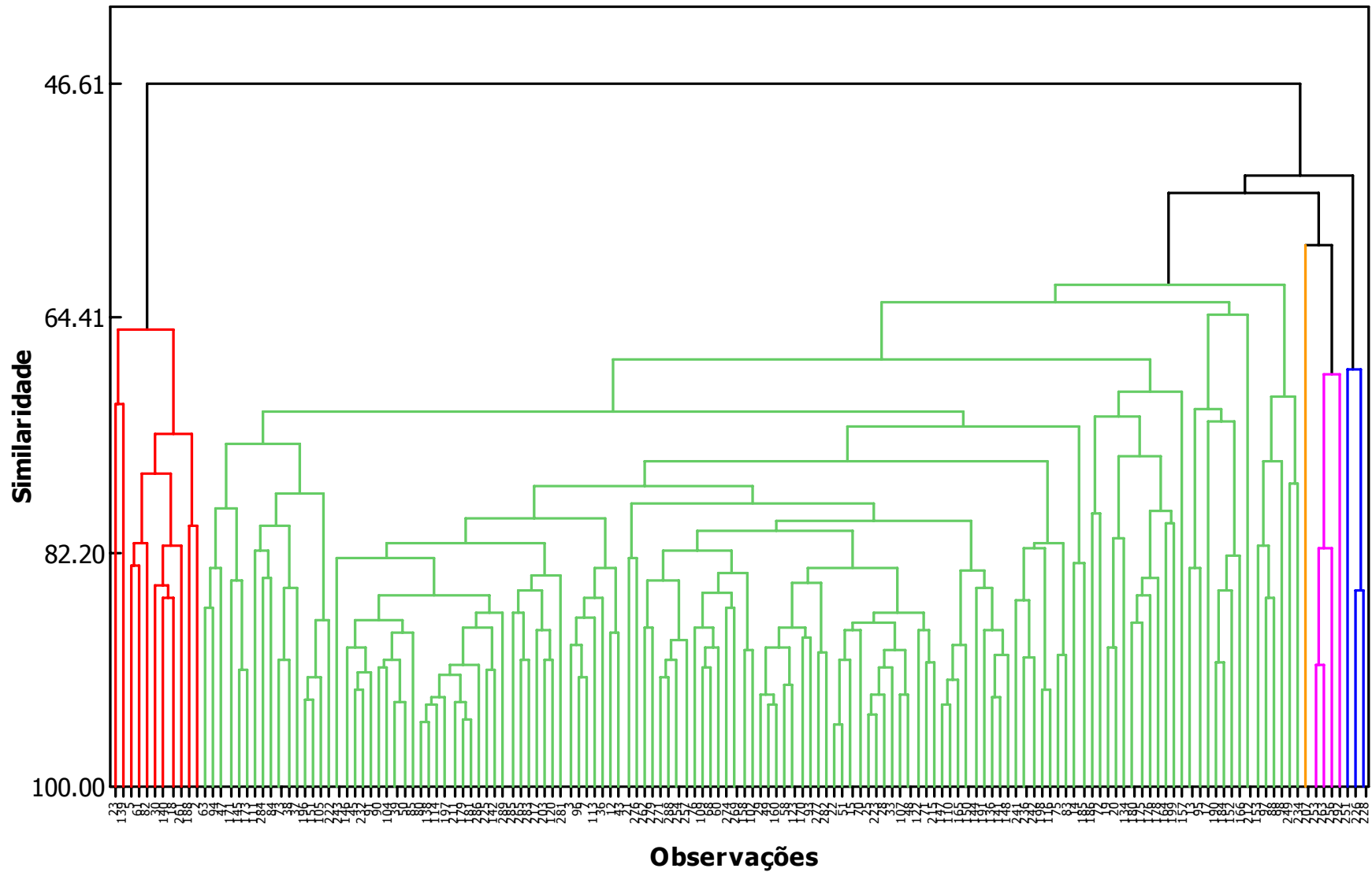


Figura 13 - Dendrograma da análise de agrupamento, com cinco grupos de fragmentos em relação às variáveis, sendo o primeiro grupo representado em vermelho, o segundo em verde, o terceiro em laranja, o quarto em rosa e o quinto em azul

O primeiro grupo destacado em vermelho (Figura 13), ilustra a presença de onze fragmentos (23, 139, 5, 61, 82, 30, 140, 18, 261, 188 e 2), apresentando semelhanças entre si por possuírem as maiores áreas. Apresentam também grande área nuclear, que é uma consequência geralmente esperada em maiores fragmentos, e como última característica apresentam formas bastante semelhantes. Em geral, os maiores fragmentos da Bacia do Corumbataí apresentam formato muito irregular, fato que deve relacionar-se com o alto grau de efeito de borda ao qual esses fragmentos estão submetidos, em matriz tipicamente agrícola.

O segundo grupo, em verde (Figura 13), ilustra o mais numeroso, com 134 fragmentos envolvidos. Neste caso, os fragmentos não apresentam características semelhantes o suficiente para permitirem uma descrição do grupo, ou seja, não foi identificado um padrão claro.

O terceiro grupo, na cor laranja, apresentou apenas o fragmento 207, que provavelmente se isolou dos demais por ser o fragmento de maior altitude (964,11 m) da bacia com forma bem próxima da circular (1,70). É um fragmento com alta sustentabilidade, de acordo com sua forma e sua posição geográfica (difícil acesso), muito favoráveis à sua conservação.

O quarto grupo apresentou quatro fragmentos (253, 263, 256 e 292), possuindo contrastes de borda praticamente idênticos, ou seja com valores relativamente altos. Estão também em área de baixa declividade (aproximadamente 5 %).

O quinto e último grupo, em azul mostra em detalhes a presença de três fragmentos envolvidos na análise (251, 226 e 228), por apresentar os mais altos valores de distância às estradas (2.789, 3.136 e 3.281) respectivamente. Esses valores indicam fragmentos com menor possibilidade de interferência humana.

4.4 Resultado da análise de correlação entre as variáveis

4.4.1 Correlação entre as variáveis calculadas e o NDVI

A Tabela 6 mostra os coeficientes de correlação (R) obtidos na análise de correlação entre as variáveis estudadas.

Tabela 6 – Resultado da análise de correlação entre as variáveis (n=163)

n = 163 fragmentos											
	Dist_Hidr	Dist_estr	Dist_Urb	Contr	Perimet	Forma	V_prox	A_nucl	Decl	Altit	NDVI
Area	-0,23	-0,17	-0,20	0,15	*0,71	*-0,47	n .s.	-0,84	*-0,33	0,28	-0,36
Dist_hidr		n. s.	0,23	n. s.	n .s.	-0,16	n. s.	*0,33	0,38	-0,22	*0,32
Dist_estr			0,16	n. s.	n .s.	n. s.	n. s.	0,17	0,21	-0,21	0,21
Dist_urb				n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	0,16	*0,42	-0,28	0,20
Contr					n. s.	n. s.	0,19	-0,15	n. s.	0,36	*-0,30
Perimet						*-0,85	0,21	*-0,4	-0,22	0,18	n .s.
Forma							-0,26	0,22	n. s.	-0,16	n. s.
V_prox								-0,16	*-0,32	0,20	-0,18
A_nucl									*0,41	*-0,34	*0,49
Decl										*-0,50	*0,31
Altit											*-0,51
chuva											-0,24

* Significância p >0,001

n.s.: não significativa

A **Altitude (Altit)** mostrou-se significativamente correlacionada ao NDVI, sendo esta inversamente proporcional, ou seja, os fragmentos com menor NDVI estão localizados na parte mais alta da bacia.

Valente e Vettorazzi (2002), estudando as sub-bacias da Bacia do Corumbataí encontraram tamanhos menores de fragmentos e maior densidade destes na região do Baixo Corumbataí, ou seja, localizados em baixas altitudes.

Em virtude da variável altitude ser altamente significativa em relação ao NDVI, os fragmentos localizados na parte mais alta da bacia, deveriam possuir como resultado os maiores valores de biomassa, ou seja, invertidos em relação ao resultado obtido. Isto pode ter acontecido devido o relevo das áreas de maiores altitudes ser caracterizado por *Cuestas* e, provavelmente, o fator sombra pode ter influenciado os valores do NDVI, que

se mostraram baixos em relação aos outros valores obtidos para a parte baixa da bacia.

Segundo Mesquita Junior (2006), o relevo, associado à iluminação, influencia os valores de NDVI encontrados para uma determinada fitofisionomia. A vertente com a face voltada para o sol pode apresentar valores de NDVI ligeiramente mais altos e a vertente voltada para o oeste valores ligeiramente mais baixos. Desse modo, analisando os valores de reflectância individualmente nas faixas do vermelho e do infravermelho, o efeito do relevo é maior, ou seja o NDVI atenua estes efeitos causados pelo relevo.

De acordo com Ludwig (1986), o NDVI estima a produtividade preliminar líquida da vegetação e não deve ser aplicado como indicador de confiança do status da degradação, porque não necessariamente resulta em um nível reduzido de crescimento de planta.

Área nuclear (A_nucl) é diretamente proporcional ao NDVI e altamente significativa, mostrando que fragmentos com as maiores áreas nucleares são aqueles de maior vigor de vegetação. Desse modo, a análise presente está de acordo com o esperado, pois área nuclear é um dos indicativos de uma vegetação mais densa, ou seja, sem a influência do efeito de borda.

Valente e Vettorazzi (2002), através de suas análises referentes à estrutura da paisagem em nível de classes, constataram que as sub-bacias do Alto Corumbataí e do Passa-Cinco são regiões com maior percentual de fragmentos com maior área nuclear, em relação às outras sub-bacias, sendo o Alto Corumbataí a sub-bacia com o menor efeito de borda registrado. De acordo com a análise, os fragmentos pertencentes à classe de maior área nuclear estão localizados próximos às *Cuestas*, área de difícil acesso, com a maior a frequência de grandes fragmentos.

O **Contraste de borda (Contr)** apresentou correlação significativa e inversamente proporcional ao NDVI, ou seja, fragmentos com maiores contrastes apresentaram menores NDVI. Em relação ao maior contato com a matriz, pouco permeável e inóspita, composta predominantemente por pastos e canaviais, os valores de NDVI esperados são os relativamente baixos. De acordo com Valente e Vettorazzi (2002), as sub-bacias do Alto Corumbataí, Passa Cinco e Médio Corumbataí possuem

respectivamente 48,21%, 51,72% e 52,47% de pastagens. Em relação às outras sub-bacias, Ribeirão Claro e Baixo Corumbataí, há o predomínio de cana-de-açúcar, com valores de 39,29% e 49,30% respectivamente, considerando ainda que a região do Médio Corumbataí possui alta antropização devido à cidade de Rio Claro.

Em relação aos resultados desta variável e verificações realizadas em campo é possível observar diferentes comportamentos para os fragmentos em relação a sua vizinhança. Por exemplo, em relação à pastagem e à cana-de-açúcar, é comum verificar o aspecto um tanto desfavorável da borda do fragmento adjacente. Diferentemente, quando se analisa a vizinhança de fragmentos nativos com florestas plantadas, a qualidade da borda melhora acentuadamente, dada a similaridade encontrada entre as duas coberturas do solo.

Em relação aos diferentes usos do solo da Bacia do Corumbataí, Dotta (2005), ao estudar a diversidade de mamíferos de médio e grande porte na área de estudo, constatou diversidades similares em cana, pasto e floresta nativa, sendo que a menor riqueza foi encontrada em pastagens. Quanto à fauna de médios e grandes mamíferos, que por sua vez podem ser utilizados como indicadores de perturbação, foi constatada na área de estudo, grande instabilidade característica, sujeita às modificações ambientais que estão ocorrendo na região. A fauna presente é composta por espécies de hábitos generalistas e plásticas, demonstrando que estes fragmentos de floresta nativa da bacia não suportam uma comunidade de espécies mais exigentes quanto a requerimento de habitat.

A **Declividade (Decl)** possui correlação significativa e, ao contrário da altitude, mostra-se diretamente proporcional ao NDVI, indicando que fragmentos com maior NDVI são aqueles localizados em relevos mais acidentados.

De acordo com a análise, é possível encontrar fragmentos importantes inseridos nas sub-bacias do Passa Cinco e do Alto Corumbataí.

A **Área (Area)** apresenta correlação significativa e inversamente proporcional ao NDVI. Neste caso, fragmentos maiores apresentaram menor NDVI, talvez por apresentarem diferentes estágios sucessionais, ou mesmo porque de acordo com o

presente estudo foi possível observar que os maiores fragmentos foram aqueles de formato mais irregular. Segundo Valente e Vettorazzi (2002), os fragmentos da Bacia do Corumbataí possuem formato tendendo ao irregular, com maiores efeitos de borda.

Distâncias

a) Estradas (Dist_estr)

É diretamente proporcional ao NDVI, indicando que fragmentos mais distantes das rodovias são aqueles com maiores valores de NDVI, portanto em melhor estado de conservação por provavelmente estarem sujeitos a menor perturbação humana.

b) Áreas urbanas (Dist_urb)

Possui o mesmo contexto das estradas sendo diretamente proporcional ao NDVI indicando que fragmentos mais distantes dos grandes centros urbanos são aqueles de maior NDVI, possibilitando assim como Dist_estr, menor interferência humana e conseqüentemente melhor conservação dos fragmentos.

c) Hidrografia (Dist_hidr)

Mostrou-se inversamente proporcional ao NDVI e, ao contrário de estradas e áreas urbanas, esta variável indicou que fragmentos mais próximos à rede hidrográfica são aqueles com maiores valores de NDVI. A rede hidrográfica da bacia se caracteriza por possuir, em geral, uma calha de drenagem bem encaixada. Em condições normais de relevo e cobertura vegetal, as áreas passíveis de alagamento se restringem a uma faixa estreita próxima ao curso d'água. Por isso a formação florestal tipicamente ciliar apresenta uma composição florística que se caracteriza pela adaptabilidade fisiológica de algumas espécies em resistir à saturação hídrica do solo, mesmo que por um período curto de tempo (CRESTANA, 1994).

Oliveira et al. (1997) verificou que as coleções d'água dentro de uma paisagem

de fragmentos apresentaram melhores condições hídricas para a fauna silvestre, que não necessita se expor a percorrer grandes distâncias para obtê-la, sendo característica bem significativa considerando que em florestas tropicais, cerca de 80 % a 90 % das espécies lenhosas dependem da fauna para dispersar suas sementes (CHAPMAN; CHAPMAN, 1999, CHARLES-DOMINIQUE, 1993, HOWE; SMALLWOOD, 1982; JORDANO, 1992). Sendo assim, em áreas muito fragmentadas, as vegetações ciliares fornecem condições ideais para grande parte da fauna e flora, sendo responsáveis pela maioria dos propágulos disseminados, favorecendo futuras recolonizações de comunidades de fauna e flora pertencentes aos fragmentos florestais da bacia.

d) Distância ao vizinho mais próximo (V_{prox})

Os resultados para a bacia indicaram que quanto maior a distância entre os fragmentos, menor o NDVI. Esta variável estrutural é inversamente proporcional ao NDVI e confirma a influência e importância da conectividade dentro de uma paisagem de fragmentos, pois os que possuem maiores distâncias entre si são aqueles que possuem menores valores de NDVI. Esta variável é importante, pois analisa o comportamento dos fragmentos quanto a sua conectividade, porém conexões espaciais não significam necessariamente que esta conectividade exista funcionalmente (METZGER, 2003). O fluxo de sementes em fragmentos parece estar indiretamente relacionado à distância a uma área fonte de semente (KOLB, 1993). De acordo com Saunders, Hobbs e Margules (1991), o tempo desde o isolamento, a distância entre fragmentos adjacentes e o grau de conectividade entre eles são totalmente determinantes na resposta biótica para a fragmentação florestal.

4.4.2 Correlação da variação da área florestal em fragmentos da bacia entre 2002 e 1999

Esta análise mostrou a variação da área nos fragmentos em análise ($n=74$), entre 2002 e 1999. Contudo esta análise reforça informações a respeito de aumento ou diminuição da área florestal nos fragmentos em estudo, ou seja, foram relacionadas todas as variáveis físicas e estruturais com a variação da área florestal da Bacia do Corumbataí (Var_{Area}).

Forma (Forma): Houve correlação direta com a forma dos fragmentos, sendo ($r = 0,231$; $p = 0,048$). Portanto quanto mais complexa a forma do fragmento, maior Var_Area, ou seja, maior a perda da vegetação nos fragmentos. Isso provavelmente está relacionado com a intensidade do efeito de borda nos fragmentos com alto índice de forma, ocorrendo de modo mais intenso nas matas ciliares que são as que apresentam forma mais irregulares na paisagem.

Fragmentos raramente são circulares (Ranta et al., 1998) e desse modo, é possível observar que os fragmentos em estudo, em sua maioria, possuem formatos muito irregulares e dentre eles a diminuição da área florestal é observada de forma evidente, principalmente quando estes perfazem vizinhança com a cana-de açúcar e pasto.

De acordo com Oliveira et al. (1997), que diagnosticou os fragmentos florestais nativos no Estado da Bahia, os remanescentes florestais de tendência alongada (forma irregular) foram aqueles pertencentes à vegetação ciliar. Estes fragmentos, por apresentarem formas muito complexas (irregulares), fazem com que o efeito de borda se manifeste de maneira contundente (Silva et al., 1997).

Observações como esta demonstram que a redução das matas ciliares está cada vez mais presente na Bacia do Corumbataí, colaborando cada vez mais para o assoreamento dos rios e córregos da bacia. Considerando a importância dessas matas e sua função exercida nas margens dos corpos d'água, a suscetibilidade desse tipo de mata na paisagem é um ponto muito desfavorável para a qualidade de vida dos fragmentos da área de estudo, e também para a população regional que depende do abastecimento de água proveniente da Bacia do Corumbataí.

Distância às áreas urbanas (Dist_urb): Houve também correlação entre a Var_Area e Dist_urb ($r = - 0,231$; $p = 0,048$) sendo inversamente proporcionais, ou seja, quanto mais próximo de áreas urbanas, maior a perda de área florestal em 2002 em relação a 1999. Desse modo, estima-se que a maior proximidade de fragmentos a áreas urbanas, propicia maior perturbação antrópica.

4.4.3 Considerações Finais

A área do fragmento é o requerimento mais importante de habitat para a manutenção de espécies florestais. Grandes fragmentos, mesmo quando apresentam elevado efeito de borda, conseguem preservar boa parte de sua área nuclear (vide Ranta et al., 1998), a qual é responsável pela manutenção de espécies indispensáveis à sustentabilidade e à qualidade dos fragmentos florestais.

Durante o trabalho de campo foi constatado que, dentre os fragmentos florestais que mais perdem área, a vizinhança é constituída por pastos e principalmente por cana-de-açúcar, aparentando que estas perdas estejam relacionadas ao uso do fogo, muito utilizado nestes tipos de uso do solo, e também ao pisoteio pelo gado, que tende a adentrar os fragmentos à procura de recursos como água e sombra, já que a maioria dos fragmentos não apresentam cercas de proteção.

Por meio do presente estudo foi possível identificar alguns fatores que contribuem para a conservação dos fragmentos florestais da bacia. Dentre estes, a dificuldade de acesso foi considerado importante, estando relacionado a: menor densidade de estradas; maiores altitudes; e maiores declividades. A similaridade de condições entre o fragmento e sua vizinhança é uma característica favorável à conservação dos fragmentos. Maior distanciamento às áreas urbanas é um fator que favorece a qualidade dos fragmentos, relacionando-se diretamente à perda de área florestal na bacia. Em relação ao índice de forma, os baixos valores possuem maior potencial de sustentabilidade e, conseqüentemente, maior estabilidade de áreas correspondentes ao interior dos fragmentos.

Em relação a todas as variáveis importantes acima citadas, o NDVI relacionou-se com todas, podendo considerar que os fragmentos com maiores valores de NDVI foram aqueles com melhores prognósticos de habitat para as espécies que habitam a bacia.

Quanto aos fatores que afetam negativamente a conservação dos fragmentos, destacam-se as áreas reduzidas e formas alongadas como as condições menos favoráveis à manutenção das comunidades na área de estudo, não apresentando os requerimentos mínimos de habitat. Pequenos fragmentos exibem alta perturbação que os leva a alterações progressivas na composição florística, devido ao efeito de borda ao

qual estão expostos, resultando, por exemplo, no aumento de lianas, que são plantas parasitas que reduzem o crescimento, sobrevivência e reprodução de espécies de árvores (vide Laurance et al., 1997).

Algumas variáveis estudadas podem ser manejadas, favorecendo a conservação da área. O contraste de borda, por exemplo, é uma variável cujo impacto negativo pode ser minimizado pelo aumento da permeabilidade da matriz e proteção das bordas pela implantação de uma zona tampão em seu entorno. Esta estratégia pode ser utilizada para reduzir os impactos negativos que ocorrem nas bordas dos fragmentos e que tendem a se dirigir ao interior dos mesmos, ocasionando perdas consideráveis de áreas nucleares, essenciais à manutenção da riqueza local de espécies.

O aumento da área e a conservação de grandes fragmentos, mantendo-os como unidades de conservação, são tão necessários quanto o aumento na conectividade da paisagem pela interligação entre fragmentos por corredores, inclusive nos menores remanescentes, conforme Stouffer e Bierregaard Junior (1995) e Saunders, Hobbs e Margules (1991).

O conhecimento gerado pelo presente estudo pode contribuir para a priorização de fragmentos viáveis à conservação, visando à manutenção da biodiversidade local.

5 CONCLUSÕES

- Na Bacia do Rio Corumbataí, fragmentos florestais com maior área nuclear, mais próximos à rede hidrográfica e em terrenos mais declivosos, foram aqueles que apresentaram maiores valores de NDVI.
- A perda de área em fragmentos florestais da área de estudo está inversamente relacionada à distância dos mesmos às áreas urbanas e diretamente relacionada à irregularidade da sua forma.
- Os resultados mostraram que características físicas e estruturais dos fragmentos florestais podem influenciar o vigor da vegetação e, conseqüentemente, no estado de conservação do fragmento.

REFERÊNCIAS

- BASKENT, E.Z.; JORDAN, A.G. Characterizing spatial structure of forest landscape. **Canadian Journal of Forest Research**, Ottawa, v. 25, p. 1838-1849, 1995.
- BIERREGAARD, R.O.Jr.; DALE, V.H. Islands in an ever-changing sea: the ecological and socioeconomic dynamics of Amazonian rain forest fragments. In: SCHELHAS, J.; GREENBERG, R. (Ed.). **Forest patches in tropical landscapes** Washington, DC: Island Press, 1996. p. 187–204.
- BITENCOURT-PEREIRA, M.D. **Correlação da fitomassa foliar de Campo Cerrado com dados espectrais obtidos pelo sistema MSS-LANDSAT e por radiometria de campo**. São José dos Campos: INPE, 1986. 90 p. (3747 – TDI – 203).
- BONOTTO, D.M.; MANCINI, L.H. Estudo hidroquímico e isotópico dos aquíferos de Rio Claro (SP). **Geochimies Brasiliensis**, São Paulo, v. 6, n. 2, p. 153-167, 1992.
- BRANCO, S.M.; ROCHA, A. **Poluição, proteção e usos múltiplos de represas**. São Paulo: Edgard Blücher; CETESB, 1977. 185 p.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Avaliação e ações prioritárias para a conservação da biodiversidade da Mata Atlântica e campos sulinos**. Brasília, 2000. 40 p.
- BROWN, J.H.; BROWN JUNIOR, K.S. Habitat alteration and species loss in Brazilian forest. In: WITHMORE T.C.; SAYER, J.A. (Ed.). **Tropical deforestation and species extinction**. London: Chapman and Hall. 1992. p. 119-142.
- CAMARA G.; MEDEIROS J.S. Mapa e suas representações computacionais. In: ASSAD E.D.; SANO, E.E. **Sistema de informações geográficas: aplicações na agricultura**. Brasília: Embrapa, SPI; Embrapa, CPAC, 1998. cap 2, p. 13-29.
- CHAPMAN, C.A.; CHAPMAN, L.J. Forest restoration in abandoned agricultural land: a case study from East Africa. **Conservation Biology**, Liverpool, v. 13, p. 1301-1311, 1999.
- CHARLES-DOMINIQUE, P. Speciation and coevolution: an interpretation of frugivory phenomena. **Vegetation**, New York, n. 107/108, p. 75-85, 1993.
- CRESTANA, S. Técnicas recentes de determinação de características do solo. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 10., 1994, Florianópolis. **Resumos ...** Florianópolis: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1994. p. 86-97.
- DEAN, W. **A ferro e fogo**. São Paulo: Companhia das Letras, 1997. 281 p.

DIAMOND, J.M.; CASE, T.J. **Community ecology**. New York: Harper & Row, 1986. 665 p.

DOTTA, G. **Diversidade de mamíferos de médio e grande porte em relação à paisagem da bacia do rio passa-cinco, São Paulo**. 2005. 116 p. Dissertação (Mestrado em Ecologia de Agroecossistemas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

DUNNING, J.B.; DANIELSON, B.J.; PULLIAM, H.R. Ecological processes that affect populations in complex landscape. **Oikos**, Kobenhavn, v. 65, p. 169 –175, 1992.

ESTRADA A.; COATES-ESTRADA R. Bats in continuous forest, forest fragments and in na agricultural mosaic habitat-island at Los Tuxtlas, Mexico. **Biological Conservation**, Liverpool, v. 103, p. 237-245, 2002.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION. Earth Observatory. Disponível em: [http://erthobservatory.nasa.gov/Library/Measuring Vegetation/measuring_vegetation](http://erthobservatory.nasa.gov/Library/Measuring_Vegetation/measuring_vegetation). Acesso em: 04 jun. 2005.

FLEURY, M.; GALETTI, M. Forest fragment size and microhabitat effects on palm seed predation. **Biological Conservation**, Liverpool, v. 131, p. 1-13, 2006.

FORMAN, R.T.T.; GODRON M. **Landscape ecology**. New York: Wiley, 1986. 619 p.

FORMAN, R.T.T. Land mosaics: the ecology of landscapes and regions. Cambridge: Cambridge University Press, 1995. 632 p.

FRITZSONS, E.; MANTOVANI, L.E.; RIZZI, N.E. Aplicação de índices de paisagem às florestas ciliares na bacia do Alto Capivari – Região Cárstica Curitibana. **Floresta**, Curitiba, v. 34, n. 1, p. 3-11, 2004.

FUNDAÇÃO DE AMPARO À PESQUISA DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Olhar amplo sobre a biodiversidade**. São Paulo, 2006. 45 p.

GAMON, J.A.; FIELD, C.B.; GOULDEN, M.L.; GRIFFIN, K.L.; HARLEY, A.E.; JOEL, G.; PEÑUELAS, J.; VALENTINI, R. Relationships between NDVI, canopy structure, and photosynthesis in trees of Californian vegetation types. **Ecological Applications**, Washington, DC, v. 5, n.1, p. 28-41, 1995.

GARCIA, L.B.R. **Ocupação e desenvolvimento econômico da Bacia do Corumbataí - séculos XVIII a XX**. Rio Claro: 2000. Disponível em: www.rc.unesp.br/igce/ceapla. Acesso em: 02 set. 2001.

GARDNER R.H.; TURNER, M.G. Future directions in quantitative landscape ecology. In: TURNER, M.G. ; GARDNER, R.H. (Ed.). **Quantitative methods in landscape ecology**. New York: Springer-Verlag, 1991. p. 289-308.

GRACE, J. **Plant-atmosphere relationships**. London: Chapman and Hall, 1977. 92 p.

HANSEN, A.; Di CASTRI, F. (Ed.) **Landscapes boundaries**. New York: Springer, 1992. 452 p.

HANSKI, I.A. The metapopulation approach, its history, conceptual domain, and application to conservation. In: HANSKI, I. A.; GILPIN, M.E. (Ed.). **Metapopulation biology: Ecology, Genetics and Evolution**. Oxford: Academic Press, 1997, p. 43-60.

HANSKI, I.A. Metapopulation dynamics: effects of the habitat quality and landscape structure. **Ecology**, Davis, n. 79, p. 2503-2515, 1998.

HESS, T.; STEPHENS, W.; GRAHAM, T. Modelling NDVI from decadal rainfall data in the East Arid Zone of Nigeria. **Journal of Environmental Management**, Berkeley, v. 48, p. 249-261, 1996.

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

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

HUSTON, M.A. **Biological Diversity: the coexistence of species on changing landscapes**. Cambridge: Cambridge University Press, 1994. 68 p.

INSTITUTO DE PESQUISAS E ESTUDOS FLORESTAIS - **Projeto Corumbataí: Conservação dos recursos hídricos e da cobertura florestal na Bacia do Rio Corumbataí**. Piracicaba: IPEF, 2001. 118 p. (Relatório do Projeto).

JORDANO, P. Fruits and frugivory. In: FENNER, M. (Ed.). **Seeds: the ecology of regeneration in plant communities**. Wallingford: CAB International, 1992. p. 105-156.

KAGEYAMA, P.Y.; GANDARA, F.B.; INGLEZ DE SOUZA, L.M. Conseqüências genéticas da fragmentação sobre as populações de espécies arbóreas. **Série Técnica IPEF**, Piracicaba, v. 12, n. 32, p. 65-70, dez. 1998.

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

KOFFLER, N.F. Carta de declividade da bacia do rio Corumbataí para análise digital (SIG). Rio Claro, **AGETEO**, Rio Claro, v. 19, n. 2, p. 167-182, 1994.

KOLB, S.R. **Islands of secondary vegetation in degraded pastures of Brazil: their role in reestablishing Atlantic coastal forest**, 1993. 127 p. Thesis (PhD) – University of Georgia, Roswell, 1993.

KRICHER, J. **A neotropical companion**. Princeton: Princeton University Press, 1997. 58 p.

KRONKA, F. J. N.; NALON, M. A.; MATSUKUMA, C.K. **Inventário florestal natural do Estado de S.P. São Paulo**: Instituto Florestal, 2005. 184 p.

LAMBIN, E.F.; CASHMAN, P.; MOODY, A.; PARKHURST, B.H.; PAX, M.H. ; SCHAAF, C.B. Agricultural production monitoring in the Sahel using remote sensing: Present possibilities and research needs. **Journal of Environmental Management**, Berkeley. v. 38, p. 301–322, 1993.

LAURANCE, W.F.; BIRREGAARD, R.O. Jr. **Tropical forest remnants: ecology, management, and conservation of fragmented communities** Chicago: University of Chicago Press, 1997. p. 33-44.

LOVEJOY, T.E.; BIERREGAARD, R.O. Jr.; RYLANDS, A.B.; MALCOLM, J.R.; QUINTELA, C.E.; HARPER, L.H.; BROWN, K.S. Jr.; POWELL, A.H.; POWELL, G.V.N.; SCHUBART, H.O.R.; HAYS, M. Edge and other effects if isolation on Amazon Forests fragments. In: SOULÉ, M.E. (Ed.). **Conservation biology: The science of scarcity and diversity**. Sunderland: Sinauer Associates, 1986. p. 257 - 285.

LIMA, J.L.N. de. **Hidroquímica pluvial e fluvial na Bacia do Rio Corumbataí (SP) e relações com o uso do Pb-210 como geocronômetro** 2000. 219 p. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Rio Claro, 2000.

LUDWIG, J. Primary production variability in desert ecosystems. In: WHITFORD, W.G.(Ed.). **Pattern and process in desert ecosystems**. Albuquerque: University of New Mexico Press, 1986. p. 5-17.

MACARTHUR, R.H.; WILSON, E.O. An equilibrium theory of insular zoogeography. **Evolution**, Madison, v. 17, p. 373-387, 1963.

MACARTHUR, R.H.; WILSON, E.O. **The theory of island biogeography**. Princeton: Princeton University Press, 1967. 203 p.

McGARIGAL, K.; MARKS, B.; J. FRAGSTATS: spacial pattern analyses program for quantifying landscape structure. Portland: U.S. Departament of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station, 1995. 122 p.

MELLO, M.T.Q – Considerações sobre um plano de manejo e conservação do jacaré-do-papo-amarelo. In: WORKSHOP SOBRE CONSERVAÇÃO E MANEJO DO JACARÉ-DO-PAPO-AMARELO (*Caiman latirostris*), 1993. Piracicaba. **Anais ...** Piracicaba: ESALQ, 1993. p. 91-92.

MESQUITA JUNIOR, H.N. **Análise temporal com sensor orbital de unidades fisionômicas de cerrado na Gleba Pé-de-Gigante (Parque Estadual de Vassununga - SP)**. 2006. 118 p. Dissertação (Mestrado em Ecologia dos Ecossistemas Terrestres e Aquáticos) - Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

METZGER, J.P. O que é ecologia de paisagens? **Biota Neotropica**, Campinas, v. 1, n. 1/2, p. 1-9. dez 2001.

METZGER, J.P. Como restaurar a conectividade de paisagens fragmentadas? In: KAGEYAMA, P.Y.; OLIVEIRA, R.E.; MORAES, L.F.D.; ENGEL, V.L.; GANDARA, F.B. **Restauração ecológica em ecossistemas naturais**. Botucatu: FEFAP. 2003, cap 3, p. 51–76.

MILLWARD, A.A ; KRAFT, E.C. Physical influences of landscape on a large-extent ecological disturbance: the northeastern North American ice storm of 1998. **Landscape Ecology**, New York, v. 19 p. 99 -111, 2004.

MOEN, A.N. Turbulence and visualization of wind flow. **Ecology**, Davis, v. 55, p. 1420-1424, 1974.

MORITZ, C. Defining “Evolutionarily Ecological Significant Units” for conservation. **Trends in Ecology & Evolution**, Amsterdam, v. 9, p. 373-375, 1994.

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

MYERS, N.; MITTERMEIER R.A.; MITTERMEIER C.G. ; DA FONSECA G.A.B. ; KENT J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, London. v. 403, p. 853-858, 2000.

NAGENDRA, H.; SOUTHWORTH, J.; TUCKER, C. Acessibility as a determinant of landscape transformation in Western Honduras : linking pattern and process. **Landscape Ecology**, New York, v. 18, p. 141-158, 2003.

NEWMARK, W.D. Species area relationship and its determinants for mammals in western North American national parks. **Biological Journal of Linnean Society**, London, v. 28, p. 83-98, 1986.

ODUM, E.P. **Ecologia**. Rio de Janeiro: Editora Guanabara, 1988. 434 p.

OLIVEIRA, J.B.; PRADO, H. do. **Levantamento pedológico semidetalhado do Estado de São Paulo**: quadricula de São Carlos II. Memorial descritivo. Campinas: Instituto Agrônomo, 1984. 188 p. (IAC. Boletim Técnico, 98).

OLIVEIRA, L.M.T. de; SILVA, E.; BRITES, R.S.; SOUZA, A.L. de. Diagnóstico de fragmentos florestais nativos, em nível de paisagem, Eunápolis – BA. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 21, n. 4, p. 501-510, 1997.

PATTERSON, B.D.; ATMAR, W. Nested subsets and the structure of insular mammalian faunas and archipelagos. **Biological Journal of the Linnean Society**, London, v. 28. p. 65-82, 1986.

PENTEADO, M.M. **Geomorfologia do setor centro-ocidental da Depressão Periférica Paulista**. 1976. 111 p. Tese (Doutorado em Geografia Física) Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Rio Claro, 1976.

PETTORELLI, N.; VIK, J.O.; MYSTERUD, A.; GAILLARD, J.M.; TUCKER, C.J.; STENSETH, N.C. Using the satellite-derived NDVI to assess ecological responses to environmental change. **Trends in Ecology and Evolution**, Amsterdam, v. 20, n. 9, p. 503-510, 2005.

PRESTON, F.W. The canonical distribution of commonness and rarity. Part I. **Ecology**, Davis, n. 43, p. 185-215, 1962a.

PRESTON, F.W. The canonical distribution of commonness and rarity. Part II. **Ecology**, Davis, v. 43, p. 410-432, 1962b.

PROCHNOW, M.C.R. **A qualidade das águas na Bacia do Rio Piracicaba** 1981. Tese (Mestrado em Geociências e Meio Ambiente) Rio Claro – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Rio Claro, 1981.

PROJETO PIRACENA. Banco de dados geoprocessamento, Disponível em: <http://www.cena.usp.br/piracena>. Acesso em: 04 set. 2005.

RANTA, P.; BLOM, T.; NIEMELÄ, J.; SIITONEN, E.J.M. The fragmented Atlantic rain forest of Brazil: size, shape and distribution of forest fragments. **Biodiversity and Conservation**, London, v. 7, p. 385-403, 1998.

REDFORD, H.K. **The empty forest**: many large animals are already ecologically extinct in vast areas of neotropical forest where the vegetation still appears intact. **BioScience**, Washington, v. 42, n. 6, p. 412-422, 1992.

RODRIGUES, R.R. A vegetação de Piracicaba e municípios de entorno. **Circular Técnica IPEF**, Piracicaba, n. 189, p. 1-17, 1999.

RODRIGUES R.R. Por que as florestas são diferentes. **Revista Pesquisa FAPESP**, São Paulo, n. 119, p. 26-29, 2006.

ROSENZWEIG, M.L. **Species diversity in space and time**. Cambridge: Cambridge University Press, 1995. 436 p.

ROUSE, J.W.; HAAS, R.H.; SCHELL, J.A.; DEFERING, D.W. Monitoring vegetation system in the Great Plains with ERTS. In: EARTH RESOURCES TECHNOLOGY SATELLITE-1 SYMPOSIUM, 3., 1973. **Proceedings** ... Washington, 1973. v. 1, p. 309-317.

SANTIAGO, A.C.P.; BARROS, E.L.C.L.; SYLVESTRE, L.S. Pteridófitas ocorrentes em três fragmentos florestais de um brejo de Altitude (Bonito, Pernambuco, Brasil). **Acta Botânica Brasileira**, Porto Alegre, v. 18, n. 14, p. 781-792, 2004.

SALATI, E. **Análise ambiental sintética e qualidade de água do rio Corumbataí (SP) como subsídio para o planejamento regional integrado da bacia de drenagem do rio Corumbataí**. 1996. 198 p. Tese (Doutorado em Química)- Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 1996.

SAUNDERS, D.A., HOBBS, R.J., MARGULES, C.R. Biological consequences of ecosystem fragmentation: a review. **Conservation Biology**, Liverpool, v. 5, p. 18-32, 1991.

SILVA, E. **Avaliação quantitativa de impactos ambientais do reflorestamento no Brasil**, 1994. 309 p. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 1994.

SILVA, E.; BARROZ FILHO, L.; BRITES, R.S.; SOUZA, A. L. de. Diagnóstico de fragmentos florestais nativos, em nível de paisagem, Itabira-MG. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 21, n. 4, p. 511-520, 1997.

SILVA, C. A.da. **Variabilidade das chuvas na bacia do Rio Corumbataí e implicações no consumo e qualidade das águas do município de Rio Claro**. 2001. 241 p. Dissertação (Mestrado em Geociências e Meio Ambiente) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Rio Claro, 2001.

SILVA, J.M.C.; TABARELLI, M. Tree species impoverishment and the future flora of the Atlantic Forest of northeast Brazil. **Nature**, London, v. 404, p. 72-74. Mar. 2000.

SIMBERLOFF, D. Equilibrium theory of island biogeography and ecology. **Annual Review of Ecology and Systematics**, Srivastava, v. 5, p. 161-182, 1974.

SMITH, T.R.; MENON, S.; STAR, J.L.; ESTES, J. Requirements and principles for the implementation and construction of large-scale geographic information systems. **International Journal of Geographic Information Systems**, London, v. 1, n. 1, p. 13-31, Jan./Mar. 1987.

S.O.S. MATA ATLÂNTICA; INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Atlas da evolução dos remanescentes florestais e ecossistemas associados do domínio de Mata Atlântica no período de 1985-1990**. São Paulo, 1992. 110 p.

S.O.S. MATA ATLÂNTICA; INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Evolução dos remanescentes florestais e ecossistemas do domínio da Mata Atlântica**. São Paulo, 1993. 91 p.

S.O.S. MATA ATLÂNTICA; INPE. **Evolução dos remanescentes florestais e ecossistemas do domínio da Mata Atlântica**, São Paulo, 1998. 42 p.

SOULÉ, M.E. **Viable populations for conservation**. Cambridge: Cambridge University Press, 1987. 311 p.

STALMANS, M.; ROBINSON, E.R.; BALKWILL, K.B. Ordination and classification of vegetation of Songimvelo Game Reserve in the Barberton Mountainland, South Africa as a basis for the assessment of wildlife habitat distribution and quality. **Bothalia**, Pretoria, v. 29, n. 2, p. 305–325, 1999.

STEVENS, S.M.; HUSBAND, T.P. The influence of edge on small mammals: evidence from Brazilian Atlantic forest fragments. **Biological Conservation**, Liverpool, v. 85, p. 1-8, 1998.

STOUFFER, P.C.; BIERREGAARD, R.O. Jr. Use of Amazonian forest fragments by understorey insectivorous birds. **Ecology**, Durham, v. 76, p. 2429-2445, 1995.

TEMPLE, A.S. Predicting impacts of habitat fragmentation on forest birds : a comparison of two models. In VERNER, J.; MORRISON, M.L.; RALPH, C.J. (Ed.). **Wildlife 2000: modelling habitat relationships of terrestrial vertebrates**, Madison: University of Wisconsin Press, 1985, p. 301-304.

TESSLER, M.B. Reflexões sobre a tutela jurídica da Mata Atlântica. In: LIMA, A. (Org.). **Aspectos jurídicos da proteção da Mata Atlântica**. São Paulo: Instituto Sócio Ambiental, 2001. p. 25-29. (Documentos, 7).

TROPPEMAIR, H. Atlas da qualidade ambiental e de vida de Rio Claro. Rio Claro. Instituto de Geociências e Ciências Exatas, UNESP, 1992. 106 p.

TROPPEMAIR, H.; MACHADO, M.L.A. Variação da estrutura da mata galeria na Bacia do rio Corumbataí (SP) em relação à água do solo, tipo de margem e do traçado do rio. **Biogeografia**, São Paulo, v. 8, p. 1-28, 1974.

TURNER, M.G. Landscape ecology. The effect of pattern on process. **Annual Review of Ecology and Systematics**, Srivastava, v. 20, p. 171-197, 1989.

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.

TURNER, I.M. Species loss in fragments of tropical rain forest: a review of the evidence. **Journal of Applied Ecology**, Oxford, v. 33, p. 200-209, 1996.

VALENTE, R.O.A. **Análise da estrutura da paisagem na bacia do Rio Corumbataí, SP**. 2001. 144 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2001.

VALENTE, R.O.A. **Definição de áreas prioritárias para conservação e preservação florestal por meio da abordagem multicriterial em ambiente SIG**. 2005. 137 p. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

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. 1-9, maio 2003.

VASCONCELOS, H.L.; VILHENA, J.M.S.; MAGNUSSON, M.W.E.; ALBERNAZ, A. L.K.M. Long-term effects of Forest fragmentation on Amazonian ant communities. **Journal of Biogeography**, Oxford, v. 33, p. 1348-1356, 2006.

VIADANA, A.G. **Análise da qualidade hídrica do alto e médio Corumbataí (SP) pela aplicação de bio-indicadores**. 1985. 109 p. Dissertação (Mestrado em Geociências e Meio Ambiente) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Rio Claro, 1985.

VIANA, V.M. Biologia e manejo de fragmentos florestais atuais. In: CONGRESSO BRASILEIRO FLORESTAL, 6., 1990. Campos do Jordão. **Anais...Campos do Jordão**: SBS; SBEF, 1990. p. 113-118. (Trabalhos Convidados, 1).

VIANA, V.M. ; TABANEZ, A.A. Biology and conservation of forest fragments in the Brazilian Moist Forest In: SCHELHAS, J.O.; GREENBERG, R. (Ed.). **Forest patches in tropical landscapes**. Washington: Island Press, 1996. p. 151-167.

VIANA, V.M.; TABANEZ, A.A.J.; BATISTA, J.L.F. Dynamics and restoration of forest fragments on the Brazilian Atlantic moist forest. In: LAURANCE, W.F. ; BIERREGAARG, R.O.Jr. (Ed). **Tropical forest remnants: ecology, management, and conservation of fragmented communities**. Chicago: The Chicago University Press, 1997. p. 351-365.

VIANA, V.M.; TABANEZ, A.A.J; MARTINEZ, J.L.A. Restauração e manejo de fragmentos florestais. **Revista do Instituto Florestal de São Paulo**, São Paulo, v. 4, p. 86-94, 1992.

VIEDMA, O.; MELIA, J.; SEGARRA, D.; GARCIA-HARO, J. Modeling rates of ecosystem recovery after fires by using landsat TM data. **Remote Sensing of Environment**, New York, v. 61, p. 383-398, 1997.

WIENS, J.A. Population response to patch environments. **Annual Review of Ecology and Systematics**, Srivastava, v. 7, p. 81-129, 1976.

WIENS, J.A. Spatial scaling in ecology. **Functional Ecology**, Oxford, v. 3, p. 385-397, 1989.

WIENS, J.A. Habitat fragmentation: island vs. landscape perspectives on bird conservation. **Ibis**, London, v. 137, p. 97-104, 1994.

WIENS, J. A. Metapopulation dynamics and landscape ecology. In: HANSKI, I.A.; GILPIN, M.E. (Ed.). **Metapopulation biology: ecology, genetics and evolution**. Academic Press, London, 1997. p. 43-60.

ZAVATINI, J.A.; CANO, H. Variações do ritmo pluvial na bacia do rio Corumbataí. **AGETEO**, Rio Claro, v. 23, n. 45/46, p. 215-240. 1993.

ANEXOS

ANEXO A - Localidades e coordena das dos postos pluviométricos no mapa de precipitação (1940-1990)

Localidade	Estação	Chuva (mm)	Lat	Long
PANTANO - Faz. Sta Rita – Descalvado	C4-071	1.560	-22,9667	-47,7000
CORUMBATAÍ - Analândia – Analândia	D4-035	1.348	-22,1333	-47,6667
ARARAS - Faz. Belmonte – Araras	D4-027	1.356	-22,3000	-47,4500
JACARÉ-GUAÇU - Itirapina – Itirapina	D4-014	1.376	-22,2500	-47,8167
PIRACICABA - Americana – Americana	D4-004	1281.1	-22,7000	-47,2833
JACARÉ-PEPIRA - Campo Redondo – Brotas	D4-098	1.448	-22,3667	-47,9833
PIRACICABA - Sta. Terezinha – Piracicaba	D4-056	1349.46	-22,6833	-47,7000
JAGUARI - Usina Ester – Cosmópolis	D4-052	1.306	-22,6667	-47,2167
CORUMBATAÍ - Sta. Gertrudes - Sta. Gertrudes	D4-059	1.366	-22,4833	-47,5167
CORUMBATAÍ - Faz. São José - Rio Claro	D4-016	1.385	-22,3333	-47,4833
FEIJÃO - Visc. de Rio Claro – Itirapina	D4-037	1.331	-22,1500	-47,8000
MOGI-GUAÇU - Sitio S. Geraldo - S. Cruz da Conceição	D4-032	1.352	-22,1167	-47,4167
CORUMBATAÍ - Rio Claro - Rio Claro	D4-012	1.317	-22,4167	-47,5333
CORUMBATAÍ - Graúna	D4-036	1.437	-22,3000	-47,7500
MOGI-GUAÇU - Faz. Sta. Cruz – Araras	D4-034	1424.35	-22,2667	-47,3167
CORUMBATAÍ - Charqueada – Charqueada	D4-054	1.416	-22,5167	-47,7833
PIRACICABA - Artemis – Piracicaba	D4-061	1.343	-22,6833	-47,7667
PIRACICABA - São Pedro - São Pedro	D4-060	1.284	-22,5333	-47,9167

Fonte: Projeto PiraCena

ANEXO B – Critérios adotados na atribuição de pesos relativos ao contraste de borda

Classe de uso do solo	peso	justificativa
Floresta nativa	0	É a floresta semidecídua propriamente dita.
Cerrado	0	Vegetação de transição entre floresta semidecídua e cerrado, apresentando contraste praticamente nulo.
Floresta plantada	0.3	Manejo de baixa intensidade, dossel e microclima semelhantes à vegetação nativa. Maior permeabilidade.
Fruticultura	0.5	Apresenta menor intensidade de manejo, ou seja, as plantações de frutas poderão ser manejadas com a frequência superior a um ano ou mais, com menores quantidades de aplicação de agrotóxicos. Oferecem recursos bem aproveitados pela fauna. Clima e solo com bastante aridez pela ausência de dosséis. Ciclo de vida mais longo.
Cultura anual	0.7	Manejo intensivo, uso de máquinas e implementos agrícolas, aplicação de agrotóxicos.
Pasto	0.8	Presença de gado. Poucos pastos oferecem vantagens à dispersão faunística e poucos possuem cercas devidamente colocadas para proteção dos mesmos. Vegetação baixa e presença de fogo.
Cana	0.9	Utilização do fogo como prática usual de manejo. Baixa permeabilidade, manejo intensivo, baixo dossel.
Mineração	1	Solo exposto, alta presença humana, grande quantidade de resíduos podendo gerar contaminação da área.
Área urbana	1	Presença antrópica constante; alto impacto.

ANEXO C – Funções utilizadas na normalização de variáveis

VARIÁVEIS	TRANSFORMAÇÕES DAS VARIÁVEIS
Area	$1/X$
Dist_rio	$\text{Log}(x+1)$
Dist_estr	$\text{Log}(x+1)$
Dist-urb	x
Contr	x
Perimet	$1/x$
Forma	$\text{Log}(x+1)$
V_prox	$\text{Log}(x+1)$
A_nucl	$\text{Log}(x+1)$
Decl	x
Altit	$1/x$
Chuva	X^2
NDVI	X^2