



UNICAMP

NÚMERO: 149/2011

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

ANA ISABEL PASZTOR MORETTI

**MAPEAMENTO DE CORREDORES ECOLÓGICOS NA APA FERNÃO DIAS - MG
A PARTIR DE TÉCNICAS DE GEOPROCESSAMENTO E ANÁLISE ESPACIAL**

Dissertação apresentada ao Instituto de Geociências
como parte dos requisitos para obtenção do título de
Mestre em Geografia.

Orientador: Prof. Dr. Marcos César Ferreira

CAMPINAS - 2011

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA POR
CÁSSIA RAQUEL DA SILVA – CRB8/5752 – BIBLIOTECA “CONRADO PASCHOALE” DO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
UNICAMP

M817m	<p>Moretti, Ana Isabel Pasztor, 1986- Mapeamento de corredores ecológicos na APA Fernão Dias – MG a partir de técnicas de geoprocessamento e análise espacial / Ana Isabel Pasztor Moretti- Campinas, SP.: [s.n.], 2011.</p> <p>Orientador: Marcos César Ferreira. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Geociências.</p> <p>1. Proteção ambiental – Fernão Dias (MG). 2. Áreas de conservação de recursos naturais. 3. Fragmentação florestal. 4. Geoprocessamento. 5. Sensoriamento remoto. I. Ferreira, Marcos César, 1957- II. Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Geociências. III. Título.</p>
-------	---

Informações para a Biblioteca Digital

Título em inglês: Mapping of Ecological Corridors in Fernão Dias EPA - MG from techniques of Geoprocessing and Spatial Analysis.

Palavras-chaves em inglês:

Environmental protection Fernão Dias (MG)

Areas of conservation of natural resources

Forest fragmentation

Geoprocessing

Área de concentração: Análise Ambiental e Dinâmica Territorial

Titulação: Mestre em Geografia.

Banca examinadora:

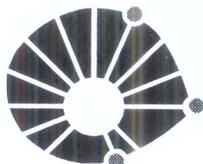
Marcos César Ferreira (Presidente)

Carlos Roberto de Souza Filho

Reinaldo Paul Perez Machado

Data da defesa: 25-08-2011

Programa de Pós-graduação em Geografia



UNICAMP

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA
ÁREA DE ANÁLISE AMBIENTAL E DINÂMICA TERRITORIAL**

AUTORA: Ana Isabel Pasztor Moretti

“Mapeamento de corredores ecológicos na APA Fernão Dias - MG a partir de técnicas de geoprocessamento e análise espacial”.

ORIENTADOR: Prof. Dr. Marcos César Ferreira

Aprovada em: 25 / 08 / 2011

EXAMINADORES:

Prof. Dr. Marcos César Ferreira _____ - Presidente

Prof. Dr. Carlos Roberto de Souza Filho _____

Prof. Dr. Reinaldo Paul Pérez Machado _____

Campinas, 25 de agosto de 2011

Ao Guto,
marido e melhor amigo,
dedico este trabalho.

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Prof. Dr. Marcos César Ferreira, pela motivação, pelo apoio, pelas ideias desenvolvidas conjuntamente e pelo aprendizado em campo.

Ao Prof. Dr. Carlos Roberto de Souza Filho e ao Prof. Dr. Reinaldo Paul Perez Machado, pelas correções e sugestões feitas nas bancas de qualificação e defesa.

Aos meus pais, Ana Maria e Eduardo, pelo exemplo, dedicação e carinho.

Ao meu marido Guto, por estar sempre ao meu lado, pelo incentivo ao mestrado e pelas diversas leituras e sugestões que contribuíram para a elaboração desta dissertação.

Aos amigos de Geografia e de vida, Daniel, Mayumi e Viviane, pelas conversas, pelas risadas, pelo apoio e pelos bons momentos compartilhados.

Às minhas amigas de laboratório, Eliana e Gracieli, pelas oportunidades de discussões, pelas sugestões e pela companhia durante todo o mestrado, os trabalhos de campo, os bolos e os cafés.

A todos os funcionários e professores do Programa de Pós-Graduação em Geografia do Instituto de Geociências da Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES, pela bolsa de mestrado concedida.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	xi
LISTA DE TABELAS	xv
LISTA DE QUADROS	xvii
LISTA DE ANEXOS	xix
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS	xxi
LISTA DE SÍMBOLOS	xxiii
RESUMO	xxv
ABSTRACT	xxvii
1. INTRODUÇÃO	1
2. PRESSUPOSTOS TEÓRICOS E BASES METODOLÓGICAS	5
2.1 - Fragmentação florestal e perda de biodiversidade	5
2.2 - Corredores ecológicos e a perspectiva ecológica da paisagem.....	10
2.3 - Geossistemas e a perspectiva geográfica da paisagem	15
2.4 - Geoprocessamento e Análise Espacial	20
3. ÁREA DE ESTUDO	27

4. MATERIAIS E PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	37
4.1 - Elaboração da base cartográfica	37
4.2 - Trabalho de campo I	38
4.3 - Trabalho de campo II	40
4.4 - Mapa de uso e cobertura do solo da APA Fernão Dias	41
4.5 - Mapa das formações floresta ombrófila densa e floresta estacional semidecidual	45
4.6 - Trabalho de campo III	48
4.7 - Mapa dos geossistemas da APA Fernão Dias	49
4.8 - Mapa dos corredores ecológicos da APA Fernão Dias	50
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	53
5.1 - Trabalhos de campo	53
5.2 - Mapeamento do uso e cobertura do solo da APA Fernão Dias	61
5.3 - Mapeamento das formações floresta ombrófila densa e floresta estacional semidecidual pelos métodos da Máxima Verossimilhança (MaxVer) e de decisão <i>fuzzy</i>	65
5.4 - Mapeamento e caracterização dos geossistemas da APA Fernão Dias	72
5.4.1 - Geossistema I - Corredor da Rodovia Fernão Dias	75
5.4.2 - Geossistema II - Corredor Sapucaí-Mirim – Paraisópolis	79
5.4.3 - Geossistema III - Bordas do Planalto do Alto Jaguari	81
5.4.4 - Geossistema IV - Altos da Terra Fria	86
5.5 - Mapeamento dos corredores ecológicos na APA Fernão Dias	91
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	109
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	113

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Previsão do número de extinções locais para 46 espécies de vertebrados em função de fragmentos florestais na Amazônia com pouca ou nenhuma atividade de caça (círculos sólidos) ou com moderada ou intensa atividade de caça (quadrados sombreados) (adaptado de PERES, 2001)	6
Figura 2.2 - Distâncias de penetração de distintos efeitos de borda em fragmentos florestais tropicais (adaptado de LAURANCE <i>et al.</i> , 2002)	8
Figura 3.1 - Localização da área de estudo	27
Figura 3.2 - Mapa do sistema viário da APA Fernão Dias	28
Figura 3.3 - Mapa hidrográfico da APA Fernão Dias	29
Figura 3.4 - Mapa litológico da APA Fernão Dias (adaptado de CPRM, 2003)	30
Figura 4.1 - Pontos amostrados e trajeto proposto para o campo III no mapa de uso e cobertura do solo resultante da classificação MaxVer	49
Figura 5.1 - Composição R4G5B3 da imagem do Landsat 5 TM, órbita/ponto 219/76, de 18 de abril de 2010	56
Figura 5.2 - Transformação por Principais Componentes R1G2B3 da imagem do Landsat 5 TM, órbita/ponto 219/76, de 18 de abril de 2010	57
Figura 5.3 - NDVI da imagem do Landsat 5 TM, órbita/ponto 219/76, de 18 de abril de 2010	58
Figura 5.4 - Trajeto percorrido e pontos visitados no primeiro trabalho de campo	59
Figura 5.5 - Trajeto percorrido e pontos visitados no segundo trabalho de campo	60
Figura 5.6 - Trajeto percorrido e pontos visitados no terceiro trabalho de campo	60
Figura 5.7 - Amostras de treinamento na composição R4G5B3 da imagem Landsat 5 TM, órbita/ponto 219/76, de 18 de abril de 2010	61
Figura 5.8 - Mapa de uso e cobertura do solo da APA Fernão Dias	62
Figura 5.9 - Floresta ombrófila densa e floresta estacional semidecidual classificadas pelo método MaxVer	66
Figura 5.10 - Floresta ombrófila densa e floresta estacional semidecidual classificadas pelo método de decisão <i>fuzzy</i>	67

Figura 5.11 - Distribuição das florestas ombrófila densa e estacional semidecidual em relação à altimetria (classificação pelo método MaxVer)	70
Figura 5.12 - Distribuição das florestas ombrófila densa e estacional semidecidual em relação à altimetria (classificação pelo método de decisão <i>fuzzy</i>)	70
Figura 5.13 - Representação em perspectiva da composição colorida (R4G5B3) da imagem Landsat (A) e da distribuição da floresta ombrófila densa e da floresta estacional semidecidual resultante da classificação MaxVer (B) e do método de decisão <i>fuzzy</i> (C)	71
Figura 5.14 - Geossistemas da APA Fernão Dias propostos neste estudo	72
Figura 5.15 - Mosaico das cenas S23W046 e S23W047 do ASTER GDEM	73
Figura 5.16 - Mapa hipsométrico da APA Fernão Dias	74
Figura 5.17 - Distribuição dos fragmentos florestais nos quatro geossistemas da APA Fernão Dias	91
Figura 5.18 - Fragmentos florestais do geossistema Altos da Terra Fria (A) e fragmentos florestais do geossistema Altos da Terra Fria maiores que 100 ha selecionados para o mapeamento dos corredores ecológicos (B)	93
Figura 5.19 - Superfície de isodistâncias dos fragmentos selecionados do Geossistema Altos da Terra Fria	94
Figura 5.20 - Superfície de isodistâncias reclassificada com intervalos de 50 m (até 2.000 m) na escala 1:250.000 (A) e detalhe na escala 1:20.000 (B); intervalos de 0 a 150 m vetorizados para compor os corredores ecológicos (C) na escala 1:250.000 e detalhe na escala 1:20.000 (D)	95
Figura 5.21 - Mapa de uso e cobertura do solo dos corredores ecológicos	96
Figura 5.22 - Vetores de mobilidade potencial de fauna dos corredores ecológicos da APA Fernão Dias representados no mapa de formações florestais	98
Figura 5.23 - Vetores de mobilidade potencial de fauna dos corredores ecológicos da APA Fernão Dias representados na composição R4G5B3 da imagem Landsat	98
Figura 5.24 - Mapa hidrográfico dos corredores ecológicos da APA Fernão Dias	99
Figura 5.25 - Mapa hipsométrico dos corredores ecológicos da APA Fernão Dias com localização das serras do complexo da Mantiqueira	100
Figura 5.26 - Uso e cobertura do solo do vetor de mobilidade 1	102
Figura 5.27 - Uso e cobertura do solo do vetor de mobilidade 2	103
Figura 5.28 - Uso e cobertura do solo do vetor de mobilidade 3	105

Figura 5.29 - Uso e cobertura do solo dos vetores de mobilidade 4, 5 e 6 107

Figura 5.30 - Uso e cobertura do solo dos vetores de mobilidade 7 e 8 108

LISTA DE TABELAS

Tabela 5.1 - Área em Km ² e em porcentagem das classes de uso e cobertura do solo na APA Fernão Dias	63
Tabela 5.2 - Matriz de erro da classificação MaxVer	64
Tabela 5.3 - Matriz de erro da classificação MaxVer para as formações floresta ombrófila densa e floresta estacional semidecidual	68
Tabela 5.4 - Matriz de erro da classificação <i>fuzzy</i> para as formações floresta ombrófila densa e floresta estacional semidecidual	69
Tabela 5.5 - Área em Km ² e em porcentagem dos geossistemas da APA Fernão Dias e dos fragmentos florestais existentes em cada um deles	92
Tabela 5.6 - Área em Km ² e em porcentagem das classes de uso e cobertura do solo dos corredores ecológicos	97
Tabela 5.7 - Área em Km ² e em porcentagem das classes de formações florestais nativas dos corredores ecológicos	97

LISTA DE QUADROS

Quadro 5.1 - Geossistemas e geofácies da APA Fernão Dias	75
--	----

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1 - Planilha - Campo I	123
Anexo 2 - Planilha - Campo II	124
Anexo 3 - Planilha - Campo III	125

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

APA	Área de Proteção Ambiental
APP	Área de Preservação Permanente
ASTER GDEM	<i>Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer - Global Digital Elevation Model</i>
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DOS	<i>Dark-Object Subtraction</i>
EEM	Espectro Eletromagnético
Fuzzclass	<i>Fuzzy Set Membership Classification</i>
GPS	<i>Global Positioning System</i>
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IBDF	Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IEF	Instituto Estadual de Florestas
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Landsat	<i>Land Remote Sensing Satellite</i>
MaxVer	Máxima Verossimilhança
MDE	Modelo Digital de Elevação
METI	<i>Ministry of Economy, Trade and Industry</i>
MMA	Ministério do Meio Ambiente
NASA	<i>National Aeronautics and Space Administration</i>
NCGIA	<i>National Centre for Geographical Information and Analysis</i>
ND	Número Digital
NE	<i>Northeast</i>
NDVI	<i>Normalized Difference Vegetation Index</i>
PPG7	Programa Piloto para proteção das florestas tropicais do Brasil proposto na reunião do Grupo dos Sete países industrializados - G7
RPPN	Reserva Particular do Patrimônio Natural
S	<i>South</i>
SAD	<i>South American Datum</i>

SEMA	Secretaria Especial do Meio Ambiente
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SNUC	Sistema Nacional de Unidades de Conservação
SW	<i>Southwest</i>
TM	<i>Thematic Mapper</i>
UC	Unidade de Conservação
UTM	Universal Transversa de Mercator
W	<i>West</i>

LISTA DE SÍMBOLOS

A	Classe de interesse na função de afinidade f
B	Classe de interesse na função de afinidade f
$Di_{\overline{X_A}}$	Distância euclidiana de i em relação à média da classe A na função de afinidade f
$Di_{\overline{X_B}}$	Distância euclidiana de i em relação à média da classe B na função de afinidade f
Cwb	Clima subtropical de altitude segundo classificação de Köppen
E	Erro permissível no cálculo de N
f	Função de afinidade
ha	Hectare
i	Pixel a ser classificado na função de afinidade f
K	Coefficiente de Kappa
Km	Quilômetro
km ²	Quilômetro quadrado
m	Metros
mm	Milímetros
m ² /ha	Metros quadrados por hectare
N	Número de amostras
N	Número total de pixels contemplados pela matriz de erro no cálculo do K
p	Percentual de exatidão esperado no cálculo de N
q	$100 - p$ no cálculo de N
r	Número de categorias presentes na matriz de erro no cálculo do K
x	Elemento da matriz de erro no cálculo do K
x_i	Valor de uma variável x no elemento i na função de afinidade f
x_i	Total da linha para dada categoria informacional no cálculo do K
x_{ii}	Elementos da diagonal principal no cálculo do K
$x+i$	Total da coluna para dada categoria informacional no cálculo do K
$\overline{X_A}$	Média dos valores da classe A na função de afinidade f
$\overline{X_B}$	Média dos valores da classe B na função de afinidade f
Z	2 (para desvio padrão normal de 1,96 com 95% de intervalo de confiança) no cálculo de N

ρ_{ivp}	Refletância na Faixa do Infravermelho Próximo
ρ_v	Refletância na Faixa do Vermelho
%	Percentual
μm	Comprimento de onda eletromagnética
$^{\circ}\text{C}$	Graus Celsius



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA
ANÁLISE AMBIENTAL E DINÂMICA TERRITORIAL

Mapeamento de corredores ecológicos na APA Fernão Dias - MG a partir de técnicas de geoprocessamento e análise espacial

RESUMO

Dissertação de Mestrado

Ana Isabel Pasztor Moretti

A fragmentação florestal, resultante do processo de substituição da cobertura vegetal nativa por áreas antrópicas, é responsável pela redução do tamanho das manchas florestais e é a principal causa da extinção de espécies da fauna e flora nativas. A implementação de corredores ecológicos que conectam fragmentos de habitat configura-se como uma estratégia de conservação da biodiversidade que permite a proteção dos recursos naturais, favorecendo o fluxo de animais e de sementes entre os fragmentos anteriormente isolados. Técnicas de geoprocessamento e análise espacial podem auxiliar na determinação dos locais mais adequados para alocação dos corredores ecológicos, uma vez que permitem a obtenção, organização e disponibilização dos dados de forma eficiente e integradora. O objetivo principal deste trabalho é o mapeamento de corredores ecológicos na Área de Proteção Ambiental (APA) Fernão Dias, localizada no estado de Minas Gerais, a partir da conexão dos fragmentos florestais remanescentes da Mata Atlântica, representados pela floresta estacional semidecidual, pela floresta ombrófila densa e pela floresta ombrófila mista. Esta proposta de mapeamento de corredores ecológicos foi desenvolvida a partir de uma abordagem sistêmica, de acordo com os conceitos de Ecologia da Paisagem e da escola espacial da geografia que reúne a cartografia temática e as funções de análise espacial para um Sistema de Informação Geográfica (SIG). Foi proposta uma regionalização da APA Fernão Dias em quatro geossistemas, subdivididos internamente em geofácies. Estas unidades de paisagem foram caracterizadas em relação aos seus elementos naturais e às suas tendências atuais do uso e cobertura do solo, tendo sido o geossistema Altos da Terra Fria o mais adequado para a alocação espacial dos corredores ecológicos. Oito vetores de mobilidade potencial da fauna foram identificados e traçados a partir da conectividade dos remanescentes. Estes vetores integram toda a área dos corredores ecológicos e apresentam a possibilidade de repovoamento vegetal de áreas ocupadas por outras classes de uso e cobertura do solo.

Palavras-chave: APA Fernão Dias, Fragmentos Florestais, Corredores Ecológicos, Geoprocessamento, Sensoriamento Remoto.



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA
ANÁLISE AMBIENTAL E DINÂMICA TERRITORIAL

**Mapping of ecological corridors in Fernão Dias EPA - MG from techniques of
geoprocessing and spatial analysis**

ABSTRACT

Master Thesis

Ana Isabel Pasztor Moretti

The forest fragmentation, resulting from the replacement of native vegetation by anthropogenic areas, is responsible for the size reduction of forest patches and is the main cause of extinction of native fauna and flora. The implementation of ecological corridors that connect habitat fragments appears as a strategy for biodiversity conservation that allows natural resources protection, supporting the flow of animals and seeds between fragments previously isolated. Geoprocessing and spatial analysis techniques can help to determine the most suitable sites for allocation of ecological corridors, as they allow the collection, organization and availability of data in an efficient and inclusive way. The main objective of this work is the mapping of ecological corridors in the Fernão Dias Environmental Protection Area (EPA), located in the state of Minas Gerais, from the connection of the Atlantic Forest remaining fragments, represented by the semideciduous forest, the tropical rain forest and the araucaria forest. The mapping of ecological corridors was developed from a systemic approach according to the concepts of landscape ecology and Geographic Information Systems. A regionalization of the Fernão Dias EPA in four geosystems, divided internally into geofácies, was proposed. These landscape units were characterized according to their natural elements and their current trends in the land use. The Altos da Terra Fria geosystem was chosen for the allocation of ecological corridors. Eight potential vectors of fauna mobility were identified and delineated from the connectivity of the remnants. These vectors integrate the entire area of the ecological corridors and represent the recovery possibility of areas occupied by other land use classes.

Key words: Fernão Dias EPA, Forest Fragments, Ecological Corridors, Geoprocessing, Remote Sensing.

1. INTRODUÇÃO

A fragmentação florestal, resultante do processo de substituição da cobertura vegetal nativa por áreas de uso antrópico, é a principal causa da perda da biodiversidade, uma vez que contribui para a extinção de espécies (COLLINGE, 1996; TABARELLI *et al.*, 1999, LAURANCE *et al.*, 2002).

No Brasil, as políticas dedicadas à conservação da flora e da fauna se baseiam, tradicionalmente, na criação de Unidades de Conservação (UCs) de proteção integral e de uso sustentável. Esta estratégia da política ambiental brasileira para a conservação da biodiversidade, entretanto, tem-se mostrado insuficiente em razão do tamanho e do grau de conectividade dos fragmentos florestais existentes nas UCs que, quando muito pequenos e isolados, não são capazes de manter uma população mínima viável a longo prazo, podendo apresentar risco de extinção de espécies (COLLINGE, 1998; TABARELLI *et al.*, 1999). Somado a isto, existem as dificuldades administrativas e de manejo das UCs.

A implementação de corredores ecológicos que conectam fragmentos de habitat configura-se como uma estratégia de conservação da biodiversidade em escala regional que permite a proteção integral dos recursos naturais, favorecendo o fluxo de animais e de sementes entre os fragmentos anteriormente isolados.

Neste cenário, o objetivo principal deste trabalho é o mapeamento de corredores ecológicos na APA Fernão Dias, localizada no estado de Minas Gerais, a partir da conexão dos fragmentos florestais remanescentes da Mata Atlântica. Para tanto, destacam-se como objetivos específicos: a) o mapeamento do uso e cobertura do solo da APA Fernão Dias; e b) o mapeamento e a caracterização dos geossistemas da APA Fernão Dias.

De acordo com seu Plano de Gestão Ambiental, o principal objetivo da criação da APA Fernão Dias, no ano de 1997, refere-se à proteção dos recursos hídricos, das formações florestais remanescentes e da fauna silvestre a partir do disciplinamento de uso dos recursos naturais e de incentivos ao desenvolvimento ecológico regional (IBITU, 1998). Entretanto, esta região, que apresenta diversas nascentes, pontos de captação hídrica de significativa importância regional e remanescentes de Mata Atlântica responsáveis por sua beleza paisagística, tornou-se alvo de um processo desordenado de ocupação do solo, facilitado pela duplicação da rodovia Fernão Dias (HOEFFEL *et al.*, 2008).

Por se tratar de uma UC de uso sustentável que permite compatibilizar conservação da natureza com uso sustentável de recursos naturais, o ecoturismo tem sido considerado uma alternativa para o desenvolvimento regional e para a busca da sustentabilidade e manutenção de áreas de uso público (DRUMMOND *et al.*, 2005). Porém, a especulação imobiliária na APA Fernão Dias resultante do aumento do turismo e as atividades agropastoris e de silvicultura fazem com que os remanescentes florestais existentes, principalmente os menores, sofram com as conseqüências do processo de fragmentação.

Esta proposta de mapeamento de corredores ecológicos foi desenvolvida a partir de uma abordagem sistêmica, de acordo com os conceitos de Ecologia da Paisagem e da escola espacial da geografia, que reúne a cartografia temática e as funções de análise espacial para um Sistema de Informação Geográfica (SIG), adotado como um conjunto de tecnologias que permite a coleta, o processamento, a análise e a disponibilização de informação com referência geográfica.

O SIG pode ser considerado como uma tecnologia fundamental para a decisão da alocação dos corredores ecológicos, pois é capaz de integrar os fatores existentes na paisagem. Em um SIG, a paisagem real é transformada em paisagem digital com a reconstrução do espaço geográfico na forma de arquivos de informações geográficas digitais a partir das quais são modelados dados espaciais no formato cartográfico digital (FERREIRA, 2003).

O conceito de paisagem real adotado é o de um sistema espacial dinâmico de fenômenos naturais e sócio-econômicos. Trata-se de uma realidade dependente da presença do homem, o qual introduz modificações e desequilíbrios nesta realidade se constituindo, portanto, no espelho do geossistema (TROPMAIR, 1983). O geossistema é definido como um sistema complexo, no qual interagem elementos físicos, químicos e biológicos, além de elementos humanos que interferem nos processos de fluxos de matéria e energia do sistema natural (MONTEIRO, 2000). Esta interação de elementos é fundamental na definição de geossistema como unidade complexa que ocupa espaço amplo e se caracteriza por certa homogeneidade de seus componentes que, integrados, conformam o ambiente físico, no qual há exploração biológica e humana (TROPMAIR, 1983).

Esta abordagem integrada é desenvolvida pela Ecologia da Paisagem que, para este trabalho, será adotada em sua perspectiva geográfica, relacionada não só ao estudo das paisagens naturais, mas também às modificações antrópicas. Os corredores ecológicos não são considerados apenas como estruturas lineares (corredores) que conectam dois fragmentos (manchas) na

paisagem, assim como entendidos na perspectiva ecológica, mas sim como estruturas espaciais que permitem o fluxo de sementes e o deslocamento da fauna dentro do conceito de rede geográfica, de maneira a não apresentar barreiras ou impedâncias ao movimento.

Os corredores ecológicos permitem, desta maneira, o intercâmbio genético entre animais e plantas, compondo uma estratégia de manejo para a conservação da biodiversidade. A escolha dos locais mais adequados para a alocação dos corredores ecológicos é beneficiada quando aliada a técnicas de geoprocessamento e análise espacial, uma vez que estas permitem a obtenção, organização e disponibilização dos dados de forma eficiente e integradora.

2. PRESSUPOSTOS TEÓRICOS E BASES METODOLÓGICAS

2.1 - Fragmentação florestal e perda de biodiversidade

Como consequência principalmente das ações antrópicas, a cobertura vegetal natural é substituída por extensas áreas urbanas, industriais, de pecuária e de agricultura e reduz-se a fragmentos florestais com distintos tamanhos e padrões espaciais.

Fragmentos florestais podem ser definidos como áreas de vegetação contínua interrompidas por barreiras antrópicas, como estradas, áreas urbanas ou culturas agrícolas, ou mesmo naturais, como lagos e outras formações vegetais, capazes de diminuir significativamente o fluxo de animais, pólen ou sementes (VIANA, 1990).

A fragmentação florestal é uma das causas mais importantes da perda de biodiversidade (COLLINGE, 1996; TABARELLI *et al.*, 1999, LAURANCE *et al.*, 2002), a qual compreende a vida biológica em seus diferentes níveis: o total de genes, de espécies e de ecossistemas (WILSON, 1988).

A extinção de espécies da fauna e flora nativas, muitas vezes endêmicas, a invasão de espécies exóticas que interferem nas relações de competição e predação, a intensificação da erosão do solo e diminuição da qualidade e disponibilidade de água, são algumas das consequências do processo de fragmentação florestal (COLLINGE, 1996).

A exploração excessiva de espécies da fauna e da flora; o desmatamento, as queimadas e a exploração de extensas áreas destinadas à monoculturas e à implantação de atividades de reflorestamento; o uso de insumos agrícolas e de agrotóxicos que resultam na contaminação do solo, da água e do ar e as mudanças climáticas somam-se à fragmentação florestal para compor as principais causas da perda da biodiversidade nos ecossistemas e biomas brasileiros (BRITO, 2006).

Localizada sobre uma cadeia montanhosa que se estende da região sul à região nordeste do Brasil, com área de domínio nas Serras da Mantiqueira e do Mar (RIZZINI, 1979), a Mata Atlântica, um dos biomas mais ricos em biodiversidade do planeta, encontra-se ameaçada, com a maior parte de seus remanescentes florestais representados por fragmentos isolados, pouco protegidos e até mesmo desconhecidos (VIANA, 1998). Dos aproximadamente 1.300.000 km² (15% do território nacional) que originalmente a compunham, restam apenas 7% em faixas

litorâneas, florestas de baixada, matas interioranas e campos de altitude, onde concentra-se cerca de 60% da população brasileira (FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA, 2009), fato que torna necessária a adoção e implantação de estratégias de conservação que assegurem a alta diversidade biológica ainda existente.

A redução do número de espécies, sendo muitas delas endêmicas, é o efeito mais evidente do processo de fragmentação das áreas florestais naturais, uma vez que fragmentos menores apresentam menor número de espécies e menor diversidade de habitat em relação a fragmentos maiores (LAURANCE *et al.*, 2002).

Peres (2001) apresentou uma previsão do número de extinções locais que ocorreriam devido a diminuição do tamanho de fragmentos na Amazônia (Figura 2.1). De acordo com as projeções realizadas por este autor, fragmentos maiores que 10.000 ha praticamente não apresentam risco de extinção de espécies, principalmente se forem expostos a pouca ou nenhuma atividade de caça. Fragmentos gradualmente menores, entretanto, podem rapidamente perder grande parte de suas espécies originárias. Para retenção de metade das espécies pesquisadas, seriam necessários fragmentos com áreas maiores que 600 ha, no caso de serem expostos a pouca ou nenhuma atividade de caça, e maiores que 2.000 ha, no caso de serem expostos a moderada ou intensa atividade de caça. As duas curvas de extinção se encontram nos fragmentos com áreas menores ou iguais a 100 ha, capazes de reter apenas 4% de todas as espécies pesquisadas.

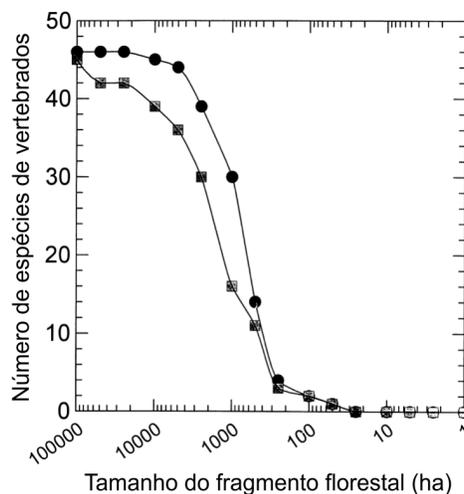


Figura 2.1 - Previsão do número de extinções locais para 46 espécies de vertebrados em função de fragmentos florestais na Amazônia com pouca ou nenhuma atividade de caça (círculos sólidos) ou com moderada ou intensa atividade de caça (quadrados sombreados) (adaptado de PERES, 2001).

Stratford e Stouffer (1999), ao estudarem a vulnerabilidade de aves insetívoras em uma área de floresta tropical recentemente fragmentada, também concluíram que fragmentos menores que 100 ha pouco contribuem para a persistência de populações a longo prazo, mesmo em uma paisagem minimamente fragmentada. Didhan (1997) observou, em fragmentos isolados de até 100 ha da floresta amazônica, ausência de muitas espécies características desta floresta não perturbada.

Viana e Pinheiro (1998), entretanto, constataram que a correlação entre a área dos fragmentos e o número de espécies nem sempre é diretamente proporcional. Em estudo realizado na região de Piracicaba, em São Paulo, fragmentos com a mesma área, situados em solos, clima e topografia semelhantes, apresentaram riqueza de espécies arbóreas extremamente diferentes. De acordo os autores, o histórico de perturbações deve ser levado em conta, pois é um fator crítico na determinação da riqueza de espécies. Um parâmetro útil para a análise da vulnerabilidade dos fragmentos a perturbações, especialmente causadas pelo efeito de borda, é o fator de forma, obtido a partir da relação entre a área de um fragmento florestal e seu perímetro.

O efeito de borda, principalmente em áreas florestais pequenas e isoladas, é responsável por intensificar os processos de invasão de espécies exóticas, de caça, de queimada e de homogeneidade de habitat por aumentar a interferência antrópica e por causar mudanças de efeitos estruturais como aumento da temperatura, da claridade e da velocidade do vento e diminuição da umidade (COLLINGE, 1996; COLLINGE, 1998, CHIARELLO, 1999; LAURANCE *et al.*, 2002).

Em florestas contínuas, as bordas são raras e limitadas a pequenas clareiras internas criadas por deslizamentos de terra, meandros de rios ou outro distúrbio natural. Porém, em paisagens fortemente fragmentadas, as bordas florestais se tornam a principal e dominante característica. Os efeitos de borda, e as mudanças físicas e bióticas a eles relacionadas, são os que mais impactam as relações ecológicas em fragmentos de florestas tropicais. O desaparecimento de espécies, geralmente atribuído ao tamanho do fragmento, como na clássica teoria da biogeografia de ilhas, está sendo reavaliado e, em muitos casos, os efeitos de borda passam a ser a principal causa do declínio de populações (LAURANCE, 1997).

Na Figura 2.2, elaborada por Laurance *et al.* (2002), são apresentados os principais fatores físicos e bióticos observados na borda de fragmentos florestais. Dentre os efeitos de borda físicos, podem ser citados: aumento da velocidade e da turbulência do vento, aumento da temperatura,

aumento da penetração lateral de luminosidade e redução da umidade relativa e da umidade do solo, todos resultantes da proximidade ao clima da matriz circundante. Dentre os efeitos bióticos, que são extraordinariamente diversos, podem ser citados: aumento da densidade de borboletas e de besouros, aumento da mortalidade de árvores, redução da altura do dossel, aumento da densidade de folhagens no sub-bosque, aumento do número de clareiras, proliferação de vegetação secundária ao longo das margens florestais, invasão de plantas e animais exóticos e alteração dos processos ecológicos, como o ciclo de nutrientes e de energia.

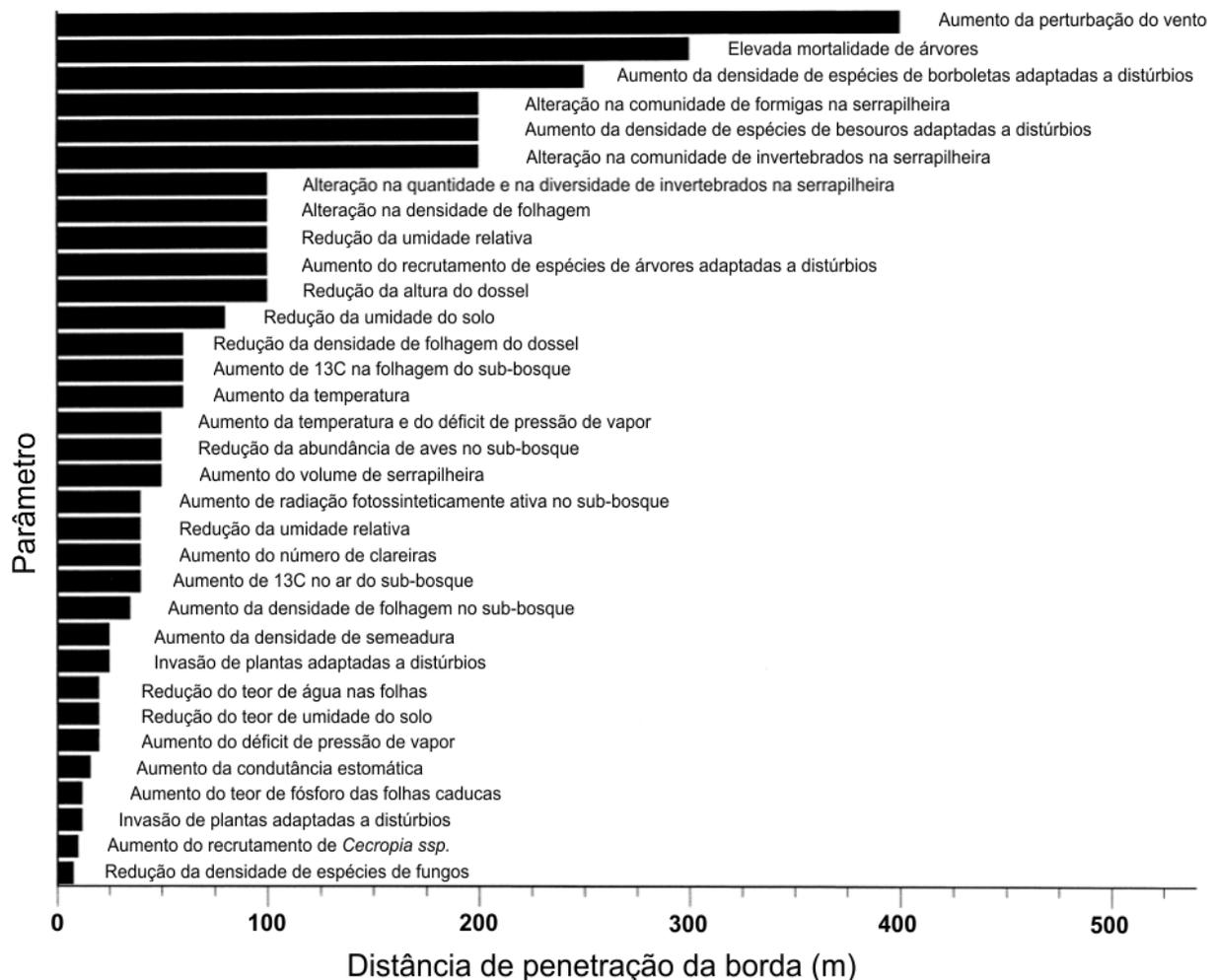


Figura 2.2 - Distâncias de penetração de distintos efeitos de borda em fragmentos florestais tropicais (adaptado de LAURANCE *et al.*, 2002).

Estas distâncias de penetração dos efeitos de borda, entretanto, podem variar em relação à diversidade de espécies de fauna e flora e dos efeitos físicos e bióticos considerados. Para populações de pequenos mamíferos analisados em dois fragmentos de Mata Atlântica, em

Sergipe, Stevens e Husband (1998) constataram diminuição de umidade e aumento de temperatura 60 m em direção ao interior dos fragmentos e diminuição do número e da diversidade de espécies a 160 m a partir da borda. Em fragmentos de floresta decídua, em Wisconsin, mudanças no microclima foram observadas a 15 m da borda da floresta para o interior (RANNEY *et al.*, 1981). Em remanescentes florestais estudados na região central de Indiana, efeitos de borda, como o aumento significativo nos níveis de luminosidade e de temperatura e a diminuição da umidade, deixaram de existir além de 8 m em direção ao interior da floresta (BROTHERS; SPINGAM, 1992). Diminuição de luminosidade e de temperatura também foram observadas a pequenas distâncias da borda de fragmentos de floresta decídua na Pensilvânia e em Delaware, entretanto, a umidade relativa e a umidade da serrapilheira continuaram a mudar 50 m para o interior da floresta (MATLACK, 1993). Os efeitos de borda podem se estender para até 300 m em fragmentos florestais estudados em Wisconsin (FLASHPOHLER *et al.*, 2001), ou para até 1 Km em fragmentos florestais estudados na Amazônia (SKOLE; TUCKER, 1993).

Além do tamanho e da forma do fragmento, fatores fortemente relacionados com o grau de perturbação causado pelo efeito de borda, outros atributos espaciais e ecológicos são responsáveis por determinar se os danos serão amenos ou reversíveis, como o isolamento entre os fragmentos, que representa obstáculo à polinização e ao intercâmbio de genes, e a matriz envolvente, que pode atuar como fonte de invasores, de poluentes e de perturbações, como modificadores climáticos e barreiras para o trânsito de animais (TURNER; GARDNER, 1991; COLLINGE, 1996; VIANA, 1990; VIANA; PINHEIRO, 1998).

A partir da compilação dos resultados de diversos estudos, Laurance *et al.* (1997) atribuíram a vulnerabilidade das florestas à fragmentação ao fato de apresentarem:

- maior riqueza de espécies em relação a qualquer outro ecossistema;
- muitas espécies com distribuição restrita ou desigual pobremente representadas em fragmentos devido ao efeito de amostragem;
- muitas espécies endêmicas, que normalmente possuem tamanho de população reduzido e que são especialmente vulneráveis à extinção local;
- muitas espécies com evoluções interdependentes, vulneráveis à efeitos cascata de extinção;

- dificuldade de movimentos de imigração, importantes para a manutenção das populações locais de muitas espécies endêmicas de árvores e animais, em razão da fragmentação.

Ainda segundo estes autores, as espécies mais vulneráveis à fragmentação florestal são aquelas que:

- evitam ou raramente utilizam os habitats da matriz circundante dos fragmentos, ou que são intolerantes à mudanças de habitat dentro dos fragmentos;
- necessitam de grandes áreas, como carnívoros do topo da cadeia alimentar e espécies de grande porte;
- são vulneráveis à caça ou à outras formas de exploração;
- ocorrem em baixas densidades populacionais;
- têm populações instáveis ou altamente variáveis ou são dependentes de tais espécies por causa da forte relação ecológica;
- têm habilidades de dispersão limitada;
- apresentam baixa fecundidade.

2.2 - Corredores ecológicos e a perspectiva ecológica da paisagem

A conservação da biodiversidade, de modo a manter populações viáveis e representativas da fauna e da flora ao longo do tempo, é uma das grandes preocupações das autoridades ambientais e conservacionistas. Neste sentido, o governo brasileiro tem criado e mantido Unidades de Conservação (UCs) de proteção integral e de uso sustentável em seus distintos biomas e ecossistemas (BRITO, 2006).

No Brasil, o primeiro parque criado foi o de Itatiaia, em 1937, nas montanhas da Mata Atlântica do estado do Rio de Janeiro. Até 1989, os parques e reservas federais eram criados pelo Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal (IBDF) e pela Secretaria Especial do Meio Ambiente (SEMA). Em 1989, a união destes órgãos deu origem ao Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) (RYLANDS; BRANDON, 2005). No ano de 2000, a lei nº 9.985 instituiu o Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC), que estabelece critérios e normas para a criação, implantação e gestão das UCs. De acordo com esta lei, uma UC é definida por:

espaço territorial e seus recursos ambientais, incluindo as águas jurisdicionais, com características naturais relevantes, legalmente instituído pelo Poder Público, com objetivos de conservação e limites definidos, sob regime especial de administração, ao qual se aplicam garantias adequadas de proteção (BRASIL, 2000).

Atualmente, 1.641 UCs federais, estaduais e particulares, que somam uma área de 1.479.286 km² - 16,75% do território continental e 1,46% da área marinha -, compõem o SNUC (MMA, 2009).

Uma das principais críticas a esta estratégia adotada pela política ambiental brasileira para a conservação da flora e da fauna, entretanto, está relacionada ao tamanho dos fragmentos florestais existentes nas UCs, pois, quando muito pequenos e isolados, não são capazes de manter uma população mínima viável a longo prazo, podendo resultar em extinção de espécies (COLLINGE, 1998; TABARELLI *et al.*, 1999).

Dentre as UCs da região da Mata Atlântica, apenas os Parques Nacionais da Bocaina e do Iguaçu possuem dimensões superiores a 100.000 ha, considerado o tamanho mínimo para a viabilidade de espécies que requerem grandes territórios em florestas tropicais. Em relação à conectividade, a maioria de suas áreas de preservação possui grau de isolamento bastante grande, sendo composta por fragmentos de habitats esparsos e relativamente isolados (MMA, 1998). Em razão disto, mesmo nas UCs, espécies podem apresentar risco de extinção por erosão genética ou por susceptibilidade a distúrbios, uma vez que populações de fragmentos isolados possuem menor probabilidade de sobrevivência a longo prazo em relação às existentes em fragmentos conectados (SANTOS, 2003).

Somado a isto, existem as dificuldades administrativas e de manejo das UCs. De acordo com Bruner *et al.* (2001), parques protegidos por lei tendem a sofrer menos com os danos ambientais, tais como desmatamentos, queimadas e caças desde que sejam bem fiscalizados, uma vez que a efetividade da administração possui relação direta com a presença de guardas.

No Brasil, as principais falhas na criação e no gerenciamento das UCs estão relacionadas à centralização de decisões no âmbito federal, à insuficiência de recursos financeiros, às deficiências estruturais dos órgãos gestores, à elaboração de planos de manejo inadequados e sem participação social, à falta de critérios na seleção das áreas e às dificuldades de relacionamento entre as unidades gestoras e as comunidades locais e de regularização fundiária (BRITO, 2000).

Com estas falhas no gerenciamento e com o avanço dos processos de fragmentação e isolamento dos remanescentes florestais, constatou-se que as UCs e suas zonas tampão não poderiam sozinhas evitar o colapso das funções ecológicas vitais e da biodiversidade, pois, em pouco tempo, sofreriam os danos dos efeitos de borda e muitas espécies estariam fadadas à extinção. Desta forma, seria necessário que, no entorno das UCs existissem paisagens capazes de contribuir para a manutenção dos processos naturais e de dar sustentabilidade ecológica às espécies da fauna silvestre (BRITO, 2006).

Desta forma, uma alternativa encontrada para reduzir os efeitos do isolamento das espécies é a de conexão de UCs por corredores ecológicos. Estes corredores são criados com o intuito de formar uma rede de habitats que possibilitaria a conexão genética de populações e aumento da biodiversidade (SODHI, 1999). Para Prado *et al.* (2003 *apud* Ganem, 2005), os corredores ecológicos configuram-se mais como uma unidade de planejamento regional do que como um zoneamento, uma vez que se baseiam na implantação de mecanismos econômicos compensatórios que estimulem os proprietários privados a se comprometerem com a conservação e não na criação de novas restrições de uso do solo.

De acordo com Ganem (2005), no Brasil, o termo *corredor ecológico* tem sido utilizado em diversos contextos e escalas e com diferentes definições. Na legislação brasileira, este instrumento está previsto desde 1993, quando o decreto nº 750 - que dispõe sobre o corte, a exploração e a supressão de vegetação primária ou nos estágios avançado e médio de regeneração da Mata Atlântica - proibiu a exploração de vegetação que tenha por função formar corredores de remanescentes. Com base neste decreto, a resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) nº 9 de 1996 estabeleceu a seguinte definição de corredor entre remanescentes:

Corredor entre remanescentes caracteriza-se como sendo faixa de cobertura vegetal existente entre remanescentes de vegetação primária em estágio médio e avançado de regeneração, capaz de propiciar habitat ou servir de área de trânsito para a fauna residente nos remanescentes. Os corredores entre remanescentes constituem-se: a. pelas matas ciliares em toda sua extensão e pelas faixas marginais definidas por lei; b. pelas faixas de cobertura vegetal existentes nas quais seja possível a interligação de remanescentes, em especial, às unidades de conservação e áreas de preservação permanente (CONAMA, 1996).

De acordo com a lei do SNUC as UCs, exceto APA e Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN), devem possuir zonas de amortecimento e, quando conveniente, corredores ecológicos, definidos por:

Porções de ecossistemas naturais ou seminaturais, ligando unidades de conservação, que possibilitam entre elas o fluxo de genes e o movimento da biota, facilitando a dispersão de espécies e a recolonização de áreas degradadas, bem como a manutenção de populações que demandam para sua sobrevivência áreas com extensão maior do que aquela das unidades individuais ecológicas (BRASIL, 2000).

De acordo com critérios biológicos - tais como riqueza de espécies, diversidade de comunidade e de ecossistemas, grau de conectividade, integridade dos blocos de paisagem natural e riqueza de espécies endêmicas - e com a utilização de mapas das UCs e de áreas indígenas, empregados na seleção das áreas objeto do Projeto Corredores Ecológicos do PPG7 (Programa Piloto para proteção das florestas tropicais do Brasil proposto na reunião do Grupo dos Sete países industrializados - G7), foram definidas áreas de corredor na Amazônia e na Mata Atlântica (GANEM, 2005).

A partir de uma aliança entre a Fundação SOS Mata Atlântica e a Conservação Internacional - organizações não-governamentais que se dedicam à conservação e utilização sustentada da biodiversidade - três corredores ecológicos foram propostos no ano de 2000 com a finalidade de promover a conservação dos patrimônios natural, histórico e cultural da Mata Atlântica: o Corredor de Biodiversidade do Nordeste, o Corredor Central da Mata Atlântica e o Corredor de Biodiversidade da Serra do Mar, os quais integram, além de parques e reservas, áreas de cultivo e pastagem, centros urbanos e atividades industriais formando um mosaico de uso e cobertura do solo com o objetivo de facilitar o fluxo gênico entre populações.

De acordo com o objetivo proposto e com o grau de isolamento das áreas florestais remanescentes, os corredores ecológicos que conectam fragmentos de habitat configuram-se como outra estratégia de conservação da biodiversidade que objetiva a proteção dos recursos naturais, favorecendo o fluxo de animais e de sementes entre os fragmentos e, assim, a persistência a longo prazo das populações da fauna e da flora anteriormente isoladas.

Neste sentido, de acordo com a definição clássica, proposta por Forman e Godron (1986), corredores são considerados faixas de um tipo particular de cobertura do solo que se diferem das áreas circundantes e que exercem a função de habitat para determinadas espécies, de vias para a movimentação de animais e plantas, de barreiras que inibem o cruzamento entre unidades adjacentes, de fonte de efeitos ambientais e bióticos e de reservatório de objetos provenientes da matriz ou de unidades adjacentes.

Este conceito foi desenvolvido a partir da perspectiva da Ecologia da Paisagem, que, de acordo com Forman e Godron (1986), tem como foco:

- as relações espaciais entre os elementos da paisagem e os ecossistemas;
- os fluxos de energia, nutrientes minerais e espécies nos elementos da paisagem;
- a dinâmica ecológica dos mosaicos de paisagem ao longo do tempo.

De acordo com estes autores, os elementos que compõem a paisagem são:

- manchas - elementos não lineares que diferem em aparência da área que a envolve caracterizados pela sua origem, forma, tamanho, e distribuição;
- corredores - estreitas faixas de terra que diferem da matriz em ambos os lados e podem ser encontrados isolados ou unindo manchas;
- matriz - o mais extenso e conectado elemento da paisagem, com maior área total quando comparado às manchas e aos corredores.

A delimitação de corredores ecológicos, na perspectiva da Ecologia da Paisagem, se torna viável a partir da análise dos padrões dos elementos da paisagem e da tendência da matriz envolvente. Elementos como áreas verdes preservadas, corredores em rios e topos de morros favorecem a alocação dos corredores ecológicos; já paisagens muito heterogêneas ou centros urbanos restringem seu uso. Em relação à tendência da matriz envolvente, a partir da qual é feita a conexão entre as manchas, são exigidos menos esforços em realizar a conexão com a escolha de uma matriz de florestas manejadas, como as de eucalipto ou pinus, quando comparada a uma matriz agrícola, por exemplo (SMITH; HELLMUND, 1993).

De acordo com Forman (1995), a matriz, os corredores e as manchas compõem um mosaico que determina o padrão espacial de paisagem para cada região. Para este autor, no contexto ecológico, quando o mosaico ganha grandeza espacial, com agrupamento de ecossistemas locais repetidos de modo similar sobre áreas de grandeza quilométrica, há a composição da paisagem. Em uma paisagem fragmentada, o padrão espacial interfere na dinâmica de populações, uma vez que o arranjo dos fragmentos florestais e dos corredores influencia na disponibilidade de recursos para determinada população (O'NEILL *et al.*, 1988).

Diversos estudos têm sido realizados com o objetivo de avaliar a eficácia dos corredores que conectam fragmentos florestais. Aars *et al.* (1999), ao estudarem populações de *Microtus oeconomus*, um roedor de médio porte, na Noruega, observaram que a probabilidade de sobrevivência dos indivíduos não era afetada quando estes se movimentavam por meio dos

corredores ecológicos, entretanto, indivíduos que se deslocavam pela matriz sem cobertura vegetal apresentaram alta taxa de mortalidade, atribuída à predação por pássaros. Perault e Lamolino (2000) concluíram, ao estudar a influência dos corredores em uma comunidade de mamíferos em fragmentos florestais em Washington, que havia diferenças entre distintos corredores associadas ao habitat adjacente e que o número de indivíduos variava de acordo com a composição da matriz. Wegner e Merriam (1979) observaram que, na ausência de corredores ecológicos, algumas espécies de aves não conseguiam voar sobre pastagens ou áreas agrícolas e que assim permaneciam isoladas nos fragmentos florestais. Castro e Fernandes (2004) estudaram espécies de marsupiais e roedores na Reserva Biológica de Poço das Antas, no Rio de Janeiro, e concluíram que a viabilidade destas populações depende da conectividade entre os fragmentos.

Possíveis efeitos prejudiciais podem ser atribuídos aos corredores ecológicos, como a facilitação na disseminação de doenças, na invasão de espécies exóticas e no avanço de queimadas (SIMBERLOFF *et al.*, 1992). Somado a isto, corredores apresentam vulnerabilidade aos efeitos de borda. Porém, os estudos realizados para testar a eficácia dos corredores ecológicos não detectaram estes impactos negativos, mas demonstraram que o fluxo gênico e o número de espécies são maiores em fragmentos interligados (LAURANCE; LAURANCE, 1999; AARS *et al.*, 1999; PERAULT; LAMOLINO, 2000; WEGNER; MERRIAM, 1979; CASTRO; FERNANDES, 2004).

2.3 - Geossistemas e a perspectiva geográfica da paisagem

Atualmente, assiste-se ao renascimento dos estudos em Ecologia da Paisagem. Entretanto, os progressos dos métodos quantitativos, aliados ao uso de Sistemas de Informação Geográfica (SIGs), têm conduzido as pesquisas a uma excessiva preocupação pelos padrões fisionômicos, em detrimento da dinâmica da paisagem e do estudo integrado do ambiente físico (FERREIRA *et al.*, 2001).

Segundo Metzger (2001), a Ecologia da Paisagem é marcada pela existência de duas principais abordagens: a abordagem geográfica, relacionada ao estudo da influência do homem na paisagem e à gestão territorial, e a abordagem ecológica, que enfatiza a importância do contexto espacial sobre os processos ecológicos e a importância destas relações em termos de conservação biológica.

O termo Ecologia da Paisagem foi introduzido em 1938 pelo geógrafo alemão Carl Troll, segundo o qual a preocupação não deve se restringir apenas às paisagens naturais, mas também nas modificações incluídas pelo homem (CHRISTOFOLETTI, 1999). De acordo com Metzger (2001), esta abordagem, impulsionada por Carl Troll e enriquecida por pesquisadores essencialmente geógrafos, teve influência da geografia humana, da fitossociologia e da biogeografia, além das disciplinas da geografia ou da arquitetura relacionadas com o planejamento regional. Para este autor, três pontos fundamentais caracterizam a abordagem geográfica da Ecologia da Paisagem:

- a preocupação com o planejamento da ocupação territorial a partir do conhecimento dos limites e das potencialidades de uso econômico de cada unidade de paisagem;
- o estudo de paisagens modificadas pelo homem, denominadas por Tricart (1979) por paisagens culturais;
- a análise de amplas áreas espaciais com enfoque de questões em macro-escalas espaciais e temporais.

Nesta perspectiva, a Ecologia da Paisagem é menos centrada nos estudos bio-ecológicos - que tratam as relações entre animais, plantas e ambiente abiótico - podendo ser definida como uma disciplina integradora de ciências sociais (sociologia e geografia humana), geofísicas (geografia física, geologia e geomorfologia) e biológicas (ecologia, fitossociologia e biogeografia) (METZGER, 2001).

Desde o surgimento do termo germânico *Landschaft* na Idade Média, utilizado para designar uma região onde se desenvolve a vida de pequenas comunidades humanas, o conceito de paisagem sofreu evoluções ao longo do tempo, sendo atribuídos a ele diversos significados. De acordo com Ferreira *et al.* (2008) “para a investigação da paisagem, sob a ótica da relação natureza-sociedade, a geografia tem adotado principalmente o modelo geossistêmico, o qual se baseia na indissociação entre os meios físico e biótico”.

Para Bertrand (1972), o termo paisagem é pouco usado e impreciso e, por esta razão, é empregado de distintas formas, na maior parte das vezes anexando um qualificativo de restrição que altera seu sentido. Para este autor,

A paisagem não é a simples adição de elementos geográficos disparatados. É, em uma determinada porção do espaço, o resultado da combinação dinâmica, portanto instável, de elementos físicos, biológicos e antrópicos que, reagindo dialeticamente uns sobre os outros, fazem da paisagem um conjunto único e indissociável, em perpétua evolução. [...] não se trata somente da paisagem “natural”, mas da paisagem total integrando todas as implicações da ação antrópica (p.141).

Para Troppmair (1983, p.33), o termo paisagem pode ser definido como “um sistema espacial dinâmico de fenômenos naturais e sócio-econômicos”. Trata-se de uma realidade dependente da presença do homem, o qual introduz modificações e desequilíbrios nesta realidade. Para o autor, a paisagem se constitui, portanto, no espelho do próprio geossistema, objetivo fundamental da Geografia Física. Também para Ferreira *et al.* (2001) a paisagem deve ser considerada como um geossistema, uma vez que os estudos em Ecologia da Paisagem não devem se resumir a análises puras e simples das estruturas, mas buscar as causas e os efeitos do padrão espacial da fisionomia das paisagens, considerando-as como sistemas dinâmicos com trocas de massa e energia com o exterior.

A Teoria dos Geossistemas, que faz parte de um conjunto de formulações teórico-metodológicas da Geografia Física, surgiu em função da necessidade de a Geografia lidar com os princípios de dinâmica, interdisciplinaridade, síntese e abordagem multiescalar. Esta teoria foi formulada na escola russa por Sotchava, em um estudo publicado em 1960, e difundida no ocidente pela escola francesa, por iniciativa de Bertrand em 1968 (RODRIGUES, 2001).

Para Sotchava (1977 *apud* TROPMAIR, 1983), o geossistema é a expressão dos fenômenos naturais, ou seja, o potencial ecológico de determinado espaço no qual se dá uma exploração biológica, sendo que fatores sociais e econômicos podem interferir em sua estrutura e expressão espacial, sem que haja, necessariamente, uma homogeneidade interna em relação aos processos dinâmicos.

Os geossistemas podem ter estreita relação com a compartimentação do relevo, o qual reflete, em parte, as condições geológicas e dos solos, podendo também refletir tanto o clima regional e como o local. O clima, por sua vez, constitui-se em elemento atuante na morfogênese, pedogênese e nas condições hidrológicas. A diferenciação geoecológica da compartimentação se baseia na exploração biológica sob forma de associações e formações vegetais constituindo o mosaico da distribuição geográfica das biocenoses, as quais podem sofrer mudanças no tempo e

no espaço, com ou sem interferência antrópica; o geossistema, porém, permanece como unidade espacial (TROPPMAIR, 1983).

Para Monteiro (2000), o geossistema se constitui em um sistema complexo, no qual interagem elementos humanos, físicos, químicos e biológicos, sendo que os humanos entram no funcionamento do sistema como *inputs*, ocupando e interferindo nos processos de fluxos de matéria e energia do sistema natural. Troppmair (2000) complementa, destacando que esta interação de elementos também é fundamental na definição de geossistema como unidade complexa que ocupa espaço amplo e se caracteriza por certa homogeneidade de seus componentes que, integrados, conformam o ambiente físico, no qual há exploração biológica e humana.

O geossistema, segundo Bertrand (1972), resulta da combinação de fatores geomorfológicos, climáticos e hidrológicos, os quais compõem seu potencial ecológico que, por sua vez, sofre certo tipo de exploração biológica. O geossistema está em estado de clímax quando há equilíbrio entre o potencial ecológico e a exploração biológica, entretanto, o clímax está longe de ser sempre alcançado. Para este autor, o geossistema configura-se como uma das unidades de seu sistema taxonômico de hierarquização da paisagem.

O sistema de classificação da paisagem proposto por este autor é constituído por seis níveis temporo-espaciais: nas unidades superiores, figuram a zona, o domínio e a região natural, correspondentes às escalas de grandeza I a IV de Cailleux e Tricart (1965); e nas unidades inferiores, o geossistema, a geofácies e o géotopo, correspondentes às escalas de grandeza V a VIII.

De acordo com Bertrand (1972, p.146), o geossistema trata-se de uma unidade compreendida entre alguns Km² e algumas centenas de Km², sendo nesta “escala que se situa a maior parte dos fenômenos de interferência entre os elementos da paisagem e que evoluem as combinações dialéticas mais interessantes para o geógrafo”, uma vez que, nos níveis superiores a ele, só o relevo e o clima importam e, nos níveis inferiores, os elementos biogeográficos são capazes de mascarar as combinações de conjunto. Desta maneira, o geossistema constitui boa base para os estudos de organização do espaço porque ele é compatível com a escala humana.

Por possuírem uma dinâmica interna, os geossistemas não apresentam necessariamente grande homogeneidade fisionômica, sendo compostos, na maioria das vezes, por paisagens que representam os diversos estágios da evolução dos geossistemas. Estas paisagens, interligadas por

meio de uma série dinâmica que tende, ao menos teoricamente, para um mesmo clímax, se unem em uma mesma família geográfica denominada geofácies. No interior de um mesmo geossistema, a geofácies corresponde a um setor fisionomicamente homogêneo onde se desenvolve uma mesma fase de evolução geral do geossistema abrangendo algumas centenas de Km² em média.

Assim como para o geossistema, pode-se distinguir para cada geofácies um potencial ecológico e uma exploração biológica sendo que, nesta escala, esta última geralmente se configura como determinante e repercute diretamente na evolução do potencial ecológico. Desta maneira, a geofácies “representa uma malha na cadeia das paisagens que se sucedem no tempo e no espaço no interior de um mesmo geossistema”. Na superfície de um geossistema, as geofácies “desenham um mosaico mutante cuja estrutura e dinâmica traduzem fielmente os detalhes ecológicos e as pulsações de ordem biológica” (BERTRAND, 1972, p.147).

Para Zonneveld (1989), o conceito de unidade de paisagem é fundamental na Ecologia da Paisagem, pois é a expressão da paisagem de acordo com uma visão sistêmica, podendo ser definida como um trato da superfície da Terra ecologicamente homogêneo a certa escala de interesse e com padrão distinto em relação às unidades vizinhas. Uma unidade de paisagem, na perspectiva geográfica, tem como base para sua definição os elementos naturais, como relevo, solo, clima e vegetação, e as alterações antrópicas nestes atributos.

Na perspectiva ecológica, a paisagem é caracterizada por uma estrutura composta pela repetição de manchas, corredores e matrizes que se apresentam de diversas formas. As fotografias aéreas e as imagens orbitais tem sido responsáveis por avanços significativos registrados na análise das estruturas da paisagem. Os progressos na análise quantitativa e a utilização dos SIGs têm permitido refinar os estudos dos padrões fisionômicos da paisagem, entretanto, levada ao extremo, esta análise com base em índices muitas vezes complicados, pode ser considerada pouco útil se for realizada sem qualquer contato com a paisagem real. Assim, a Ecologia da Paisagem não deve se contentar com a análise pura e simples da estrutura, mas procurar as causas e efeitos dos padrões espaciais das paisagens (FERREIRA *et al.*, 2001).

2.4 - Geoprocessamento e Análise Espacial

Para a elaboração de uma eficiente modelagem cartográfica da realidade, considerando a complexidade nela envolvida, torna-se necessário considerá-la como um sistema, isto é, uma entidade com expressão espacial a ser representada de acordo com sua variabilidade taxonômica e sua dinâmica e a distribuição territorial das classes de fenômenos nela identificados como relevantes. Entretanto, a modelagem se configura como uma síntese, como uma visão de conjunto elucidativa do jogo integrado dos fatores físicos, bióticos e socioeconômicos, uma vez que é praticamente impossível representar, ao mesmo tempo e com a mesma intensidade, todos os aspectos da realidade geográfica (SILVA, 2007).

Na perspectiva moderna de planejamento e gestão do território, a análise abrangente dos diferentes componentes de um sistema, incluindo o meio físico-biótico, a ocupação humana e seu interrelacionamento, deve ser incluída em toda ação de ordenação ou monitoramento do espaço (CÂMARA; MEDEIROS, 1998).

As técnicas de geoprocessamento são consideradas muito úteis para o planejamento territorial, pois reúnem aplicativos que permitem a coleta, o armazenamento, a integração e a visualização de dados espaciais e dados estatísticos ou textuais a eles relacionados a partir de uma base de dados georreferenciada (XAVIER, 2000), responsáveis por transformar registros de ocorrência (dados) em ganhos de conhecimento (informação) (SILVA, 2007).

O geoprocessamento pode ser considerado como uma tecnologia que utiliza técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento da informação geográfica (CÂMARA; MEDEIROS, 1998). Pode ainda ser considerado “um ramo da tecnologia de computação eletrônica de dados, na medida em que se apóia diretamente no processamento de dados georreferenciados” (SILVA, 2007, p.25). De acordo com este autor, o geoprocessamento, como toda tecnologia, é representado por um conjunto de conceitos e procedimentos, tal como a programação, a partir do qual são gerados novos métodos, técnicas ou mesmo novos conceitos, naturalmente associados ao incremento de sua utilização.

O Sistema de Informação Geográfica (SIG) se configura como um conjunto de ferramentas computacionais utilizadas no geoprocessamento. Os SIGs auxiliam a realização de análises complexas ao permitirem a criação de um banco de dados georreferenciados e a integração de dados de diversas fontes (CÂMARA; MEDEIROS, 1998).

Os primeiros SIGs surgiram na década de 1960, no Canadá, como parte de um programa governamental para criar um inventário de recursos naturais. Ao longo da década de 1970 foram desenvolvidos novos e mais acessíveis recursos de *hardware* que tornaram viável o desenvolvimento de sistemas comerciais, tendo sido então criada a expressão *Geographic Information System*. Porém, foi apenas na década de 1980 que a tecnologia de SIGs iniciou um período de acelerado crescimento, beneficiado pela massificação resultante dos avanços da microinformática e do estabelecimento de centros de estudos sobre o assunto, tais como os centros de pesquisa que integram o NCGIA (*National Centre for Geographical Information and Analysis*), nos EUA, que marcam o estabelecimento do Geoprocessamento como disciplina científica independente. Na década de 1980, com a popularização dos microcomputadores, ocorreu grande difusão do uso de SIGs com a incorporação de muitas funções de análise espacial responsáveis pelo aumento das possibilidades de aplicações (CÂMARA *et al.*, 2001).

O conceito de SIG apresenta distintas definições, principalmente em razão de seu caráter interdisciplinar e de seu uso por diversas ciências. Goodchild (1997) apresenta três abordagens que têm sido adotadas para o termo SIG:

- Sistema de Informação Geográfica (*Geographic Information System*), que se refere ao conjunto de ferramentas para aquisição, armazenamento e tratamento de informações georreferenciadas;
- Ciência da Informação Geográfica (*Geographic Information Science*), que se refere à ciência que está por trás da tecnologia e que considera questões fundamentais levantadas pela utilização de sistemas e tecnologias. Trata-se, portanto, de uma ciência da tecnologia caracterizada pela multidisciplinaridade, para a qual contribuem disciplinas como a geodésia, a fotogrametria, o sensoriamento remoto e o processamento de imagens;
- Estudos de Informações Geográficas (*Geographic Information Studies*), que se referem aos estudos do contexto social da informação geográfica, tais como os econômicos.

De acordo com Eastman *et al.* (1995) o SIG, como tecnologia, evoluiu a partir de três grandes domínios de aplicação. O primeiro refere-se ao uso do SIG como um banco de dado de informações, ou seja, um meio de coordenação e acesso a dados geográficos. O segundo, como uma ferramenta analítica, ou seja, um meio de especificar relações lógicas e matemáticas entre

camadas (*layers*) do mapa para produzir mapas derivados, adicionando novos dados ao banco de dados. Com base nestes dois domínios de aplicação, visualiza-se um terceiro, do uso do SIG como um sistema de apoio à tomada de decisão, como um meio de decidir a forma de agir a partir das análises produzidas.

Ao mesmo tempo em que o SIG evoluiu e assumiu um foco mais analítico, contribuindo para tomadas de decisão, ferramentas especializadas para a adição de novas informações foram desenvolvidas com a finalidade de especificar a forma de agir de acordo com os resultados dos modelos analíticos (EASTMAN *et al.*, 1995).

Para Burrough (1998) os SIGs são compostos pela coleta, armazenamento, recuperação, transformação e exibição de dados espaciais para um determinado propósito. Desta forma, é capaz de integrar em uma única base de dados informações espaciais provenientes de dados cartográficos, dados de censo e de cadastro urbano e rural, redes e modelos numéricos de terreno e imagens de satélite, combinando informações a partir de algoritmos de processamento para gerar mapas derivados.

Os dados que serão processados em ambiente SIG são obtidos a partir de diversas fontes, principalmente por meio de levantamentos (dados de campo, questionários, publicações e sensoriamento remoto), análises (processamento computacional e de laboratório) e sumarização (dados estatísticos) (O'BRIEN, 1992).

Recentemente, o desenvolvimento de tecnologias de geoprocessamento aproximou os usuários de dados de sensoriamento remoto do processo de desenvolvimento de suas aplicações, uma vez que fornece ferramentas de análise espacial responsáveis por agregar valor às informações derivadas dos sensores remotos (NOVO, 2008). De acordo com esta autora, o sensoriamento remoto é definido pela utilização conjunta de sensores, equipamentos para processamento e transmissão de dados colocados a bordo de aeronaves, espaçonaves, ou outras plataformas que tem como objetivo estudar eventos, fenômenos e processos a partir do registro e da análise das interações entre a radiação eletromagnética e as substâncias que os compõem em suas mais diversas manifestações.

Outras definições podem ser apresentadas, entretanto, todas se referem ao sensoriamento remoto como a obtenção dos dados à distância, ou seja, sem o contato direto com o alvo ou fenômeno a ser investigado. Para Lillesand *et al.*, 2004, o sensoriamento remoto é a ciência e a arte de obter informação sobre um objeto, área ou fenômeno a partir da análise de dados

adquiridos por um dispositivo que não está em contato com o objeto, área ou fenômeno em investigação. Para Florenzano (2004), o sensoriamento remoto é a tecnologia que permite obter imagens e outros tipos de dados da superfície terrestre a partir da captação e do registro da energia refletida ou emitida pela superfície.

De acordo com Novo (2008), o sensoriamento remoto tem se mostrado uma excelente ferramenta para controle e análise de recursos naturais em geral, pois a periodicidade das imagens associadas às metodologias propostas permite inferências e conclusões acerca da superfície terrestre e dos alvos observados.

Segundo Ferreira (2006), as técnicas de manipulação de dados espaciais, amplamente influenciadas pela estatística, têm sido utilizadas como sinônimo de análise espacial. Fischer *et al.* (1996) chegaram até a atribuir à análise espacial duas abordagens principais: 1) a da análise estatística dos dados espaciais e 2) a da modelagem espacial, direcionada para a estruturação, o funcionamento e a dinâmica dos sistemas.

A velocidade e o crescimento da disponibilidade de dados geográficos, entretanto, não significa que o conhecimento em SIG terá igual desempenho, uma vez que este também decorre do uso esclarecido da análise espacial em determinado contexto teórico-metodológico que ultrapassa os limites de tutoriais e de estratégias comerciais, transformados oportunamente em “análise espacial” (FERREIRA, 2006). Para o autor, “o coração de um SIG é a análise espacial” (p.104).

De acordo com Ferreira (2006), as técnicas de análise espacial disponíveis em um SIG foram concebidas sem a necessidade prioritária de computadores, tendo surgido como produtos da tradição espacial das geografias inglesa e americana, cujo apogeu se deu entre 1950 e 1970. Também para Christofletti (1999), as origens da análise espacial são anteriores ao desenvolvimento da quantificação na geografia, quando os estudos procuraram focalizar as características dos padrões espaciais durante o início da década de 1960.

Os estudos desenvolvidos por Sack na década de 1970 delimitaram o alcance e a essência de duas das principais abordagens da ciência geográfica, responsáveis por oferecer a base da análise espacial produzida atualmente em SIG. Sack (1974 *apud* FERREIRA, 2006) diferencia as escolas corológica e espacial, responsáveis por concepções antagônicas, porém complementares, sobre a natureza das questões geográficas. A escola corológica enfatiza a natureza e as relações entre lugares ou regiões específicas e, a espacial, o arranjo geométrico de padrões de fenômenos,

o qual agrupa toda a porção da ciência geográfica praticada pela cartografia, pela análise espacial e pelos SIGs, sendo o mapa o elemento comum de interface.

Para Ferreira (2003), os paradigmas da escola espacial da geografia são fundamentais para a inserção da cartografia temática, do sensoriamento remoto e do SIG na geografia contemporânea. Os principais paradigmas apresentados por este autor são:

- O conceito de *sítio* é vertical e se refere às características locais descritas por atributos corológicos, ao contrário ao conceito de *situação*, que é horizontal e está ligado às propriedades de interdependência regional, conexões entre lugares e interação espacial (BERRY, 1964). Este autor, a partir de uma matriz geográfica, procurou realizar uma síntese de análise regional, estruturada por colunas (sítios) e linhas (situações);
- Uma *rede geográfica* é “um conjunto de lugares interconectados em um sistema por meio de um determinado número de rotas (HAGGET; CHORLEY, 1969);
- O dogma central da Geografia, a partir da noção de *interdependência espacial*, assegura que “o que acontece em um lugar não é independente do que acontece em outro” (HEPPLE, 1973, p. 97);
- “A análise quantitativa recentemente incorporada à geografia representa o estudo aprofundado dos padrões de pontos, linhas, áreas e superfícies, dispostos em mapas definidos por coordenadas espaciais em duas ou três dimensões” (HAGERSTRAND, 1973, p.69)
- O pensamento espacial estabelece que “o geógrafo deve prestar atenção ao arranjo espacial do fenômeno geográfico e não ao fenômeno em si” (SACK, 1974, p.447);
- A partir do pensamento geométrico da geografia, é possível identificar, separar e avaliar os efeitos das propriedades espaciais como fenômenos independentes e examiná-los à luz da análise espacial (SACK, 1974);
- “O espaço, em seu significado métrico e euclidiano, parece influenciar a distribuição dos fenômenos e das propriedades não espaciais” (COFFEY, 1981, p.37). As propriedades não espaciais incluem as características locais ou variáveis geográficas, tais como clima, demografia, relevo e economia, e, as espaciais, a distância e a posição, características essencialmente geométricas.

Estas propriedades foram posteriormente concebidas na terminologia utilizada em SIG como *layers* ou planos de informação;

- A semelhança entre as substâncias diminui com o aumento da distância (COFFEY, 1981).

A escola espacial da geografia apresenta, desta maneira, as bases teórico-metodológicas dos SIGs, considerados como um estágio evolutivo atual da análise espacial que devem ser vinculados à área de planejamento, uma vez que se configuram como um sistema de apoio à tomada de decisão (FERREIRA, 2006).

Técnicas de geoprocessamento e análise espacial, amparadas pela utilização de imagens orbitais, tem sido exploradas em diversos trabalhos com o objetivo de propor corredores ecológicos e, assim, contribuir na redução das conseqüências da fragmentação florestal. Santos (2003) avaliou a hipótese de que o Código Florestal Brasileiro poderia manter a presença de corredores ecológicos e melhorar suas funções como habitat e como promotores de fluxo gênico a partir de análise sobre a qualidade da paisagem de um corredor ecológico entre o Parque Nacional de Itatiaia (PNI) e o Parque Estadual de Campos do Jordão (PECJ). Albanez (2000) mapeou os usos do solo do município de Ponte Nova-MG, com ênfase na caracterização dos fragmentos florestais, visando subsidiar planos de interligação e manejo destes fragmentos. Dario (1999) estudou fragmentos da mata Atlântica com o objetivo de analisar os grupos de aves afetados pela fragmentação florestal, o isolamento destas áreas utilizando a avifauna como indicador ecológico e a efetividade do corredor na passagem de material genético entre os fragmentos.

Estas propostas, entretanto, se apóiam na perspectiva ecológica da paisagem, com a utilização dos elementos da paisagem representados pela mancha, pelo corredor e pela matriz e com enfoque para as análises quantitativas dos processos biológicos e dos padrões fisionômicos em detrimento da dinâmica da paisagem e do estudo integrado do ambiente físico.

3. ÁREA DE ESTUDO

A APA Fernão Dias é uma unidade de conservação de uso sustentável localizada a sul do estado de Minas Gerais, na divisa com o estado de São Paulo (Figura 3.1). Possui área total de 180.373 ha e compreende integralmente os municípios de Camanducaia, Extrema, Gonçalves, Itapeva, Sapucaí-Mirim e Toledo e parte dos municípios de Brasópolis e Paraisópolis.

Apesar de Camanducaia e Extrema fazerem parte de distritos industriais, a dinâmica da economia dos municípios da APA tem como base a atividade agropecuária, desenvolvida em pequenas propriedades, a silvicultura e o turismo na região serrana.

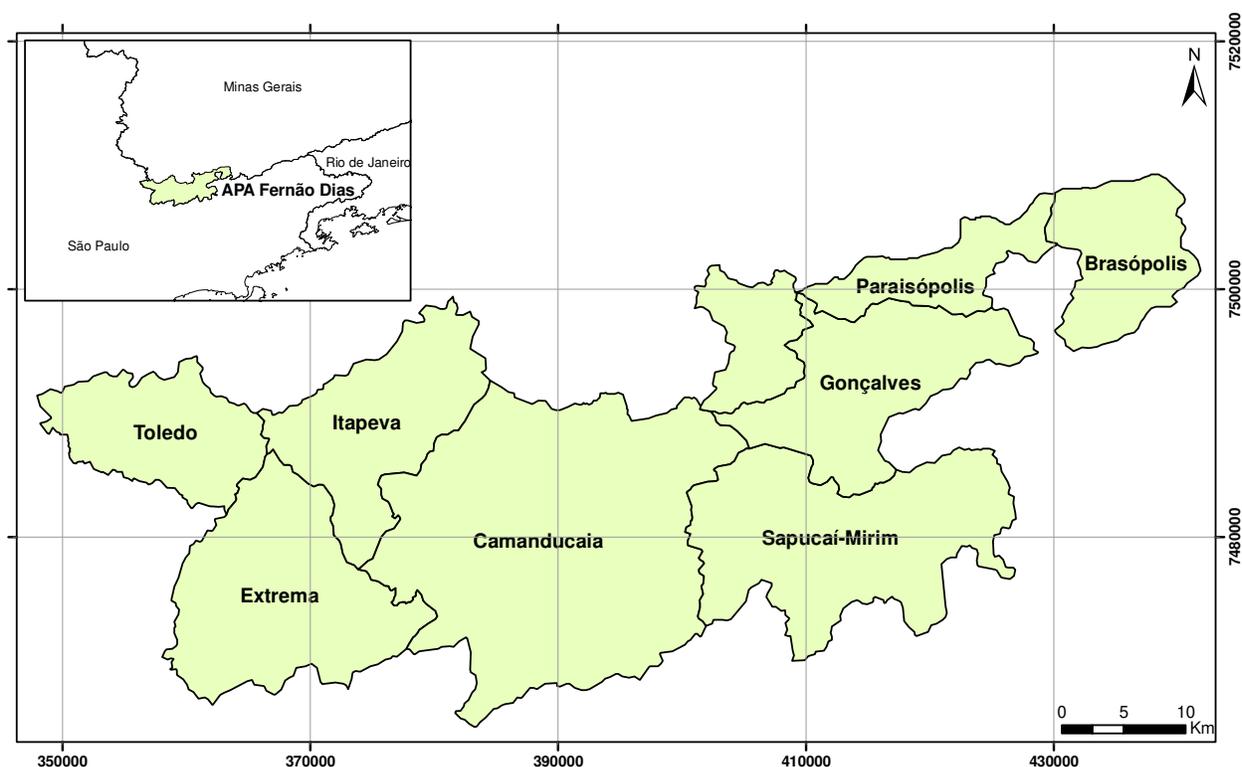


Figura 3.1 - Localização da área de estudo.

Sua criação pelo decreto estadual nº 38.925 de 17 de julho de 1997 teve origem no processo de licenciamento ambiental do projeto de duplicação da rodovia Fernão Dias (BR-381) (Figura 3.2), por sugestão expressa nos estudos de impacto ambiental da obra (IBITU, 1998). De acordo com o decreto estadual, a criação da APA Fernão Dias tem por objetivo a proteção e preservação das formações florestais remanescentes da Mata Atlântica e da fauna silvestre a partir do disciplinamento de uso dos recursos naturais e de incentivos ao ecodesenvolvimento

regional a fim de que o conjunto paisagístico e a cultura regional sejam conservados (MINAS GERAIS, 1997).

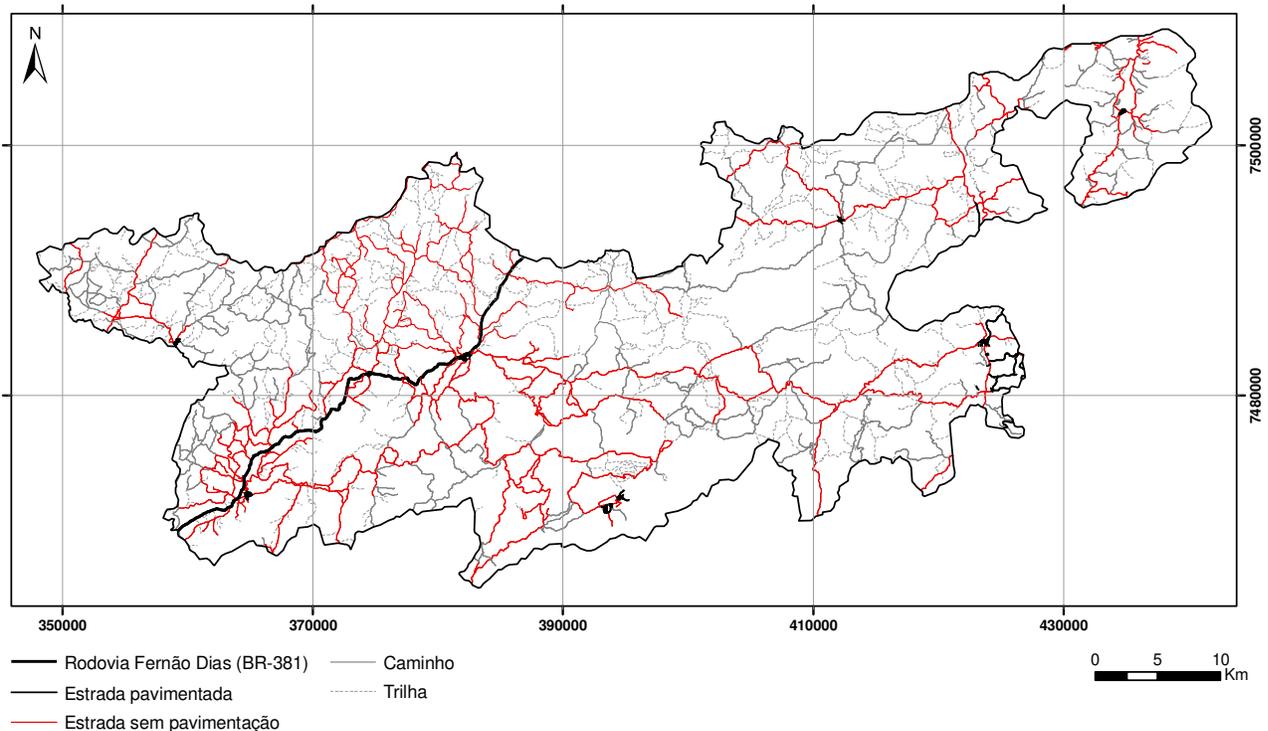


Figura 3.2 - Mapa do sistema viário da APA Fernão Dias.

Além da presença de significativos remanescentes de Mata Atlântica, a APA Fernão Dias possui nascentes e pontos de captação hídrica de grande importância regional. Situa-se na área abrangida pela bacia hidrográfica do Jaguari em Minas Gerais - nos municípios de Sapucaí-Mirim, Camanducaia, Itapeva, Extrema e Toledo - e por áreas da bacia do rio Sapucaí-Mirim, nos municípios de Sapucaí-Mirim, Gonçalves, Paraisópolis e Brasópolis (MINAS GERAIS, 1997) (Figura 3.3).

Na bacia do rio Jaguari, um dos formadores do rio Piracicaba no estado de São Paulo, o rio Camanducaia se destaca como maior e principal afluente, a oeste da APA Fernão Dias. A sul, no município de Camanducaia, estão as nascentes do ribeirão da Cachoeirinha, contribuinte da bacia do rio Atibaia. A leste, no município de Brasópolis, o rio Sapucaí recebe a contribuição da sub-bacia do ribeirão Vargem Grande e, a jusante da cidade de Pouso Alegre, recebe a

contribuição de seu maior afluente, o rio Sapucaí-Mirim, cujas nascentes e importantes tributários estão na APA Fernão Dias (IBITU, 1998).

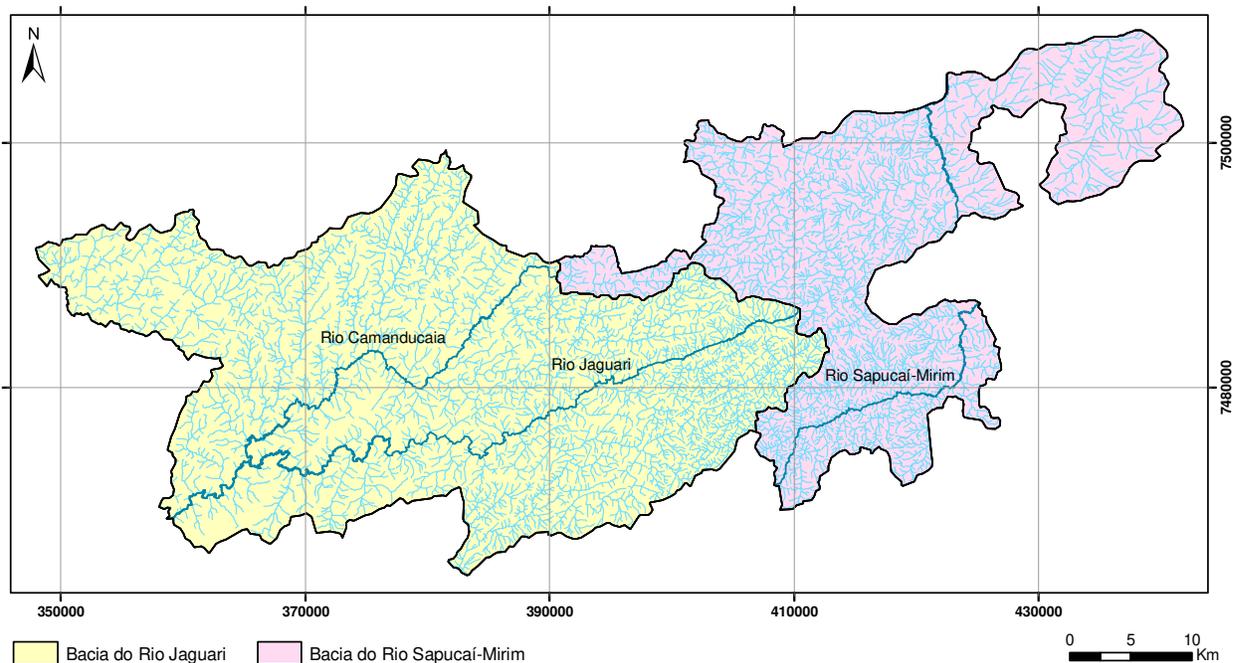


Figura 3.3 - Mapa hidrográfico da APA Fernão Dias.

Com padrões do tipo retangular, treliça e dendrítico, a alta densidade de canais de drenagem típica de ambientes serranos e condicionada pela grande quantidade de fraturas, é responsável pela produção hídrica notável da APA Fernão Dias, resultante de características climáticas favoráveis dadas pela sua posição latitudinal, pelas altas altitudes e pela relativa proximidade da costa atlântica (IBITU, 1998).

O clima da APA Fernão Dias, de acordo com a classificação climática de Köppen, é o subtropical de altitude (Cwb). As temperaturas médias são inferiores a 22°C, no verão, e a 15°C, no inverno, sendo comum nos meses de junho e julho mínimas diárias inferiores a 0°C. Nas superfícies mais elevadas da serra da Mantiqueira (acima de 1.600 m), a média de temperatura dos meses mais quentes é inferior a 17°C e a média anual é inferior a 14°C, uma das mais baixas do Brasil (IBITU, 1998).

Em relação ao regime pluviométrico, a APA Fernão Dias possui elevadas taxas de precipitação (médias anuais entre 1.600 e 1.800 mm) e de umidade atmosférica, com apenas um ou dois meses secos durante o inverno, graças à forte radiação solar incidente nesta faixa

latitudinal, à proximidade do oceano e à topografia da Serra da Mantiqueira, a qual favorece a ascendência orográfica (IBITU, 1998).

Geologicamente, a APA está localizada a sul da Faixa Brasília e é caracterizada predominantemente por granitos, charnokitos e gnaisses com idades entre 630 e 610 ma, relacionadas ao Ciclo Brasileiro (ALVES *et al.*, 1992), e localmente por rochas alcalinas de aproximadamente 87 ma (AZZONE *et al.*, 2009) relacionadas à reativação magmática cenozóica na plataforma sul americana (ALMEIDA, 1983) (Figura 3.4).

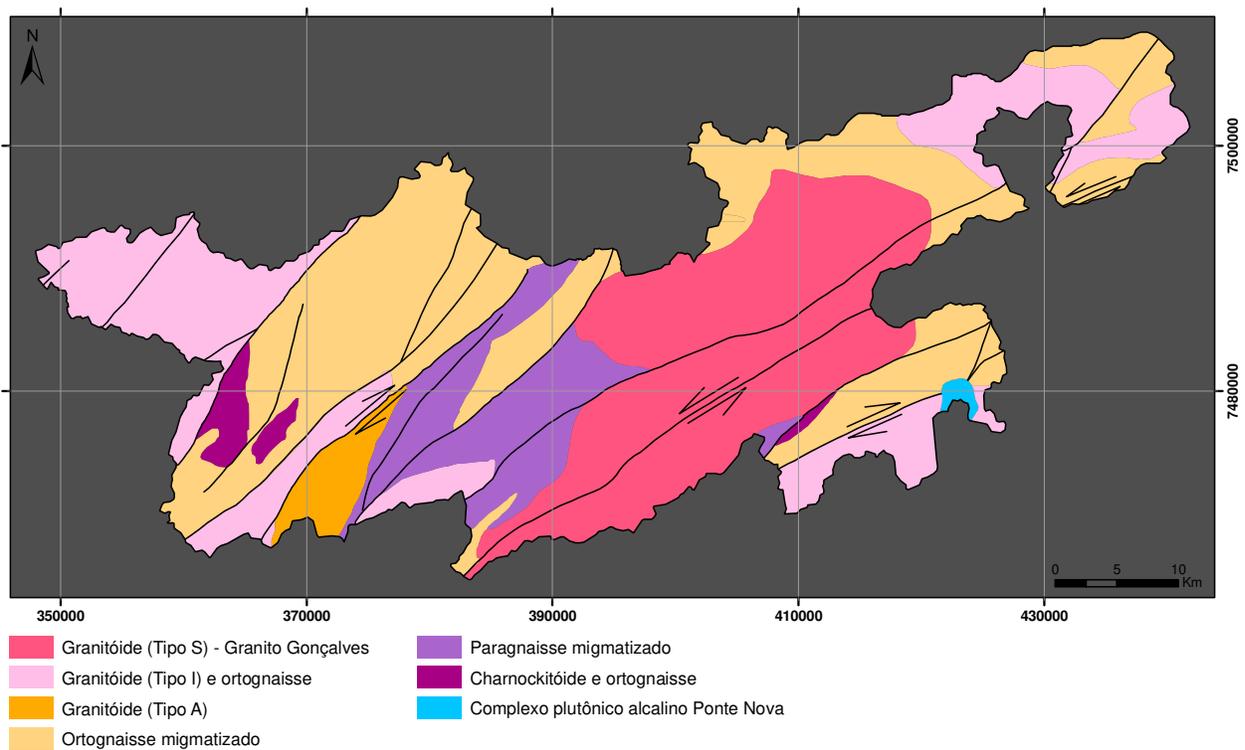


Figura 3.4 - Mapa litológico da APA Fernão Dias (adaptado de CPRM, 2003).

Com altitudes que variam entre 840 e 2.010 m, a APA Fernão Dias está situada na região da Mantiqueira Meridional, compreendendo os Planaltos de Campos do Jordão e de Lindóia, unidades geomorfológicas que apresentam contato bem nítido, praticamente coincidente com o traçado da rodovia Fernão Dias. O Planalto de Campos do Jordão se estende pelos municípios de Brasópolis, Paraisópolis, Sapucaí-Mirim e Gonçalves e por parte dos municípios de Camanducaia e Extrema e apresenta relevo acidentado, com predomínio de serras alongadas limitadas por escarpas de falhas e vales retilinizados, a exemplo das de Itapeva e do Lopo, importantes

divisores de água da região. O Planalto de Lindóia se estende por parte dos municípios de Camanducaia e Extrema e pelos municípios de Itapeva e Toledo e apresenta relevo de mares de morros, com menores porções de serras alongadas. Nas superfícies mais elevadas, ocorrem solos Podzólicos, Latossolos e Cambissolos e, nas planícies dos rios e córregos, ocorrem os solos aluviais pouco desenvolvidos e resultantes de deposições fluviais recentes (IBITU, 1998).

As condições climáticas da APA Fernão Dias, relacionadas às suas condições topográficas, influenciam na composição florística e na distribuição de suas formações vegetais representadas por floresta ombrófila densa, floresta ombrófila mista, floresta estacional semidecidual e campos de altitude.

Floresta ombrófila densa

Também conhecida como floresta pluvial tropical, é caracterizada por fatores climáticos tropicais de elevadas temperaturas (médias de 25°C) e de alta taxa de precipitação bem distribuída durante o ano (de 0 a 60 dias secos), responsáveis pela presença de espécies perenifólias (IBGE, 1992).

Restrita às formações montanas (500 a 1.500 m) e alto-montanas (acima de 1.500 m), predomina na porção centro-leste da APA, rareando-se à medida que se direciona para noroeste, onde ocorre apenas em zonas de micro-climas mais úmidos, a exemplo da Serra do Lopo, em Extrema (IBITU, 1998).

A formação ombrófila densa montana possui dossel superior de, em média, 25 m de altura, com árvores emergentes chegando a 40 m e sub-bosque denso, enquanto a alto-montana, localizada nas cotas mais elevadas da serra da Mantiqueira, em áreas de concentração nebulosa, possui dossel superior de, em média, 4 m, em florestas de altitude sobre solos rasos ou litólicos (SCOLFORO; CARVALHO, 2006).

A composição florística predominante desta formação é dada pela presença de espécies de lauráceas, mirtáceas, melastomatáceas e asteráceas, no dossel, e de samambaias e rubiáceas, no sub-bosque, além de apresentar abundância de epífitas (espécies de orquídeas, samambaias, cactáceas, bromeliáceas, piperáceas e briófitas) e densidade variável de lianas (espécies da família das bignoniáceas, leguminosas, sapindáceas, asteráceas e valerianáceas) (SCOLFORO; CARVALHO, 2006).

Floresta ombrófila mista

Também conhecida como mata de araucária, está associada a elevadas umidades, temperaturas baixas, solos profundos e altitudes elevadas (acima de 900 m) (IBITU, 1998). Possui fisionomia florestal com dossel superior entre 15 e 25 m de altura, no qual a maioria das árvores emergentes é composta, caracteristicamente, por araucárias (*Araucaria angustifolia*) (SCOLFORO; CARVALHO, 2006). Sua composição florística sugere uma ocupação a partir de refúgios altomontanos, como os situados na serra da Mantiqueira (IBGE, 1992).

É formada pela abundância de epífitas (espécies de orquídeas, samambaias, cactáceas, bromeliáceas, piperáceas e briófitas), pelo predomínio de espécies de lauráceas, mirtáceas, melastomatáceas e asteráceas, no dossel, e de espécies de samambaias, no sub-bosque (SCOLFORO; CARVALHO, 2006).

A araucária, considerada uma espécie pioneira, possui crescimento rápido e é uma das primeiras a colonizar espaços abertos como clareiras ou campos abandonados onde a luminosidade é intensa. Começa a gerar sementes somente a partir dos 15 anos e vive, em média, 400 anos, o que favorece o surgimento de outras espécies ao seu redor que se desenvolvem e atingem o dossel superior e fazem com que, com a morte de indivíduos velhos de araucárias, a composição florística desta formação se diversifique. Este pinheiro e as plantas e animais que vivem nas matas de araucária estão em risco de extinção em razão da exploração de sua madeira e de suas sementes e da sua dificuldade de produzir novos indivíduos adultos, pois indivíduos jovens de araucária sobrevivem pouco tempo à sombra e apenas 1% das sementes que caem no solo germinam (SOUZA *et al.*, 2008).

Floresta estacional semidecidual

Condicionada pela dupla estacionalidade climática, uma tropical com época de intensas chuvas de verão, seguida por estiagem acentuada, e outra subtropical sem período seco, mas com seca fisiológica provocada pelo intenso frio de inverno (IBGE, 1992), é caracterizada pela caducifólia em 20 a 50% dos indivíduos durante o período de maior estiagem.

Na APA Fernão Dias, predomina nas porções oeste, na região de Toledo, Itapeva e Extrema e nas menores altitudes de Camanducaia, e norte, na região de Luminosa (distrito de Brasópolis) e Paraisópolis, principalmente em propriedades agrícolas produtivas, relacionadas à bataticultura e à pecuária. É a cobertura vegetal que se encontra mais impactada por situar-se

sobre terrenos menos declivosos e em áreas de propriedades agrícolas ou de maior densidade humana, restando alguns fragmentos concentrados, principalmente, nos topos de morros e encostas íngremes, em sua maioria em estágios secundários (IBITU, 1998).

É caracterizada por um dossel irregular que varia de 15 a 25 m de altura, no qual predominam espécies de lauráceas, mirtáceas, bombacáceas e anacardiáceas, e um sub-bosque denso, no qual predominam espécies de rubiáceas e bambusóides. Possui densidade variável de lianas (espécies da família das bignoniáceas, leguminosas, malpighiáceas, sapindáceas, asteráceas e trigoniáceas) e menor abundância de samambaias e epífitas (espécies de orquídeas, samambaias, cactáceas, bromeliáceas, piperáceas, aráceas e briófitas) quando comparada com as florestas ombrófilas (SCOLFORO; CARVALHO, 2006).

Campos de altitude

Caracterizados pelo predomínio de vegetação herbácea, com presença de pteridófitas e árvores de pequeno porte, estão associados a áreas declivosas do alto de montanhas, sobre afloramentos graníticos e gnáissicos ou sobre solos rasos, e estão geralmente incluídos nas Áreas de Preservação Permanente (APPs) definidas pela legislação ambiental (SCOLFORO; CARVALHO, 2006).

Na APA Fernão Dias, encontram-se descaracterizados em razão da ocupação antrópica (MEIRELES, 2003), tendo sido localizada apenas uma área com aspectos florísticos típicos desta formação no alto da serra da Bocaina, nas cabeceiras do ribeirão Jaguari (IBITU, 1998). Entretanto, algumas espécies típicas dos campos de altitude do sudeste, a maioria endêmica, ainda podem ser observadas nos afloramentos do maciço da Mantiqueira, com destaque para as famílias das asteráceas, velloziáceas, melastomataceáceas, bignoniáceas, bromeliáceas, orquidáceas e euriocaleáceas (SCOLFORO; CARVALHO, 2006).

A fauna da APA Fernão Dias é composta por espécies características da Mata Atlântica, a qual apresenta grande número de espécies endêmicas, principalmente de aves. A intensa fragmentação deste bioma e a destruição dos habitats originais resultaram na redução das áreas de ocorrência da maioria das espécies e na presença de grande número de pequenas populações abrigadas em reduzidas e isoladas parcelas do território.

A seguir, são apresentadas as espécies que ocorrem com maior frequência na APA Fernão Dias, de acordo com o levantamento faunístico disponível em seu Plano de Gestão Ambiental (IBITU, 1998).

Em regiões onde há predomínio de atividades agropecuárias, com pequenos remanescentes florestais situados em topos de morros, a fauna é caracterizada por espécies plásticas e com hábitos campestres, como o inhambu xororó (*Crypturellus parvirostris*), o papacapim (*Sporophila caerulescens*), o tico-tico (*Zonotrichia capensis*) e o tiziu (*Volatinia jacarina*), que possuem hábitos alimentares granívoros e encontram alimentação nas pastagens. Também podem ser encontrados, mais raramente, veados (*Mazama sp.*) e gatos do mato (*Felis ssp.*).

Nas planícies fluviais de pequenos cursos d'água, onde é comum a presença de vegetação gramínea no lugar da mata ciliar, podem ser observadas tesouras do brejo (*Gubernetes yetapa*) e saracuras (*Aramides cajanea*).

Dentre as aves que ocorrem em áreas de floresta ombrófila densa, formação que conta com diversas espécies vegetais frutíferas, destacam-se o tangará dançarino (*Chyroxiptia caudata*), o inhambuquaçu (*Crypturellus obsoletus*), o sabiá una (*Platycichla flaviceps*), a saíra viúva (*Pipraeidea malanonota*), o tucano de bico verde (*Ramphastos dicolorus*) e o beija-flor (*Eupetomena melanotrochilus*) e espécies ameaçadas de extinção, como o papagaio do peito roxo (*Amazona vinacea*), o pavó (*Pyroderus scutatus*), o jacuaçu (*Penélope obscura*) e a uru (*Odontophorus capueira*).

Os mamíferos encontrados em áreas de floresta ombrófila densa expressiva são o quati (*Nasua nasua*), o esquilo (*Sciurus sp.*), o macaco prego (*Cebus apella*), o sagui (*Callithrix cf. aurita*) e a paca (*Cuniculus paca*). Além de espécies ameaçadas de extinção, como a onça sussuarana (*Puma concolor*), a jaguatirica (*Leopardus pardalis*), a onça pintada (*Panthera onca*), o caitetu (*Pecari tajacu*) e o guigó (*Callicebus personatus*).

Dentre os répteis, as diversas espécies de jararacas do gênero *Bothrops* são as que apresentam maior ocorrência na região da APA Fernão Dias. Também são encontradas espécies de corais verdadeiras, do gênero *Micrurus*, pequenos lagartos e teiús (*Tupinambis teguixim*).

Nos topos dos morros, em formações rochosas com vegetação mais rala, observam-se espécies de aves típicas deste ambiente, como a maria preta de penacho (*Knipolegus lophotes*), a maria preta de garganta vermelha (*Knipolegus nigerrimus*) e o bilro (*Hirundinea ferruginea*).

Outras espécies de hábitos campestres típicas dos campos de altitude são o sabiá do banhado (*Embernagra platensis*) e o canário rasteiro (*Sicalis citrina*).

Apesar de fragmentada, a Mata Atlântica remanescente na APA Fernão Dias ocupa grande dimensão territorial e preserva grande número de espécies de fauna e flora, com a oferta de frutos e de elevada capacidade de suporte para a fauna. Esta rica diversidade biológica e a abundância dos recursos hídricos da região justificam a criação desta Unidade de Conservação e dos corredores ecológicos, conforme sugerido por este trabalho.

4. MATERIAIS E PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Esta proposta de mapeamento de corredores ecológicos na APA Fernão Dias será realizada a partir de abordagem integrada da paisagem, com auxílio de técnicas de geoprocessamento e análise espacial.

A seguir são apresentados os procedimentos metodológicos empregados neste trabalho e os materiais utilizados em cada etapa.

4.1 - Elaboração da base cartográfica

A base cartográfica da APA Fernão Dias, composta pelos mapas do seu limite, hidrografia, sistema viário, litologia e hipsometria foi georreferenciada no sistema de projeção Universal Transversa de Mercator (UTM), zona 23S, datum SAD 69, no ArGIS 9.3, também utilizado para a formatação final de todos os mapas apresentados.

Este foi o SIG escolhido para a realização destas etapas do trabalho devido à disponibilidade de licenças pelo Instituto de Geociências da Unicamp e também por oferecer amplo e variado conjunto de ferramentas eficazes na representação e modelagem da realidade geográfica. Entre as principais ferramentas, podem-se citar as de georreferenciamento; armazenamento e gerenciamento dos dados nas tabelas de atributos; visualização e edição dos dados em formatos vetorial e matricial; análises espaciais e elaboração dos *layouts* dos mapas.

O mapa do limite da APA Fernão Dias foi elaborado de acordo com os limites políticos dos municípios pertencentes integralmente à APA, disponibilizados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2009), na escala 1:500.000. A definição de seu limite em Paraisópolis e Brasópolis, municípios que não pertencem integralmente à APA, foi realizada de acordo com a base cartográfica disponibilizada pelo Instituto Estadual de Florestas de Minas Gerais na escala 1:500.000 e no sistema de projeção UTM, zona 23S, datum SAD 69 (IEF, 2009).

Os dados referentes à hidrografia e ao sistema viário foram extraídos das cartas topográficas de Munhoz, Extrema, Camanducaia, Paraisópolis, Campos do Jordão, Monteiro Lobato e Tremembé, disponibilizadas pelo IBGE em formato vetorial na escala 1:50.000 (IBGE, 1977). Os dados referentes à hidrografia e ao sistema viário da carta Cambuí estavam disponíveis somente em formato matricial e, por esta razão, foram digitalizados no SIG ArcGIS.

O mapa litológico, digitalizado no ArcGIS, foi adaptado do Mapa geológico do estado de Minas Gerais, disponibilizado pelo Serviço Geológico do Brasil, na escala: 1:1.000.000 (CPRM, 2003).

As curvas de nível que compõem o mapa hipsométrico da APA Fernão Dias foram extraídas, com um intervalo de 30 metros, das cenas S23W046 e S23W047 do *Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer - Global Digital Elevation Model* (ASTER GDEM), a partir da ferramenta *Contour*, disponibilizada no módulo *Spatial Analyst Tools* do ArcGIS. De acordo com a altimetria da área de estudo, foram definidas seis classes: 840 a 1.000 m, 1.001 a 1.200 m, 1.201 a 1.400 m, 1.401 a 1.600 m, 1.601 a 1.800 m e 1.801 a 2.010 m.

O ASTER GDEM, produzido pelo Ministério de Economia, Comércio e Indústria do Japão (METI - *Ministry of Economy, Trade and Industry*) em conjunto com a Agência Espacial Americana (NASA - *National Aeronautics and Space Administration*), foi disponibilizado em 2009 com resolução espacial de 30 m. Este Modelo Digital de Elevação (MDE) foi utilizado, pois, além de cobrir cerca de 90% do globo, oferece cenas com maior resolução em relação a outros MDEs.

4.2 - Trabalho de campo I

O primeiro trabalho de campo foi realizado nos dias 17 e 18 de abril de 2010. Teve como objetivo o reconhecimento da parte oeste da área de estudo, compreendida pelos municípios de Toledo, Extrema, Itapeva e Camanducaia.

Para a escolha dos locais visitados em campo, foram selecionadas distintas feições de uso e cobertura do solo, referentes à vegetação nativa, reflorestamento, pastagem e campo sujo, cultivos agrícolas e áreas urbanas, em duas composições coloridas da imagem do sensor TM do satélite Landsat 5, órbita/ponto 219/76, de 1 de maio de 2009. Esta imagem foi escolhida pela sua data de aquisição, próxima à da época do ano da realização do campo, e por apresentar baixa cobertura por nuvens.

As duas composições coloridas da imagem Landsat se tratam da R4G5B3 e da transformação por Principais Componentes R1G2B3.

Dentre todas as composições testadas com as sete bandas espectrais da imagem Landsat, a R4G5B3 foi a que proporcionou melhor caracterização e diferenciação dos usos e coberturas de interesse e facilitou a análise visual para extração de informações.

A transformação por Principais Componentes foi realizada com o objetivo de realçar as distintas feições de uso e cobertura do solo a partir da redução da redundância espectral entre as bandas da imagem Landsat, com a geração de novas bandas com informações distintas às bandas originais. Esta transformação tem como principal função determinar a extensão de correlação entre bandas de uma mesma imagem e removê-la por meio de uma transformação matemática, produzindo novas variáveis conhecidas como componentes (WATRIN *et al.*, 1996).

As componentes, que não apresentam a mínima correlação entre si, são ordenadas de acordo com o quanto cada uma explica a diversidade espectral da imagem. Desta forma, as componentes 1, 2 e 3 são as que melhor caracterizam o conjunto de bandas fornecidas para a realização desta transformação, sendo capazes de explicar a variabilidade original dos valores de reflectância, enquanto as outras componentes tendem a ser afetadas por ruídos e coberturas isoladas e pouco significativas (EASTMAN, 2006).

A transformação por Principais Componentes foi realizada no módulo *Transform*, disponível no *software* de processamento digital de imagens ENVI 4.7, com a geração de sete novas bandas. As composições coloridas e o processamento digital de imagens deste trabalho também foram desenvolvidos neste *software*, escolhido devido à sua ampla variedade de ferramentas, à sua eficiência e velocidade de processamento e de apresentação dos resultados e à disponibilidade de licenças pelo Instituto de Geociências da Unicamp.

Sobre as duas composições coloridas da imagem Landsat, importadas no SIG ArcGIS, foram digitalizados cinco polígonos, os quais compreenderam as distintas feições de uso e cobertura do solo selecionadas. O trajeto percorrido foi definido a partir da sobreposição destes polígonos ao sistema viário da APA Fernão Dias.

Os materiais utilizados no primeiro trabalho de campo foram: composições coloridas da imagem Landsat referentes aos cinco polígonos estabelecidos, cartas topográficas de Camanducaia, Extrema e Munhoz, disponibilizadas pelo IBGE na escala 1:50.000, GPS (*Global Positioning System*), bússola, máquina fotográfica, binóculo, régua e planilhas para registro de coordenadas UTM, altitude, fotos e descrição dos elementos naturais e antrópicos da paisagem dos 37 pontos visitados em campo (Anexo 1).

4.3 - Trabalho de campo II

O segundo trabalho de campo, realizado nos dias 15 e 16 de maio de 2010, também teve como objetivo o reconhecimento de parte da APA Fernão Dias, localizada na porção leste e compreendida pelos municípios de Camanducaia, Sapucaí-Mirim, Gonçalves e Paraisópolis

Para definição das áreas visitadas no segundo campo foi utilizada a imagem do sensor TM do satélite Landsat 5, órbita/ponto 219/76, de 18 de abril de 2010, em razão de ter sido obtida na data do primeiro campo e por apresentar cobertura por nuvens de 0%. A partir desta imagem Landsat, foram geradas as mesmas composições coloridas R4G5B3 e Principais Componentes R1G2B3 e foi também elaborada uma imagem NDVI.

O Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI – *Normalized Difference Vegetation Index*), desenvolvido por Rouse *et al.* (1973), é obtido a partir da razão entre a diferença das reflectâncias do infravermelho próximo (que corresponde à banda 4 do sensor TM do Landsat 5) e do vermelho (que corresponde à banda 3 do sensor TM do Landsat 5) pela soma das mesmas, de acordo com a seguinte equação:

$$NDVI = (\rho_{ivp} - \rho_v) / (\rho_{ivp} + \rho_v) \quad (eq.1)$$

Onde:

NDVI é o índice de vegetação da diferença normalizada;

ρ_{ivp} é a refletância na faixa do infravermelho próximo do EEM;

ρ_v é a refletância na faixa do vermelho do EEM.

Os índices NDVI são distribuídos entre 0 e 256 (8 bits), sendo representados em escala linear de medida variando de -1 a +1, com os tons mais claros relacionados aos maiores valores e, os tons mais escuros, aos menores valores (PONZONI; SHIMABUKURO, 2007).

Sobre as duas composições coloridas e a imagem NDVI, importadas no ArcGIS, foram selecionadas distintas feições de uso e cobertura do solo, as quais foram agrupadas em quatro polígonos digitalizados. Com a sobreposição destes polígonos ao sistema viário da APA Fernão Dias, foi definido o trajeto percorrido no segundo trabalho de campo.

Foram levadas a campo duas composições coloridas e imagem NDVI referentes às quatro áreas visitadas, cartas topográficas de Camanducaia, Paraisópolis e Monteiro Lobato, disponibilizadas pelo IBGE na escala 1:50.000, GPS, bússola, máquina fotográfica, binóculo, régua e planilhas para registro de coordenadas UTM, altitude, fotos e descrição dos elementos naturais e antrópicos da paisagem dos 41 pontos visitados em campo (Anexo 2).

4.4 - Mapa de uso e cobertura do solo da APA Fernão Dias

Para a elaboração do mapa de uso e ocupação do solo da APA Fernão Dias foi utilizada a imagem do sensor TM do satélite Landsat 5, órbita/ponto 219/76, de 18 de abril de 2010, obtida no site do INPE (INPE, 2010).

Esta imagem foi escolhida para a realização deste trabalho, pois possui cobertura de nuvens de 0% e foi obtida na data do primeiro trabalho de campo. Além disto, imagens TM são disponibilizadas sem custo para o usuário e apresentam boa resolução espectral e radiométrica, podendo ser utilizadas em distintos campos de estudo que envolvam mapeamento de uso e cobertura do solo.

Com o objetivo de atenuar as distorções e elevar a qualidade dos dados utilizados na extração de informações referentes ao uso e cobertura do solo foram realizadas a compensação atmosférica e a correção geométrica da imagem.

Os efeitos atmosféricos sobre a imagem, responsáveis pela redução do contraste entre os objetos, diminuem a possibilidade de detecção de pequenos objetos ou de diferenciação entre objetos que apresentam pequenas variações na intensidade de sinal em uma dada cena (NOVO, 2008). Estes efeitos foram corrigidos a partir do método da compensação atmosférica pelo Pixel Escuro (DOS - *Dark-Object Subtraction*) proposto por Chavez (1988), disponível no ENVI.

De acordo com este método de compensação atmosférica, assume-se que, em toda cena, e em qualquer banda espectral, existem pixels que deveriam assumir o valor “0” em razão de não receberem radiação incidente, como no caso de sombras na região do visível, ou absorvê-la totalmente, como no caso de corpos d’água nas regiões do infravermelho próximo e médio. Caso estes pixels apresentem valores de ND (número digital) aparente maiores que “0”, o valor excedente, explicado pela interferência aditiva do espalhamento atmosférico, deve ser subtraído de todos os NDs aparentes de toda a cena (PONZONI; SHIMABUKURU, 2007).

Embora este método apresente restrições, por limitar a compensação ao fenômeno de espalhamento da atmosfera, desprezando o de absorção, e por considerar que a interferência atmosférica é uniforme ao longo de toda a cena, o procedimento para sua aplicação é simples, pois depende somente de dados da própria imagem (PONZONI; SHIMABUKURU, 2007), não exigindo a coleta de informações sobre as condições atmosféricas no local e momento da passagem do sensor (FADUL *et al.*, 2009).

Após a compensação atmosférica foi realizada a correção geométrica da imagem a partir do módulo *Resample* do SIG Idrisi. Os principais erros geométricos são causados pelo movimento de rotação da Terra durante o processo de aquisição da imagem, pela velocidade de varredura finita, pelo amplo campo de visada de alguns sensores, pela curvatura da terra, por variações na posição da plataforma de aquisição e por efeitos panorâmicos relacionados à geometria da imagem (NOVO, 2008).

A fim de que cada pixel fosse posicionado segundo um modelo cartográfico específico e o mais fiel possível em relação ao seu verdadeiro posicionamento geográfico na superfície terrestre (PONZONI *et al.*, 2007), a imagem Landsat foi retificada geometricamente no sistema de projeção UTM (Universal Transversa de Mercator), zona 23S, datum SAD 69. Com base em 30 pontos de controle obtidos nos arquivos vetoriais referentes à hidrografia e ao sistema viário das cartas topográficas que compreendem a APA Fernão Dias (Munhoz, Cambuí, Extrema, Camanducaia, Paraisópolis, Campos do Jordão, Monteiro Lobato e Tremembé), disponibilizadas pelo IBGE na escala 1:50.000 (IBGE, 1977), foi efetuada a reamostragem por meio do interpolador *vizinho mais próximo*, com erro médio quadrático inferior a 0,5 pixel.

Optou-se por realizar a correção geométrica da imagem no Idrisi, pois este SIG oferece boa visualização das composições da imagem Landsat e da sobreposição destas com os arquivos vetoriais utilizados para a distribuição dos pontos de controle.

Após a etapa de pré-processamento, foi realizada a classificação da imagem Landsat em todas as bandas do espectro refletido (bandas 1 a 5 e 7) no ENVI a partir do método supervisionado da Máxima Verossimilhança (MaxVer) o qual, a partir de uma abordagem probabilística, considerando a ponderação das distâncias entre as médias dos níveis digitais das classes, categoriza determinado pixel da imagem como pertencente a cada uma delas (MOREIRA, 2005).

O método MaxVer deve ser aplicado quando se conhece bem a imagem a ser classificada para que classes representativas possam ser definidas (CRÓSTA, 1992), uma vez que o resultado da classificação depende da seleção das amostras de treinamento, utilizadas como área de referência dos níveis de cinza da classe. A seleção das amostras faz parte do processo de treinamento do algoritmo, a partir do qual são criados os descritores das classes que atuarão nas regras de decisão para a alocação de todos os pixels da cena em suas respectivas classes espectrais (NOVO, 2008).

De acordo com as características da área de estudo e com o objetivo proposto, foram estabelecidas inicialmente nove classes para o mapa temático, para as quais foram selecionadas, a partir de dados obtidos em trabalhos de campo, as amostras de treinamento. São elas:

- floresta ombrófila densa;
- floresta estacional semidecidual;
- floresta ombrófila mista e reflorestamento de pinus;
- reflorestamento de eucalipto;
- áreas de pastagem e campo sujo com cultivos agrícolas isolados;
- afloramentos rochosos;
- solo exposto;
- áreas urbanas;
- corpos d'água.

Com a finalidade de oferecer maior homogeneização à imagem classificada, a partir da retirada de pixels isolados, preservando as bordas das classes, foi aplicado, no ENVI, um filtro de mediana com janela 3 x 3. Trata-se de um tipo de filtro passa-baixa no qual o pixel central da máscara é substituído pelo valor mediano dos seus vizinhos.

O resultado da classificação foi importado e vetorizado no ArcGIS com o objetivo de realizar um ajuste manual da classe temática referente à floresta ombrófila mista e reflorestamento de pinus. Este ajuste foi necessário, pois estes alvos possuem usos distintos, mas conjunto de propriedades espectrais no espectro eletromagnético (EEM) semelhantes, não sendo possível separá-las a partir do processamento digital.

A floresta ombrófila mista, composta caracteristicamente por araucárias, possui arquitetura típica e, por isto, é de fácil visualização na composição colorida da imagem Landsat, sendo um ótimo indicador dos limites da área de ocorrência desta tipologia de vegetação.

Entretanto, apresenta assinatura espectral semelhante à do pinus, pinheiro utilizado em plantios comerciais. Por isto, a floresta ombrófila mista foi separada manualmente do reflorestamento de pinus a partir do conhecimento da área de estudo, da morfologia dos fragmentos de floresta e do auxílio do mapa de vegetação da APA Fernão Dias, disponibilizado pelo IEF (2009).

Os aglomerados urbanos foram digitalizados no ArcGIS e sobrepostos à imagem classificada.

O mapa temático final de uso e ocupação do solo da APA Fernão Dias é composto por dez classes:

- floresta ombrófila densa;
- floresta ombrófila mista;
- floresta estacional semidecidual;
- reflorestamento de pinus;
- reflorestamento de eucalipto;
- áreas de pastagem e campo sujo com cultivos agrícolas isolados;
- afloramentos rochosos;
- solo exposto;
- áreas urbanas;
- corpos d'água.

Para avaliar a exatidão da classificação do mapa de uso e cobertura do solo, foi elaborada a matriz de erro ou tabela de contingência a partir da checagem dos 64 pontos visitados (Anexo 3), dos 80 pontos amostrados. As colunas desta matriz representam a verdade terrestre, as linhas, os dados classificados pelo algoritmo de classificação, e a diagonal principal, a concordância entre as linhas e as colunas. De acordo com os dados desta matriz, foi calculado o índice de Exatidão global da classificação a partir da divisão da soma dos elementos da diagonal principal pelo número total de amostras tomadas (STORY; CONGALTON, 1986). Foi também calculado o coeficiente de Kappa (K), que considera todos os elementos da matriz e não apenas os que se situam na diagonal principal. Segundo Congalton et al. (1983), o cálculo do coeficiente de Kappa é efetuado a partir da seguinte equação:

$$K = \frac{\sum_{i=1}^r x_{ii} - \sum_{i=1}^r (x_{i+} x_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^r (x_{i+} x_{+i})} \quad (\text{eq. 2})$$

Onde:

K é o coeficiente de Kappa

N é o número total de pixels contemplados pela matriz de erro;

x é o elemento da matriz de erro;

r é o número de categorias presentes na matriz de erro;

x_{ii} são os elementos da diagonal principal;

x_i é o total da linha para dada categoria informacional;

x_{+i} é o total da coluna para dada categoria informacional.

4.5 - Mapa das formações floresta ombrófila densa e floresta estacional semidecidual

A representação das formações floresta ombrófila densa e floresta estacional semidecidual foi realizada a partir de dois métodos de classificação supervisionada: o método MaxVer e o método de decisão *fuzzy*.

As classes referentes a estas duas formações florestais, classificadas pelo MaxVer, foram extraídas do mapa de uso e cobertura do solo da APA Fernão Dias, elaborado no ENVI, e as classes resultantes da classificação com base na lógica *fuzzy* foram obtidas no Idrisi, o qual possui, em seu módulo *Image Processing*, o *Fuzzclass (Fuzzy Set Membership Classification)*, umas das ferramentas disponíveis entre os diversos *Soft Classifiers* incorporados a este SIG.

Para as duas classes de interesse, foram criadas assinaturas espectrais das amostras de treinamento referentes às bandas 1 a 5 e 7 da imagem Landsat a partir do módulo *MakeSIG* do Idrisi.

Após a seleção das amostras de treinamento e a criação de suas assinaturas espectrais, a imagem foi classificada pelo *Fuzzclass*, com base na teoria dos conjuntos *fuzzy*. Este classificador produz, para cada classe de interesse, uma imagem que apresenta a pertinência de cada classe em cada pixel. O conjunto das componentes *fuzzy* é calculado pela Mínima Distância Euclidiana, a

partir da qual o valor do pixel (entre 0 e 1) é determinado pela distância entre o seu valor espectral e o valor da média da assinatura da classe. Quanto mais o valor do pixel se afasta da média da assinatura, menor é o seu grau de pertinência na imagem (ALVES, 2004).

Os pixels da imagem foram classificados de acordo com a função de afinidade f para cada classe, a partir da seguinte equação:

$$f(i \in A) = \frac{1/Di_{\bar{X}_A}}{1/Di_{\bar{X}_A} + 1/Di_{\bar{X}_B}} \quad (\text{eq. 3})$$

Onde:

i é o pixel a ser classificado;

A e B são as classes;

\bar{X}_A e \bar{X}_B são as médias dos valores das classes A e B ;

$Di_{\bar{X}_A}$ e $Di_{\bar{X}_B}$ são as distâncias euclidianas de i em relação às médias das classes A e B , calculadas de acordo com a equação 4:

$$Di_{\bar{X}_A} = \sqrt{(x_i - \bar{X}_A)^2} \quad (\text{eq. 4})$$

Onde:

$Di_{\bar{X}_A}$ é a distância euclidiana de i em relação à média da classe A ;

x_i é o valor de uma variável x no elemento i ;

\bar{X}_A é a média dos valores da classe A .

Para o processamento desta classificação, é necessário informar um valor para o z -score. Este valor, definido pelo usuário, depende da qualidade das assinaturas das amostras coletadas e da quantidade de pixels de cada classe.

Se as assinaturas das amostras são puras e o tamanho da classe é pequeno, um valor pequeno para o z -score deve ser utilizado, mas se as assinaturas das amostras estão misturadas e o tamanho da classe é grande, um valor grande deve ser utilizado. A média da assinatura das amostras representa o valor ideal para cada classe a ser mapeada, com grau de pertinência igual a 1. Quanto maior a distância do valor do pixel em relação ao valor da média, menor seu grau de

pertinência, até que este alcance o valor do *z-score* definido pelo usuário, onde o grau de pertinência diminui até chegar a 0 (EASTMAN, 2006).

De acordo com Du (2010), o parâmetro *z-score* determina onde será a quebra, ou a divisória, para os valores de pertinência com a redução da influência dos pequenos valores. Quando o *z-score* se aproxima de 1, a quebra produzida será rígida, fazendo com que grande quantidade de pixels seja descartada. O contrário ocorre quando este valor aumenta, aumentando também a incerteza do resultado da classificação. Desta forma, este autor sugere que os valores adequados para o *z-score* são 1,5 ou 2,0.

Foram utilizados estes dois valores para mapear as classes de interesse na imagem Landsat e o que mais se adequou à representação das florestas ombrófila densa e estacional semidecidual, com base no conhecimento da área de estudo, foi o *z-score* 2,0.

Um filtro de mediana com janela 3 x 3 foi aplicado nas duas imagens geradas com o objetivo de oferecer maior homogeneização a partir da retirada de pixels isolados.

No Idrisi, foi gerada uma imagem resultante da subtração entre as imagens geradas pelo *Fuzzclass* (uma para cada classe de floresta), cujos valores da função de afinidade f pertencem ao intervalo $[-1,1]$. Na imagem da subtração, pertencem à floresta ombrófila densa os pixels com $f > 0,0$ e, à floresta estacional semidecidual, aqueles com $f < 0,0$. Os pixels com $f = 0,0$ pertencem a outros usos. Os pixels com f próximos a 0,0 e diferentes de 0,0 representam áreas de transição entre as duas formações florestais.

De acordo com o grau de afinidade de cada pixel em uma das classes, a imagem da subtração, que revela a graduação entre as duas florestas, foi reclassificada em cinco novas classes:

- Floresta estacional semidecidual ($-0,75 < f \leq -1,0$);
- Floresta estacional semidecidual ($0,0 < f \leq -0,75$),
- Floresta ombrófila densa ($0,0 < f \leq 0,75$),
- Floresta ombrófila densa ($0,75 < f \leq 1,0$);
- Outros usos.

Com o objetivo de visualização da distribuição das formações florestais de acordo com a altimetria do relevo, as imagens resultantes das classificações MaxVer e *Fuzzclass* foram representadas em perspectiva. Para a construção do modelo digital de elevação no módulo *ArcScene* do ArcGIS, foram utilizadas as cenas S23W046 e S23W047 do ASTER GDEM.

4.6 - Trabalho de campo III

O terceiro trabalho de campo, realizado nos dias 18 e 19 de novembro de 2010, teve dois objetivos principais: o reconhecimento de uma área da APA Fernão Dias que ainda não havia sido visitada e a validação das classificações da imagem Landsat.

Para avaliar a exatidão do mapa de uso e cobertura do solo, resultante da classificação MaxVer, foi realizada uma amostragem aleatória estratificada de acordo com a porcentagem de cada classe temática em relação à área total da APA. Nesta estratégia, a estratificação é realizada em todos os temas e as unidades de amostragem são definidas aleatoriamente de acordo com a proporção de cada uma delas (MAILING, 1989).

Em razão de a área de estudo ser muito extensa, a amostragem foi realizada em uma porção da APA referente a uma área de influência (*buffer*) de dois quilômetros em torno de um trajeto previamente selecionado (Figura 4.1).

A quantidade de pontos a serem amostrados foi determinada conforme proposto por Fitzpatrick-Lins (1981), a partir da seguinte equação:

$$N = Z^2 (p)(q) / E^2 \quad (\text{eq. 5})$$

Onde:

N é número de amostras;

$Z = 2$ (para desvio padrão normal de 1,96 com 95% de intervalo de confiança);

p é o percentual de exatidão esperado;

$q = 100-p$;

E é o erro permissível.

Considerando um percentual de exatidão (p) de 85%, com erro permissível (E) de 8%, o número de amostras utilizado foi de 80.

A porcentagem de cada uma das dez classes temáticas do mapa de uso e ocupação do solo foi calculada e os 80 pontos de controle foram amostrados aleatoriamente de acordo com a área ocupada por cada uma delas (Figura 4.1).

A verdade terrestre foi verificada no campo a partir do mapa de pontos amostrados, com auxílio das cartas topográficas de Cambuí, Paraisópolis, Campos do Jordão, Monteiro Lobato e Tremembé, na escala 1:50.000, GPS, bússola, máquina fotográfica, binóculo, régua e planilha para registro do uso e cobertura do solo em cada ponto visitado.

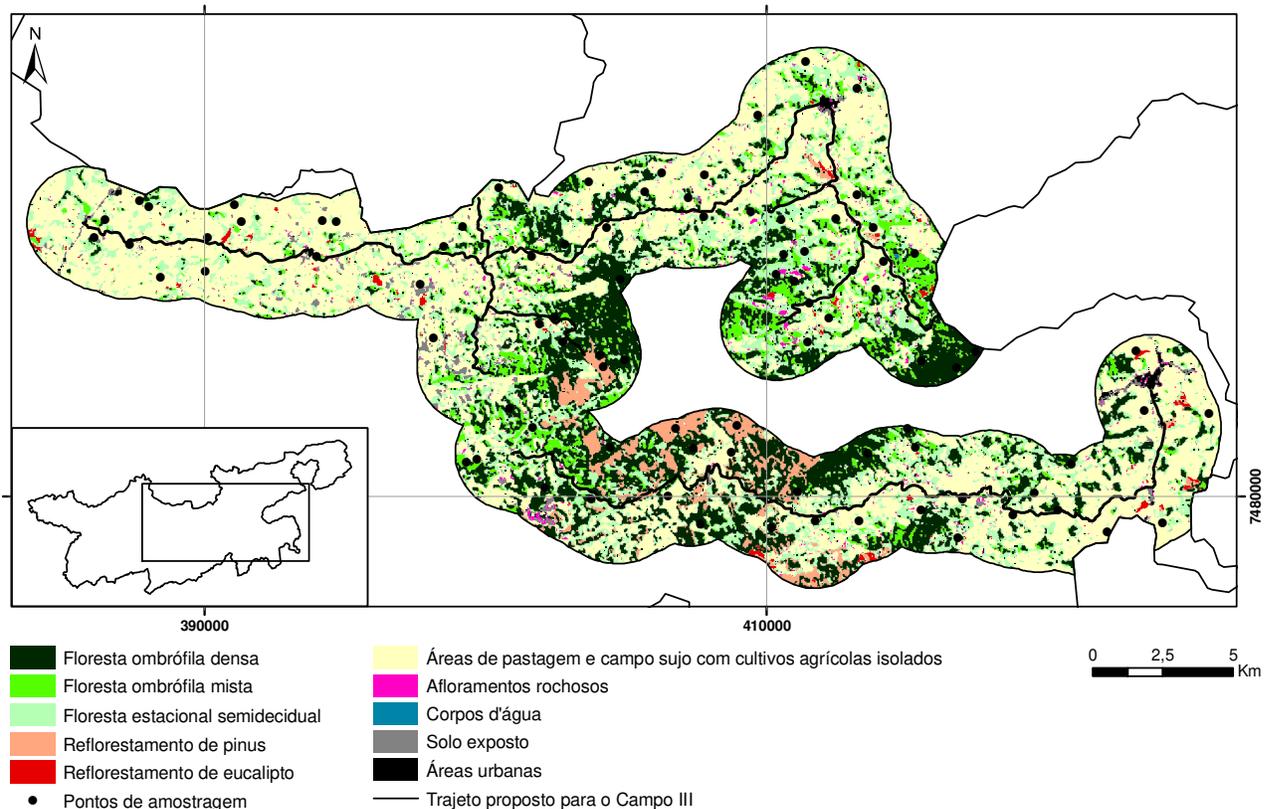


Figura 4.1 - Pontos amostrados e trajeto proposto para o campo III no mapa de uso e cobertura do solo resultante da classificação MaxVer.

4.7 - Mapa dos geossistemas da APA Fernão Dias

O mapeamento das unidades de paisagem da APA Fernão Dias está fundamentado na classificação hierárquica proposta por Bertrand (1972), segundo o qual a noção de escala é inseparável do estudo das paisagens. Seu sistema de classificação compreende seis níveis temporo-espaciais, entre eles os geossistemas, unidades mapeadas e caracterizadas neste trabalho.

Com suporte operacional dos SIG, do sensoriamento remoto e dos trabalhos de campo, foi elaborado o mapa dos geossistemas de acordo com a compartimentação do relevo da APA Fernão

Dias. O relevo se constitui condicionante fundamental no mapeamento dos geossistemas, pois reflete as condições geológicas, pedológicas, de cobertura vegetal e de uso e ocupação do solo de uma área (FERREIRA, 2008). Considerado como base física de sustentação, o relevo oferece suporte à integração e à espacialização dos dados (CENDRERO *et al.*, 2002).

A partir da sobreposição do mapa hipsométrico às camadas de informação referentes à litologia, à hidrografia, ao sistema viário e ao uso e ocupação do solo foram digitalizados no ArcGIS os quatro geossistemas propostos para a APA Fernão Dias.

4.8 - Mapa dos corredores ecológicos da APA Fernão Dias

A partir de técnicas de geoprocessamento e análise espacial, foram realizados o mapeamento e a caracterização dos corredores ecológicos da APA Fernão Dias. A modelagem cartográfica em ambiente de SIG envolveu a combinação dos seguintes mapas anteriormente elaborados: mapa dos geossistemas, mapa de uso e cobertura do solo, obtido por meio da classificação supervisionada MaxVer, e mapa das áreas cobertas pela floresta ombrófila densa e pela floresta estacional semidecidual, gerado pelo método de decisão *fuzzy*.

A primeira etapa para o mapeamento dos corredores ecológicos foi a elaboração do mapa de fragmentos florestais da APA Fernão Dias a partir dos fragmentos da floresta ombrófila densa, floresta ombrófila mista e floresta estacional semidecidual resultantes do método de classificação supervisionado MaxVer. O resultado desta classificação foi escolhido para compor este mapa, pois a informação está apresentada a partir da lógica booleana, sendo os fragmentos representados por polígonos com limites definidos. Apesar do classificador MaxVer não ter demonstrado bom resultado na distinção das formações florestais, a matriz de erro elaborada para o mapa de uso e cobertura do solo não revelou confusão significativa entre as formações florestais e não florestais.

No SIG ArcGIS foi realizada a união dos *layers* referentes às três formações florestais em um novo *layer*. No modo de edição vetorial, a partir da função *Merge*, todos os polígonos foram unidos. A partir da função *Explode Multi-part Feature* este novo polígono unificado foi dividido, de modo que os fragmentos separados fisicamente passaram a compor um polígono de fragmento. Este processamento produziu manchas contínuas de fragmentos de distintos tamanhos e formas que passaram a compor um único mapa de fragmentos florestais da APA. A partir da

sobreposição dos fragmentos florestais ao mapa dos geossistemas, foi calculada a área total dos remanescentes de cada geossistema.

Dentre os mais de 2.000 polígonos de fragmentos florestais do geossistema Altos da Terra Fria, foram inicialmente selecionados aqueles com área superior a 100 ha, uma vez que fragmentos com área inferior a 100 ha pouco contribuem para a persistência de populações a longo prazo (STRATFORD; STOUFFER, 1999; PERES, 2001). Dentre os dez fragmentos com área superior a 100 ha, oito foram selecionados para a delimitação dos corredores ecológicos em razão de sua conservação e de sua vizinhança. Os dois excluídos se apresentavam muito fragmentados e estavam localizados a oeste do geossistema Altos da Terra Fria, em uma região com intensa atividade de silvicultura e envolvendo a área urbana consolidada do distrito de Monte Verde. Os oito fragmentos selecionados no arquivo vetorial foram exportados para o SIG Idrisi e convertidos para arquivo matricial. A partir deste arquivo matricial foi gerada uma superfície de isodistâncias com a utilização de seu módulo *Distance*.

A geração da superfície de isodistâncias entre os fragmentos florestais configura-se, de acordo com Ferreira (1999), como uma abordagem que visa ampliar as possibilidades de análise a partir de uma interpretação espacial, pois são calculadas as distâncias de cada fragmento em relação a todos os outros, diferentemente do que ocorre com o mapeamento de *buffers*, definidos como faixas de igual distância situadas a uma distância previamente definida pelo pesquisador. A superfície de isodistâncias foi reclassificada em intervalos de 50 m no Idrisi e o resultado foi exportado para o ArcGIS, onde foi realizada nova vetorização. Para o traçado preliminar dos corredores ecológicos foi selecionado o intervalo das curvas de isodistâncias situadas entre 0 e 150 m, pois neste intervalo se observou que os oito fragmentos com área superior a 100 ha estariam conectados. As ilhas existentes foram incluídas por meio de edição vetorial no ArcGIS e passaram a compor os corredores ecológicos da APA Fernão Dias. O último processamento realizado para o mapeamento dos corredores ecológicos foi o recorte dos corredores ecológicos, inseridos no geossistema Altos da Terra Fria, a partir da operação *Clip* do ArcGIS.

Para compor o mapa de uso e ocupação do solo dos corredores ecológicos foram utilizadas as classes temáticas do mapa de uso e cobertura do solo da APA Fernão Dias (Figura 5.8) resultante da classificação supervisionada MaxVer. As classes referentes às formações floresta ombrófila densa e floresta estacional semidecidual foram substituídas pelas classes do mapa produzido pelo método de decisão *fuzzy* (Figura 5.10), uma vez que a distinção entre estas

classes de florestas foi mais eficiente a partir do uso deste último classificador. O mapa final de uso e cobertura é composto por doze categorias (o parâmetro f é o valor da função de afinidade *fuzzy* para as respectivas categorias de formação florestal):

- floresta ombrófila densa ($0,75 < f \leq 1,0$)
- floresta ombrófila densa ($0,0 < f \leq 0,75$)
- floresta estacional semidecidual ($0,0 < f \leq -0,75$)
- floresta estacional semidecidual ($-0,75 < f \leq -1,0$)
- floresta ombrófila mista
- reflorestamento de pinus;
- reflorestamento de eucalipto;
- áreas de pastagem e campo sujo com cultivos agrícolas isolados;
- afloramentos rochosos;
- solo exposto;
- áreas urbanas;
- corpos d'água.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 - Trabalhos de campo

Para o desenvolvimento das atividades de coleta de dados e informações em campo, foi utilizada como referência de metodologia a abordagem sistêmica, utilizada principalmente na Ecologia da Paisagem e na Análise Integrada do Meio Físico. Esta etapa de investigação empírica, com enfoque regional, foi essencial para a elaboração do mapa de uso e cobertura do solo (item 5.2 deste capítulo) e para o mapeamento e a caracterização dos geossistemas da APA Fernão Dias (item 5.3 deste capítulo).

Para a definição dos trajetos percorridos e também para a localização e a descrição dos elementos da paisagem em cada ponto visitado nos três trabalhos de campo, foi organizada uma base cartográfica na escala 1:50.000, combinando cartas topográficas digitais do IBGE. Juntamente a este material cartográfico, foi selecionada uma imagem Landsat 5 TM, órbita/ponto 219/76, de 18 de abril de 2010 e, a partir dela, foram geradas uma composição colorida R4G5B3 (Figura 5.1), uma composição colorida da transformação por principais componentes R1G2B3 (Figura 5.2) e uma imagem NDVI (Figura 5.3).

Cada banda espectral do sistema sensor a bordo do Landsat é indicada para a representação de distintos usos e coberturas do solo. Para a área de estudo foram utilizadas as bandas 3, 4 e 5.

A banda 3, com intervalo espectral entre 0,63 e 0,69 μm , oferece bom contraste entre áreas cobertas por vegetação e áreas urbanas, solo exposto e estradas, e entre diferentes tipos de cobertura vegetal, uma vez que a vegetação densa e uniforme apresenta grande absorção da radiação eletromagnética nesta faixa - o que não acontece com as coberturas vegetais menos densas. Esta banda também permite a identificação de áreas agrícolas e o mapeamento da drenagem em regiões com pouca cobertura vegetal. É a banda mais utilizada para delimitar manchas urbanas, incluindo a identificação de novos loteamentos e áreas de expansão urbana (INPE, 2010).

Na composição da Figura 5.1, a banda 3 foi associada ao azul, destacando-se nesta cor as áreas urbanas de Extrema, Itapeva e Camanducaia, situadas no eixo da rodovia Fernão Dias. As áreas de solo exposto também são destacadas em azul nesta composição, principalmente nos

municípios de Toledo e de Camanducaia, onde são encontrados solos preparados para o cultivo agrícola e para o reflorestamento.

A banda 4, com intervalo espectral entre 0,76 e 0,90 μm , permite a identificação de áreas agrícolas, o mapeamento da rede de drenagem e a obtenção de informações sobre geomorfologia, solos e geologia. A vegetação densa e uniforme, que reflete muita energia nesta banda, aparece clara e a rugosidade do dossel florestal é destacada, sendo utilizada também para mapear áreas ocupadas com pinus e eucalipto (INPE, 2010).

Na composição da Figura 5.1, a banda 4 foi associada ao vermelho, fazendo com que a extensa cobertura vegetal da APA Fernão Dias fosse representada por diferentes tonalidades desta cor. Formações vegetais nativas, como a floresta ombrófila densa e a floresta estacional semidecidual são facilmente visualizadas, pois assumem a tonalidade marrom; a floresta ombrófila mista e as áreas de reflorestamento de pinus aparecem em cor semelhante ao vinho e, o reflorestamento de eucalipto, em vermelho claro.

A banda 5, com intervalo espectral entre 1,55 e 1,75 μm , apresenta sensibilidade ao teor de umidade das plantas, servindo para observar estresse na vegetação, causado por desequilíbrio hídrico (INPE, 2010). Na composição da Figura 5.1, a banda 5 foi associada ao verde, destacando com esta cor as áreas cobertas por vegetação rasteira, a exemplo daquelas que ocorrem nas áreas de altitude mais elevada da serra da Mantiqueira, posicionadas na divisa de Minas Gerais com o estado de São Paulo. Em verde claro são observados os afloramentos rochosos e, em diferentes tonalidades de verde, as áreas agrícolas, de pastagem e de campo sujo.

A combinação destas três bandas ofereceu adequada discriminação visual entre as principais classes de uso e cobertura do solo da APA Fernão Dias, entre elas os remanescentes vegetais, as manchas urbanas e as áreas de campo sujo com áreas agrícolas isoladas.

A Figura 5.2 apresenta a transformação por Principais Componentes R1G2B3 da imagem Landsat. Nesta composição, áreas com pastagem e campo sujo são identificadas pela cor laranja, as áreas agrícolas, pela vermelha, as áreas urbanas e os solos expostos, pela rosa, e as áreas cobertas por vegetação, em diferentes tonalidades de verde, sendo que as áreas de reflorestamento de eucalipto estão identificadas em azul.

Esta composição foi muito útil nas atividades de campo, pois ressaltou as áreas cobertas por vegetação, oferecendo bom contraste entre as diferentes formações florestais. A partir dela também puderam ser identificadas áreas de vales e vertentes com maior umidade.

Dentre os índices de vegetação mais utilizados, criados com o objetivo de ressaltar o comportamento espectral da vegetação em relação ao solo e a outros alvos da superfície terrestre, destaca-se o NDVI.

A Figura 5.3 revela a imagem NDVI elaborada para a área de estudo. Nesta imagem, os efeitos topográficos são minimizados. Valores de NDVI negativos foram observados em corpos d'água. Valores baixos, positivos e próximos a 0, foram registrados nas manchas urbanas, ao longo da rodovia Fernão Dias e em áreas de solo exposto. As pastagens e campos sujos e as culturas agrícolas apresentaram valores entre 0,5 e 0,7, correspondendo a uma cobertura vegetal com baixa biomassa composta por gramíneas ou plantas de menor porte.

Áreas com maior densidade de cobertura vegetal apresentaram valores altos e próximos a 1. Na floresta ombrófila densa, os valores de NDVI encontrados estão entre 0,87 e 1 e, na floresta ombrófila mista, entre 0,88 e 0,95. Na floresta estacional semidecidual, que conta com espécies caducifólias em seu dossel superior, os valores de NDVI registrados, entre 0,85 e 0,92, são um pouco mais baixos quando comparados às outras formações nativas. Em relação às áreas de reflorestamento, nas de pinus os valores de NDVI variam entre 0,90 e 1 e, nas de eucalipto, entre 0,95 e 1.

A imagem resultante deste índice de vegetação foi útil nos trabalhos de campo, principalmente na identificação dos limites entre áreas de vegetação primária e secundária e áreas de reflorestamento de outros usos e coberturas do solo.



Figura 5.1 - Composição R4G5B3 da imagem do Landsat 5 TM, órbita/ponto 219/76, de 18 de abril de 2010.

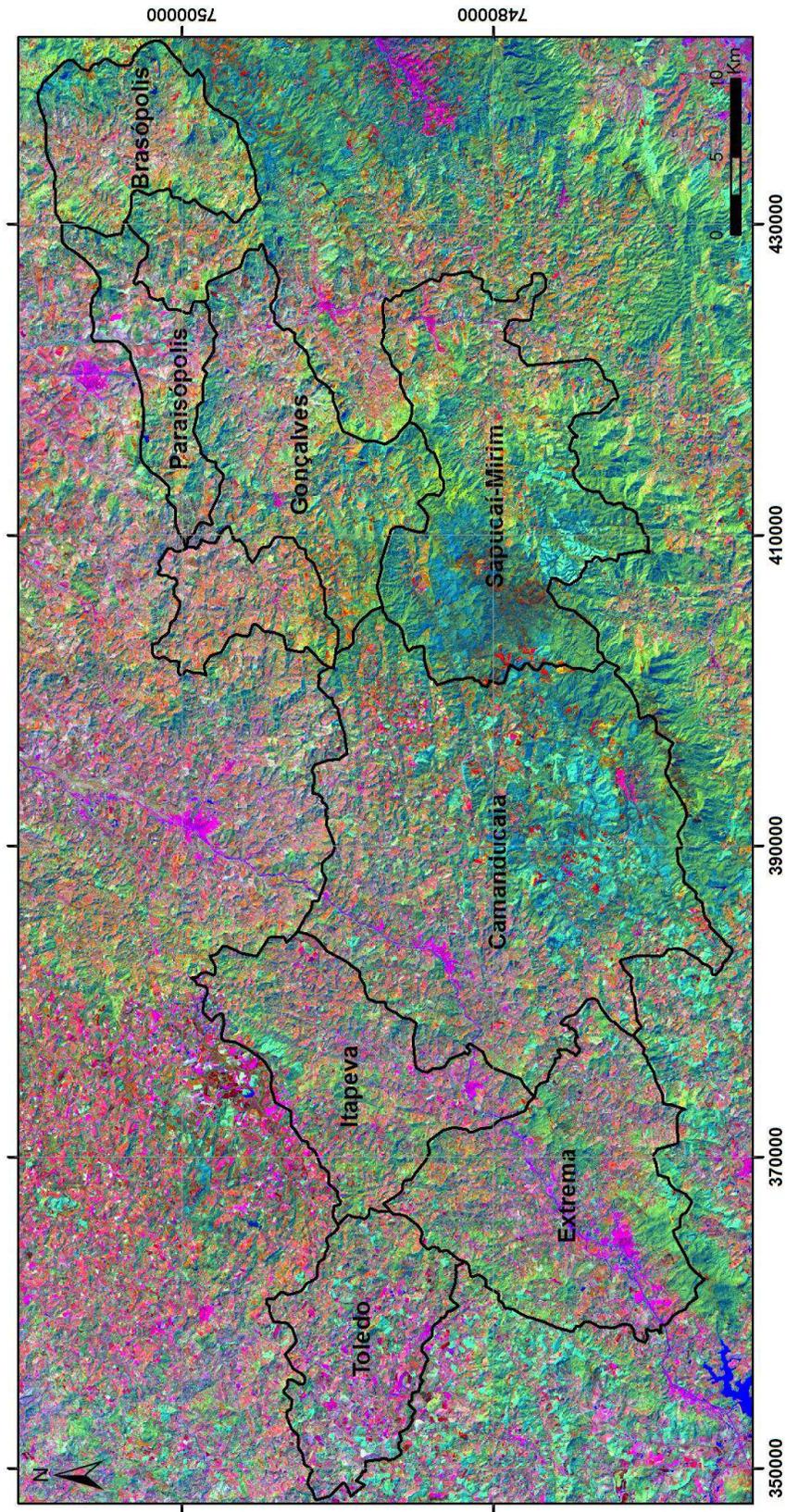


Figura 5.2 - Transformação por Principais Componentes R1G2B3 da imagem do Landsat 5 TM, órbita/ponto 219/76, de 18 de abril de 2010.

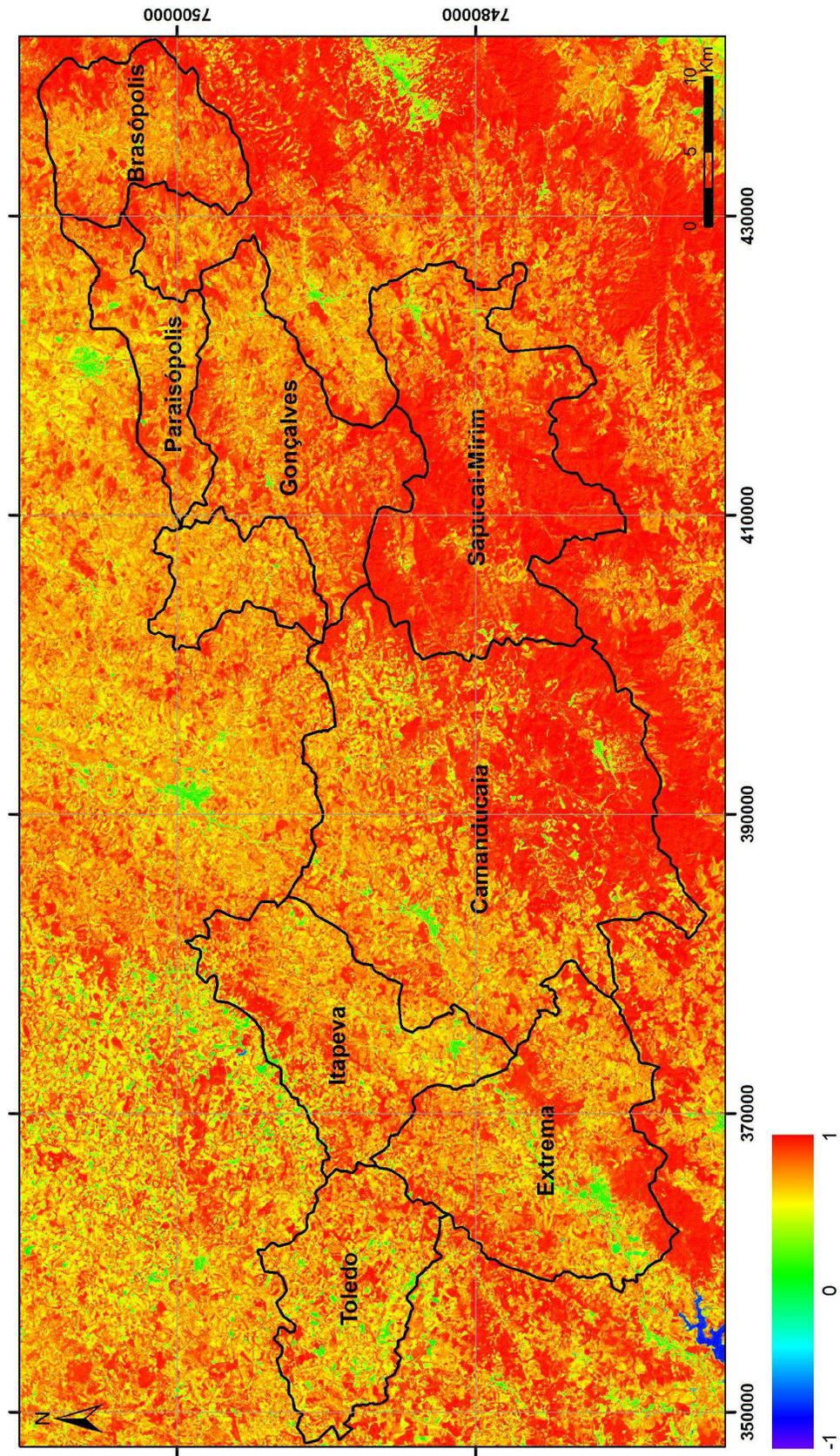


Figura 5.3 - NDVI da imagem do Landsat 5 TM, órbita/ponto 219/76, de 18 de abril de 2010.

No primeiro trabalho de campo, que ocorreu nos dias 17 e 18 de abril de 2010, foram percorridas áreas dos municípios Toledo, Extrema, Itapeva e Camanducaia. No trajeto realizado (Figura 5.4) foram obtidas coordenadas UTM, altitude e registros fotográficos de 37 pontos (Anexo 1), com a descrição dos elementos naturais e antrópicos de cada um deles.

Nos dias 15 e 16 de maio de 2010, após serem organizadas e trabalhadas em laboratório as informações obtidas no primeiro trabalho de campo, foi realizado o segundo trabalho de campo nos municípios de Camanducaia, Sapucaí-Mirim, Gonçalves e Paraisópolis. No trajeto percorrido foram visitadas e caracterizadas as paisagens em 41 pontos (Anexo 2) que, contados a partir do campo anterior, somam 78 pontos (Figura 5.5).

A partir das informações obtidas nos dois primeiros trabalhos de campo, foi proposto um terceiro, com o objetivo de reconhecimento de uma área que ainda não havia sido visitada e de validação da classificação da imagem Landsat, apresentada no item 5.2 deste capítulo.

No trajeto percorrido durante os dias 18 e 19 de novembro de 2010 (Figura 5.6), que compreendeu os municípios de Camanducaia, Sapucaí-Mirim e Gonçalves, foram visitados 64 (Anexo 3) dos 80 pontos amostrados, conferindo ao mapa de uso e cobertura do solo percentual de exatidão de 85% e erro de amostragem admissível de 9% (FITZPATRICK-LINS, 1981). No total, 142 pontos foram visitados nos três trabalhos de campo.

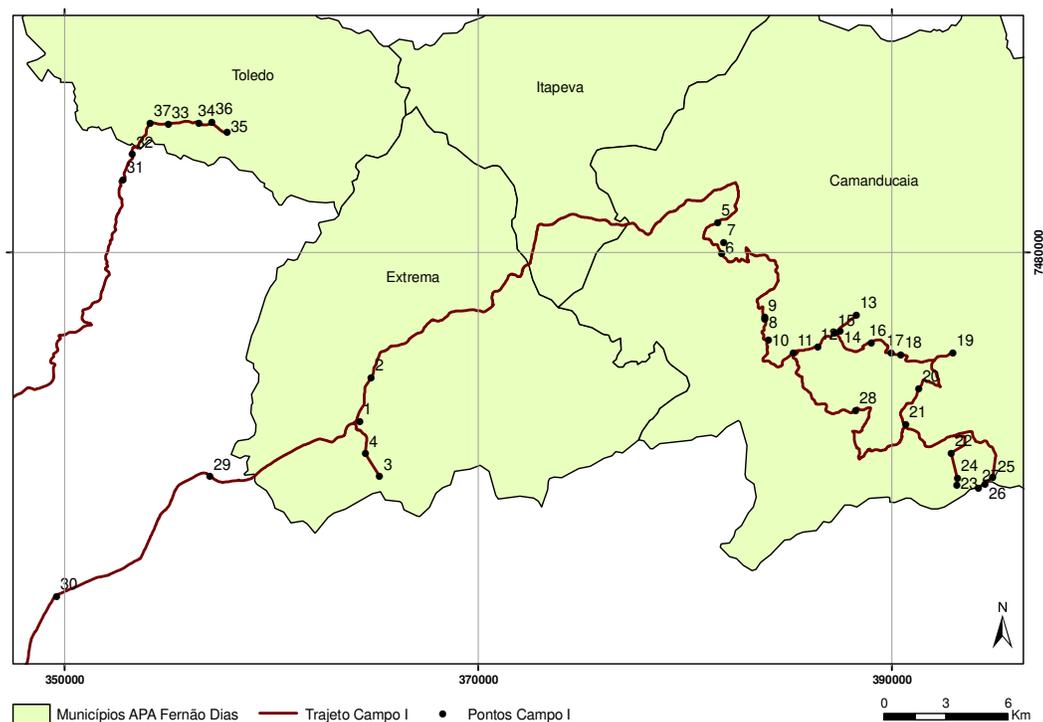


Figura 5.4 - Trajeto percorrido e pontos visitados no primeiro trabalho de campo.

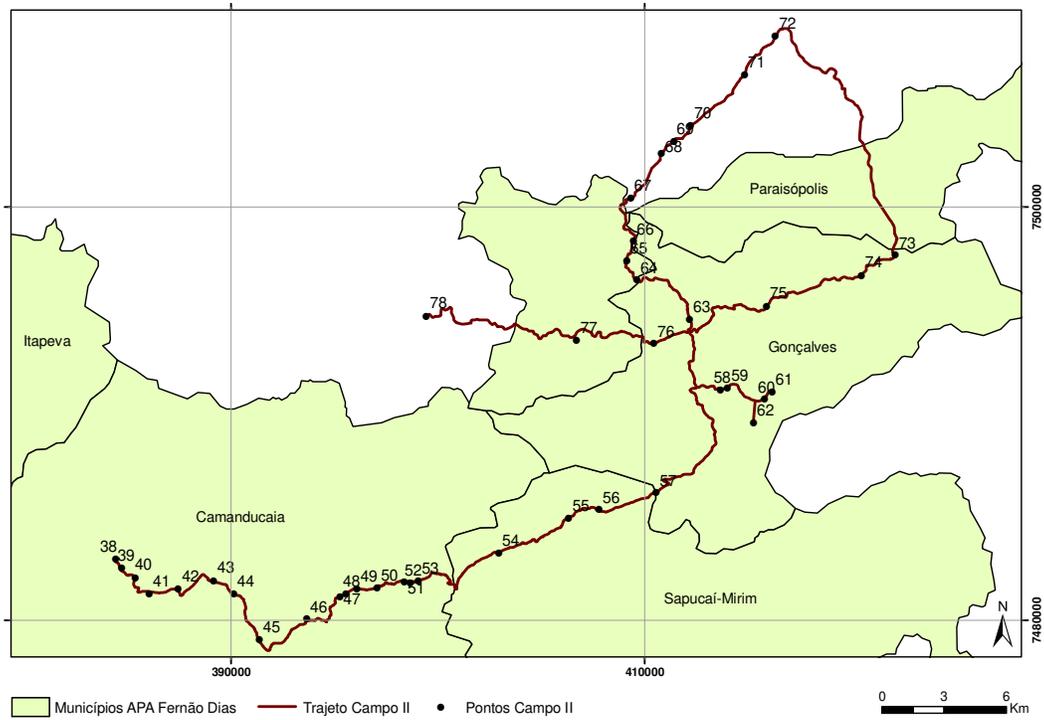


Figura 5.5 - Trajeto percorrido e pontos visitados no segundo trabalho de campo.

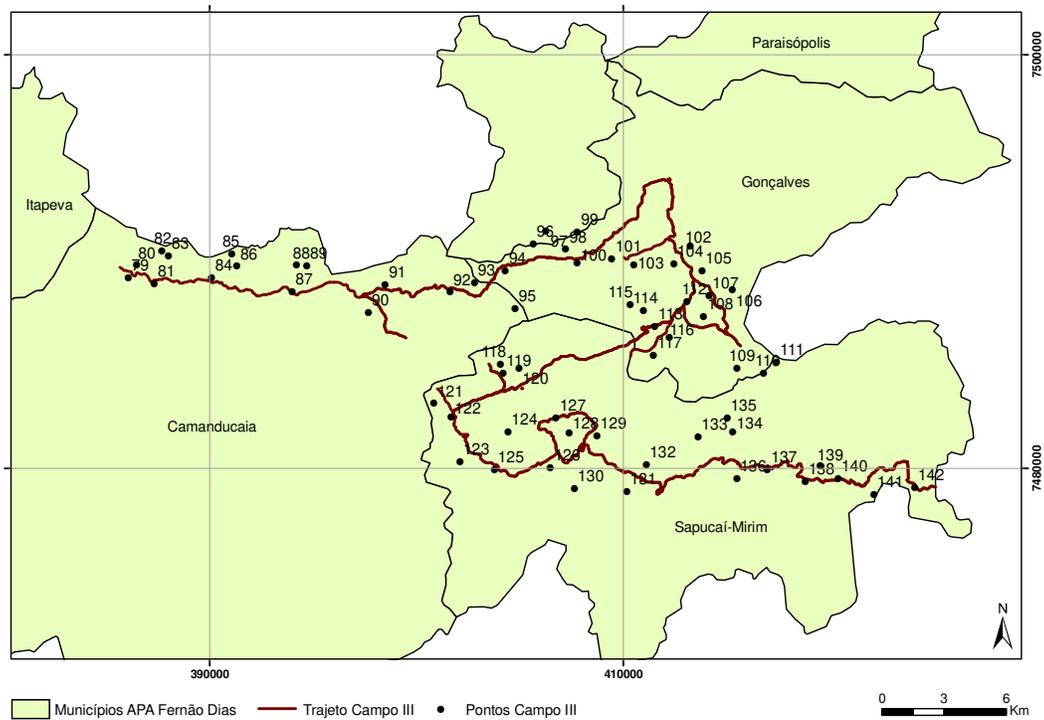


Figura 5.6 - Trajeto percorrido e pontos visitados no terceiro trabalho de campo.

5.2 - Mapeamento do uso e cobertura do solo da APA Fernão Dias

O procedimento de classificação da imagem Landsat pelo método MaxVer foi precedido das etapas de compensação atmosférica e correção geométrica da imagem Landsat e de seleção de amostras de treinamento representativas de cada uso e cobertura do solo de interesse.

Na Figura 5.7 estão representadas seis, das nove amostras de treinamento, na composição colorida R4G5B3 da imagem Landsat em duas regiões distintas da APA Fernão Dias.

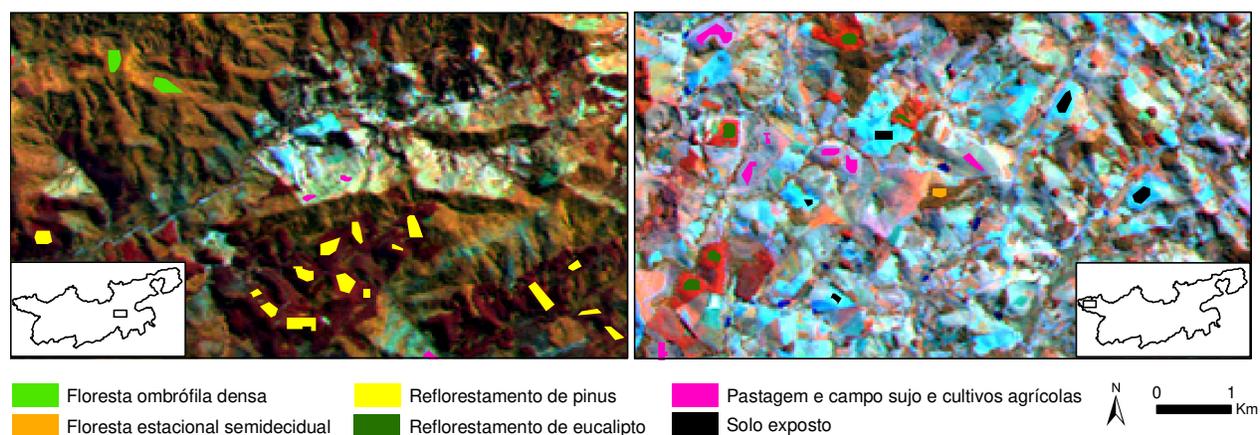
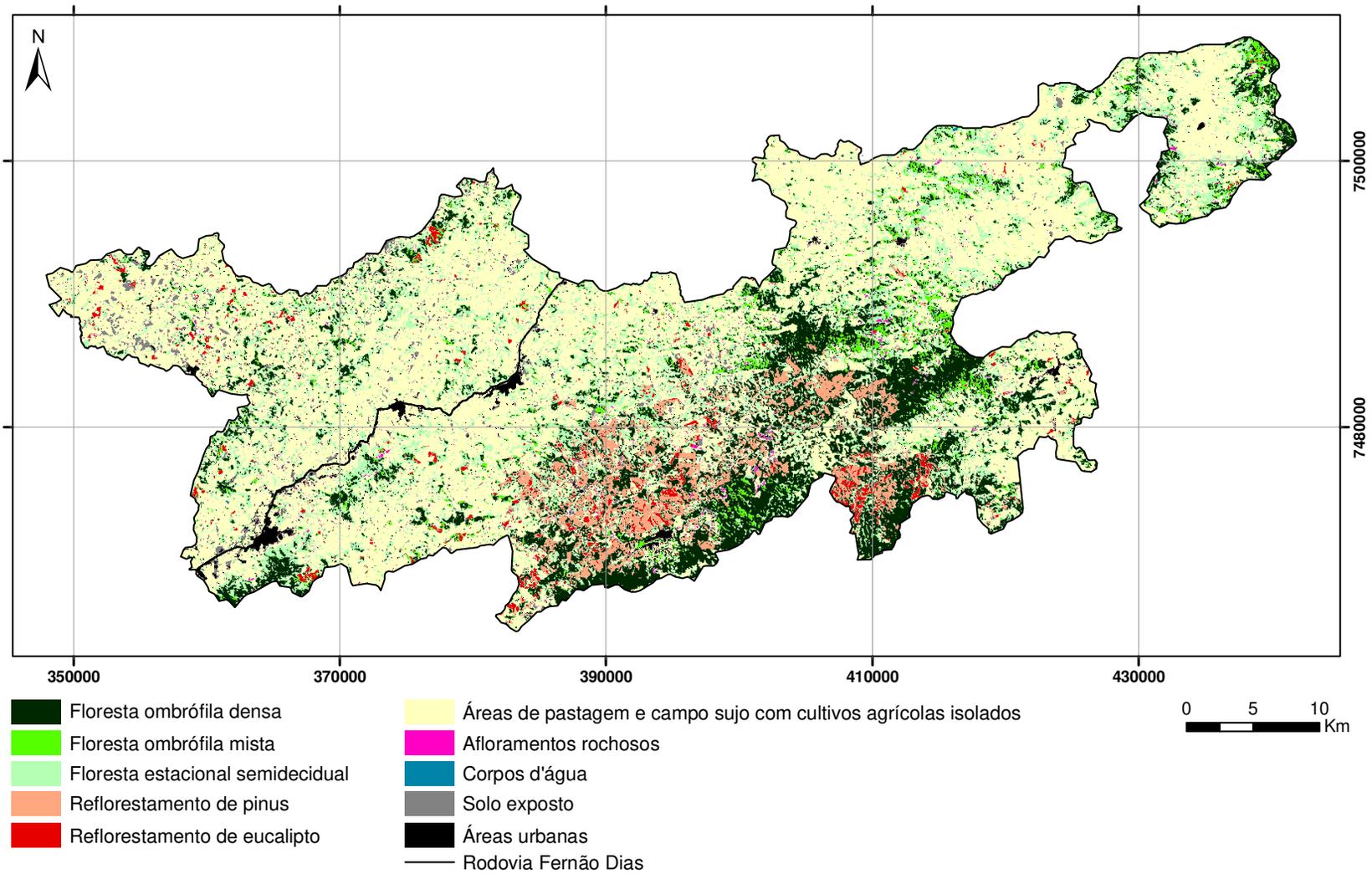


Figura 5.7 - Amostras de treinamento na composição R4G5B3 da imagem Landsat 5 TM, órbita/ponto 219/76, de 18 de abril de 2010.

Na primeira, na região centro-leste da APA, no município de Sapucaí-Mirim, o relevo é montanhoso, com predomínio de floresta ombrófila densa e de reflorestamento de pinus. Na segunda, a oeste da APA, no município de Toledo, o relevo é suave com leves ondulações, com predomínio de cultivos agrícolas, de solo exposto preparado para cultivo, de reflorestamento de eucalipto e de pequenos fragmentos de floresta estacional semidecidual.

Após a classificação da imagem Landsat nas bandas 1 a 5 e 7, a partir das nove amostras de treinamento, foi realizada a separação manual entre a floresta ombrófila mista e o reflorestamento de pinus, além da adição dos polígonos digitalizados referentes às áreas urbanas, conferindo ao mapa de uso e cobertura do solo da APA Fernão Dias dez classes temáticas (Figura 5.8).

Figura 5.8 - Mapa de uso e cobertura do solo da APA Fernão Dias.



Na quantificação do mapa de uso e cobertura do solo da APA Fernão Dias, o maior percentual encontrado, de 51,35%, foi o da classe áreas de pastagem e campo sujo com cultivos agrícolas isolados, seguida das classes relativas às formações florestais nativas da APA, que somam 37,53%. A Tabela 5.1 revela a área ocupada por cada classe.

Tabela 5.1 - Área em Km² e em porcentagem das classes de uso e cobertura do solo na APA Fernão Dias.

Classes de uso e cobertura do solo	Área (Km²)	Área (%)
Floresta ombrófila densa	276,32	15,32
Floresta ombrófila mista	68,68	3,81
Floresta estacional semidecidual	331,97	18,40
Reflorestamento de pinus	86,42	4,79
Reflorestamento de eucalipto	35,42	1,96
Áreas de pastagem e campo sujo com cultivos agrícolas isolados	926,20	51,35
Afloramentos rochosos	15,88	0,88
Solo exposto	50,75	2,81
Áreas urbanas	11,85	0,66
Corpos d'água	0,24	0,01

Para avaliar a exatidão da classificação do mapa de uso e cobertura do solo, foi elaborada a matriz de erro ou tabela de contingência (Tabela 5.2) a partir da checagem de 64 pontos visitados em campo (Anexo 3). Com estes pontos de amostragem, o percentual de exatidão do mapa é de 85%, com erro permissível de 9%.

Os dados da matriz de erro possibilitaram o cálculo do índice de Exatidão global, que foi de 90,63%, e do índice Kappa, que foi de 86,91%. De acordo com Landis e Koch (1977), a classificação realizada é considerada excelente, pois o valor do Kappa global obtido está entre o intervalo de 0,81 e 1. Dentre as classes avaliadas, apenas a da floresta ombrófila densa apresentou erro de omissão, tendo um ponto de amostragem verificado em campo como floresta ombrófila mista e cinco pontos como floresta estacional semidecidual.

Tabela 5.2 - Matriz de erro da classificação MaxVer.

		Verdade terrestre						Pontos de amostragem	Erros de inclusão (%)	
		Floresta ombrófila densa	Floresta ombrófila mista	Floresta estacional semidecidual	Reflorestamento de pinus	Past. campo sujo com cultivos agrícolas	Afloramentos rochosos			Solo exposto
Mapa de uso e cobertura do solo	Floresta ombrófila densa	14	0	0	0	0	0	0	14	0
	Floresta ombrófila mista	1	4	0	0	0	0	0	5	20
	Floresta estacional semidecidual	5	0	6	0	0	0	0	11	45
	Reflorestamento de pinus	0	0	0	3	0	0	0	3	0
	Past. campo sujo com cultivos agrícolas	0	0	0	0	28	0	0	28	0
	Afloramentos rochosos	0	0	0	0	0	1	0	1	0
	Solo exposto	0	0	0	0	0	0	2	2	0
	Pontos de amostragem	20	4	6	3	28	1	2	58	
Erros de omissão (%)	30	0	0	0	0	0	0			

Um dos motivos para a confusão da floresta ombrófila densa e da floresta estacional semidecidual é a semelhança entre as assinaturas espectrais destas duas classes. Outro fator, observado em campo, é a descaracterização das bordas dos fragmentos de floresta densa, com presença de espécies arbóreas em diferentes estágios sucessionais e de espécies com maior proximidade florística com a floresta estacional semidecidual. Desta forma, constata-se que há entre as duas formações florestais uma zona transicional que não pôde ser representada na classificação obtida a partir do método MaxVer, revelando a necessidade de se adotar uma estratégia capaz de representar, de forma mais eficiente, esta realidade.

5.3 - Mapeamento das formações floresta ombrófila densa e floresta estacional semidecidual pelos métodos da Máxima Verossimilhança (MaxVer) e de decisão *fuzzy*

No MaxVer, assim como em outros métodos de classificação de imagens de sensoriamento remoto, a informação é representada pela lógica booleana, na qual cada pixel pertence, ou não, a uma classe. Entretanto, um pixel pode representar uma mistura de distintas coberturas, condições intermediárias ou outros padrões complexos de cobertura que não devem ser definidos somente por uma classe.

A teoria do conjunto *fuzzy* pode oferecer melhor representação dos fenômenos geográficos, pois em uma representação *fuzzy*, cada pixel possui a ele agregado graus de adesão, os quais indicam a medida que o pixel pertence a determinada classe (WANG, 1990).

Os limites dos polígonos nos mapas temáticos, convencionalmente considerados como uma linha que representa o limite abrupto entre os fenômenos passam, na representação *fuzzy*, a descrever não só a localização, mas também a mudança de fenômenos geográficos. Desta maneira, a representação *fuzzy* pode contribuir para melhorar a exatidão do processamento e a interpretação visual, podendo também ser utilizada para mapear zonas de transição (WANG; HALL, 1996).

Devido à necessidade de se obter um mapeamento capaz de classificar as florestas ombrófila densa e estacional semidecidual e de também revelar a zona de transição existente entre as mesmas, foi realizada uma nova classificação da imagem Landsat a partir do *Fuzzclass*, classificador baseado na lógica *fuzzy*, para estas duas classes de interesse.

Os resultados das classificações das formações floresta ombrófila densa e floresta estacional semidecidual pelo método MaxVer, realizada no ENVI, e pelo método com base na lógica *fuzzy*, realizada no Idrisi, são apresentados nas Figuras 5.9 e 5.10.

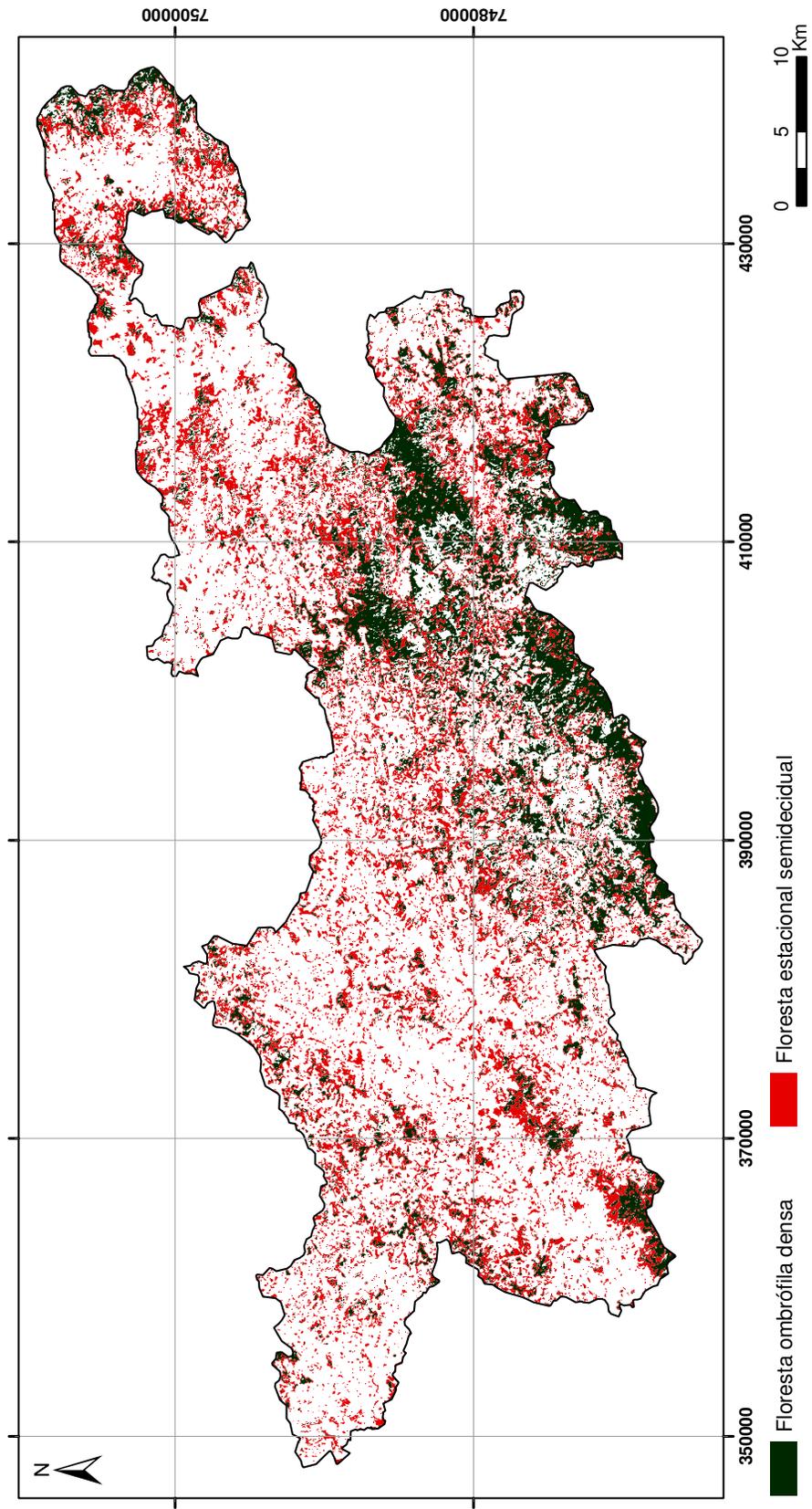
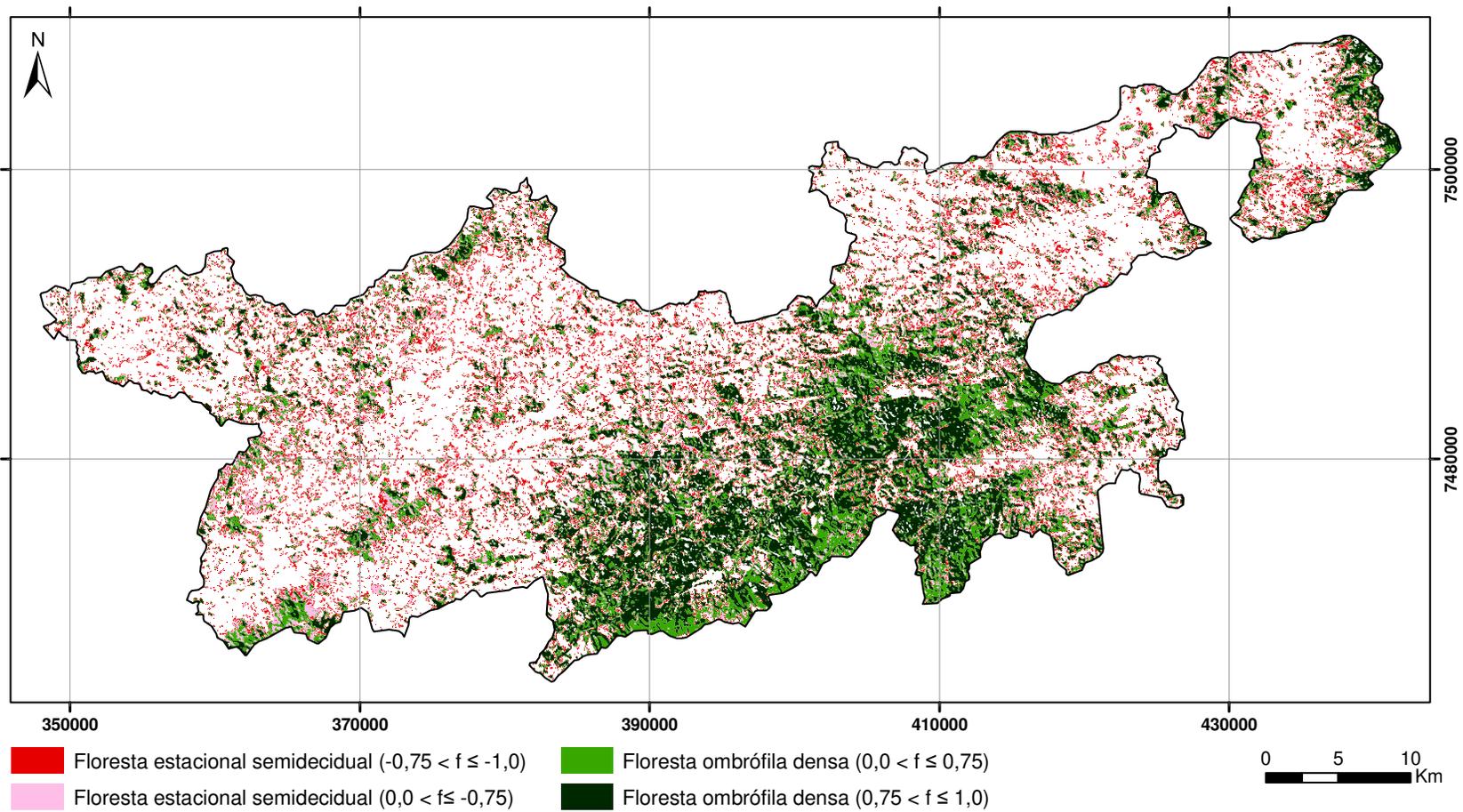


Figura 5.9 - Floresta ombrófila densa e floresta estacional semidecidual classificadas pelo método MaxVer.

Figura 5.10 - Floresta ombrófila densa e floresta estacional semidecidual classificadas pelo método de decisão *fuzzy*.



Na quantificação das formações florestais mapeadas pelo método MaxVer, aquela que apresentou maior percentual de área ocupada na APA Fernão Dias foi a floresta estacional semidecidual, com 331,97 Km², representando 18,14% da área de estudo. A floresta ombrófila densa é responsável por 276,32 Km², 15,1% da área de estudo.

Na quantificação das formações florestais mapeadas pelo método de decisão *fuzzy*, os pixels classificados com afinidade $0,75 < f \leq 1,0$ para a classe Floresta ombrófila densa, representaram a maior quantidade de área da APA Fernão Dias, com 293,81 Km², ou 16,29% da área total de estudo. Os pixels com $0,0 < f \leq 0,75$ desta mesma classe e $0,0 < f \leq -0,75$ da classe Floresta estacional semidecidual se distribuem por 221,5 Km² e 142,77 Km², compondo 12,28% e 7,92%, respectivamente, e representam uma área de transição entre as duas florestas. Os pixels com afinidade $-0,75 < f \leq -1,0$ para a classe Floresta estacional semidecidual se distribuem por 169,83 Km², totalizando 9,42% da área de estudo.

O resultado da classificação com base no método de decisão *fuzzy*, que revela o grau de afinidade de cada classe em cada pixel, classificou maior área da APA Fernão Dias com possibilidade de pertencer à classe Floresta ombrófila densa e menor área com possibilidade de pertencer à Floresta estacional semidecidual, diferentemente do resultado do MaxVer.

Para avaliar a exatidão destas duas classificações, foram elaboradas as matrizes de erro (Tabela 5.3 e 5.4), referentes às classes destas duas formações florestais, a partir da checagem de 25 pontos em campo.

Tabela 5.3 - Matriz de erro da classificação MaxVer para as formações floresta ombrófila densa e floresta estacional semidecidual

		Verdade terrestre		Pontos de amostragem	Erros de inclusão (%)
		Fl. omb. densa	Fl. est. semidecidual		
Mapa das formações Florestais - MaxVer	Fl. omb. densa	14	0	14	0
	Fl. est. semidecidual	5	6	11	45
Pontos de amostragem		19	6	20	
Erros de omissão (%)		26	0		

Tabela 5.4 - Matriz de erro da classificação *fuzzy* para as formações floresta ombrófila densa e floresta estacional semidecidual

		Verdade terrestre		Pontos de amostragem	Erros de inclusão (%)
		Fl. omb. densa	Fl. est. semidecidual		
Mapa das formações Florestais - <i>fuzzy</i>	Fl. omb. densa	17	0	17	0
	Fl. est. semidecidual	2	6	8	25
Pontos de amostragem		19	6	23	
Erros de omissão (%)		11	0		

A partir das matrizes de erro, foram calculados os índices Kappa, que foram de 57% para o resultado da classificação MaxVer, e de 80% para o resultado do método de decisão *fuzzy*, que representou com mais eficiência a realidade da APA Fernão Dias.

Apesar de diferentes, os resultados das duas classificações revelaram o mesmo padrão de distribuição das formações florestais na APA Fernão Dias. Os remanescentes da floresta estacional semidecidual apresentam-se na forma de pequenos e isolados fragmentos, com aproximadamente 75% de sua área entre 840 e 1.400 m, 20% entre 1.401 e 1.600 m e somente 5% entre 1.601 e 2.010 m. Esta formação também se distribui no entorno dos grandes fragmentos de floresta ombrófila densa, dos quais aproximadamente 45% são encontrados entre 840 e 1.400 m, 35% entre 1.401 e 1.600 m e 20% entre 1.601 e 2.010 m.

Os efeitos do aumento da altitude, tais como diminuição da pressão atmosférica, aumento da velocidade do vento, diminuição da temperatura, aumento da radiação, da precipitação e da umidade relativa do ar, são responsáveis por significativas mudanças na composição florística e no crescimento da vegetação (JONES, 1992). Além do gradiente altitudinal, outro fator que influencia a distribuição das espécies e a fisionomia da vegetação é a orientação das faces das vertentes, com diferenciação de incidência de radiação solar, temperatura, exposição a correntes de ar, umidade e cobertura de nuvens (BALE *et al.*, 1998).

Para auxiliar a visualização da distribuição das formações florestais de acordo com a altimetria, foram elaborados os gráficos das Figuras 5.11 e 5.12. Para os dois resultados das classificações, constata-se que, nas altitudes menos elevadas há predomínio da floresta estacional semidecidual e, nas mais elevadas, o predomínio da floresta ombrófila densa. Este padrão de distribuição pode ser visualizado nas representações em perspectiva, apresentadas na Figura 5.13

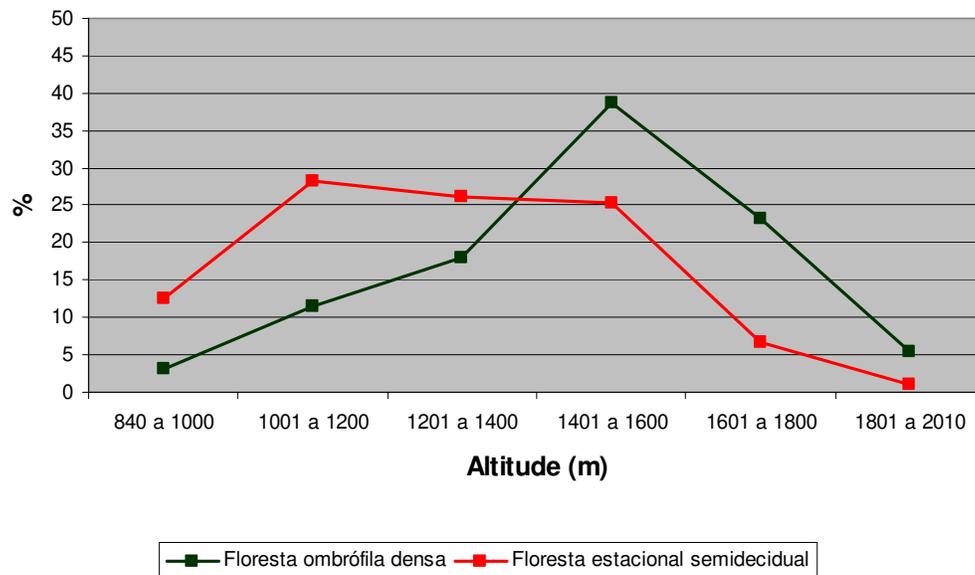


Figura 5.11 - Distribuição das florestas ombrófila densa e estacional semidecidual em relação à altimetria (classificação pelo método MaxVer).

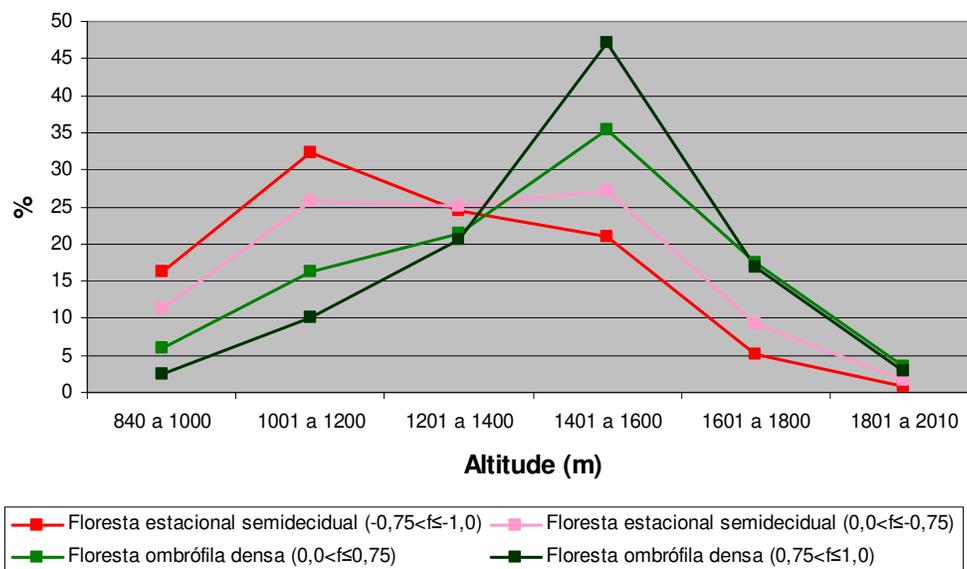


Figura 5.12 - Distribuição das florestas ombrófila densa e estacional semidecidual em relação à altimetria (classificação pelo método de decisão fuzzy).

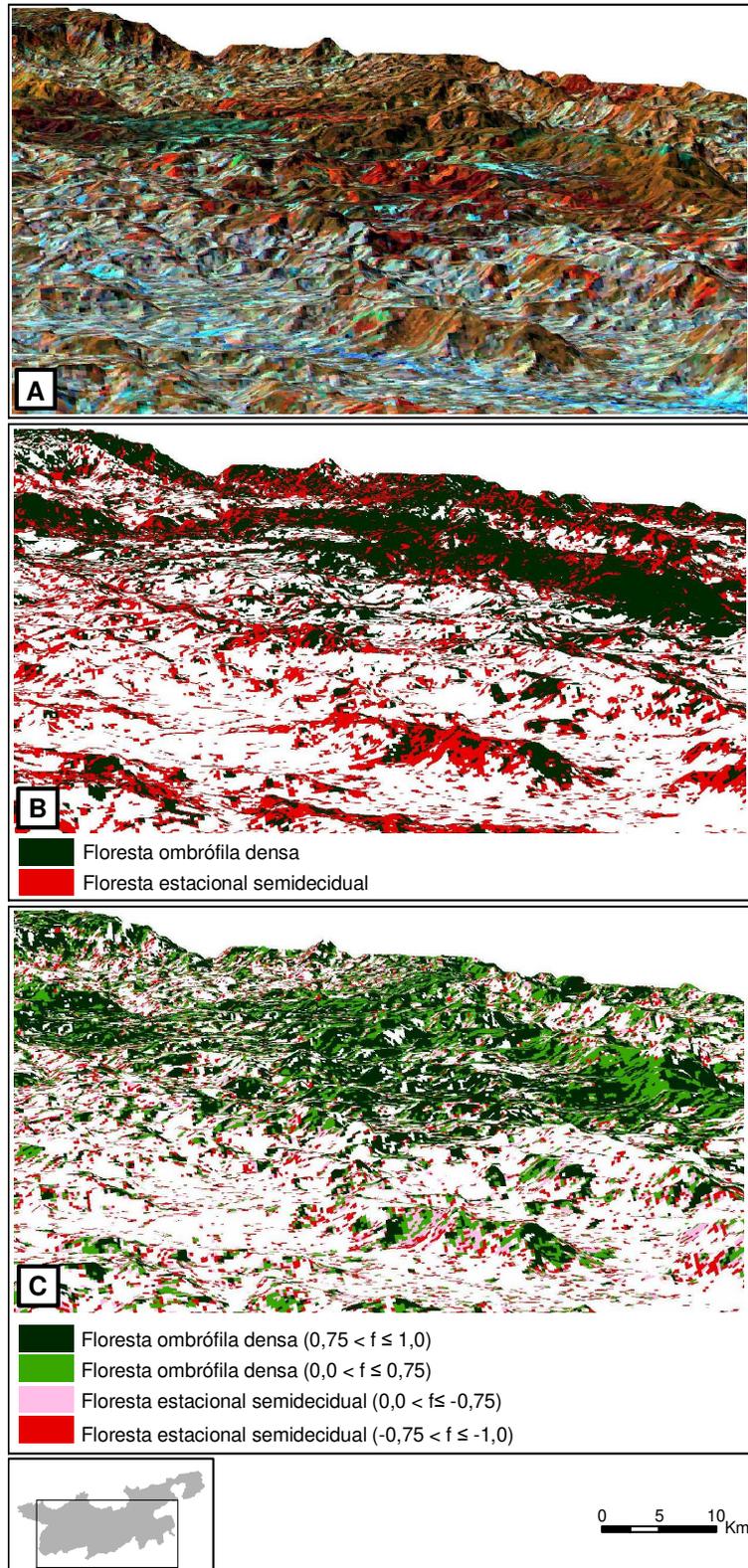


Figura 5.13 - Representação em perspectiva da composição colorida (R4G5B3) da imagem Landsat (A) e da distribuição da floresta ombrófila densa e da floresta estacional semidecidual resultante da classificação MaxVer (B) e do método de decisão *fuzzy* (C).

5.4 - Mapeamento e caracterização dos geossistemas da APA Fernão Dias

Após a etapa empírica de reconhecimento das características e tendências atuais do uso e cobertura do solo da área de estudo e da elaboração da base cartográfica, foi proposta uma regionalização da APA Fernão Dias em unidades de paisagem fundamentada na classificação hierárquica proposta por Bertrand (1972).

Os quatro geossistemas identificados e mapeados a partir dos limites das unidades estruturais do relevo (Figura 5.14) são compostos por distintas geofácies, que constituem o primeiro nível hierárquico desta categorização. De acordo com as definições das unidades de paisagem deste autor, os geossistemas resultam da combinação de fatores geomorfológicos, climáticos e hidrológicos e possuem dinâmica interna, não apresentando necessariamente grande homogeneidade fisionômica; já as geofácies correspondem a um setor fisionomicamente homogêneo onde se desenvolve uma mesma fase de evolução geral do geossistema.

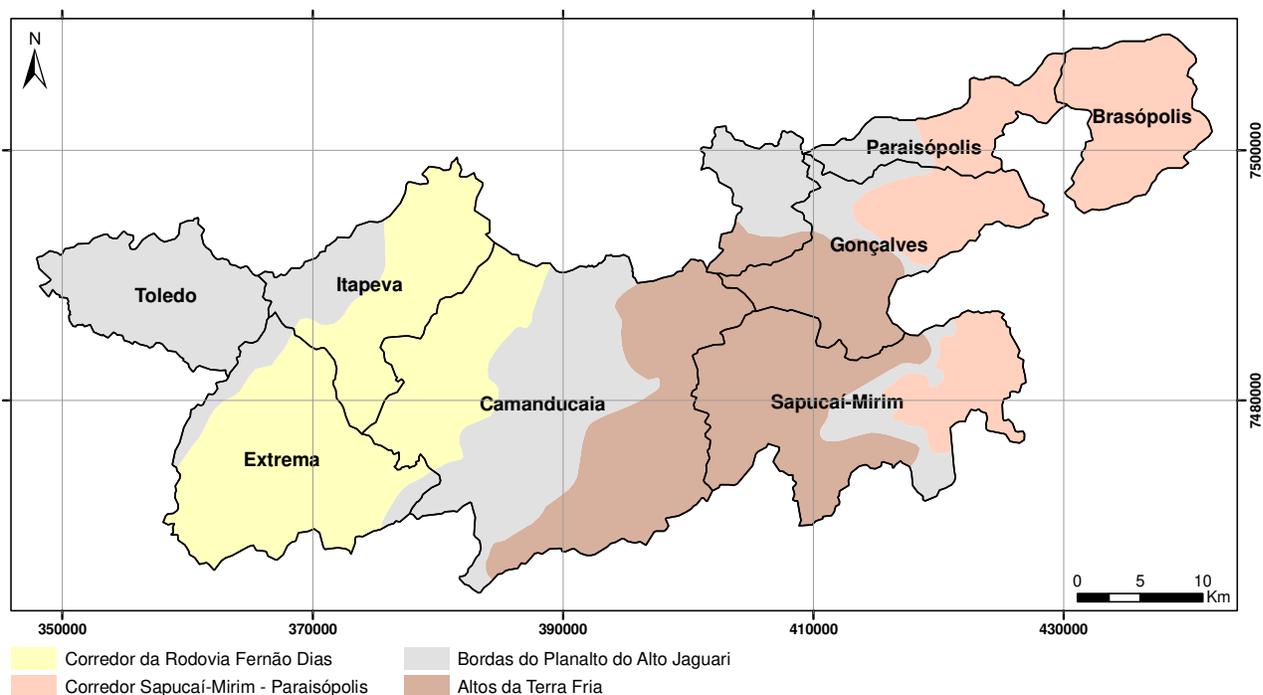


Figura 5.14 - Geossistemas da APA Fernão Dias propostos neste estudo.

O mosaico das cenas S23W046 e S23W047 do ASTER GDEM é apresentado na Figura 5.15 e o mapa hipsométrico da APA Fernão Dias, utilizado com principal base para o mapeamento dos geossistemas, é apresentado na Figura 5.16.

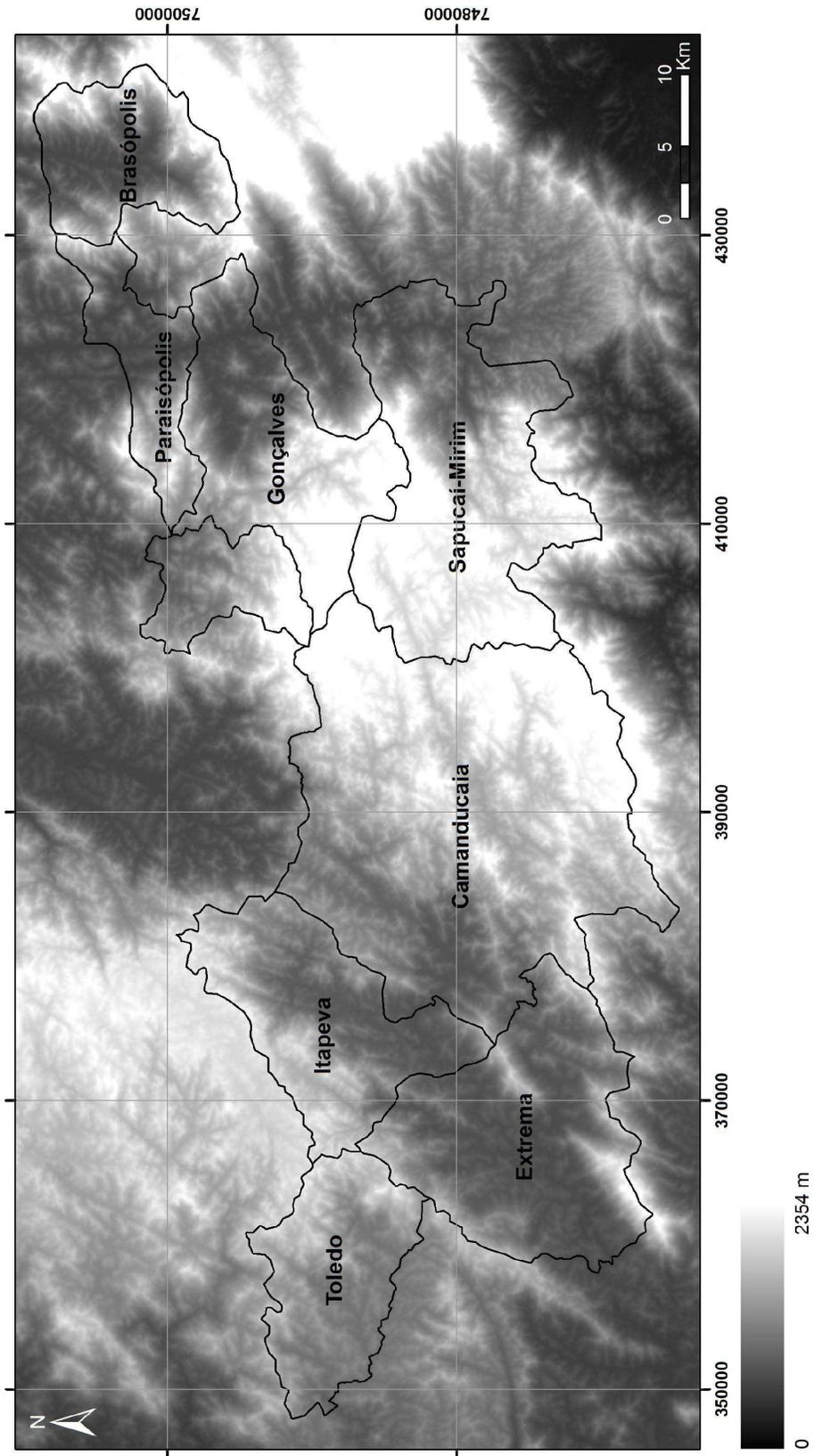
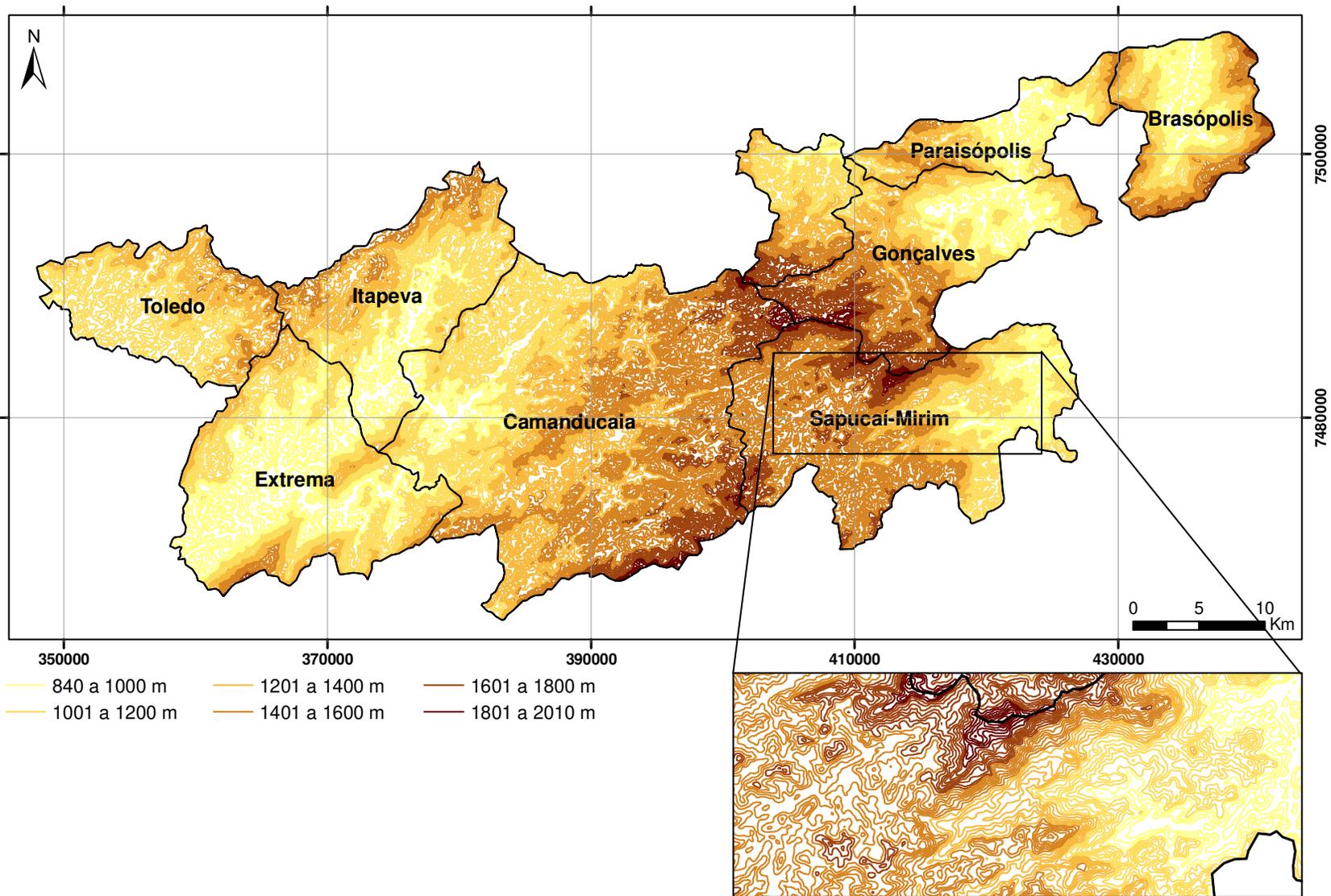


Figura 5.15 - Mosaico das cenas S23W046 e S23W047 do ASTER GDEM.

Figura 5.16 - Mapa hipsométrico da APA Fernão Dias.



Os quatro geossistemas da APA Fernão Dias e as geofácies a eles relacionadas são apresentados no Quadro 5.1.

Quadro 5.1 - Geossistemas e geofácies da APA Fernão Dias.

Geossistemas	Geofácies
I - Corredor da Rodovia Fernão Dias	I.1 - Colinas amplas com pecuária extensiva I.2 - Áreas urbanas de Extrema e Camanducaia I.3 - Faixa de influência da rodovia Fernão Dias I.4 - Várzeas degradadas
II - Corredor Sapucaí-Mirim - Paraisópolis	II.1 - Planície do rio Sapucaí-Mirim e de seus afluentes II.2 - Área urbana de Sapucaí-Mirim II.3 - Colinas amplas com pecuária extensiva
III - Bordas do Planalto do Alto Jaguari	III.1 - Brejos suspensos e cabeceiras de drenagem com capoeiras III.2 - Morrotes com silvicultura III.3 - Bairros rurais III.4 - Encostas e terraços cultivados com batata e brássicas III.5 - Encostas de pastoreio intenso III.6 - Morrotes com fragmentos de floresta estacional semidecidual III.7 - Encostas com fragmentos de florestas ombrófilas densa e mista
IV - Altos da Terra Fria	IV.1 - Morros e morrotes com floresta ombrófila densa IV.2 - Alvéolos e pequenas planícies com floresta ombrófila mista IV.3 - Morros e morrotes com silvicultura IV.4 - Vertentes e terraços cultivados com batata e brássicas IV.5 - Bairros rurais IV.6 - Pontões e cristas rochosas com campos de altitude IV.7 - Rampas de matacões com floresta ombrófila densa alto-montana

5.4.1 - Geossistema I - Corredor da Rodovia Fernão Dias

O geossistema Corredor da Rodovia Fernão Dias está localizado a oeste da APA, nos municípios de Extrema, Itapeva e Camanducaia. Compreende todo o traçado da rodovia Fernão Dias e grande parte dos vales dos rios Camanducaia e Jaguari. Apesar de apresentar curvas de nível em torno de 1.400 m nas áreas mais altas da serra do Lopo em Extrema, neste geossistema predominam altitudes entre 900 e 1.200 m.

A presença marcante (cerca de dois terços) de rochas metamórficas do tipo ortognaisses e paragnaisses migmatizados caracterizam o geossistema Corredor da Rodovia Fernão Dias, no qual também ocorrem granitóides (tipo I) e ortognaisses associados e, subordinadamente, charnokitos. Esta região apresenta altitudes mais baixas em relação aos outros geossistemas, com o predomínio de rochas metamórficas mais suscetíveis à erosão, de um relevo colinoso que caracteriza o mar de morros e de um típico sistema de várzeas. Os principais rios estão associados a importantes falhamentos (em geral NE-SW), no caso dos rios Camanducaia e Jaguari e de seus afluentes, impondo à rede de drenagem padrão predominante do tipo treliça e, em menor proporção, do tipo retangular.

O geossistema Corredor da Rodovia Fernão Dias está subdividido em quatro geofácies: Colinas amplas com pecuária extensiva, Áreas urbanas de Extrema e Camanducaia, Faixa de influência da rodovia Fernão Dias e Várzeas degradadas.

Geofácies I.1 - *Colinas amplas com pecuária extensiva*

Como um pano de fundo, esta geofácies está presente em todo o geossistema Corredor da Rodovia Fernão Dias. A criação de bovinos ocorre em pequenas propriedades e destina-se, predominantemente, à produção de leite e seus derivados. Tanto na criação comercial como na familiar, esta atividade apresenta baixa produtividade e, conseqüentemente, baixo rendimento, justificados pela ocorrência de pastos pobres e menores áreas planas destinadas às pastagens.

No entorno das colinas amplas com pecuária extensiva, presentes em todo o trajeto percorrido neste geossistema, em relevo ondulado com baixa amplitude e em planícies abertas, podem ser encontrados pequenos fragmentos de vegetação, áreas de reflorestamento de eucalipto e pinus e áreas de pastagem abandonada e degradada, as quais compõem o campo sujo.



Área de pastagem em Camanducaia (Ponto 6)



Área de pastagem em Camanducaia (Vista do Ponto 9)

Geofácies I.2 - *Áreas urbanas de Extrema e Camanducaia*

Extrema e Camanducaia são os municípios da APA Fernão Dias com maior índice de crescimento da população urbana. Em 1980, a população urbana de Extrema era de 5.825 habitantes, passando a 25.992 em 2010, e a de Camanducaia, que era de 6.044 habitantes em 1980, passou a ser de 15.475 em 2010 (IBGE, 2010).

Localizadas nos vales dos rios Jaguari e Camanducaia, ao longo da rodovia Fernão Dias, apresentam, em seu entorno, extensas áreas de pastagem e campo sujo e importantes remanescentes florestais, como o caso da Serra do Lopo, em Extrema.



Parte da área urbana de Extrema (Ponto 1)



Parte da área urbana de Camanducaia (Próx. Ponto 5)

Geofácies I.3 - *Faixa de influência da rodovia Fernão Dias*

A faixa da rodovia Fernão Dias (BR-381) apresenta alto grau de dinamismo. Após as obras de duplicação da rodovia Fernão Dias, os municípios de Extrema e Camanducaia receberam novos empreendimentos industriais, com a instalação, na década de 1990, de distritos industriais que contam com empresas dos setores alimentício, têxtil, de confecções, de papel e celulose, de borracha e plástico, de máquinas e equipamentos, entre outros. Em Extrema, podem-se destacar as empresas Rexam, Bauducco, Multilaser, Barry Callebaut, Fagor Ederlan, Medabil, Hutchinson Brasil Automotive, Dello e Centauro e, em Camanducaia, Cia Melhoramentos, Nitron, Minaspinus, Serraria Máster, Uniminas Agro Industrial, Tocantins Papéis e Leggett & Platt. Como resultado do desenvolvimento econômico destes municípios, ocorre aumento populacional, expansão da área urbana e consequente avanço dos loteamentos nas áreas com remanescentes florestais.



Trecho da rodovia Fernão Dias em Extrema (Ponto 4)



Trecho da rodovia Fernão Dias em Camanducaia (Ponto 38)

Geofácies I.4 - *Várzeas degradadas*

O Sistema de várzeas presente nesta unidade de paisagem é condicionado pela presença do Jaguari, rio que tem o Camanducaia como maior e principal afluente. Os muitos afluentes destes dois grandes rios conformam um padrão de drenagem predominantemente do tipo treliça.

Nesta geofácies, encontrada em torno dos 900 m de altitude, a ocupação se dá de maneira esparsa, em forma de mosaico, com a ocorrência de chácaras, de pequenos cultivos (roças), de pastagens e de construções destinadas à prestação de serviços, tais como olarias, galpões e indústrias de processamento de madeira. Nas vertentes e topos de morros que circundam estas áreas podem ser observados pequenos fragmentos de vegetação.



Área de várzea do rio Camanducaia em Camanducaia (Ponto 5)



Área de várzea do córrego Tomazinho em Extrema (Ponto 2)

5.4.2 - Geossistema II - Corredor Sapucaí-Mirim - Paraisópolis

O geossistema Corredor Sapucaí-Mirim - Paraisópolis está localizado a leste da APA, nos municípios de Sapucaí-Mirim, Gonçalves, Paraisópolis e Brasópolis. Compreende praticamente todo o curso do rio Sapucaí-Mirim na APA Fernão Dias. Neste geossistema predominam altitudes entre 840 e 1.200 m, com registro de curvas de nível de até 1.800 m na serra da Luminosa, na divisa com o estado de São Paulo.

Apresenta em sua maioria rochas metamórficas do tipo ortognaisses migmatizados e granitóides (tipo I) e ortognaisses associados. Subordinadamente ocorrem o Granito Gonçalves (tipo S) e rochas plutônicas alcalinas.

Assim como no geossistema Corredor da Rodovia Fernão Dias, apresenta altitudes baixas, com o predomínio de rochas metamórficas mais suscetíveis à erosão, relevo colinoso que caracteriza o mar de morros e um típico sistema de várzeas. Seu principal rio, o Sapucaí-Mirim, e seus afluentes estão associados a fraturas (em geral NW-SE), com padrões de drenagem dos tipos treliça e retangular.

O geossistema Corredor Sapucaí-Mirim - Paraisópolis está subdividido em três geofácies: Planície do rio Sapucaí-Mirim e de seus afluentes, Área urbana de Sapucaí-Mirim e Colinas amplas com pecuária extensiva.

Geofácies II.1 - Planície do rio Sapucaí-Mirim e de seus afluentes

A ocupação da planície do rio Sapucaí-Mirim e de seus afluentes se dá de maneira esparsa, em forma de mosaico, com predomínio de áreas de campo sujo associadas a áreas alagadas nas várzeas dos rios, a exemplo da área de encontro do Ribeirão do Lambari com o Sapucaí-Mirim.

Além do campo sujo, observa-se nesta geofácies a presença de pastagem, de chácaras e de cultivos de banana. No seu entorno, observam-se fragmentos de floresta estacional semidecidual na Serra do Lambari e de afloramentos rochosos, como o Morro Atrás da Pedra.



Área de planície aluvial do ribeirão do Lambari em Gonçalves (Ponto 74)



Área de planície aluvial no encontro do rio Sapucaí-Mirim com o ribeirão do Lambari em Gonçalves (Ponto 73)

Geofácies II.2 - Área urbana de Sapucaí-Mirim

Localizada no extremo sudeste da APA Fernão Dias, no vale do rio Sapucaí-Mirim, a área urbana de Sapucaí-Mirim, diferentemente das de Extrema e Camanducaia, apresenta características mais rurais. O total da população urbana é de 3.783 habitantes, pouco maior que o total da população rural, que é de 2.458 habitantes (IBGE, 2010).

No seu entorno podem ser observadas extensas áreas de pastagem e de campo sujo e, além destas, morros florestados e reflorestados.

Geofácies II.3 - Colinas amplas com pecuária extensiva

Extensas áreas de colinas amplas com pecuária extensiva podem ser avistadas no trajeto entre os municípios de Sapucaí-Mirim e Paraisópolis, no qual a atividade pecuária destinada à produção leiteira, desenvolvida em pequenas propriedades familiares, marca a paisagem e influencia o modo de vida rural de seus habitantes.

A paisagem desta geofácies apresenta predomínio de pastagem homogênea, com a presença de afloramentos rochosos e de pequenos fragmentos florestais de floresta estacional semidecidual no topo ou nas vertentes das colinas.



Área de pastagem em Paraisópolis (Ponto 70)



Área de pastagem em Paraisópolis (Ponto 71)

5.4.3 - Geossistema III - Bordas do Planalto do Alto Jaguari

O geossistema Bordas do Planalto do Alto Jaguari se distribui por quase todos os municípios da APA Fernão Dias, exceto o de Brasópolis, nas altitudes entre 1.100 e 1.620 m.

Apresenta em sua maioria ortognaisses migmatizados, granitóides e ortognaisses associados e paragnaisses. Este geossistema também ocupa parte do Granito Gonçalves, em suas bordas e em falhas e fraturas mais evidentes, as quais puderam facilitar o intemperismo e a erosão deste maciço e o conseqüente rebaixamento do relevo. A rede de drenagem é densa e os padrões de drenagem predominantes são do tipo dendrítico e retangular.

O geossistema Bordas do Planalto do Alto Jaguari está subdividido em sete geofácies: Brejos suspensos e cabeceiras de drenagem com capoeiras, Morrotes com silvicultura, Bairros rurais, Encostas e terraços cultivados com batata e brássicas, Encostas de pastoreio intenso, Morrotes com fragmentos de floresta estacional semidecidual e Encostas com fragmentos de florestas ombrófilas densa e mista

Geofácies III.1 - *Brejos suspensos e cabeceiras de drenagem com capoeiras*

Caracterizados por apresentarem área de acumulação recente de sedimentos associadas à presença de rios, a geofácies brejos suspensos é encontrada em forma de alvéolos, em altitudes em torno dos 1.200 m. Sua ocupação se dá por pequenas chácaras a alguns tipos de cultivos, como o da banana. No seu entorno podem ser observadas áreas extensas de pastagem e outros tipos de cultivo.



Área de brejo do Córrego do Inferno em Camanducaia (Ponto 39)



Área de brejo do Córrego do Inferno em Camanducaia (Ponto 39)

Geofácies III.2 - *Morrotes com silvicultura*

Esta geofácies pode ser encontrada em diversos pontos do geossistema Bordas do Planalto do Alto Jaguari, entretanto, está concentrada na área centro-sul do município de Camanducaia em razão da presença da Fazenda Levantina da Companhia Melhoramentos de São Paulo, destinada ao reflorestamento de pinus e eucalipto. No trajeto entre Camanducaia e seu distrito de Monte Verde, em altitudes entre 1.300 e 1.500 m, a paisagem é composta predominantemente de morrotes reflorestados com pinus e eucalipto em vários estágios de desenvolvimento, podendo também ser observados áreas colhidas com solo exposto e processos de *creeping* em suas vertentes, provavelmente derivado do mau manejo no cultivo das espécies de reflorestamento.

A ocupação humana é predominantemente formada por trabalhadores relacionados à atividade de reflorestamento, em bairros de operários na Fazenda Levantina, ou de prestadores de serviços ao turismo local, em bairros com características mais urbanas.



Área de reflorestamento de pinus e eucalipto em Camanducaia (Ponto 8)



Área de reflorestamento de pinus e eucalipto em Camanducaia (Ponto 20)



Área de reflorestamento de eucalipto em Camanducaia (Ponto 44)



Área de reflorestamento de eucalipto em Camanducaia (Ponto 84)

Geofácies III.3 - *Bairros rurais*

Os bairros rurais desta geofácies apresentam ocupação esparsa na região de vale dos rios, em forma de alvéolo, como os da Ponte Nova e do Bom Jardim, no município de Camanducaia. Sua ocupação se dá predominantemente por pequenas propriedades destinadas à agricultura de subsistência, podendo ser observada, em todos os bairros rurais visitados, a presença de pequenas igrejas, de capelas ou capitéis. No seu entorno há predomínio de áreas de pastagem e áreas de remanescentes florestais de florestas ombrófilas densa e mista.



Área do bairro Ponte Nova, Camanducaia (Ponto 45)



Área do bairro Bom Jardim, Camanducaia (Próx. ao Ponto 47)

Geofácies III.4 - *Encostas e terraços cultivados com batata e brássicas*

Nesta geofácies, encontrada em meio a extensas áreas de pastagem homogênea e de campo sujo, há predomínio de cultivo de batata e de brássicas, como a couve-flor e o repolho.

Além destes cultivos, também podem ser encontradas pequenas plantações de milho, feijão e tomate.

Dentre as regiões agrícolas percorridas, a do município de Toledo, notadamente de agricultura familiar, é a que se encontra mais degradada em função de grandes plantios de batata e na qual as formações florestais são praticamente inexistentes.



Cultivo de couve-flor em Toledo (Ponto 33)



Cultivo de batata em Toledo (Ponto 36)



Cultivo de batata em Camanducaia (Ponto 40)



Cultivo de couve-flor em Camanducaia (Ponto 42)

Geofácies III.5 - *Encostas de pastoreio intenso*

Nesta geofácies com predomínio de pastagem homogênea, em áreas de alta declividade e de altitudes entorno de 1.500 m, os remanescentes florestais são muito fragmentados e secundários, estando presentes apenas em alguns topos de morros.

A ocupação se dá por meio de pequenas propriedades destinadas, principalmente, à pecuária leiteira, nas quais também há a presença de plantios de subsistência. A exemplo, observam-se extensas áreas de pastagem homogênea no município de Paraisópolis, próximo ao Bairro dos Henriques e no Bairro dos Martins.



Área de pastagem em Paraisópolis (Ponto 61)



Área de pastagem em Paraisópolis (Ponto 66)

Geofácies III.6 - *Morrotes com fragmentos de floresta estacional semidecidual*

Em razão dos impactos decorrentes do desmatamento para a implantação de pastagens e cultivos, a cobertura florestal nativa relativa à floresta estacional semidecidual no geossistema Bordas do Planalto do Alto Jaguari apresenta-se predominantemente na forma de fragmentos concentrados nos topos de morros.

Os remanescentes podem ser observados, em sua maioria, isolados em morrotes por extensas áreas de pastagem e áreas abandonadas de campo sujo.



Morrotes com fragmentos de floresta estacional semidecidual em Paraisópolis (Ponto 68)



Morrotes com fragmento de floresta estacional semidecidual em Paraisópolis (Ponto 70)

Geofácies III.7 - *Encostas com fragmentos de florestas ombrófilas densa e mista*

Esta geofácies pode ser encontrada nos municípios de Camanducaia e de Sapucaí-Mirim, geralmente acima dos 1.300 m de altitude.

Em contrapartida ao estado de degradação apresentado pelos fragmentos da formação floresta estacional semidecidual, neste geossistema puderam ser observados importantes fragmentos de florestas ombrófila densa e mista.

No entorno desta geofácies há predomínio de áreas de campo sujo e, em alguns pontos, de pequenas propriedades, como mostra a foto do Ponto 43, revelando também área de retirada de floresta ombrófila densa e preparada para o plantio.



Encostas com fragmentos de florestas ombrófila densa em Camanducaia (Ponto 43)



Encostas com fragmentos de florestas ombrófila densa em Camanducaia (Ponto 52)

5.4.4 - Geossistema IV - Altos da Terra Fria

O geossistema Altos da Terra Fria se localiza na porção centro-leste da APA Fernão Dias, entre 1.400 e 2.010 m. Predominante nos municípios de Camanducaia, Sapucaí-Mirim, Gonçalves e Paraisópolis, é neste geossistema que se encontram os maiores fragmentos florestais de Mata Atlântica da APA referentes às formações das florestas ombrófilas densa e mista, sendo o mais adequado para a alocação dos corredores ecológicos.

Geologicamente, este geossistema está associado ao Granito Gonçalves e, em menor proporção, a outros granitóides, ortognaisses e paragnaisses. O Granito Gonçalves, por se tratar de um granitóide do Tipo S, mais rico em sílica (WERNICK, 2004) e mais resistente à erosão e ao intemperismo, constitui as porções mais altas da área, caracterizando-se como importante interflúvio entre as bacias hidrográficas do Jaguari e do Sapucaí-Mirim.

A rede de drenagem da região é mais densa que a dos outros três geossistemas, com tendência ao padrão retangular e, em menor proporção, ao treliça, provavelmente associados às falhas e fraturas do granito.

O geossistema Altos da Terra Fria está subdividido em sete geofácies: Morros e morrotes com floresta ombrófila densa, Alvéolos e pequenas planícies com floresta ombrófila mista, Morros e morrotes com silvicultura, Vertentes e terraços cultivados com batata e brássicas, Bairros rurais, Pontões e cristas rochosas com campos de altitude e Rampas de matações com floresta ombrófila densa alto-montana.

Geofácies IV.1 - *Morros e morrotes com floresta ombrófila densa*

Nesta geofácies, em altitudes entre 1.500 e 2.000 m, os remanescentes florestais se encontram mais preservados e conectados, favorecendo o fluxo de animais e de sementes. A exemplo, pode ser citada a expressiva área de florestas ombrófilas densa e mista no distrito de Monte Verde, município de Camanducaia, na divisa dos estados de Minas Gerais e São Paulo. Apesar de conservar suas características florestais primárias, esta área, devido às condições propícias para o turismo e o lazer, tem sofrido com a pressão antrópica, com a instalação de expressiva rede hoteleira e com o aumento de turistas nas trilhas que fazem com que este ambiente, em seu extrato inferior, seja descaracterizado.

Outras importantes serras florestadas com condições de abrigar fauna característica podem ser encontradas nos municípios de Gonçalves e de Sapucaí-Mirim, como a Serra do Juncal, divisor de bacias que, apesar de compor um ambiente secundarizado, representa expressiva área de remanescente florestal da Mata Atlântica.



Área de floresta ombrófila densa em Monte Verde, Camanducaia (Ponto 22)



Vista da Serra do Juncal em Sapucaí-Mirim (Ponto 55)

Geofácies IV.2 - *Alvéolos e pequenas planícies com floresta ombrófila mista*

As araucárias são espécies que germinam apenas em ambientes de intensa luminosidade, não sendo capazes de se regenerar em ambientes sombreados. Podem ser encontradas nas encostas de morros, entretanto, neste geossistema, foram observadas predominantemente em vales, alvéolos e pequenas planícies, ambientes caracteristicamente mais úmidos, acima de 1.500 m de altitude.



Área de floresta ombrófila mista em Gonçalves (Ponto 76)



Área de floresta ombrófila mista em Gonçalves (Próx. ao Ponto 92)

Geofácies IV.3 - *Morros e morrotes com silvicultura*

Esta geofácies é predominante nos municípios de Camanducaia e de Sapucaí-Mirim, a sul da APA Fernão Dias. Assim como no geossistema Bordas do Planalto do Alto Jaguari, o reflorestamento é feito com pinus e eucalipto, porém, em razão das altas altitudes e declividades que dificultam o manejo destas espécies, no geossistema Altos da Terra Fria são encontradas mais áreas com solo exposto e escorregamento de terra. No entorno desta geofácies podem ser encontradas áreas de campo antrópico e pequenos fragmentos de floresta ombrófila densa.



Área de pré-plantio em Camanducaia (Ponto 90)



Escorregamento de terra na encosta reflorestada em Sapucaí-Mirim (Ponto 121)

Geofácies IV.4 - *Vertentes e terraços cultivados com batata e brássicas*

Característicos na APA Fernão Dias, os extensos cultivos de batata também são encontrados no geossistema Altos da Terra Fria em vertentes e terraços, nos quais também podem ser encontrados cultivos de brássicas, feijão, milho e tomate. Nesta geofácies, devido à má utilização da terra, principalmente na monocultura da batata, foram constatadas áreas de escorregamento, com carregamento de solo em direção ao fundo dos vales.



Cultivo de batata em Camanducaia (Próx. ao Ponto 91)



Cultivo de batata em Camanducaia (Próx. ao Ponto 92)

Geofácies IV.5 - *Bairros Rurais*

Os bairros rurais, assim como no geossistema Bordas do Planalto do Alto Jaguari, têm a sua ocupação predominantemente concentrada em alvéolos, como o bairro Terra Fria, em Gonçalves, no vale do rio Capivari. Entretanto, também puderam ser encontrados bairros com ocupação disposta ao longo da via de acesso, com forma alongada, como o Juncal, em Sapucaí-Mirim. Encontrados acima dos 1.500 m de altitude, apresentam, em seu entorno, expressivos remanescentes das florestas ombrófilas densa e mista.



Área do bairro Juncal, Sapucaí-Mirim (Ponto 56)



Área do bairro Terra Fria, Gonçalves (Próx ao Ponto 58)

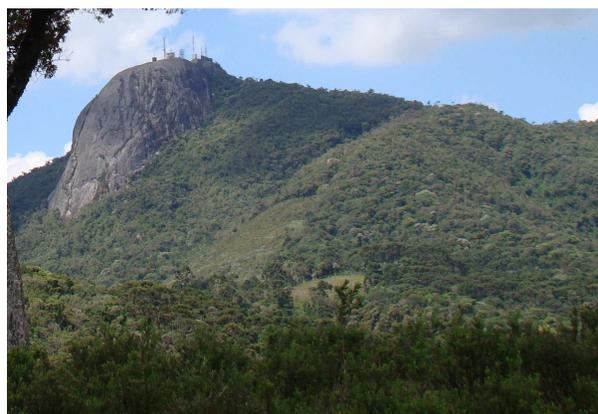
Geofácies IV.6 - *Pontões e cristas rochosas com campos de altitude*

Esta geofácies é observada nas maiores altitudes da APA, na extensão de diversas serras e, principalmente, na extensão da serra da Mantiqueira, na divisa com o estado de São Paulo, onde são encontrados os maiores remanescentes de floresta ombrófila densa.

Como exemplos, podem ser citados as pedras do Forno, Chanfrada, de São Domingos, do Campestre e Atrás da Pedra em Gonçalves, as pedras Partida e Redonda, o Chapéu do Bispo e o Pico do Selado, em Camanducaia, e a Pedra do Pião, em Sapucaí-Mirim, que apresentam cobertura vegetal típica de campo de altitude.



Pico do Selado em Camanducaia (Ponto 23)



Pedra de São Domingos em Gonçalves (Ponto 92)

Geofácies IV.7 - *Rampas de matacões com floresta ombrófila densa alto-montana*

Esta geofácies é encontrada nas porções mais altas da APA Fernão Dias, acima dos 1.800 m, e está associada ao granito Gonçalves. Os matacões graníticos se distribuem de forma esparsa em meio a afloramentos rochosos e fragmentos de floresta ombrófila densa alto-montana, caracterizada por dossel composto por árvores com troncos tortos e de baixa estatura, em média de 4 m, sobre solos rasos, com presença abundante de bromélias.



Trecho da trilha até o morro do Chapéu do Bispo, Camanducaia (Ponto 25)



Trecho da trilha até o morro do Chapéu do Bispo, Camanducaia (Ponto 26)

5.5 - Mapeamento dos corredores ecológicos na APA Fernão Dias

O mapeamento dos corredores ecológicos da APA Fernão Dias foi realizado a partir dos dados de imagens digitais, do conhecimento obtido em campo, do mapa dos geossistemas, do mapa de uso e cobertura do solo resultante da classificação supervisionada MaxVer e do mapa das formações floresta ombrófila densa e floresta estacional semidecidual, resultante da classificação com base no método de decisão *fuzzy*. Para o mapeamento e caracterização dos corredores ecológicos foi elaborada uma série de outros mapas. O primeiro deles (Figura 5.17) apresenta a distribuição dos remanescentes de Mata Atlântica, compostos por fragmentos das formações floresta ombrófila densa, floresta ombrófila mista e floresta estacional semidecidual nos quatro geossistemas da APA.

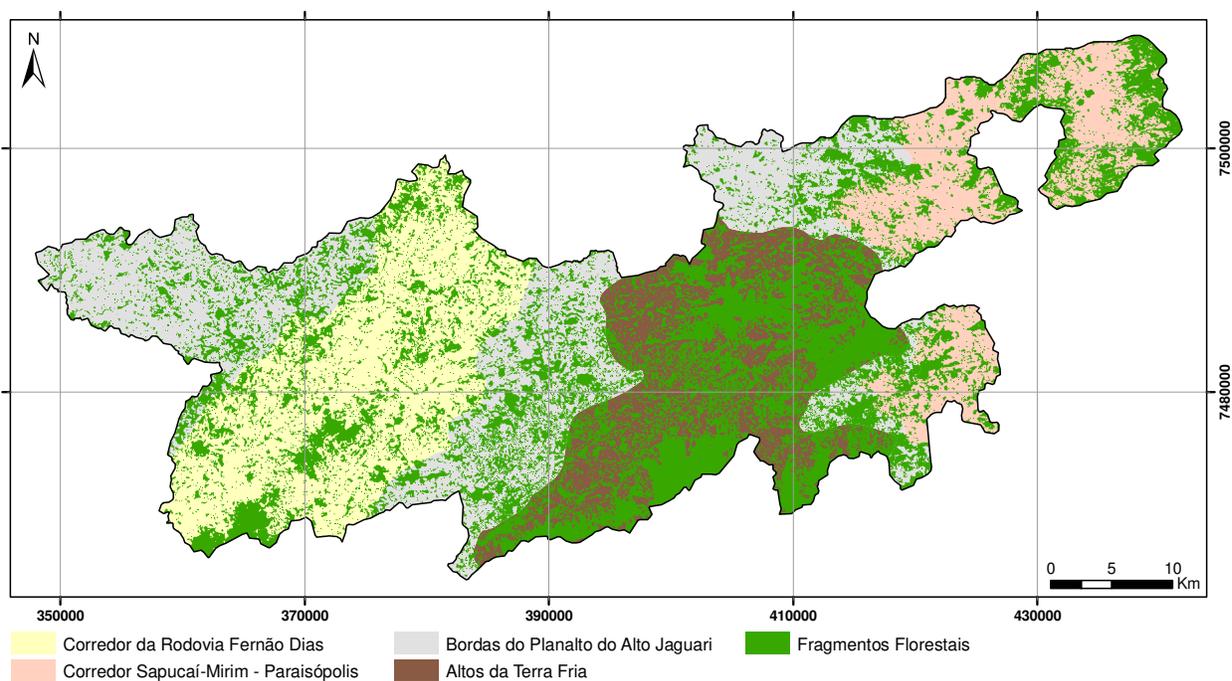


Figura 5.17 - Distribuição dos fragmentos florestais nos quatro geossistemas da APA Fernão Dias.

A partir da quantificação dos fragmentos florestais, apresentada na Tabela 5.5, constatou-se que o geossistema Altos da Terra Fria é o que possui maior área do total dos remanescentes, sendo o mais adequado para a alocação dos corredores ecológicos.

Tabela 5.5 - Área em Km² e em porcentagem dos geossistemas da APA Fernão Dias e dos fragmentos florestais existentes em cada um deles.

Geossistema	Área total		Área de remanescentes	
	Km ²	%	Km ²	%
Corredor da Rodovia Fernão Dias	465,82	25,83	118,60	17,30
Corredor Sapucaí-Mirim - Paraisópolis	312,40	17,32	107,02	15,61
Bordas do Planalto do Alto Jaguari	575,28	31,89	183,62	26,78
Altos da Terra Fria	450,24	24,96	276,31	40,31

Além de possuir mais de 40% dos fragmentos florestais da APA, com mais da metade de sua área coberta por vegetação nativa, o geossistema Altos da Terra Fria apresenta outras características relevantes para abrigar os corredores ecológicos. Situado acima dos 1.170 m e ocupando praticamente toda a unidade Granito Gonçalves, em relevo montanhoso característico da região geomorfológica denominada Mantiqueira Meridional, possui apenas um aglomerado urbano - o distrito de Monte Verde, único local deste geossistema que possui vias asfaltadas.

A importância da preservação dos remanescentes florestais e, conseqüentemente, de sua fauna, soma-se à necessidade de proteção dos recursos hídricos, uma vez que a densa rede de drenagem presente neste geossistema - que divide as bacias dos rios Jaguari e Sapucaí-Mirim - é responsável também pelo abastecimento das regiões metropolitanas de São Paulo e de Campinas. Diferentemente dos demais geossistemas da APA, que têm como base econômica as atividades agropecuárias e industriais, no geossistema Altos da Terra Fria a silvicultura e o turismo ecológico são as principais atividades. Em razão de seu atrativo paisagístico e de seus recursos naturais, o intenso fluxo turístico para a região de Monte Verde (e mais recentemente para Gonçalves) promove a ocupação desordenada das serras e o desmatamento intenso de suas partes mais baixas, revelando mais um motivo para a preservação da fauna, da flora e dos recursos hídricos.

A presença abundante de remanescentes da Mata Atlântica, incluindo os grandes e últimos fragmentos de floresta ombrófila mista (mata de araucárias) do Brasil, somada à rica biodiversidade e à presença de importantes nascentes e pontos de captação hídrica regional caracteriza esta área da APA Fernão Dias como a mais adequada para a alocação dos corredores ecológicos que terão como objetivo a conexão dos fragmentos florestais.

Os fragmentos florestais do geossistema Altos da Terra Fria estão representados no mapa da Figura 5.18A e os que possuem área maior que 100 ha, utilizados para a delimitação dos corredores ecológicos, no mapa Figura 5.18B.

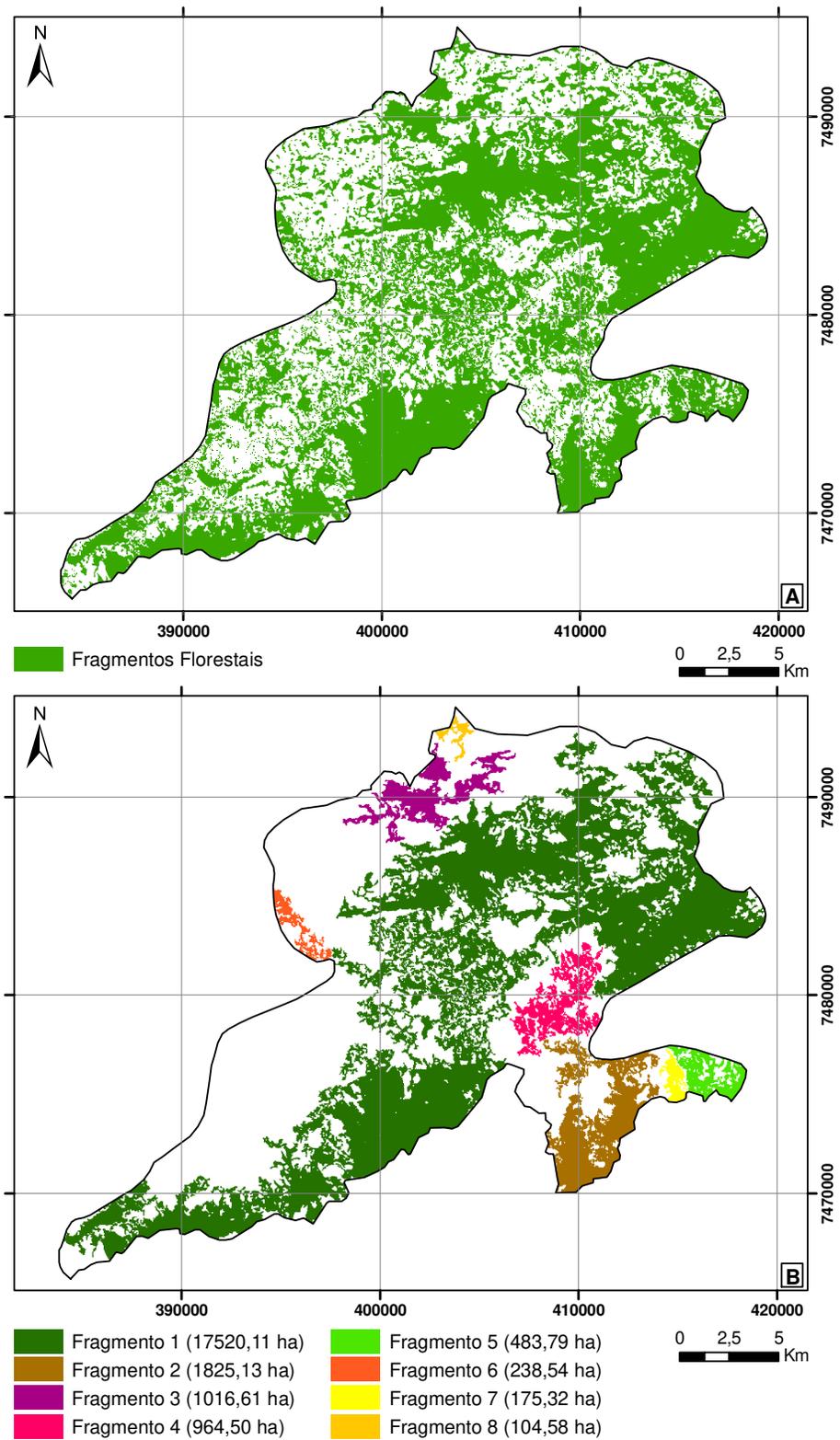


Figura 5.18 - Fragmentos florestais do geossistema Altos da Terra Fria (A) e fragmentos florestais do geossistema Altos da Terra Fria maiores que 100 ha selecionados para o mapeamento dos corredores ecológicos (B).

A superfície de isodistâncias gerada a partir dos fragmentos selecionados é apresentada na Figura 5.19. Neste modelo digital de distâncias no formato de superfície contínua, os fragmentos florestais atuam como elemento geográfico de referência e os pixels representam sua distância em relação aos demais fragmentos da área. Esta representação amplia as possibilidades de análise espacial das equidistâncias entre os fragmentos e das potencialidades das áreas do entorno, permitindo constatar quebras de padrões das isodistâncias e incrementando a análise visual.

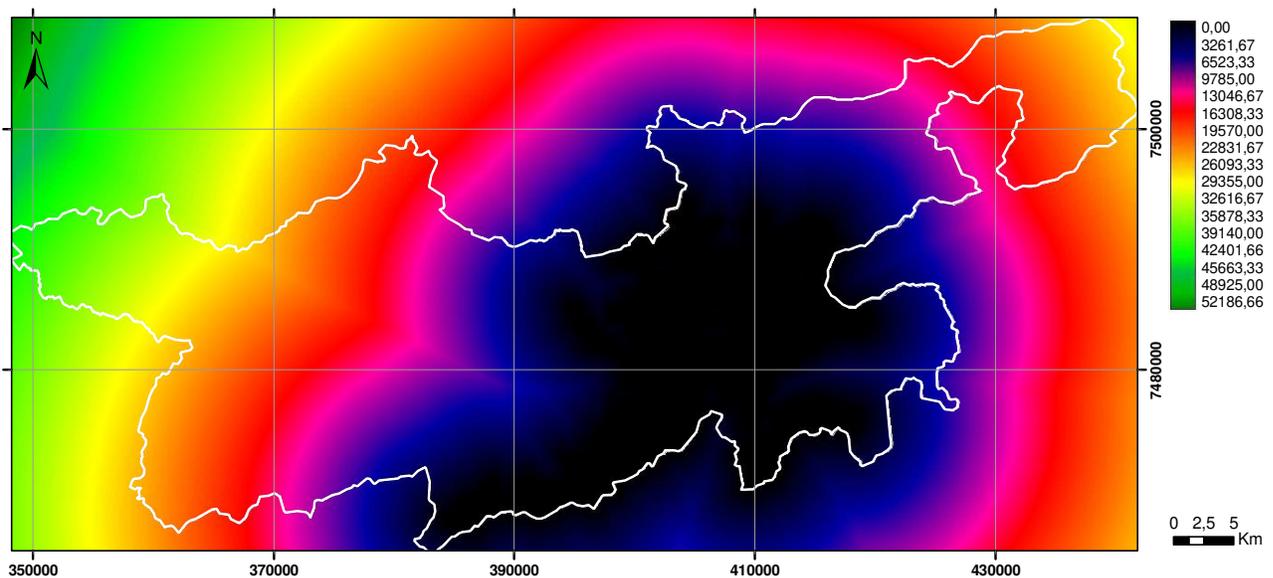


Figura 5.19 - Superfície de isodistâncias dos fragmentos selecionados do geossistema Altos da Terra Fria.

Na Figura 5.20, são apresentados os resultados dos procedimentos efetuados para o mapeamento dos corredores ecológicos. No mapa A se observa a reclassificação da superfície de isodistâncias em intervalos de 50 m, realizada até os 2.000 m e, no mapa B, o detalhe da área em destaque. Nos mapas C e D da mesma figura, em formato vetorial, podem ser observados os corredores formados pelo intervalo de 0 a 150 m. Em razão de serem os maiores fragmentos da área de estudo e apresentarem vizinhança próxima, na faixa de 0-150 m, todos os fragmentos foram conectados. No entorno dos fragmentos foi definida uma zona de amortecimento que poderá representar importante papel na diminuição do efeito de borda nas partes marginais de cada fragmento florestal.

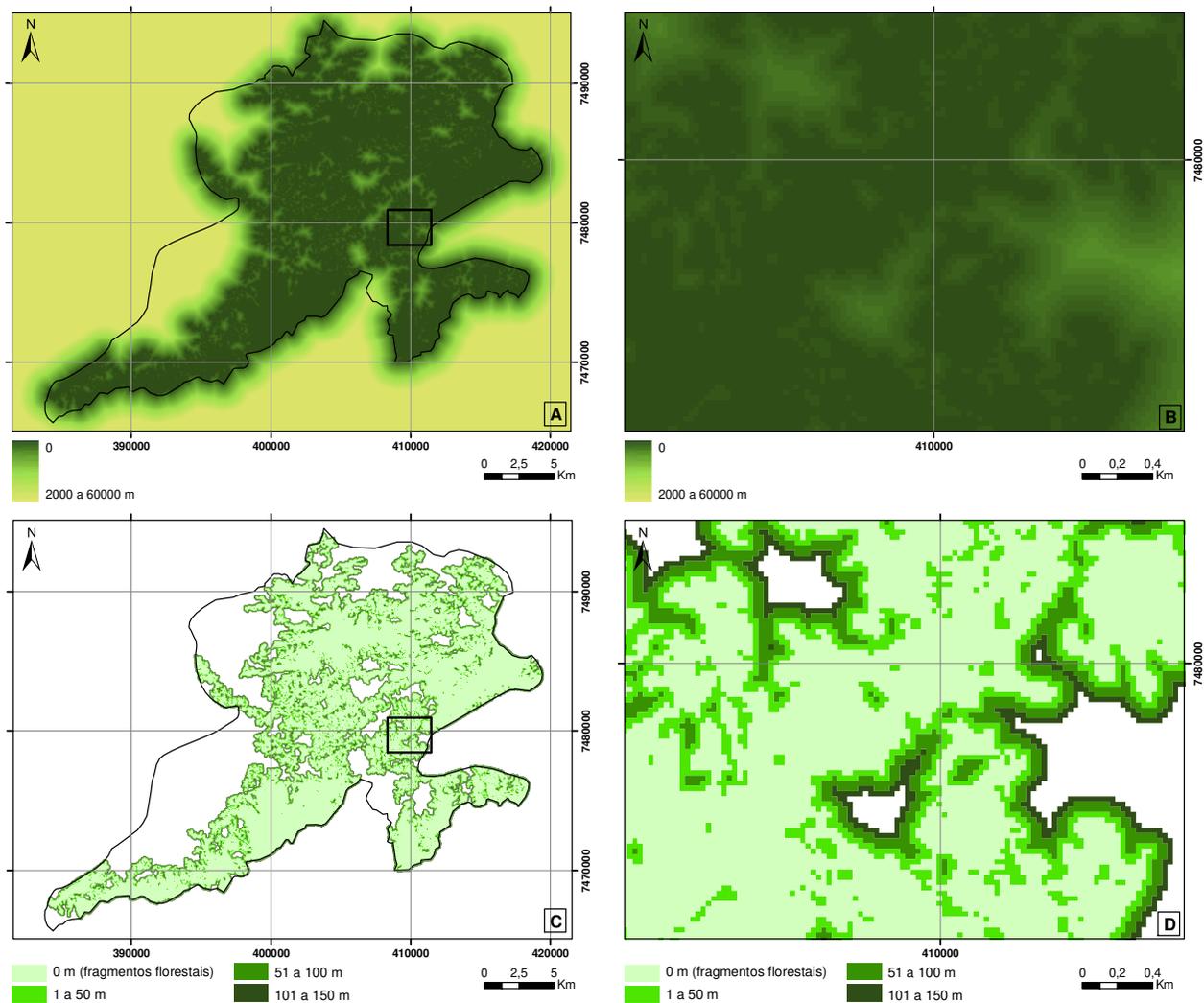


Figura 5.20 - Superfície de isodistâncias reclassificada com intervalos de 50 m (até 2.000 m) na escala 1:250.000 (A) e detalhe na escala 1:20.000 (B); intervalos de 0 a 150 m vetorizados para compor os corredores ecológicos (C) na escala 1:250.000 e detalhe na escala 1:20.000 (D).

Apesar de serem contínuos, os corredores do mapa C apresentam ilhas em seu interior, ocupadas, principalmente, pelas categorias reflorestamento de pinus, pastagem e campo sujo com cultivos agrícolas isolados. Estas ilhas, consideradas importantes para o manejo adequado dos fragmentos florestais, foram incorporadas e passaram a compor os corredores ecológicos da APA Fernão Dias, sendo definidas como áreas potencialmente destinadas ao repovoamento vegetal. Nos corredores ecológicos, além da área dos oito fragmentos selecionados, foram somados pouco mais de 25 Km² referentes à inclusão de 1.099 polígonos de florestas que compõem os fragmentos florestais do geossistema Altos da Terra Fria (Figura 5.18A).

O mapa final de uso e cobertura do solo dos corredores ecológicos da APA Fernão Dias está representado na Figura 5.21.

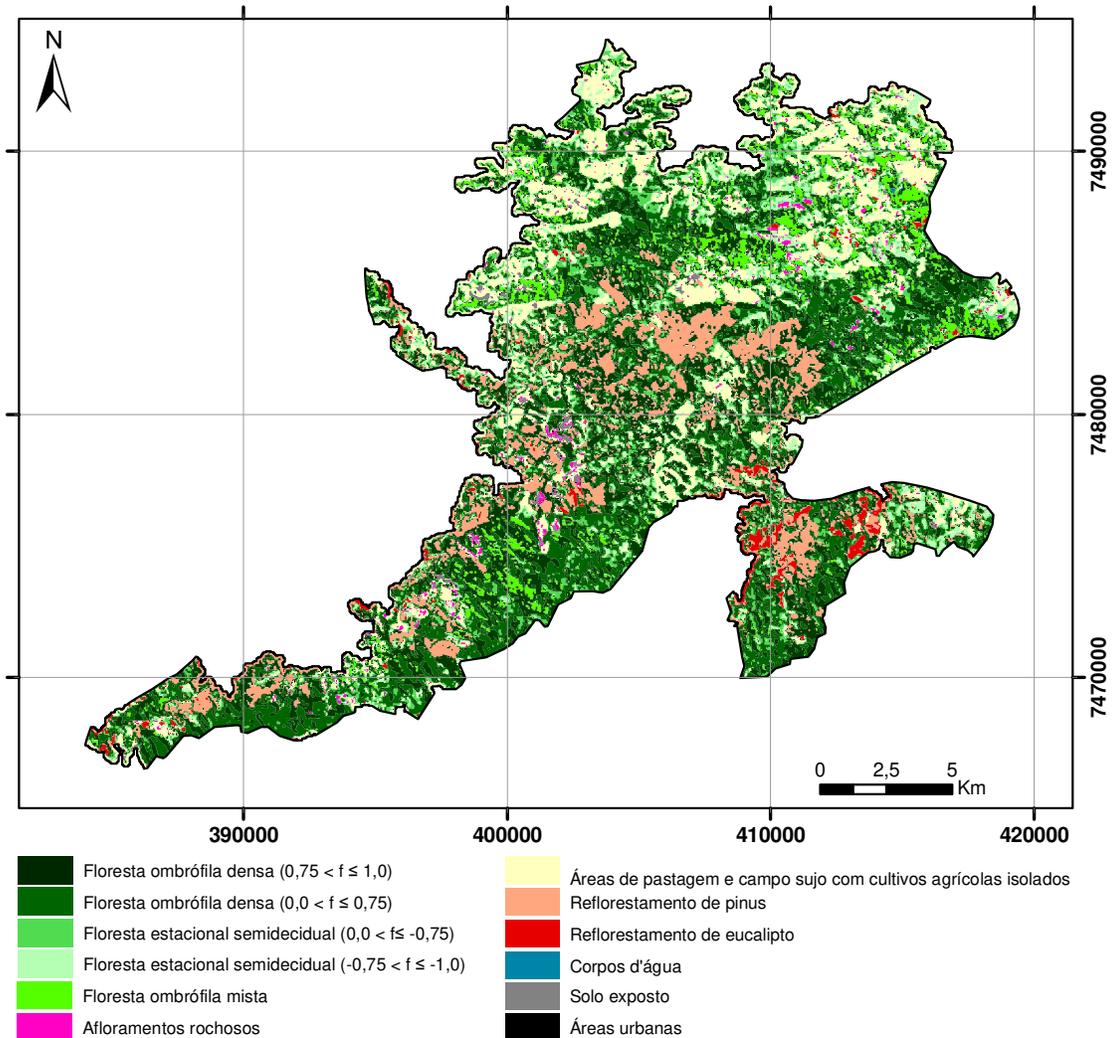


Figura 5.21 - Mapa de uso e cobertura do solo dos corredores ecológicos.

Cobrindo 250,43 Km², pouco mais de 70% da área dos corredores ecológicos, as formações florestais nativas são dominantes na paisagem e sofrem pressão das atividades de silvicultura desenvolvidas em monoculturas de pinus e eucalipto, que somam 43,84 Km² ou 12,41% da área. As atividades de pecuária e agricultura são pontuais e apresentam um contexto de produção pouco desenvolvido, atuando como manchas na paisagem dos corredores ecológicos. A maior parte de seus 52,51 Km² (14,87%) é caracterizada por pastos abandonados e capoeiras com capacidade de regeneração.

A quantificação das classes de uso e ocupação do solo dos corredores ecológicos é apresentada na Tabela 5.6 e, a quantificação das florestas nativas, na Tabela 5.7.

Tabela 5.6 - Área em Km² e em porcentagem das classes de uso e cobertura do solo dos corredores ecológicos.

Classes de uso e cobertura do solo	Área (Km²)	Área (%)
Formações florestais nativas	250,43	70,93
Reflorestamento de pinus	38,00	10,76
Reflorestamento de eucalipto	5,84	1,65
Áreas de pastagem e campo sujo com cultivos agrícolas isolados	52,51	14,87
Afloramentos rochosos	3,10	0,88
Solo exposto	2,84	0,81
Áreas urbanas	0,31	0,09
Corpos d'água	0,04	0,01
Total	353,06	100

Tabela 5.7 - Área em Km² e em porcentagem das classes de formações florestais nativas dos corredores ecológicos.

Classes de uso e cobertura do solo	Área (Km²)	Área (%)	
Floresta estacional semidecidual (-0,75 < f ≤ -1,0)	29,56	11,81	} área de transição entre as formações florestais
Floresta estacional semidecidual (0,0 < f ≤ -0,75)	31,13	12,43	
Floresta ombrófila densa (0,0 < f ≤ 0,75)	82,63	33,00	
Floresta ombrófila densa (0,75 < f ≤ 1,0)	83,40	33,30	
Floresta ombrófila mista	23,71	9,47	
Total	250,43	100	

Assim como em toda a APA, nos corredores ecológicos a formação floresta ombrófila densa é a que ocupa maior área, compondo os maiores e mais conectados fragmentos. A floresta estacional semidecidual se apresenta na forma de pequenos fragmentos distribuídos por toda a extensão dos corredores e associados a grandes fragmentos de floresta ombrófila densa. Este padrão é predominante nas suas altitudes mais baixas e, principalmente nas suas bordas mais fragmentadas, revelando a possível substituição de espécies da floresta ombrófila densa. Apesar de bastante impactada e fragmentada, a floresta ombrófila mista apresenta importantes fragmentos florestais, distribuídos principalmente nas encostas das serras, nos alvéolos e nas pequenas planícies.

A partir da conectividade dos remanescentes, respeitando a morfologia dos corredores, foram manualmente delimitados oito vetores de mobilidade potencial da fauna em locais onde a distância entre as manchas dos fragmentos tende a zero. As Figuras 5.22 e 5.23 mostram os vetores sobrepostos ao mapa de formações florestais e à composição colorida R4G5B3 da imagem Landsat.

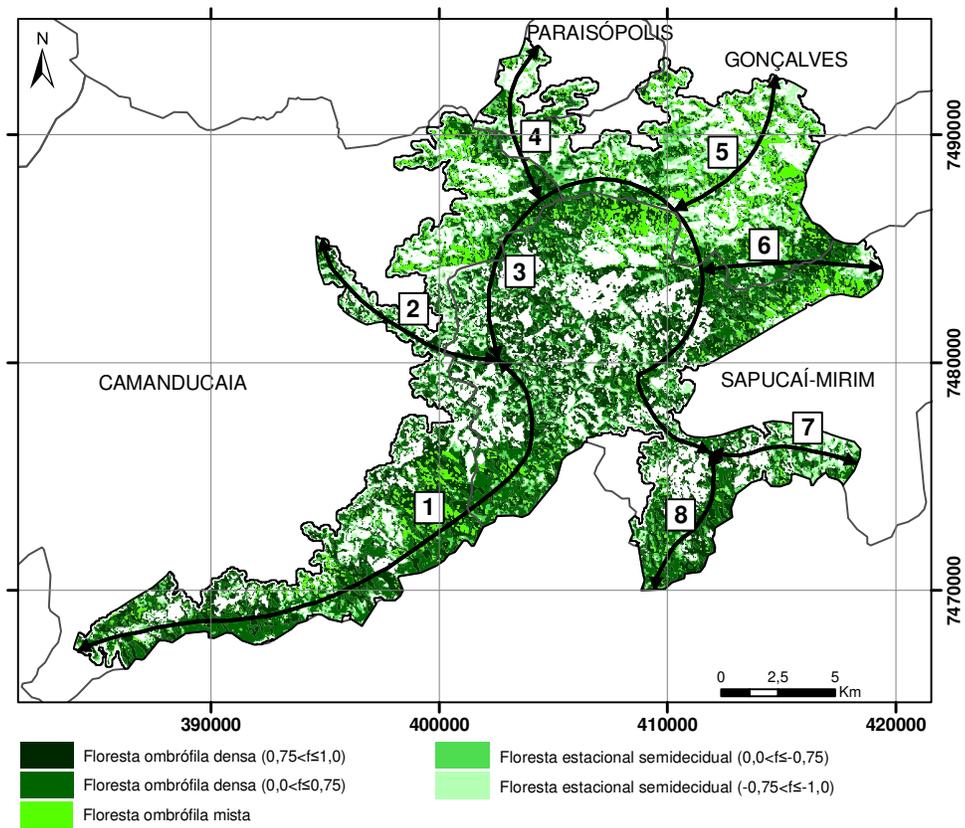


Figura 5.22 - Vetores de mobilidade potencial de fauna dos corredores ecológicos da APA Fernão Dias representados no mapa de formações florestais.

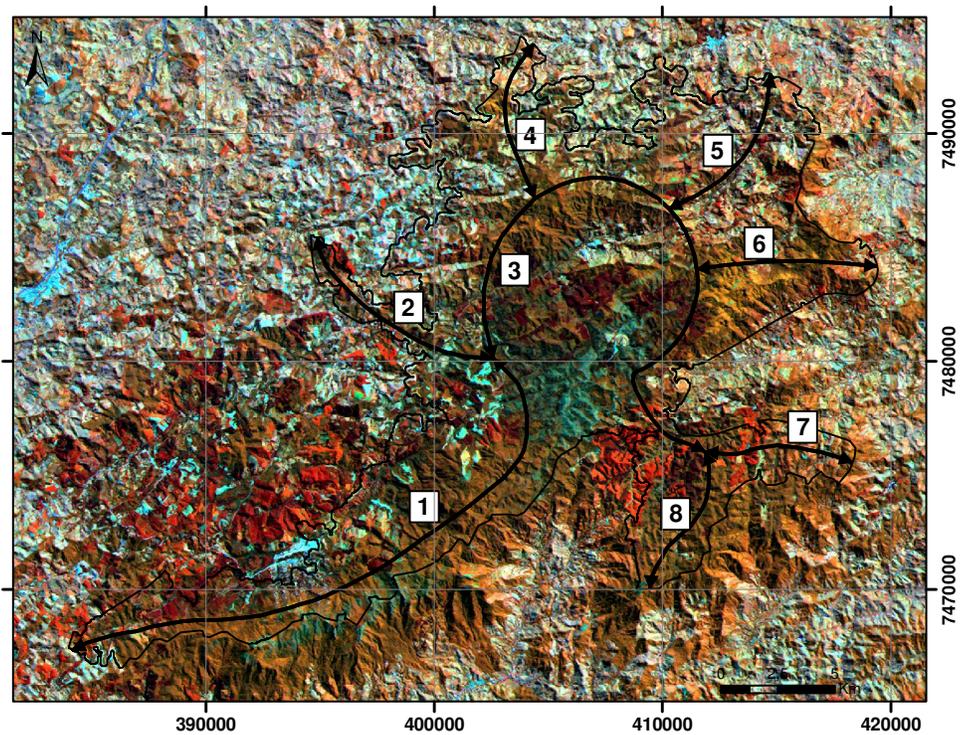


Figura 5.23 - Vetores de mobilidade potencial de fauna dos corredores ecológicos da APA Fernão Dias representados na composição R4G5B3 da imagem Landsat.

Estes vetores, considerados potenciais corredores de movimento serão analisados a seguir, individualmente, de acordo com as formações florestais predominantes, o tipo de pressão a que estão sujeitos e a localização em relação às bacias hidrográficas (Figura 5.24), e às serras da região da Mantiqueira (Figura 5.25).

Os mapas de uso e cobertura do solo dos oito vetores de mobilidade potencial são apresentados nas Figuras 5.26, 5.27, 5.28, 5.29 e 5.30, com o destaque para algumas fotos representativas de cada região.

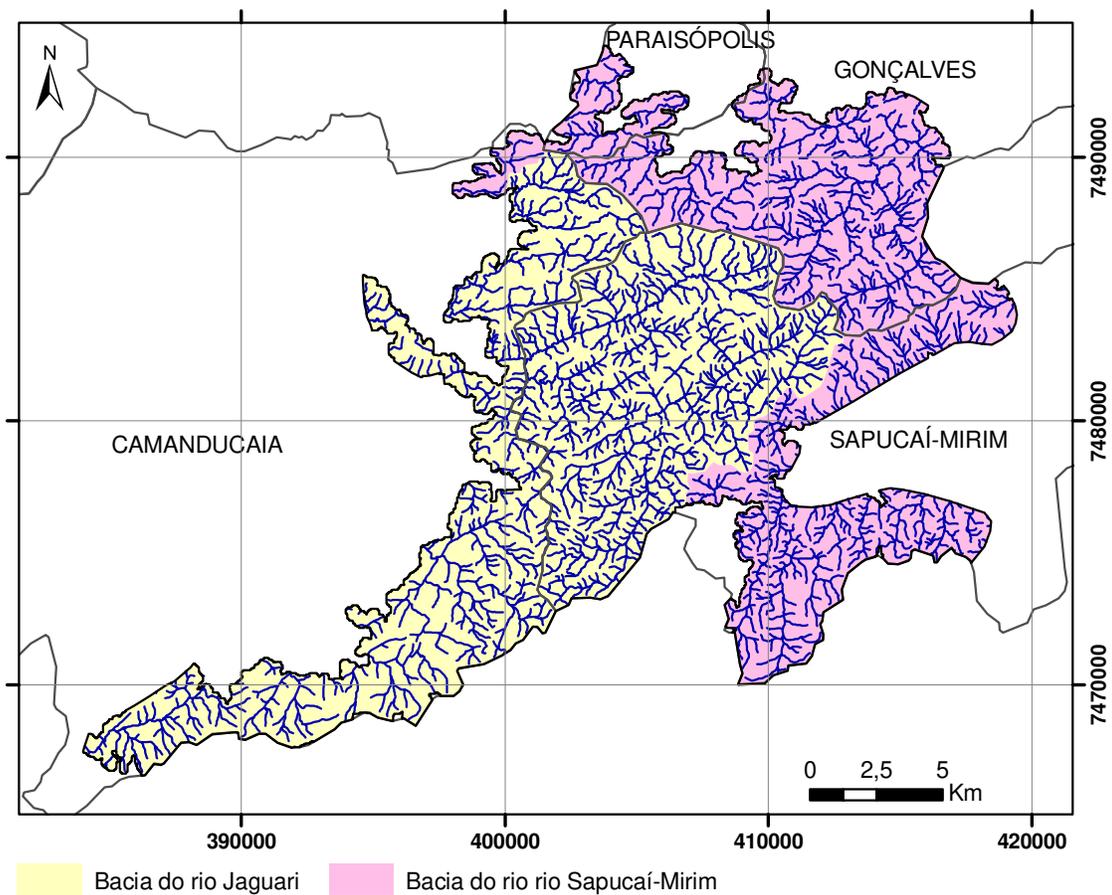


Figura 5.24 - Mapa hidrográfico dos corredores ecológicos da APA Fernão Dias.

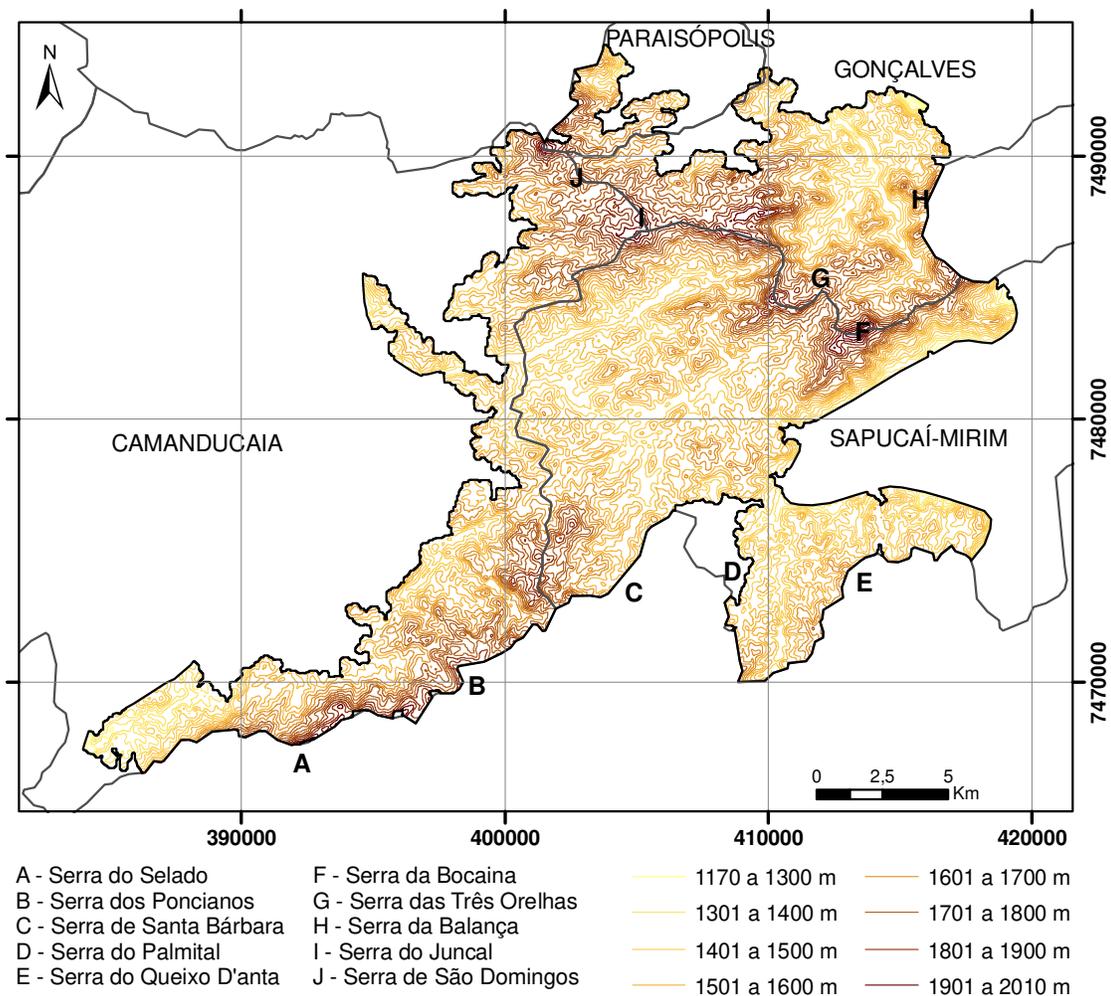


Figura 5.25 - Mapa hipsométrico dos corredores ecológicos da APA Fernão Dias com localização das serras do complexo da Mantiqueira.

O vetor de mobilidade 1, delimitado na região sul dos corredores ecológicos, na bacia hidrográfica do Jaguari, ocupa parte dos municípios de Camanducaia e Sapucaí-Mirim e conecta as serras do Selado, dos Poncianos e de Santa Bárbara, entre 1.400 e 2.010 m. Nesta área são encontrados os picos e afloramentos rochosos mais altos da APA Fernão Dias, representados no mapa da Figura 5.26 na cor rosa. Como exemplos podem ser citados a Pedra do Pião, em Sapucaí-Mirim, o Pico do Selado (foto do ponto 23), a Pedra Partida, a Pedra Redonda e o Chapéu do Bispo (foto do ponto 27), em Camanducaia.

Na trilha até o morro do Chapéu do Bispo, posicionado a 1.800 m de altitude, podem ser observados matacões graníticos em meio à floresta ombrófila densa alto-montana. Em pontos mais elevadas (pontões e cristas rochosas) a vegetação predominante é o campo de altitude.

Esta área dos corredores ecológicos, além de sofrer pressão das atividades de silvicultura, tem contra si a ameaça crescente da área urbana consolidada de Monte Verde, cujo avanço mais importante se dá com direção às serras do Selado (foto do ponto 22) e dos Poncianos. Este distrito possuía em 2.000, população aproximada de 5.000 habitantes (IBGE, 2000). Este número chega a dobrar nos meses mais frios do ano, época de intensa atividade turística, que aumenta o movimento nas trilhas e a especulação imobiliária.

Nas encostas destas serras, próximas ao distrito de Monte Verde, predomina a formação floresta ombrófila densa montana. De acordo com a caracterização das fisionomias e tipologias da vegetação da APA Fernão Dias, apresentada em seu Plano de Gestão Ambiental (IBITU, 1998), as árvores desta região são cobertas por líquens e raramente ultrapassam os 16 m, com baixa densidade de epífitas, bromélias e orquídeas. Foi também constatado que esta área apresenta o maior índice de indivíduos arbóreos mortos (18,75%) - possivelmente relacionados com o final do ciclo de alguma espécie colonizadora.

As espécies que apresentaram maiores densidades foram a mirtácea *Myrcia sp. 2* (cascuda) e a laurácea *Phyllostemonodaphne geminiflora* (canela-coquinho), árvore típica do estrato intermediário desta mata. A grande presença de árvores da família das mirtáceas é responsável por uma acentuada produção de frutos, garantindo alimentação para diversos animais, com destaque para as aves, como casal de jacuguçu (*Penelope obscura*), espécie ameaçada devido à destruição do habitat e à caça, observados em Monte Verde (Foto do ponto 24).

A floresta ombrófila densa alto-montana tem seu predomínio em altitudes maiores que 1.500 m (foto do ponto 25). Trata-se de típica mata nebulosa de baixo porte, com árvores finas, troncos tortos e elevada densidade de indivíduos por hectare. A média de altura das árvores varia entre 4 e 8 m, não ultrapassando os 12 m, sendo a *Drimys winteri* (pororoca), a *Piptocarpha angustifolia* (capoeirão) e a *Miconia hololeuca* as espécies mais abundantes. Nesta região dos corredores ecológicos ainda são observados grandes remanescentes de floresta ombrófila mista em vales e encostas e pequenos polígonos classificados como floresta estacional semidecidual, os quais se apresentam associados às bordas dos grandes e conectados fragmentos de floresta ombrófila densa.

Como pode ser observado na composição colorida da imagem Landsat (Figura 5.23), este vetor de mobilidade, traçado dentro dos limites da APA Fernão Dias, se estende para a porção paulista da serra da Mantiqueira, onde se localiza a APA São Francisco Xavier, confirmando a importância da preservação da qualidade dos recursos hídricos e da biodiversidade desta região.

De acordo com as unidades de paisagem definidas para o geossistema Altos da Terra Fria, nesta região predominam as geofácies: Morros e morrotes com floresta ombrófila densa, Morros e morrotes com silvicultura, Pontões e cristas rochosas com campos de altitude e Rampas de matações com floresta ombrófila densa alto-montana.

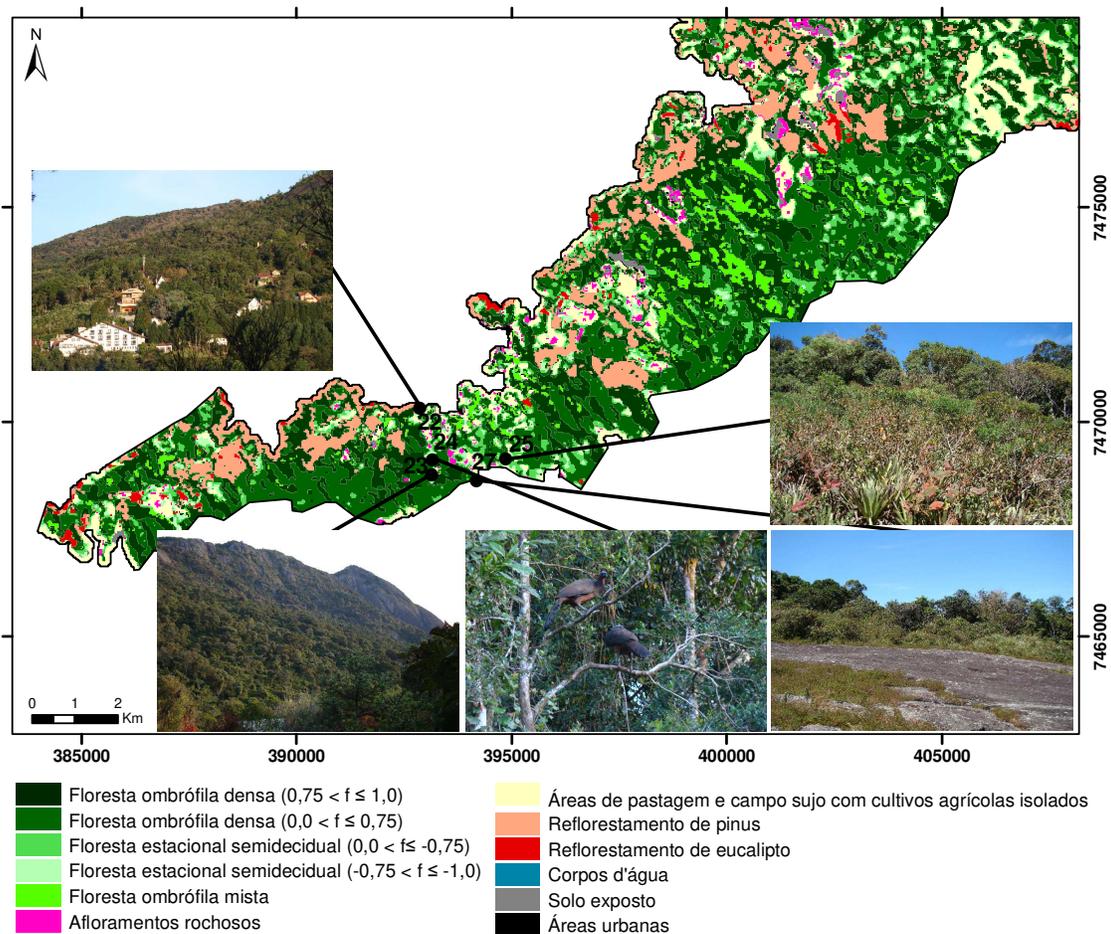


Figura 5.26 - Uso e cobertura do solo do vetor de mobilidade 1.

O vetor de mobilidade potencial 2 (Figura 5.27) se localiza na porção oeste, na área de abrangência da bacia do rio Jaguari, e sua altitude situa-se em torno dos 1.500 m. Nesta estreita área os remanescentes florestais apresentam-se fragmentados e sofrem pressão, principalmente,

das atividades de silvicultura de pinus e eucalipto, como pode ser observado na foto obtida a partir do ponto 50. Neste ponto, a formação florestal predominante é a floresta ombrófila densa, mas as duas fotos revelam a presença de araucárias, representante da formação floresta ombrófila mista. Apesar de não apresentar grandes fragmentos, quando comparado a outras áreas dos corredores ecológicos, podem ser observados importantes remanescentes de floresta ombrófila mista (foto do ponto 52) e matas ciliares preservadas, como revela a foto do ponto 51.

De acordo com as unidades de paisagem definidas para o geossistema Altos da Terra Fria, nesta região predominam as geofácies: Alvéolos e pequenas planícies com florestas ombrófila mista, Morros e morrotes com silvicultura e Morros e morrotes com floresta ombrófila densa.

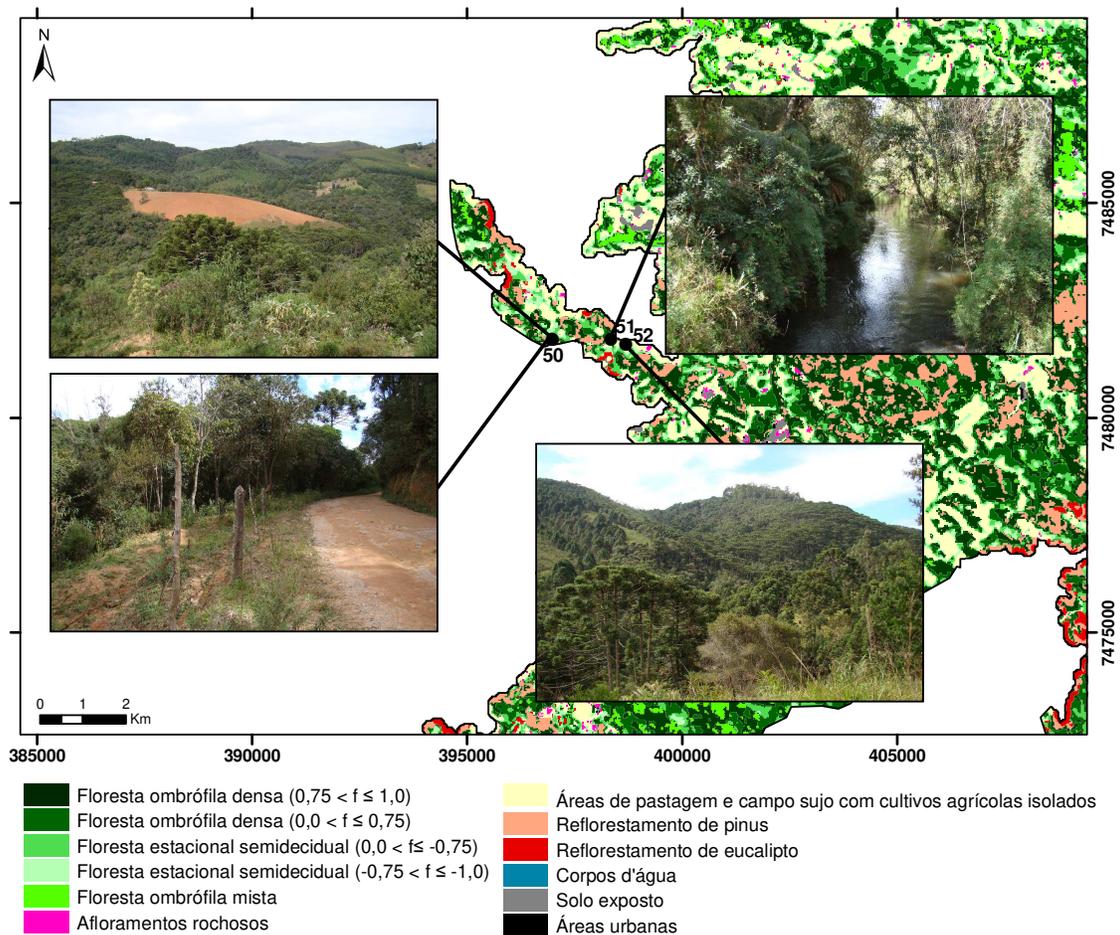


Figura 5.27 - Uso e cobertura do solo do vetor de mobilidade 2.

O vetor de mobilidade potencial 3 (Figura 5.28), localizado na porção central da APA Fernão Dias, está conectado a todos os outros vetores delimitados para os corredores ecológicos. Esta área se caracteriza como um grande divisor das bacias dos rios Jaguari e Sapucaí-Mirim, contando com elevado número de nascentes. Ocupa superfícies com altitudes entre 1.500 e 2.000 m, tendo as serras do Juncal e das Três Orelhas como abrigo para os maiores fragmentos de floresta ombrófila densa,

No alto da serra do Juncal (foto do ponto 55), as espécies mais encontradas são a *Lamanonia ternata* (salgueiro-do-mato), a *Cabranea canjerana* (canjerana), a *Maytenus salicifolia* (laranjinha), a *Cryptocaria sp.* (canela-pimenta) e a *Myrtaceae 3*, com diversos indivíduos jovens em seu sub-bosque. O fato de estas quatro últimas espécies serem frutíferas, garantindo alimento para diversos animais, com destaque para aves e morcegos, aponta o grande potencial da capacidade de suporte desta mata (IBITU, 1998).

A vegetação, que se apresenta bastante fragmentada no interior do círculo definido para este vetor de mobilidade, trata-se de uma formação secundária que tem a *Araucaria angustifolia* (araucária) como principal espécie. Em pequenas clareiras e no interior da mata são encontrados indivíduos adultos e jovens emergentes, como pode ser observado na foto do ponto 54, e, no seu estrato inferior, o desenvolvimento de diversas outras espécies.

O cultivo agrícola ocorre de forma isolada e pouco desenvolvida, como mostram as fotos dos pontos 55 e 57. Embora esta atividade exerça alguma pressão sobre os remanescentes florestais, são as monoculturas do pinus e do eucalipto as que apresentam maior ameaça, pois estas avançam sobre áreas ocupadas por fragmentos florestais, com rapidez e intensidade.

Também é comum nesta área a presença de bairros rurais em meio a grandes fragmentos de floresta ombrófila densa e mista, como o bairro do Juncal (foto do ponto 56), e a presença de mata capoeira, que se encontra distribuída como grandes manchas com alta capacidade de regeneração, favorecendo o repovoamento florestal (foto do ponto 129).

De acordo com as unidades de paisagem definidas para o geossistema Altos da Terra Fria, nesta região predominam as geofácies: Morros e morrotes com floresta ombrófila densa, Alvéolos e pequenas planícies com florestas ombrófila mista, Morros e morrotes com silvicultura, Vertentes e Terraços cultivados com batata e brássicas e Bairros rurais.

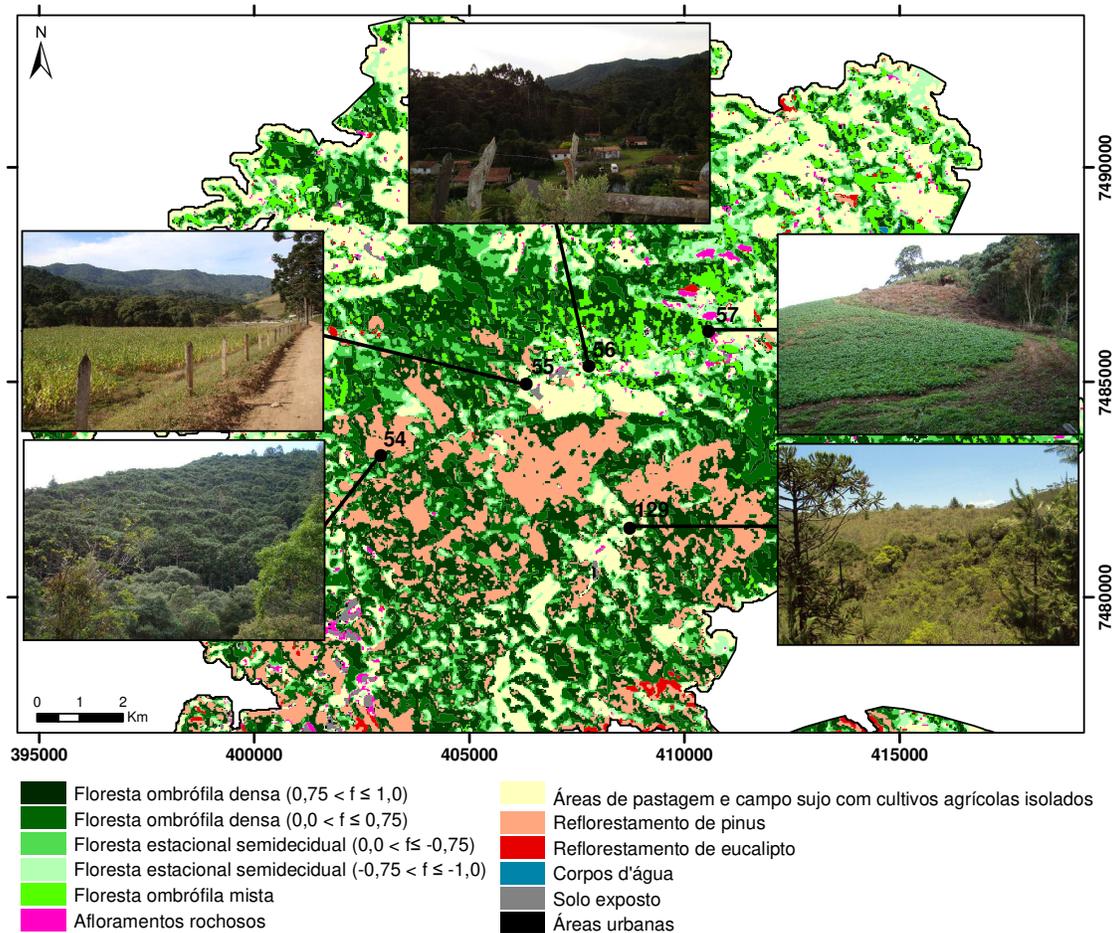


Figura 5.28 - Uso e cobertura do solo do vetor de mobilidade 3.

O vetor de mobilidade potencial 4 (Figura 5.29) coincide com a serra de São Domingos, situada em superfície que varia de 1.700 a 2.000 m - com destaque para a Pedra de São Domingos, com 1.900 m, no interflúvio das bacias dos rios Jaguari e Sapucaí-Mirim. A floresta ombrófila densa é a formação predominante e os maiores fragmentos se localizam na divisa entre os municípios de Camanducaia e Sapucaí-Mirim, próximos da serra do Juncal. Em direção norte, no município de Paraisópolis, a floresta ombrófila densa se apresenta mais fragmentada, e podem ser também observados alguns fragmentos de floresta estacional semidecidual. Na foto do ponto 94 é observada a taboca, vegetação que indica estágio de invasão de espécies na floresta ombrófila densa.

O vetor de mobilidade potencial 5 (Figura 5.29) foi demarcado inteiramente no município de Gonçalves, entre 1.400 e 1.800 m de altitude, na área da bacia hidrográfica do Sapucaí-Mirim.

Nesta área os remanescentes estão bastante impactados pelas atividades agropastoris. Merecem destaque os expressivos fragmentos de floresta ombrófila mista, com indivíduos adultos e jovens emergentes de *Araucaria angustifolia* (araucária) (foto do ponto 60). Em meio a estes fragmentos são encontrados alguns bairros rurais, a exemplo do bairro da Terra Fria em Gonçalves. A partir dos pontos mais altos é possível se observar o relevo montanhoso coberto por extensas áreas de pasto abandonado, com manchas de vegetação das formações das florestas ombrófilas densa e mista em suas encostas (fotos dos pontos 58 e 61).

O vetor 6 (Figura 5.29) foi traçado sob a Serra da Bocaina, a qual compõe, junto com as serras do Juncal e de São Domingos, o divisor entre as duas bacias delimitadas no mapa hidrográfico (Figura 5.24). De acordo com o Plano de Gestão Ambiental da APA, a mata desta serra é composta pela floresta ombrófila densa e apresenta alto valor de dominância (187,86 m²/ha) e grande percentual de árvores com mais de 20 m (26,32%) que se encontra em estágio clímax. A principal espécie formadora do dossel é a *Nectandra lanceolata* (canela) seguida pela *Plinia sp.* (jabuticabeira) e pela *Lamanonia ternata* (salgueiro-do-mato). No sub-bosque, que apresenta densidade variável, podendo ser densa ou muito baixa em razão do pisoteio pelo gado em alguns trechos, há destaque para a presença de *Olyra sp.* (taquaras) nas encostas. No sub-bosque também são encontrados indivíduos jovens das árvores formadoras do dossel, garantindo a estabilidade desta comunidade vegetal e a reposição de sua população ao longo do tempo (IBITU, 1998).

As atividades de pecuária e agricultura são as que exercem maior pressão nos vetores 4, 5 e 6 dos corredores ecológicos. O cultivo de brássicas (couve-flor e repolho), feijão, milho, tomate e batata favorecem a erosão laminar, transportando o solo em direção ao fundo dos vales, conforme mostra a foto do ponto 91. Este processo contribui para elevar o risco de assoreamento dos cursos d'água e contaminação dos mananciais por agrotóxicos, também prejudiciais à fauna e para a população local.

De acordo com as unidades de paisagem definidas para o geossistema Altos da Terra Fria, nos vetores de mobilidade potencial 4, 5 e 6 predominam as geofácies: Morros e morrotes com floresta ombrófila densa, Alvéolos e pequenas planícies com florestas ombrófila mista, Vertentes e Terraços cultivados com batata e brássicas, Pontões e cristas rochosas com campos de altitude e Bairros rurais.

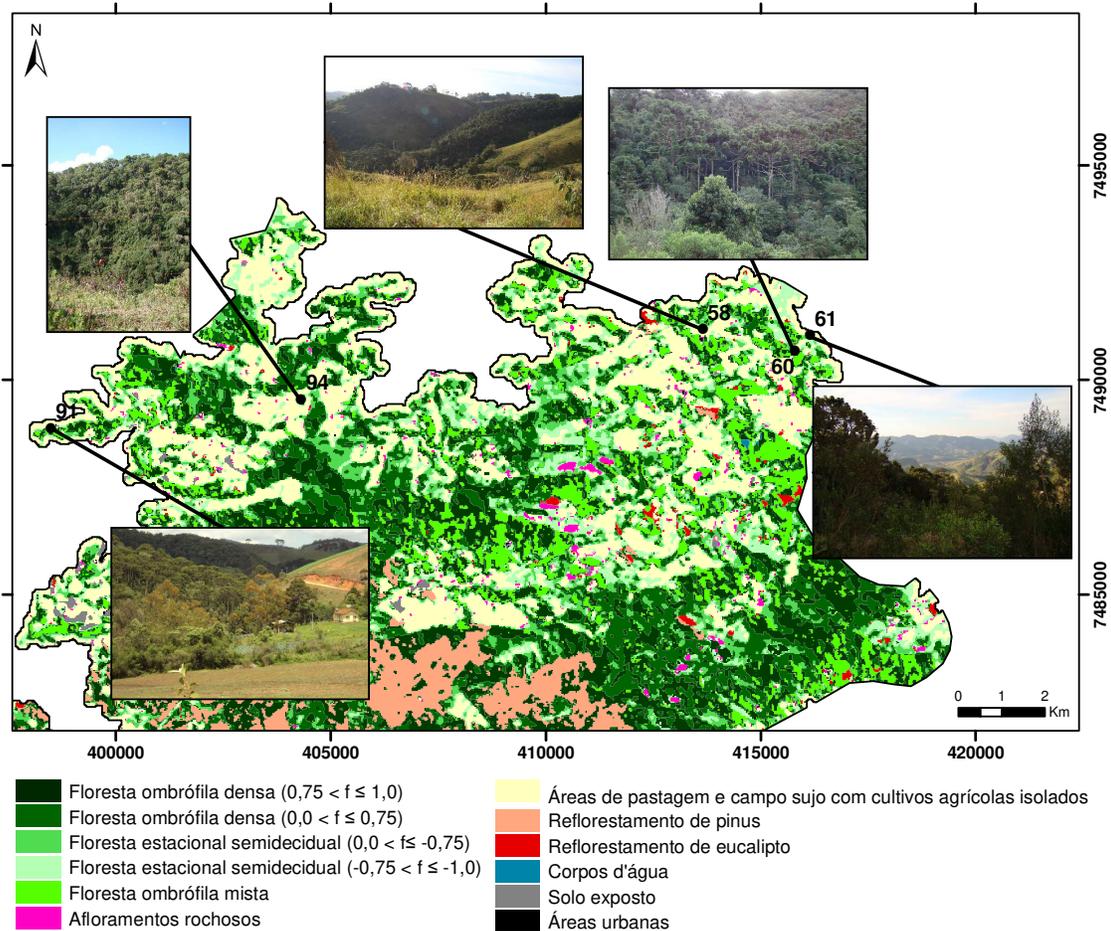


Figura 5.29 - Uso e cobertura do solo dos vetores de mobilidade 4, 5 e 6.

Os vetores de mobilidade potencial 7 e 8 (Figura 5.30) se localizam a leste dos corredores ecológicos, e conectados ao vetor de mobilidade 3, no município de Sapucaí-Mirim e na área de abrangência da bacia hidrográfica do Sapucaí-Mirim. Os remanescentes da formação floresta ombrófila densa do vetor 7 se apresentam mais fragmentados, com predomínio dos fragmentos de floresta estacional semidecidual. Já no vetor 8, a sudeste da APA, é observada expressiva área de floresta ombrófila densa pressionada pelas atividades de reflorestamento de pinus e eucalipto.

A imagem do *Google Earth*, de 2007, é compatível ao mapa de uso e ocupação do solo elaborado com imagem Landsat do ano de 2010. Nestes três anos pôde se observar o avanço da silvicultura, substituindo áreas que anteriormente eram ocupadas por fragmentos florestais. Teoricamente, quando comparadas às culturas agrícolas ou à pecuária, as plantações de pinus e eucalipto causariam menor efeito de borda nos fragmentos florestais, pois estes indivíduos

barram a ação do vento, que é responsável pela derrubada de muitas árvores situadas nas bordas. Entretanto, cada área requer um estudo de manejo específico.

De acordo com as unidades de paisagem definidas para o geossistema Altos da Terra Fria, nos vetores de mobilidade potencial 7 e 8 predominam as geofácies: Morros e morrotes com floresta ombrófila densa, Morros e morrotes com silvicultura, Vertentes e Terraços cultivados com batata e brássicas.

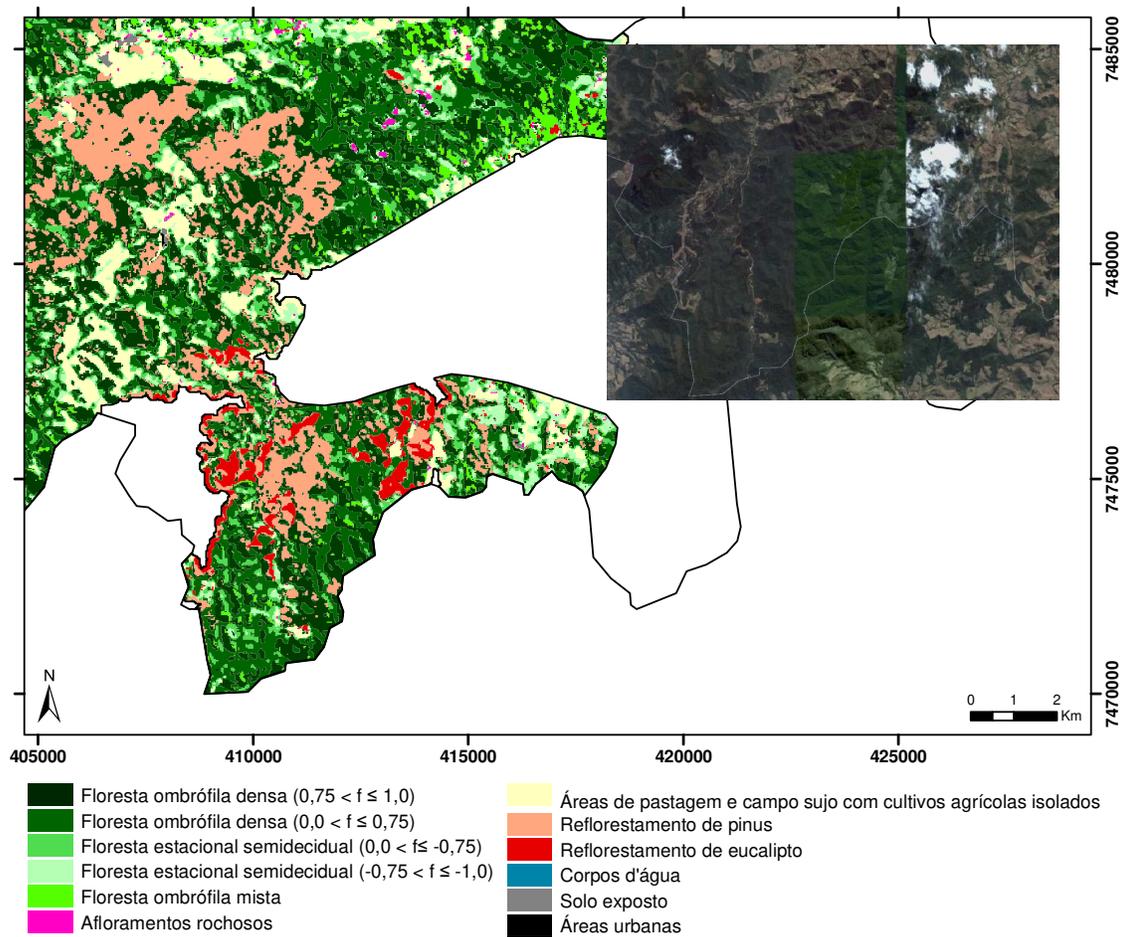


Figura 5.30 - Uso e cobertura do solo dos vetores de mobilidade 7 e 8.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A fragmentação florestal, resultante do processo de substituição da cobertura vegetal nativa por áreas antrópicas, e a conseqüente redução no tamanho das manchas florestais, é a principal causa da extinção de espécies da fauna e flora nativas. A proposição de corredores ecológicos que conectem fragmentos de Mata Atlântica na APA Fernão Dias é uma estratégia de conservação que tem como objetivo principal assegurar a ainda remanescente e rica biodiversidade deste bioma na Serra da Mantiqueira, e preservar nascentes e pontos de captação hídrica de importância regional. A APA Fernão Dias detém grande área de cobertura vegetal nativa composta por pequenos e isolados fragmentos de floresta estacional semidecidual, grandes e expressivos fragmentos de floresta ombrófila densa e alguns dos últimos e significativos fragmentos de floresta ombrófila mista do Brasil.

A abordagem sistêmica adotada nesta pesquisa permitiu a análise integrada do meio físico, a partir de estratégias baseadas em trabalhos de campo detalhados e espacialmente bem distribuídos, e a modelagem da paisagem real em ambiente de SIG. Assim, julgamos que os materiais utilizados e os procedimentos metodológicos adotados foram adequados ao objetivo proposto: mapear e propor alternativas para a implantação de corredores ecológicos na APA Fernão Dias.

O mapa de uso e cobertura do solo obtido por meio da classificação supervisionada MaxVer revelou que a classe *pastagem e campo sujo com cultivos agrícolas isolados* ocupa mais da metade da APA. A segunda cobertura que ocupa maior expressão areal refere-se ao conjunto integrado das três classes das formações florestais nativas. A matriz de contingência elaborada para a análise comparativa entre a classificação e as amostras de campo permitiu o cálculo do índice Kappa e revelou a confusão entre a floresta ombrófila densa e a floresta estacional semidecidual. Esta confusão foi atribuída à semelhança espectral entre estas classes e à descaracterização das bordas dos fragmentos de floresta densa, com presença de espécies arbóreas em diferentes estágios sucessionais e de espécies com maior proximidade florística com a floresta estacional semidecidual.

Os resultados do mapeamento pelo método de decisão *fuzzy*, das áreas de floresta ombrófila densa e floresta estacional semidecidual, mostraram que por meio dele é possível classificar estas formações florestais com maior eficiência e também, revelar a zona de transição

existente entre as mesmas. Por outro lado, este método de classificação supervisionada de imagens orbitais mostrou-se apto a evidenciar a taxa de mudança entre fenômenos geográficos, como ocorre nos ecótonos.

A regionalização da APA Fernão Dias em quatro geossistemas, subdivididos internamente em geofácies, foi fundamental para a escolha da área mais apta para a delimitação dos corredores ecológicos. A partir da caracterização destas unidades de paisagem em relação aos seus elementos naturais e às suas tendências atuais do uso e cobertura do solo, o geossistema Altos da Terra Fria configurou-se como o mais adequado à alocação espacial dos corredores ecológicos em razão de apresentar as seguintes particularidades:

- a) mais da metade de sua área coberta por remanescentes florestais;
- b) densa rede de drenagem, atuando como divisor das bacias dos rios Jaguari e Sapucaí-Mirim;
- c) relevo montanhoso que dificulta as atividades agropecuárias;
- d) apenas um aglomerado urbano, o distrito de Monte Verde;
- e) não apresentar vias asfaltadas significativas;
- f) ter, no reflorestamento de pinus e de eucalipto e no turismo ecológico, as principais atividades econômicas.

Os oito vetores de mobilidade potencial da fauna identificados e traçados a partir da conectividade dos remanescentes, em locais onde a distância entre as manchas dos fragmentos é mínima, integram toda a área dos corredores ecológicos. Além disto, apresentam a possibilidade de repovoamento vegetal de áreas ocupadas principalmente por reflorestamento de pinus, pastagem e campo sujo com cultivos agrícolas isolados.

Com o mapeamento dos corredores ecológicos, aqui proposto e fundamentado no conhecimento da área de estudo e em uma base cartográfica cuidadosamente elaborada, espera-se contribuir para ações de planejamento que complementem o programa de reabilitação de áreas degradadas existente no Plano de Gestão Ambiental da APA Fernão Dias. Entretanto, esta proposta deve ser seguida por outros estudos em diferentes escalas geográficas e áreas do conhecimento, seja pela biologia (avaliação florística e faunística) ou pelo direito (questões jurídicas ligadas à legislação ambiental de unidades de conservação).

A importância da proteção dos remanescentes de Mata Atlântica ainda existentes na APA Fernão Dias se insere em um contexto geográfico mais amplo, uma vez que esta unidade de

conservação está localizada na serra da Mantiqueira, na divisa de Minas Gerais com São Paulo, fazendo fronteira com as APAs São Francisco Xavier, Piracicaba Juqueiri-Mirim, Sistema Cantareira, Sapucaí-Mirim e Campos do Jordão e com as APAs federais da Serra da Mantiqueira e Bacia Hidrográfica do Paraíba do Sul. Com a preservação das áreas adjacentes à APA Fernão Dias, as possibilidades de recuperação da cobertura vegetal serão ampliadas e o fluxo de animais será favorecido.

As técnicas de geoprocessamento e análise espacial utilizadas nesta pesquisa, que deram suporte à elaboração da base de dados e à modelagem cartográfica em ambiente de SIG, podem ser consideradas como auxiliares no processo de tomada de decisão a partir das análises realizadas. Entretanto, a capacidade de decisão do pesquisador, embasada no conhecimento da área de estudo, deve ser incentivada.

Como sugestões para estudos futuros, indicamos:

- a) a aplicação dos procedimentos metodológicos baseados na análise integrada da paisagem, em outras unidades de conservação;
- b) a avaliação da possibilidade de implantação de estradas-parque junto aos corredores ecológicos mapeados para a APA Fernão Dias;
- c) e a realização de análises multitemporais, que servirão tanto ao prognóstico de cenários futuros para as áreas florestais - em razão do avanço do ecoturismo de massa e da silvicultura -, como também a simulação de cenários passados, visando a recomposição da fisionomia florestal original da APA.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AARS, J.; JOHANNESSEN, E.; IMS, R. A. Demographic consequences of movements in subdivided root vole populations. **Oikos**, Copenhagen, 85(2):204-216, 1999.

ALBANEZ, A. C. M. P. **Caracterização dos fragmentos florestais a partir de estudos de ecologia da paisagem para o Município de Ponte Nova, Minas Gerais**. 2000. 165p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2000.

ALMEIDA, F. F. M. Relações tectônicas das rochas alcalinas da região meridional da plataforma sul-americana. **Revista Brasileira de Geociências**, 13:139-158, 1983.

ALVES, F. R., RUBERTI, E. VLACH, S. R. F. Magmatismo meso-cenozóico da região da Serra da Mantiqueira, SP/MG. **Boletim IG-USP**, 12:7-9, 1992.

ALVES, C. A. **Estimativa da área impermeável dentro da bacia hidrográfica do Arroio Dilúvio (Porto Alegre/RS) através de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento**. 2004. 123p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2004.

AZZONE, R. G., RUBERTI, E., ENRICH, G. E. R., GOMES, C. B. Geologia e geocronologia do Maciço Alcalino Máfico-Ultramáfico Ponte Nova (SP-MG). **Geologia USP**, 9:23-46, 2009.

BALE, C. L.; WILLIAMS, J. B.; CHARLEY, J. L. The impact of aspect on forest structure and floristics in some Eastern Australian sites. **Forest Ecology and Management**, 110(1-3):363-377, 1998.

BERTRAND, G. Paisagem e geografia física global - esboço metodológico. **Caderno de Ciências da Terra**, 13:1-27, 1972.

BORROUGH, P. **Principles of geography information systems for land resources assessment**. Oxford: Oxford University Press, 1998. 333p.

BRASIL. Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000. Institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. Brasília: **Diário Oficial [da República Federativa do Brasil]**, 2000.

BRITO, M. C. W. de. **Unidades de conservação: intenções e resultados**. São Paulo: Annablume/FAPESP, 2000. 230p.

BRITO, F. **Corredores ecológicos: uma estratégia integradora na gestão de ecossistemas**. Editora da UFSC: Florianópolis, 2006. 273p.

BROTHERS, T. S.; SPINGAM, A. Forest fragmentation and alien plant invasion of central Indiana old-growth forests. **Conservation Biology**, 6:91-100, 1992.

BRUNER, A. G.; GULLISON, R. E.; RICE, R. E.; FONSECA, G. A. B. Effectiveness of parks in protecting tropical biodiversity. **Science**, 291(5501):125-128, 2001.

CÂMARA, G.; MEDEIROS, J. S. de. (Organizadores). **Geoprocessamento para projetos ambientais**. São José dos Campos: INPE, 1998. 188p.

CÂMARA, G. DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. (Organizadores). **Introdução à ciência da geoinformação**. São José dos Campos: INPE, 2001. 345p.

CASTRO, E. B. V.; FERNANDEZ, F. A. S. Determinants of differential extinction vulnerabilities of small mammals in Atlantic forest fragments in Brazil. **Biological Conservation**, 119:73-80, 2004.

CENDRERO, A.; FRANCES, E.; LATRUBESSE, E. M.; PRADO, R.; FABBRI, A.; PANIZZA, M.; CANTU, M. P.; HURTADO, M.; GIMENEZ, J. E.; MARTINEZ, O.; CABRAL, M.; TECCHI, R. A.; HAMITY, V.; FERMAN, J. L.; QUINTANA, C.; CECCIONI, A., RECATALÁ, L.; BAYER, M.; AQUINO, S. Projeto Relesa-Elanem: uma Nova Proposta Metodológica de Índices e Indicadores para Avaliação da Qualidade Ambiental. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, 3(1):33-47, 2002.

CHAVEZ, P. S. An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data. **Remote Sensing of Environment**, 24(3):459-479, 1988.

CHIARELLO, A. G. Effects of fragmentation of the Atlantic forest on mammal communities in south-eastern Brazil. **Biological Conservation**, 89(1):71-82, 1999.

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de Sistemas Ambientais**. São Paulo: Edgar Blücher, 1999. 236p.

COLLINGE, S. K. Ecological consequences of habitat fragmentation: implications for landscape architecture and planning. **Landscape and Urban Planning**, 36(1):59-77, 1996.

COLLINGE, S. K. Spatial arrangement of habitat patches and corridors: clues from ecological field experiments. **Landscape and Urban Planning**, 42(2):157-168, 1998.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. Resolução Conama n° 009, de 24 de outubro de 1996. Estabelece corredor de vegetação área de trânsito a fauna. Brasília: **Diário Oficial [da República Federativa do Brasil]**, 1996.

CONGALTON, R. G.; ODERWALD, R. O.; MEAD, R. A. Assessing landsat classification accuracy using discrete multivariate analysis statistical techniques. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, 49(12):1671-1678, 1983.

CPRM. **Serviço Geológico do Brasil**. Mapa geológico do estado de Minas Gerais. Escala: 1:1.000.000. Rio de Janeiro, 2003.

CRÓSTA, A. P. **Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto**. Campinas: IG/UNICAMP, 1992. 170p.

DARIO, F. R. **Influência de corredor florestal entre fragmentos da mata Atlântica utilizando-se a avifauna como indicado ecológico**. 1999. 172p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de São Paulo, Piracicaba, 1999.

DIDHAM, R. K. The influence of edge effects and forest fragmentation on leaf litter invertebrates in Central Amazonia. In: LAURANCE, W. F.; BIERREGAARD, R. O. (Editors). **Tropical forest remnants: ecology, management, and conservation of fragmented communities**. Chicago: The University of Chicago Press, 1997. p. 55-70.

DRUMMOND, G. M.; MARTINS, C. S.; MACHADO, A. B. M.; SEBAIO, F. A.; ANTONINI, Y. **Biodiversidade em Minas Gerais**. Belo Horizonte: Fundação Biodiversitas, 2005.

DU, K.-L. Clustering: a neural network approach. **Neural Networks**, 23:89-107, 2010.

EASTMAN, J. R.; JIN, W.; KYEM, P. A. K.; TOLEDANO J. Raster procedures for multi-criteria/multi-objective decisions. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**. 61(5):539-547, 1995.

EASTMAN, J. R. **IDRISI Andes: Guide to GIS and Image Processing**. Worcester: Clark University, 2006. 327p.

FADUL, M. J. do A.; FIDALGO, E. C. C.; PEDREIRA, B. da C. C. G.; PRADO, R. B. Análise da correção atmosférica de imagens Landsat em estudo multitemporal na região de Mata Atlântica, estado do Rio de Janeiro. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14., 2009, Natal. **Anais...** Natal: INPE, 2009. p.1339-1345.

FERREIRA, A. de B.; ALCOFORADO, M. J.; VIEIRA, G. T.; MORA, C.; JANSEN, J. Metodologias de análises e de classificação das paisagens. O exemplo do projecto estrela. **Finisterra**, 36(72):157-178, 2001.

FERREIRA, M. C. Análise espacial da densidade de drenagem em Sistema de Informação Geográfica através de um modelo digital de distâncias interfluviais. **Geociências**, 18(1):7-22, 1999.

FERREIRA, M. C. **Procedimento metodológico para modelagem cartográfica e análise regional de epidemias de dengue em sistema de informação geográfica**. 2003. 231p. Tese (Livre-docência) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

FERREIRA, M. C. Considerações teórico-metodológicas sobre as origens e a inserção do Sistema de Informação Geográfico na geografia. In: VITTI, A. C. **Contribuições à história e à epistemologia da geografia**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2006. p.101-125.

FERREIRA, M. F. M.; OLIVEIRA, R. L. de S.; GARÓFALO, D. F. T. Delimitação e caracterização das unidades de paisagem da região de Alfenas, sul de Minas Gerais, a partir de dados do radar SRTM e imagem orbital ETM+ Landsat 7. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA, 7., 2008, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: IGC, 2008.

FISCHER, M. M.; SCHOLTEN, H. J.; UNWIN, D. Geographic information systems, spatial data analysis and spatial modeling: an introduction. In: FISCHER, M. M; SCHOLTEN, H. J.; UNWIN, D. (Editors). **Spatial Analytical Perspectives on GIS**. London: Taylor & Francis, 1996. p.3-19

FITZPATRICK-LINS, K. Comparison of sampling procedures and data analysis for a land-use and land-cover map. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, 47(3):343-351, 1981.

FLASPOHLER, D. J.; TEMPLE, S. A.; ROSENFIELDS, R. N. Effects of forest edges on ovenbird demography in a managed forest landscape. **Conservation Biology**, 15(1):173-183, 2001.

FLORENZANO, T. G. **Imagens de satélite para estudos ambientais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2004. 97p.

FORMAN, R. T. T.; GODRON, M. **Landscape Ecology**. New York: John Wiley & Sons, 1986. 619p.

FORMAN, R. T. T. **Land mosaics: the ecology of landscape end regions**. Cambridge: Cambridge University Press, 1995. 632p.

FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA. Disponível em: <<http://www.sosmatatlantica.org.br/>>. Acessado em: 10 ago. 2009.

GANEM, R. S. **Corredores Ecológicos**. Brasília: Consultoria Legislativa da Câmara dos Deputados, 2005. 16p.

GOODCHILD, M. F. **What is Geographic Information Science?** NCGIA Core Curriculum in Geographic Information Science, 1997. Disponível em: <<http://www.ncgia.ucsb.edu/giscc/units/u002/u002.html>>. Acessado em: 4 mai. 2010.

HOEFFEL, J. L. de M.; FADINI, A. A. B.; BARBOSA, J. E. do C.; FERMINO, E. da S. Área de Proteção Ambiental (APA) Fernão Dias/MG - transformações socioambientais na bacia hidrográfica do rio Jaguaru. **Climatologia e Estudos da Paisagem**, 3(1):39-60, 2008.

IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Cartas topográficas Munhoz, Cambuí, Extrema, Camanducaia, Paraisópolis, Campos do Jordão, Monteiro Lobato e Tremembé. Escala 1:50.000, 1977.

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

IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acessado em: 11 set. 2009.

IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>>. Acessado em: 10 nov. 2010.

IBITU CONSULTORIA AMBIENTAL. **APA Fernão Dias - Plano de Gestão Ambiental**. Minas Gerais: IBITU/DER-MG, 1998. 296p.

IEF. **Instituto Estadual de Florestas**. Disponível em: <<http://www.ief.mg.gov.br>>. Acessado em: 17 ago. 2009.

INPE. **Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais**. Disponível em: <<http://www.inpe.br/>>. Acessado em: 19 abr. 2010.

JONES, H.G. **Plants and microclimate - a quantitative approach to environmental plant physiology**. Cambridge: Cambridge University Press, 1992. 428p.

LANDIS, J. R.; KOCH, G. G. The measurement of observer agreement for categorical data. **Biometrics**, 33(1):159-174, 1977.

LAURANCE, W. F. Physical processes and edge effects: introduction. In: LAURANCE, W. F.; BIERREGAARD, R. O. (Editors). **Tropical forest remnants: ecology, management, and conservation of fragmented communities**. Chicago: The University of Chicago Press, 1997. p. 29-31.

LAURANCE, W. F.; BIERREGAARD, R. O.; GASCON, C.; DIDHAM, R. K.; SMITH, A. P.; LYNAM, A. L.; VIANA, V. M.; LOVEJOY, T. E.; SIEVING, K. E.; SITES, J. X.; ANDERSEN, M.; TOCHER, M. D.; KRAMER, E. A.; RESTREPO, C.; MORITZ, C. Tropical forest fragmentation: synthesis of a diverse and dynamic discipline. In: LAURANCE, W. F.; BIERREGAARD, R. O. (Editors). **Tropical forest remnants: ecology, management, and conservation of fragmented communities**. Chicago: The University of Chicago Press, 1997. p. 502-514.

LAURANCE, S. G.; LAURANCE, W. F. Tropical wildlife corridors: use of linear rainforest remnants by arboreal mammals. **Biological Conservation**, (91)2-3:231-239, 1999.

LAURANCE, W. F.; LOVEJOY, T. E.; VASCONCELOS, H. L.; BRUNA, E. M.; DIDHAM, R. K.; STOUFFER, P. C.; GASCON, C.; BIERREGAARD, R. O.; LAURANCE, S. G.; SAMPAIO, E. Ecosystem decay of Amazonian forest fragments: a 22-year investigation. **Conservation Biology**, 16(3):605-618, 2002.

LILLESAND, T. M.; KIEFER, R. W.; CHIPMAN, J. W. **Remote Sensing and Image Interpretation**. New York: John Wiley & Sons, 2004. 763p.

MAILING, D. H. **Measurements from maps: principles and methods of cartometry**. Oxford: Pergamon Press, 1989. 577p.

MATLACK, G. R. Microenvironment variation within and among forest edge sites in the eastern United States. **Biological Conservation**, 66:185-194, 1993.

METZGER, J. P. O que é ecologia de paisagens? **Biotaneotropica**, 1(1/2):1-9, 2001.

MEIRELES, L. D. **Florística das fisionomias vegetacionais e estrutura da floresta alto-montana de Monte Verde, serra da Mantiqueira, MG.** 2003. 94p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

MINAS GERAIS (Estado). Decreto nº 38.925, de 17 de julho de 1997. Declara de proteção ambiental áreas de interesse ecológico situadas nas bacias hidrográficas dos Rios Jaguari, Sapucaí-Mirim e Sapucaí, e dá outras providências. Minas Gerais: **Diário do Executivo**, 1997.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). **Primeiro relatório nacional para a convenção sobre diversidade biológica: Brasil.** Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 1998.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). **Pilares para a Sustentabilidade Financeira do Sistema Nacional de Unidades de Conservação.** Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2009.

MONTEIRO, C. A. F. **Geossistemas: a história de uma procura.** São Paulo: Contexto, 2000. 127p.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação.** Viçosa: Ed. UFV, 2005. 320p.

NOVO, E. M. L. de M. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações.** São Paulo: Edgard Blucher, 2008. 363p.

O'BRIEN, L. Describing Geographical Data. In: O'BRIEN, L. **Introducing Quantitative Geography: Measurement, Methods, and Generalised.** London: Routledge, 1992. p.9-33.

O'NEILL, R. V.; KRUMEL, J. R.; GARDNER, R. H.; SUGIHARA, G.; JACKSON, B.; DEANGELIS, D. L.; MILNE, B. T.; TURNER, M. G.; ZYGMUNT, B.; CHRISTENSEN, S. W.; DALE, V. H.; GRAHAM, R. L. Indices of landscape pattern. **Landscape Ecology**, 1(3):153-162, 1988.

PERAULT, D. R.; LAMOLINO, M. V. Corridors and mammal community structure across a fragmented, old-growth forest landscape. **Ecological Monographs**, 70(2):401-422, 2000.

PERES, C. A. Synergistic effects of subsistence hunting and habitat fragmentation on amazonian Forest vertebrates. **Conservation Biology**, 15(6):1490-1505, 2001.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURU, Y. E. **Sensoriamento remoto no estudo da vegetação.** São José dos Campos: A. Silva Vieira Ed., 2007. 127p.

PONZONI, F. J. ; ZULLO JUNIOR, J.; LAMPARELLI, R. A. C. **Calibração absoluta de sensores orbitais: conceituação, principais procedimentos e aplicação.** São José dos Campos: Parêntese, 2007. 72 p.

RANNEY, J. W., BRUNER, M. C. AND LEVENSON, J. B., 1981. The importance of edge in the structure and dynamics of forest islands. In: BURGESS, R. L.; SHARPE, D. M. (Editors). **Forest Island Dynamics in Man-Dominated Landscapes.** New York: Springer, 1981. p. 68-95.

RIZZINI, C. T. **Tratado de fitogeografia do Brasil: aspectos sociológicos e florísticos.** São Paulo: HUCITEC/EDUSP, 1979.

RYLANDS, A. B.; BRANDON, K. Unidades de conservação brasileiras. **Megadiversidade**, 1(1):27-35, 2005.

RODRIGUES, C. A teoria geossistêmica e sua contribuição aos estudos geográficos e ambientais. **Revista do Departamento de Geografia**, 14:69-77, 2001.

ROUSE, J. W.; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. In: EARTH RESOURCES TECHNOLOGY SATELLITE SYMPOSIUM, 3., 1973, Washington. **Proceedings...** Washington: NASA, 1973. p.309-317.

SANTOS, J. S. M. **Análise da paisagem de um corredor ecológico na Serra da Mantiqueira.** 2003. 174p. Dissertação (Mestrado) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2003.

SCOLFORO, J. R. S.; CARVALHO, L. M. T. **Mapeamento e inventário da flora nativa e dos reflorestamentos de Minas Gerais.** Lavras: UFLA, 2006. 288p.

SILVA, J. X. da. Geoprocessamento em estudos ambientais: uma perspectiva sistêmica. In: MEIRELLES, M. S. P.; CAMARA, G.; ALMEIDA, C. M. de (Editores). **Geomática: modelos e aplicações ambientais.** Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2007. p. 23-53.

SIMBERLOFF, D.; FARR, J. A.; COX, J.; MEHLMAN, D. W. Movement corridors: conservation bargains or poor investments? **Conservation Biology**, 6:493-504, 1992.

SKOLE, D.; TUCKER, C. Tropical deforestation and habitat fragmentation in the Amazon: Satellite data from 1978 to 1988. **Science**, 260(5116):1905-1910, 1993.

SMITH, D. S.; HELLMUND, P. C. (Editors) **Ecology of greenways: design and function of linear conservation areas.** Minneapolis: University of Minnesota Press, 1993. 222p.

SODHI, N. S.; BRIFFETT, C.; KONG, L.; YUEN, B. Bird use of linear areas of a tropical city: implications for park connector design and management. **Landscape and Urban Planning**, 45(2-3):123-130, 1999.

SOUZA, A. F.; FORGIARINI, C.; LONGHI, S. L.; BRENA, D. A. Regeneration patterns of a long-lived dominant conifer and the effects of logging in southern South America. **Acta Oecologica**, 34(2):221-232, 2008.

STEVENS, S. M.; HUSBAND, T. P. The influence of edge on small mammals: evidence from Brazilian Atlantic forest fragments. **Biological Conservation**, 85(1-2):1-8, 1998.

STRATFORD, J. A.; STOUFFER, P. C. Local extinctions of terrestrial insectivorous birds in a fragmented landscape near Manaus, Brazil. **Conservation Biology**, 13(6):1416-1423, 1999.

STORY, M.; CONGALTON, R. G. Accuracy assessment: a user's perspective. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, 52(3):397-399, 1986.

TABARELLI, M.; MANTOVANI, W.; PERES, C. A. Effects of habitat fragmentation on plant guild structure in the montane Atlantic forest of southeastern Brazil. **Biological Conservation**, 91(2-3):119-127, 1999.

TROPPEMAIR, H. Ecosistemas e Geossistemas do Estado de São Paulo. **Boletim de Geografia Teorética**. Rio Claro, 13(25):27-36, 1983.

TROPPEMAIR, H. **Geossistemas e geossistemas paulistas**. Rio Claro: Edição do autor, 2000. 105p.

TURNER, M. G.; GARDNER, R. H. (Editors). **Quantitative methods in landscape ecology**. New York: Springer, 1991. 536 p.

VIANA, V. M. Biologia e manejo de fragmentos florestais naturais. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 6., 1990, Campos do Jordão. **Anais...** Campos do Jordão: SBS/SBEF, 1990. p.113-118.

VIANA, V. M.; PINHEIRO, L. A. F. V. Conservação da biodiversidade em fragmentos florestais. **Série técnica IPEF**, 12(32):25-42, 1998.

WANG, F. Improving remote sensing image analysis through fuzzy information representation. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, 56(8):1163-1169, 1990.

WANG, F.; HALL, G. B. Fuzzy representation of geographical boundaries in GIS. **International Journal of Geographical Information Systems**, 10(5):573-590, 1996.

WATRIN, O. dos S.; FILHO, M. V.; SANTOS, J. R. dos. Transformação por Componentes Principais e por decorrelação de bandas aplicadas à caracterização de feições da paisagem do nordeste paraense. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 8., 1998, Salvador. **Anais...** Salvador: INPE, 1996. p. 435-441.

WEGNER, J.; MERRIAM, G. Movements by bird and small mammals between a wood and adjoining farmland habitats. **Journal Applied Ecology**, 16:349-357, 1979.

WERNICK, E. **Rochas magmáticas: conceitos, fundamentos e classificação modal, química, termodinâmica e tectônica.** São Paulo: UNESP, 2004. 656p.

WILSON, E. O (Editor). **Biodiversity.** Washigton: National Academy Press, 1988. 496p.

XAVIER, S. **Geoprocessamento e SIG.** Rio de Janeiro: IGEO, 2000. 104p.

ZONNEVELD, I. S. The land unit - A fundamental concept in landscape ecology, and its applications. **Landscape Ecology**, 3(2): 67-86, 1989.

ANEXO 1

Planilha - Campo I

PONTO	USO DA TERRA TEMA PRINCIPAL	USO DA TERRA TEMA SECUNDÁRIO	COORDENADAS		ALTITUDE (M)
			X	Y	
1	Fl. omb. densa	Área urbana	364244	7471841	889
2	Fl. omb. densa	Campo sujo	364800	7473959	902
3	Fl. omb. densa	-----	365220	7469186	1470
4	Fl. omb. densa	Área urbana	364528	7470279	1080
5	Pastagem	Ocupação urbana esparsa	381564	7481461	943
6	Pastagem	-----	381759	7479965	940
7	Cultivo de café	-----	381850	7480500	960
8	Refl. pinus e eucalipto	-----	383846	7476801	1366
9	Pastagem	Fl. omb. densa	383839	7476864	1362
10	Refl. eucalipto	-----	384002	7475767	1292
11	Fl. omb. densa	-----	385230	7475149	1260
12	Ocupação urbana esparsa	Fl. omb. densa	386402	7475476	1266
13	Refl. pinus	-----	388253	7476983	1279
14	Fl. omb. densa	Refl. pinus e eucalipto	387490	7476240	1271
15	Fl. omb. densa	Fl. omb. mista	387214	7476143	1271
16	Refl. eucalipto	-----	388984	7475655	1330
17	Refl. pinus	Fl. omb. mista	389956	7475150	1355
18	Fl. omb. densa	-----	390421	7475049	1374
19	Fl. omb. densa	-----	392940	7475177	1388
20	Refl. pinus e eucalipto	-----	391272	7473454	1371
21	Fl. omb. mista	Refl. eucalipto	390670	7471726	1510
22	Fl. omb. densa	Ocupação urbana esparsa	392860	7470314	1583
23	Fl. omb. densa	Afloramento rochoso	393139	7468774	1813
24	Fl. omb. densa	-----	393148	7469119	1772
25	Fl. omb. densa	Ocupação urbana esparsa	394859	7469142	1885
26	Afloramento rochoso	Fl. omb. densa	394500	7468820	1963
27	Afloramento rochoso	Fl. omb. densa	394177	7468628	1955
28	Fl. ombrófila densa	-----	388243	7472380	1545
29	Cultivo de milho	-----	357005	7469182	869
30	Mineração	Campo sujo	349602	7463389	850
31	Cultivo de milho	Cultivo de milho	352796	7483527	1141
32	Cultivo de batata	-----	353251	7484752	1080
33	Cultivo de brássicas	-----	355000	7486200	1160
34	Cultivo de batata	Cultivo de tomate	356488	7486269	1100
35	Cultivo de feijão	-----	357831	7485803	1105
36	Cultivo de batata	Cultivo de tomate	357091	7486343	1143
37	Fl. omb. densa	Pastagem	354148	7486510	1110

ANEXO 2

Planilha - Campo II

PONTO	USO DA TERRA TEMA PRINCIPAL	USO DA TERRA TEMA SECUNDÁRIO	COORDENADAS		ALTITUDE (M)
			X	Y	
38	Área urbana	Pastagem	384423	7482977	1175
39	Solo exposto	Cultivo de milho	384689	7482530	1233
40	Cultivo de batata	Cultivo de brássicas	385347	7482084	1225
41	Fl. est. semidecidual	-----	386027	7481304	1203
42	Cultivo de brássicas	Pastagem	387438	7481532	1226
43	Fl. omb. densa	Pastagem	389141	7481948	1365
44	Refl. eucalipto	-----	390112	7481305	1466
45	Fl. omb. densa	Ocupação urbana esparsa	391371	7479062	1366
46	Fl. omb. mista	Cultivo de milho	393652	7480061	1337
47	Refl. eucalipto	-----	395257	7481108	1342
48	Cultivo de brássicas	Refl. eucalipto	395549	7481281	1363
49	Cultivo de brássicas	-----	396080	7481550	1394
50	Solo exposto	Refl. pinus	397050	7481574	1439
51	Fl. omb. densa	Ocupação urbana esparsa	398363	7481855	1386
52	Fl. omb. mista	Fl. omb. densa	398658	7481822	1403
53	Fl. omb. mista	-----	399041	7481912	1422
54	Fl. omb. mista	-----	402935	7483275	1441
55	Cultivo de milho	Pastagem	406322	7484948	1459
56	Ocupação urbana esparsa	Fl. omb. densa	407777	7485364	1500
57	Fl. omb. densa	Cultivo de batata	410555	7486182	1724
58	Pastagem	Fl. omb. densa	413656	7491186	1511
59	Pastagem	-----	414000	7491272	1550
60	Fl. omb. densa	Campo sujo	415780	7490691	1448
61	Campo sujo	Fl. omb. densa	416145	7491049	1471
62	Pastagem	Fl. omb. densa	415271	7489563	1500
63	Fl. omb. mista	-----	412174	7494571	1258
64	Pastagem	Fl. omb. densa	409617	7496472	1130
65	Pastagem	Cultivo de feijão	409139	7497425	1102
66	Pastagem	-----	409450	7498363	1055
67	Ocupação urbana esparsa	Pastagem	409308	7500441	962
68	Fl. est. semidecidual	Pastagem	410804	7502620	1063
69	Pastagem	Ocupação urbana esparsa	411411	7503197	1016
70	Pastagem	Fl. est. semidecidual	412222	7503977	980
71	Pastagem	Fl. est. semidecidual	414820	7506420	876
72	Fl. est. semidecidual	Pastagem	416323	7508302	905
73	Campo sujo	Pastagem	422129	7497686	871
74	Fl. est. semidecidual	Pastagem	420466	7496721	885
75	Cultivo de banana	Fl. est. semidecidual	415890	7495227	947
76	Fl. omb. densa	Fl. omb. mista	410427	7493400	1438
77	Solo exposto	Ocupação urbana esparsa	406705	7493575	1346
78	Pastagem	Área urbana	399430	7494747	1326

ANEXO 3

Planilha - Campo III

PONTO	QUADRANTE	COORDENADAS		USO NA IMAGEM	USO VERIFICADO
		X	Y	CLASSIFICADA - MAXVER	NO CAMPO
79	1	386.045	7.489.231	Solo exposto	OK
80	1	386.448	7.489.851	Pastagem com cultivo agrícola	OK
81	1	387.303	7.488.967	Pastagem com cultivo agrícola	OK
82	1	387.663	7.490.543	Pastagem com cultivo agrícola	OK
83	1	387.996	7.490.318	Fl. est. semidecidual	OK
84	1	390.092	7.489.234	Pastagem com cultivo agrícola	OK
85	1	391.047	7.490.405	Pastagem com cultivo agrícola	OK
86	1	391.293	7.489.802	Pastagem com cultivo agrícola	OK
87	1	393.971	7.488.552	Pastagem com cultivo agrícola	OK
88	1	394.184	7.489.844	Pastagem com cultivo agrícola	OK
89	1	394.681	7.489.806	Pastagem com cultivo agrícola	OK
90	2	397.661	7.487.549	Solo exposto	OK
91	2	398.494	7.488.896	Fl. omb. mista	OK
92	2	401.620	7.488.547	Pastagem com cultivo agrícola	OK
93	2	402.813	7.488.986	Fl. omb. densa	OK
94	2	404.298	7.489.571	Fl. est. semidecidual	OK
95	2	404.777	7.487.746	Fl. omb. densa	OK
96	2	405.639	7.490.882	Pastagem com cultivo agrícola	OK
97	2	406.264	7.491.512	Pastagem com cultivo agrícola	OK
98	2	407.209	7.490.641	Pastagem com cultivo agrícola	OK
99	2	407.780	7.491.457	Pastagem com cultivo agrícola	OK
100	2	407.764	7.489.959	Fl. est. semidecidual	OK
101	3	409.443	7.490.158	Fl. omb. mista	Fl. omb. densa
102	3	413.226	7.490.759	Pastagem com cultivo agrícola	OK
103	3	410.524	7.489.861	Fl. est. semidecidual	OK
104	3	412.446	7.489.911	Pastagem com cultivo agrícola	OK
105	3	413.797	7.489.595	Fl. est. semidecidual	Fl. omb. densa
106	3	415.275	7.488.670	Fl. omb. mista	OK
107	3	414.152	7.488.370	Pastagem com cultivo agrícola	OK
108	3	413.880	7.487.376	Fl. est. semidecidual	Fl. omb. densa
109	3	415.492	7.484.848	Fl. omb. densa	OK
110	3	416.770	7.484.616	Fl. omb. densa	OK
111	3	417.428	7.485.170	Fl. omb. densa	OK
112	3	413.069	7.488.077	Fl. est. semidecidual	Fl. omb. densa
113	3	411.522	7.486.885	Pastagem com cultivo agrícola	OK
114	3	410.978	7.487.668	Fl. omb. mista	OK
115	3	410.328	7.487.933	Afloramento rochoso	OK
116	3	412.223	7.486.347	Pastagem com cultivo agrícola	OK
117	3	411.462	7.485.510	Fl. est. semidecidual	Fl. omb. densa
118	2	404.072	7.485.064	Fl. omb. densa	OK

Planilha - Campo III - Continuação

119	2	404.179	7.484.627	Refl. pinus	OK
120	2	404.948	7.484.878	Fl. omb. densa	OK
121	4	400.834	7.483.142	Pastagem com cultivo agrícola	OK
122	4	401.673	7.482.477	Fl. omb. densa	OK
123	4	402.101	7.480.332	Fl. omb. densa	OK
124	4	404.426	7.481.761	Fl. omb. densa	OK
125	4	403.756	7.479.951	Refl. pinus	OK
126	4	406.471	7.480.039	Pastagem com cultivo agrícola	OK
127	4	406.746	7.482.445	Refl. pinus	OK
128	4	407.385	7.481.737	Fl. omb. densa	OK
129	4	408.729	7.481.604	Pastagem com cultivo agrícola	OK
130	4	407.634	7.479.042	Fl. omb. densa	OK
131	4	410.160	7.478.881	Fl. est. semidecidual	OK
132	4	411.101	7.480.186	Fl. omb. densa	OK
133	5	413.615	7.481.540	Fl. omb. mista	OK
134	5	415.302	7.481.764	Fl. est. semidecidual	Fl. omb. densa
135	5	415.008	7.482.464	Fl. omb. densa	OK
136	5	415.501	7.479.534	Pastagem com cultivo agrícola	OK
137	5	416.968	7.479.945	Pastagem com cultivo agrícola	OK
138	5	418.784	7.479.366	Pastagem com cultivo agrícola	OK
139	5	419.518	7.480.132	Fl. est. semidecidual	OK
140	5	420.381	7.479.531	Pastagem com cultivo agrícola	OK
141	5	422.121	7.478.767	Pastagem com cultivo agrícola	OK
142	5	424.096	7.479.079	Pastagem com cultivo agrícola	OK