



DANILO FRANCISCO TROVO GAROFALO

**MAPEAMENTO DE FRAGILIDADE AMBIENTAL POR MEIO DE ANÁLISE
ESPACIAL: UM EXEMPLO DA ALTA BACIA DOS RIOS PIRACICABA E SAPUCAÍ
MIRIM – APA FERNÃO DIAS – MG**

CAMPINAS
2013



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

DANILO FRANCISCO TROVO GAROFALO

**MAPEAMENTO DE FRAGILIDADE AMBIENTAL POR MEIO DE ANÁLISE
ESPACIAL: UM EXEMPLO DA ALTA BACIA DOS RIOS PIRACICABA E SAPUCAÍ
MIRIM – APA FERNÃO DIAS – MG**

ORIENTADOR: PROF. DR. MARCOS CÉSAR FERREIRA

Dissertação apresentada ao Instituto de Geociências como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Geografia, Análise Ambiental e Dinâmica Territorial.

**ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE À VERSÃO FINAL
DA DISSERTAÇÃO DEFENDIDA PELO ALUNO DANILO
FRANCISCO TROVO GAROFALO E ORIENTADO PELO
PROF. DR. MARCOS CÉSAR FERREIRA.**

CAMPINAS
2013

Ficha catalográfica
Universidade Estadual de Campinas
Biblioteca do Instituto de Geociências
Cássia Raquel da Silva - CRB 8/5752

G19m Garofalo, Danilo Francisco Trovo, 1986-
Mapeamento de fragilidade ambiental por meio de análise espacial : um exemplo da alta bacia dos rios Piracicaba e Sapucaí-Mirim - APA Fernão Dias - MG / Danilo Francisco Trovo Garofalo. – Campinas, SP : [s.n.], 2013.

Orientador: Marcos César Ferreira.
Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Geociências.

1. Área de Proteção Ambiental Fernão Dias (MG). 2. Sistema de informação geográfica. 3. Análise espacial. I. Ferreira, Marcos César, 1957-. II. Universidade Estadual de Campinas. Instituto de Geociências. III. Título.

Informações para Biblioteca Digital

Título em outro idioma: Environmental risk suitability áreas mapping using spatial analysis techniques : a case study in the Piracicaba and Sapucaí upper river basin, Fernão Dias EPA

Palavras-chave em inglês:

Environmental Protection Area Fernao Dias (MG)

Geographic information system

Spatial analysis

Área de concentração: Análise Ambiental e Dinâmica Territorial

Titulação: Mestre em Geografia

Banca examinadora:

Marcos César Ferreira [Orientador]

José Flávio de Castro

Édson Luis Bolfe

Data de defesa: 02-07-2013

Programa de Pós-Graduação: Geografia

Unidade BCC
T/UNICAMP

Cutter G19m

V. 1 Ed.

Tombo BC 202085

Proc. 16-94-13

C D X

Preço R\$11,00

Data 12/11/13

Cod. tit. 914228



UNICAMP

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

AUTOR: Danilo Francisco Trovo Garofalo

**"MAPEAMENTO DE FRAGILIDADE AMBIENTAL POR MEIO DE ANÁLISE ESPACIAL: UM
EXEMPLO DA ALTA BACIA DOS RIOS PIRACICABA E SAPUCAÍ-MIRIM – APA FERNÃO
DIAS - MG"**

ORIENTADOR: Prof. Dr. Marcos César Ferreira

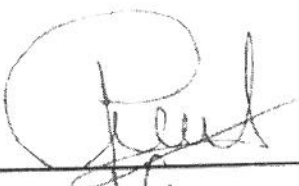
Aprovado em: 02 / 07 / 2013

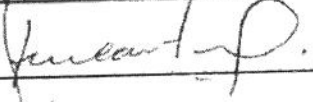
EXAMINADORES:


Prof. Dr. Marcos César Ferreira

Prof. Dr. José Flávio de Moraes Castro

Dr. Edson Luis Bolfe



- Presidente




Campinas, 02 de julho de 2013.⁴

Este trabalho é dedicado à minha mãe,
Márcia Aparecida Trovó, que tem
devotado grande parte de sua vida
às conquistas de seus filhos.

AGRADECIMENTOS

À Deus, pela vida.

Ao Prof. Dr. Marcos César Ferreira, pelo privilégio de sua impecável orientação, pela confiança depositada, e, especialmente, pela amizade construída ao longo deste trabalho.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - FAPESP, pelo auxílio financeiro concedido a esta pesquisa.

Ao Programa de Pós-Graduação em Geografia do Instituto de Geociências, pela acolhida e conhecimentos adquiridos.

Aos Professores, membros da banca examinadora: Dr. José Flávio de Castro, do Programa de Pós-Graduação em Geografia da PUC Minas, e Dr. Édson Luis Bolfe, da Embrapa Monitoramento por Satélite, pela participação, correções e sugestões.

Ao Prof. Dr. José Flávio de Castro e ao Prof. Dr. Lindon Fonseca Matias, do Instituto de Geociências da Unicamp, pelas sugestões durante a qualificação que ajudaram a enriquecer o trabalho.

À todos os funcionários e professores do Programa de Pós-Graduação em Geografia do Instituto de Geociências da Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, em especial à Valdirene Pinotti e Maria Gorete, da secretaria da Pós, pela presteza, eficiência e amizade.

Aos companheiros e amigos de laboratório, Cassiano G. Messias e Gracieli Trentin, pelo companheirismo, amizade, e sábias discussões. Também agradeço àqueles que fizeram e fazem parte do grupo de pesquisa *Métodos Avançados de Análise Geoespacial*, Marco Antônio Rodrigues, Eliana Corrêa A. de Mattos, Amélia M. Kubota, Ana Isabel P. Moretti, Edson A. Mengatto Jr. e Daniel Dias de Andrade.

Aos colegas do Instituto de Geociências, em especial aos amigos Maria Isabel F. P. de O. Martins (Bel), Fernanda Otero, Tissiana Souza, Natalia P. Martins, Leônidas M. Malvestio, Douglas C. Leal e Ana Luisa Ribeiro, pelos ensinamentos, momentos de descontração e amizade.

À minha mãe, Márcia, pelo exemplo, dedicação e carinho.

À minha namorada Ingrid, que mesmo distante esteve presente ao longo de todo o desenvolvimento desta pesquisa, auxiliando com ideias, sugestões, e com valiosas discussões durante o trabalho.

À minha família, base da minha vida, que sempre me apoiou para que eu atingisse as minhas metas

A todos que diretamente ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

Muito obrigado...



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

**MAPEAMENTO DE FRAGILIDADE AMBIENTAL POR MEIO DE ANÁLISE
ESPACIAL: UM EXEMPLO DA ALTA BACIA DOS RIOS PIRACICABA E SAPUCAÍ
MIRIM – APA FERNÃO DIAS – MG**

RESUMO

Dissertação de Mestrado

DANILO FRANCISCO TROVO GAROFALO

Nas últimas décadas, o Brasil tem sido palco de constante supressão das matas e consequente fragmentação florestal, causando um aumento significativo nos processos de erosão dos solos e alterações na dinâmica hidrológica e geomorfológica dos sistemas ambientais. Neste contexto, o propósito deste trabalho foi analisar a inter-relação dos componentes físicos, bióticos e antrópicos na APA Fernão Dias-MG por meio de um método geoespacial do mapeamento da fragilidade ambiental, que utiliza como variáveis ambientais, o índice de vegetação, a probabilidade de ocorrência de chuvas intensas, declividades, densidade de lineamentos estruturais e a densidade de estradas. Esta proposta de mapeamento de fragilidade ambiental foi desenvolvida a partir de uma abordagem sistêmica e na análise espacial: a) mapas temáticos das variáveis ambientais associadas à fragilidade ambiental, gerados exclusivamente para a APA Fernão Dias-MG; b) metodologia para determinação dos pesos atribuídos às variáveis ambientais, baseada em teste estatístico Kolmogorov-Smirnov; c) metodologia para a elaboração de mapas de fragilidade, baseada na lógica fuzzy e em sistemas de informação geográfica – SIG. d) análise dos resultados da fragilidade ambiental por bacias hidrográficas. Os resultados indicam que bacias hidrográficas da porção centro leste da APA são as que apresentam maior fragilidade, mesmo estas apresentando remanescentes florestais significativos. Já na porção oeste da APA, principalmente nos trechos circundantes à Rodovia Fernão Dias, as áreas de alta fragilidade ocorrem onde a expansão urbana é mais desordenada, e, nas demais áreas desta porção da APA, as mais frágeis são aquelas que concentram cultivos anuais e pastagens degradadas e vias não pavimentadas.

Palavras-chave: APA Fernão Dias, Fragilidade Ambiental, mapeamento de risco, SIG, Teste estatístico Kolmogorov-Smirnov, Análise Espacial.



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

**METODOLOGIA PARA MAPEAMENTO DE FRAGILIDADE AMBIENTAL POR
MEIO DE ANÁLISE ESPACIAL: UM EXEMPLO DA ALTA BACIA DOS RIOS
PIRACICABA E SAPUCAÍ MIRIM – APA FERNÃO DIAS – MG**

**Environmental risk suitability areas mapping using spatial analysis techniques: a case
study in the Piracicaba and Sapucaí upper river basin, Fernao Dias EPA.**

ABSTRACT

Dissertação de Mestrado

DANILO FRANCISCO TROVO GAROFALO

In the last decades, Brazil has been the scenery of constant forests clear cuts and forest fragmentation, causing a significant increase in the soil erosion process and changes in hydrological and geomorphological dynamics of environmental systems. In this context, the purpose of this study was to analyze the relationship between physical, biotic and anthropogenic components in the Fernao Dias Environmental Protection Area (EPA), and to propose a geospatial method for environmental fragility areas mapping. This method uses the following environmental factors: vegetation index, heavy rains occurrence probability, terrain slope, structural lineaments density and road density. This methodology was based on the following steps: a) thematic maps of environmental variables associated with environmental fragility, surveyed to the Fernao Dias EPA; b) estimation of environmental variables weights, based on Kolmogorov-Smirnov statistical test; c) fragility mapping, based on Fuzzy logic and geographic information systems – GIS; d) analysis of environmental fragility of watersheds results. The results indicated that watersheds located on the east central portion of the EPA are those with greater fragility, even those presenting significant remaining forest. In the western portion of the EPA, mainly around the Fernao Dias highway corridor, high fragility areas occur where the urban sprawl is more disordered. In the other areas of the EPA, high fragility areas also occurs in annual crops plantations and degraded pastures farms, associated the unpaved rural roads.

Keywords: Fernao Dias EPA, environmental fragility, risk mapping, GIS, Kolmogorov-Smirnov test, spatial analysis.

ÍNDICE

RESUMO	xí
ABSTRACT	xííí
LISTA DE FIGURAS	xíx
LISTA DE TABELAS	xxííí
LISTA DE QUADROS	xxv
LISTA DE ANEXOS	xxvii
INTRODUÇÃO	1
1.1 Enfoque teórico-metodológico	3
1.2 Apresentação dos capítulos	6
CAPÍTULO 1: FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	7
1.1 Análise da paisagem amparada pelo estudo da fragilidade ambiental numa abordagem sistêmica	7
1.2 O contexto da Análise Espacial e dos Sistemas de Informação Geográfica para o estudo da paisagem	9
CAPÍTULO 2: ÁREA DE ESTUDO	13
2.1 APA Fernão Dias – MG	13
2.2 Contextualização da ocupação do sul de Minas Gerais	14
2.3 Características físico-geográficas da APA Fernão Dias	16
2.4 Dinâmica socioeconômica	27
2.4.1 Dinâmica econômica	27
2.4.2 Dinâmica demográfica	30
2.2 Análise do Plano de Gestão da APA Fernão Dias – MG	34

CAPÍTULO 3: EROSÃO DOS SOLOS E MOVIMENTOS DE MASSA	39
3.1 Introdução.....	39
3.2 Orientações metodológicas para mapeamento da ocorrência de processos erosivos e movimentos de massa.....	42
3.3 Análise e discussão do mapa de ocorrência de processos erosivos e movimentos de massa...	47
CAPÍTULO 4: VARIÁVEIS GEOAMBIENTAIS CONDICIONANTES DE PROCESSOS EROSIVOS E MOVIMENTOS DE MASSA	51
4.1 Considerações iniciais	51
4.2 COBERTURA VEGETAL – ÍNDICE DE VEGETAÇÃO	53
4.2.1 Introdução	53
4.2.2 Orientação metodológica para calcular o índice de vegetação na APA Fernão Dias.....	54
4.2.3 Análise do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada no contexto da APA Fernão Dias – MG	57
4.3 RELEVO: DECLIVIDADE DAS VERTENTES	59
4.3.1 Introdução.....	59
4.3.2 Orientação metodológica para o mapeamento da declividade das vertentes do relevo da APA Fernão Dias.....	60
4.3.3 Análise do mapa clinográfico da APA Fernão Dias.....	62
4.4 REGIME PLUVIOMÉTRICO: PROBABILIDADE DE OCORRÊNCIAS DE CHUVAS INTENSAS NO PERÍODO DE DEZEMBRO A MARÇO.....	65
4.4.1 Introdução.....	65
4.4.2 Orientações metodológicas para o mapeamento da probabilidade de ocorrência de chuvas intensas	66
4.4.2.1 Materiais	67
4.4.2.2 Cálculo da probabilidade de ocorrência de chuva intensa	69
4.4.2.3 Mapeamento da probabilidade de ocorrência de chuva intensa.....	72
4.4.3 Análise e discussão do mapeamento de probabilidade de ocorrência de chuvas intensas	74

4.5 ESTRUTURA GEOLÓGICA: LINEAMENTOS ESTRUTURAIS	77
4.5.1 Introdução.....	77
4.5.2 Orientações metodológicas para o mapeamento da densidade de lineamentos estruturais	78
4.5.2.1 Mapeamento dos lineamentos estruturais	78
4.5.2.2 Aplicação do estimador Kernel.....	83
4.5.3 Análise da densidade de lineamentos estruturais	84
4.6 CONDICIONANTE ANTRÓPICO: VIAS DE CIRCULAÇÃO	86
4.6.1 Introdução.....	86
4.6.2 Orientação metodológica para o mapeamento da densidade de vias de circulação	87
4.6.2.1 Mapeamento das vias de circulação.....	87
4.6.2.2 Mapeamento da densidade de vias de circulação	88
4.6.3 Mapa de densidade de vias de circulação.....	88
CAPÍTULO 5: METODOLOGIA PARA MAPEAMENTO DE FRAGILIDADE AMBIENTAL	91
5.1 Introdução.....	91
5.2 Atribuição de pesos às variáveis geoambientais.....	93
5.2.1 Considerações iniciais.....	93
5.2.2 Aplicação de Teste Estatístico Kolmogorov-Smirnov à atribuição de pesos às variáveis geoambientais	95
5.2.2.1 Teste de Kolmogorov-Smirnov.....	95
5.2.2.1 Orientação metodológica para a aplicação de Teste Estatístico Kolmogorov-Smirnov à atribuição de pesos às variáveis geoambientais	97
5.2.3 Considerações acerca da atribuição de pesos às variáveis geoambientais a partir de Testes Estatísticos Kolmogorov-Smirnov	104
5.3 Reescalamento das variáveis geoambientais por padronização Fuzzy	105
5.4 Análise ponderada das variáveis geoambientais	107

5.5 Delimitação das bacias hidrográficas como suporte à análise fragilidade ambiental	109
5.7 Discussão.....	111
5.8 Validação dos resultados apresentados nos mapas de fragilidade ambiental.....	126
CONSIDERAÇÕES FINAIS	133
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	137
ANEXOS.....	151

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 - Síntese dos procedimentos metodológicos.....	5
Figura 2.1 - Mapa com a localização da APA Fernão Dias, com respectivos municípios.	13
Figura 2.2 - Mapa hidrográfico da APA Fernão Dias - MG, com destaque às principais bacias. .	17
Figura 2.3 - Temperaturas mensais mínimas, máximas e médias (período de 2000 a 2010) e precipitações médias mensais (período de 1961 a 1990) no distrito de Monte Verde, município de Camanducaia.	18
Figura 2.4 - Mapa da distribuição da chuva na APA Fernão Dias em quatro períodos trimestrais: (A) dezembro, janeiro, e fevereiro; (B) março, abril, e maio; (C) junho, julho, e agosto; (D) setembro, outubro, e novembro.....	19
Figura 2.5 - Mapa das Unidades Geomorfológicas da APA Fernão Dias.....	20
Figura 2.6 - Mapa altimétrico da APA Fernão Dias – MG.....	21
Figura 2.7 - Modelo tridimensional da APA Fernão Dias-MG, com compartimentações geomorfológicas.....	22
Figura 2.8 - Mapa litológico da APA Fernão Dias.	23
Figura 2.9 - (A) Floresta Ombrófila Densa em Monte Verde, Camanducaia; (B) Floresta Ombrófila Mista em Gonçalves; (C) Fragmento de Floresta Estacional Semidecidual em Paraisópolis; e (D) Campos de Atitude nas imediações do morro do Chapéu do Bispo, Camanducaia.	25
Figura 2.10 - Mapa de uso e cobertura vegetal do solo da APA Fernão Dias.	26
Figura 2.11 - Arrecadação dos setores econômicos dos municípios no conjunto da APA.	29
Figura 2.12 - Diagrama Triangular referente à participação percentual de cada setor econômico no capital arrecadado dos municípios da APA Fernão Dias.	29
Figura 2.13 - Distribuição da população urbana e rural nos municípios integrantes da APA Fernão Dias - MG.....	32
Figura 2.14 - Proporção de população rural e urbana em 2010, nos municípios inseridos na APA Fernão Dias – MG.....	33

Figura 2.15 - Pessoas residentes por setores censitários dos municípios da APA Fernão Dias – MG, em 2010.....	33
Figura 2.16 - Mapa de Zoneamento Ambiental da APA Fernão Dias – MG.....	35
Figura 3.1 - Mosaico de Imagens GeoEye do <i>software</i> Google Earth, com a delimitação da APA Fernão Dias e seus respectivos municípios.	43
Figura 3.2 - Mosaico de Imagens GeoEye do <i>software</i> Google Earth, com destaque para os processos erosivos e movimentos de massa identificados.	45
Figura 3.3 - Mosaico das imagens Google Earth georreferenciadas.....	46
Figura 3.4 - Síntese das etapas do mapeamento de processos erosivos e movimentos de massa. .	47
Figura 3.5 - Coleção de mapas de ocorrência de processos erosivos e movimentos de massa.....	49
Figura 4.1 - Ferramenta Raster calculator do SIG ArcGis™ 10, utilizada na geração da imagem de NDVI.....	53
Figura 4.2 - NDVI da imagem do Landsat 5 TM, órbita/ponto 219/76, de 18 de abril de 2010. ..	56
Figura 4.3 - Síntese dos procedimentos metodológicos empregados no cálculo do NDVI.	56
Figura 4.4 - NDVI do recorte da imagem do Landsat 5 TM, órbita/ponto 219/76, de 18 de abril de 2011.....	58
Figura 4.5 – Mosaico das cenas S23W046 e S23W047 do ASTER GDEM, que cobrem a APA Fernão Dias – MG.	61
Figura 4.6 - Síntese dos procedimentos metodológicos.....	62
Figura 4.7 - Mapa das declividades da APA Fernão Dias (MG).	64
Figura 4.8 - Síntese dos procedimentos metodológicos empregados no mapeamento da POCl. ..	67
Figura 4.9 - Mapa de localização dos postos pluviométricos utilizados na pesquisa, sobreposto aos limites territoriais da APA Fernão Dias e os respectivos municípios que dela fazem parte.. .	68
Figura 4.10 - Componentes e Modelos do Semi-variograma. Fonte: Lembo e Magri (2002).....	73
Figura 4.11 – Semi-variograma para os dados de probabilidade de ocorrência de chuvas intensas na APA Fernão Dias – MG.	74
Figura 4.12 - Probabilidade de ocorrência de chuva intensa (POCl) para o período de dezembro a março, na APA Fernão Dias – MG.	76

Figura 4.13 - Síntese dos procedimentos metodológicos para o mapeamento da densidade de lineamentos estruturais.	78
Figura 4.14 - Mapa da rede de drenagem da APA Fernão Dias (MG).	79
Figura 4.15 - Sombreamento do relevo com azimute de 315°.....	80
Figura 4.16 - Sombreamento do relevo com azimute de 45°.....	80
Figura 4.17 - Mapa de lineamentos estruturais	82
Figura 4.18 - Estimador de intensidade Kernel - segmento de linha com superfície kernel sobreposta ao segmento.....	83
Figura 4.19 - Mapa de densidade de lineamentos estruturais, APA Fernão Dias – MG.....	85
Figura 4.20 - Mapa de vias de circulação da APA Fernão Dias (MG).	88
Figura 4.21 - Mapa de densidade de vias de circulação, APA Fernão Dias – MG.....	90
Figura 5.1 - Síntese dos procedimentos metodológicos utilizados..	93
Figura 5.2 - Gráficos das funções de pertinência fuzzy para cada uma das Variáveis	107
Figura 5.3 - Mapas representados em conjunto fuzzy: (A) NDVI; (B) Declividade; (C) POCI; (D) Densidade de lineamentos; (E) Densidade de vias.....	107
Figura 5.4 - Bacias hidrográficas de 4ª e 5ª ordem na APA Fernão Dias..	110
Figura 5.5 - Mapa de fragilidade ambiental à ocorrência de anfiteatro de erosão	112
Figura 5.6 - Mapa de fragilidade ambiental à ocorrência de escorregamento.	114
Figura 5.7 - Mapa de fragilidade ambiental à ocorrência de rastejo.	116
Figura 5.8 - Mapa de fragilidade ambiental à ocorrência de ravina.....	118
Figura 5.9 - Mapa de fragilidade ambiental à ocorrência de processos erosivos e movimentos de massa..	120
Figura 5.10 - Áreas com valores de fragilidade ambiental \geq ao valor médio de 0,4.	121
Figura 5.11 - Trajeto a ser percorrido no trabalho de campo e áreas que serão analisadas	126
Figura 5.12 - Mosaico de Imagens GeoEye do <i>software</i> Google Earth, com destaque às fotografias georreferenciadas sobrepostas às imagens.....	127

Figura 5.13 - Localização dos quadrículas amostrais utilizadas em campo, e respectivas fotos ilustrando as características paisagísticas locais (quadrículas 1 a 10) 129

Figura 5.14 - Localização dos quadrículas amostrais utilizadas em campo, e respectivas fotos ilustrando as características paisagísticas locais (quadrículas 11 a 18) 130

Figura 5.15 - Localização dos quadrículas amostrais utilizadas em campo, e respectivas fotos ilustrando as características paisagísticas locais (quadrículas 19 a 20) 131

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Área em Km ² e em porcentagem das classes de uso e cobertura do solo na APA Fernão Dias.	27
Tabela 2.2 - Arrecadação dos setores econômicos e PIB dos municípios no conjunto da APA....	28
Tabela 2.3 - Evolução dos setores econômicos dos municípios da APA para o período de 2000 a 2009.	30
Tabela 2.4 - População urbana, rural e total dos municípios integrantes da APA Fernão Dias - MG para os anos de 1991, 2000 e 2010.	31
Tabela 3.1 - Principais tipos de processos erosivos em vertentes.	40
Tabela 3.2 - Principais tipos de movimentos de massa em vertentes.	41
Tabela 4.1 - Base cartográfica utilizada na pesquisa.	52
Tabela 4.2 – Características gerais dos postos pluviométricos utilizados como fonte de dados para o mapa de probabilidade de ocorrência de chuvas intensas..	68
Tabelas 4.3 - Constantes do modelo de desagregação de chuvas diárias.....	69
Tabela 4.4 - Intensidades mínimas de precipitação pluviométrica, consideradas como intensas... ..	70
Tabela 4.5 - Probabilidade de ocorrência de chuvas intensas, segundo a localidade de cada posto pluviométrico, nos meses de dezembro, janeiro, fevereiro e março, no período de dezembro a março.	71
Tabela 5.1 - Ocorrências observada e esperada de processos erosivos e movimentos de massa, segundo intervalos de NDVI.	99
Tabela 5.2 - Ocorrências observada e esperada de processos erosivos e movimentos de massa, segundo intervalos de Declividade.....	99
Tabela 5.3 - Ocorrências observada e esperada de processos erosivos e movimentos de massa, segundo intervalos de POCl.	99
Tabela 5.4 - Ocorrências observada e esperada de processos erosivos e movimentos de massa, segundo intervalos de densidade de lineamentos estruturais.	99

Tabela 5.5 - Ocorrências observada e esperada de processos erosivos e movimentos de massa, segundo intervalos de densidade de vias de circulação.....	100
Tabela 5.6 - Resultados da aplicação do teste estatístico Kolmogorov-Smirnov à variável índice de vegetação.	101
Tabela 5.7 - Resultados da aplicação do teste estatístico Kolmogorov-Smirnov à variável declividade.	102
Tabela 5.8 - Resultados da aplicação do teste estatístico Kolmogorov-Smirnov à variável precipitação	102
Tabela 5.9 - Resultados da aplicação do teste estatístico Kolmogorov-Smirnov à variável lineamento estrutural.	103
Tabela 5.10 - Resultados da aplicação do teste estatístico Kolmogorov-Smirnov à variável vias de circulação.	103
Tabela 5.11 - Peso das variáveis geoambientais de acordo com o valor de D.....	104
Tabela 5.12 - Pesos normalizados das variáveis geoambientais	108

LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1 - Síntese do Zoneamento Definido para a APA Fernão Dias.....	36
Quadro 3.1 - Chave de interpretação visual dos processos erosivos e dos movimentos de massa.	44
Quadro 5.1 - Síntese das relações entre o grau de fragilidade e as demais características das bacias hidrográficas da APA Fernão Dias – MG.	122
Quadro 5.2 - Síntese das características observadas em campo nas áreas de amostragem.....	128

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1 - Diretrizes de uso e ocupação do solo para o Zoneamento Ambiental da APA Fernão Dias-MG.....	149
Anexo 2 - Imagens do banco de imagens do Google Earth Georreferenciadas (Brasópolis, Camanducaia, Extrema, Gonçalves, Itapeva, Paraisópolis1, Paraisópolis2, Sapucaí-Mirim, e Toledo, respectivamente)..	159
Anexo 3 - Tabela de valores críticos para a estatística do teste de Komolgorov-Smirnov (D_n)..	165

INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas o Brasil tem sido palco de constante supressão das matas, e consequente fragmentação florestal, o que tem causado aumento significativo nos processos de erosão dos solos e alterações na dinâmica hidrológica e geomorfológica dos sistemas ambientais. Estas modificações são perceptíveis quando se constata intensa redução da biodiversidade presente nos sistemas naturais, além da degradação de imensas áreas submetidas às ações antrópicas. Estes fatos levaram a sociedade a intensos debates sobre a problemática ambiental e os possíveis riscos que seu agravamento pode acarretar para a sobrevivência da humanidade e dos diversos ecossistemas mundiais – sobretudo os tropicais.

Políticas que possibilitem o uso sustentável dos recursos naturais vêm, assim, colocando-se como ações de extrema relevância. Estas políticas são particularmente importantes em regiões expostas à rápida deterioração e em áreas onde os recursos naturais apresentam valor significativo, tanto pelo seu papel econômico, quanto pelo seu significado para o equilíbrio do ambiente, podendo-se destacar as áreas de mananciais e os reservatórios para abastecimento de água.

Visando atenuar os efeitos causados pelo uso inadequado do solo e dos recursos naturais, foram criadas leis que regulamentam os seus usos em áreas de interesse ambiental, a exemplo da Lei Nº 9.985, de julho de 2000, que estabelece critérios e normas para a criação, implantação e gestão de unidades de conservação. Dentre as diversas categorias de Unidades de Conservação, destacam-se as Áreas de Proteção Ambiental (APA). O Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC) define APA como:

...área em geral extensa, com certo grau de ocupação humana, dotada de atributos abióticos, bióticos, estéticos ou culturais especialmente importantes para a qualidade de vida e o bem-estar das populações humanas, e tem como objetivo básico proteger a diversidade biológica, disciplinar o processo de ocupação e assegurar a sustentabilidade do uso dos recursos naturais. (BRASIL, 2001, p.17).

Aplicando métodos que lhe são próprios, os geógrafos examinam as unidades de conservação ou proteção ambiental, buscando estabelecer elos entre a Geografia Física e a Geografia Humana, no esforço de compreender os processos ambientais desencadeados pela

ocupação humana inadequada, frente aos obstáculos, apresentados pelo meio físico; avaliando a necessidade de interferir na realidade com intuito de ampliar a eficácia dos freios e dos cuidados no uso da terra pelas sociedades humanas (GUERRA, 2007).

Por meio da análise ambiental - que tem como objetivo, inventariar o meio físico sob a ótica das pressões antrópicas exercidas sobre os territórios naturais - é possível recorrer a diferentes metodologias e abordagens, que dependem do grau de complexidade dos sistemas ambientais.

De acordo com Kawakubo *et al.* (2005), o mapeamento da fragilidade ambiental constitui um dos principais recursos utilizados pelos órgãos públicos na elaboração do planejamento ambiental. Este produto cartográfico permite a avaliação das potencialidades do meio ambiente de forma integrada, compatibilizando características naturais com restrições à ocupação. Devido à necessidade de ampla base de dados espaciais, composta por grande diversidade de mapas e dados espaciais de campo, as técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto são de suma importância para a produção do mapa de fragilidade ambiental (FERREIRA, 2003).

Sendo os objetivos básicos de uma APA, proteger a diversidade biológica, disciplinar o processo de ocupação e assegurar a sustentabilidade do uso dos recursos naturais (BRASIL, 2001), esta pesquisa justifica-se pelo fato dos estudos aqui apresentados contribuírem para o planejamento territorial da APA Fernão Dias, que permitem prever o quanto os sistemas naturais suportarão as ações antrópicas.

É importante ressaltar que, o território da APA Fernão Dias está inserido em bioma rico em biodiversidade – sobretudo nos terrenos situados acima dos 1.500m de altitude (MORETTI, 2011). Além disto, contêm em suas áreas, os mananciais responsáveis pela perenidade hídrica dos rios Piracicaba (as nascentes dos rios Camanducaia e Jaguari - recursos hídricos responsáveis, em parte, pelo abastecimento da região metropolitana da cidade de São Paulo) e Sapucaí Mirim - este um dos tributários mais importantes do reservatório de Furnas, em Minas Gerais. Além do mais, a APA Fernão Dias é atravessada pela BR – 381 (Rodovia Fernão Dias), rodovia de intenso fluxo de mercadorias e pessoas entre os Estados de Minas Gerais e São Paulo, sendo mais um motivo para a busca do desenvolvimento sustentável da região.

O objetivo principal deste trabalho foi analisar a inter-relação dos componentes físicos, bióticos e antrópicos na APA Fernão Dias-MG por meio do mapeamento da fragilidade ambiental, a partir de modelos de análise geoespacial desenvolvidos em sistemas de informação

geográfica (SIG). A partir deste objetivo geral foram delineados os objetivos específicos que se referem a:

- a) Avaliar uma metodologia geoespacial para o mapeamento da fragilidade ambiental, utilizando como base de dados o modelo digital de elevação do sensor ASTER (2009), imagens de índice de vegetação (2010), mapa de probabilidade de ocorrência de chuvas intensas e, mapas de densidades de lineamentos estruturais e vias de circulação.
- b) Avaliar uma metodologia para a atribuição de pesos às variáveis geoambientais, a partir de testes de Kolmororov-Smirnov aplicados a representações pontuais de processos erosivos (erosão linear e anfiteatro de erosão) e movimentos de massa (rastejo e escorregamento), combinados às variáveis geoambientais.
- c) Utilizar o método da *lógica fuzzy* para a geração do mapa de fragilidade ambiental;
- d) Identificar e analisar as bacias hidrográficas situadas na APA, que apresentam maior extensão superficial de áreas com alta fragilidade ambiental.

1.1 Enfoque teórico-metodológico

Para o desenvolvimento deste trabalho buscou-se uma abordagem teórico-metodológica que abrangesse, de forma integrada, os objetivos da pesquisa no âmbito da ciência geográfica. De acordo com Trentin (2008), o panorama científico vinculado à Geografia demanda pesquisas que considerem a dinâmica espacial, tendo em vista a inter-relação entre os elementos que compõem cada paisagem – fato que induz ao estudo do espaço geográfico de modo holístico. Desta forma, a orientação metodológica deste trabalho é embasada na Teoria Geral dos Sistemas (TGS) / Abordagem Sistêmica e na Análise Espacial.

O conceito de sistemas foi incorporado na Geografia, mais especificamente na Geomorfologia, por Chorley, em 1962. Chorley e Kennedy (1971) definem sistemas como um “conjunto estruturado de objetos e/ou atributos. Esses objetos e atributos consistem de componentes ou variáveis (isto é, fenômenos que são passíveis de assumir magnitudes variáveis) que exibem relações discerníveis um com os outros e operam conjuntamente como um todo complexo, de acordo com determinado padrão”. Posteriormente, Haigh (1985) apontou que “um sistema é uma totalidade que é criada pela integração de um conjunto estruturado de partes

componentes, cujas inter-relações estruturais e funcionais criam uma inteireza que não se encontra implicada por aquelas partes componentes quando desagregadas”.

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. Sack (1974) diferencia as escolas corológica e espacial, responsáveis por concepções contrárias, 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 e pela análise espacial, sendo o mapa o elemento comum de interface. Mais recentemente, ao fazerem breve revisão sobre análise espacial, Câmara *et al.* (2004) assinalaram que “a ênfase da Análise Espacial é mensurar propriedades e relacionamentos, levando em conta a localização espacial do fenômeno em estudo de forma explícita. Ou seja, a ideia central é incorporar o espaço à análise que se deseja fazer”.

A temática em estudo é contextualizada a partir da análise de diferentes variáveis geoambientais em conformidade com a abordagem teórica adotada, que ao serem analisadas de forma integrada, possibilitam conhecer as fragilidades do sistema. O fluxograma da Figura 1.1 sintetiza as principais etapas metodológicas desenvolvidas na pesquisa.

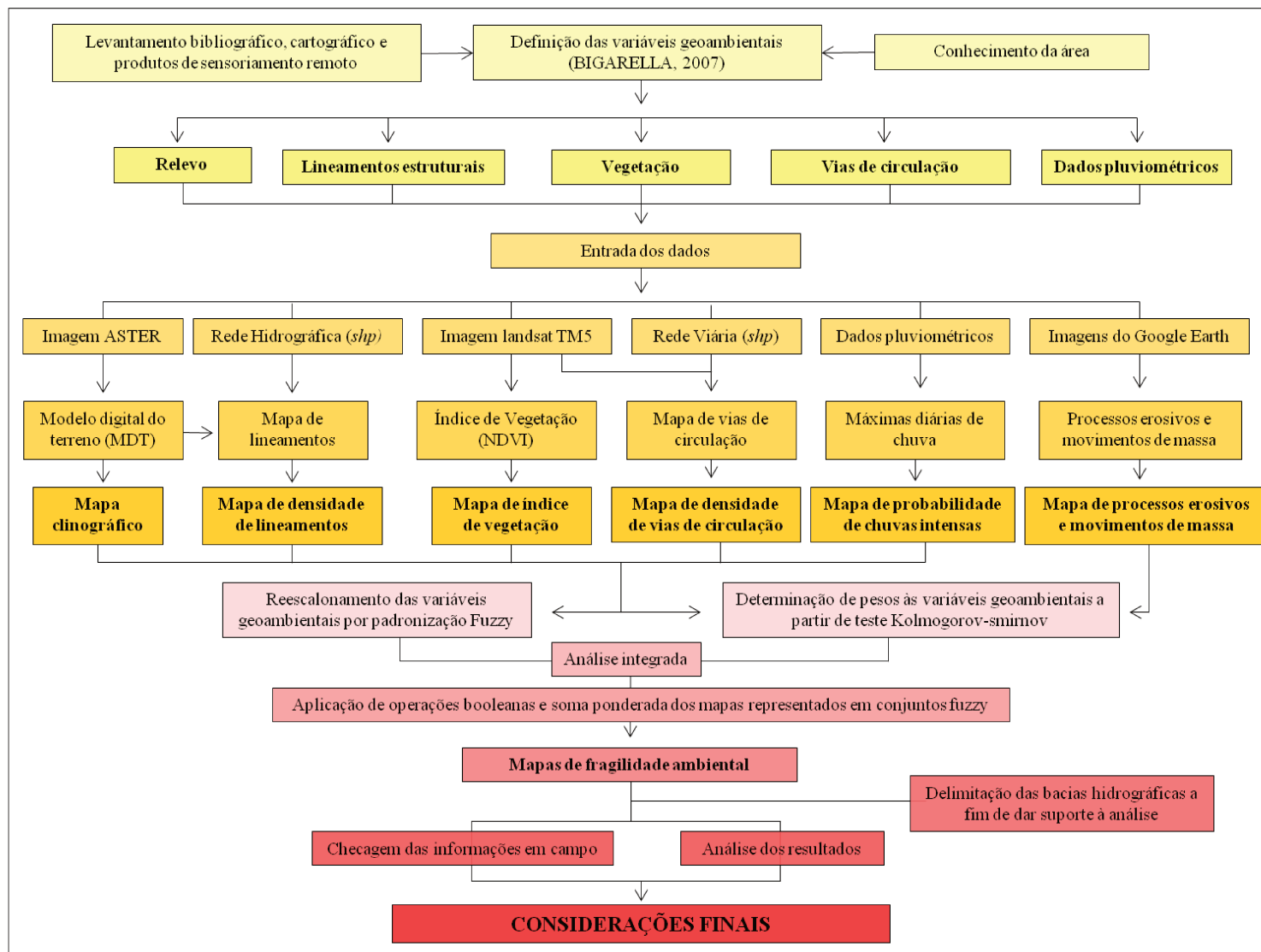


Figura 1.1 - Síntese dos procedimentos metodológicos. Org.: Garofalo, 2013.

1.2 Apresentação dos capítulos

Após as considerações introdutórias da pesquisa que fizeram referência à temática adotada, à área de estudo e justificativa, aos objetivos, e ao método de trabalho, passa-se a uma breve apresentação dos temas de cada capítulo.

O primeiro capítulo refere-se à fundamentação teórica, na qual é apresentada uma revisão dos principais conceitos referentes à Análise Sistemática da Paisagem e à Análise Espacial e Sistemas de Informações Geográficas.

O capítulo 2, “Área de Estudo”, apresenta uma caracterização socioambiental da APA Fernão Dias – MG, destacando, inicialmente, os aspectos gerais da APA e a contextualização da ocupação do sul de Minas Gerais. Posteriormente, é apresentada uma análise dos aspectos físico-geográficas e socioeconômicos da APA. Por fim, mostra-se uma análise do Plano de manejo da APA Fernão Dias.

O capítulo 3, “Erosão dos solos e movimentos de massa” traz, inicialmente, uma revisão referente aos conceitos referentes à erosão e movimentos de massa. Em seguida, a orientação metodológica trás como se deu o mapeamento de tais processos, sendo estes e suas distribuições discutidas posteriormente.

As variáveis geoambientais utilizadas como condicionantes de processos erosivos e movimentos de massa são apresentadas no capítulo 4, o qual apresenta uma breve revisão dos conceitos referentes a cada variável, além do método utilizado para o mapeamento destas e discussão dos resultados obtidos.

O capítulo 5 refere-se à aplicação de uma metodologia geoespacial para o mapeamento da fragilidade ambiental, a qual utiliza teste estatístico Kolmogorov-Smirnov para a determinação de pesos atribuídos às variáveis geoambientais, e álgebra de mapas referentes a tais variáveis baseada em lógica *fuzzy*, tendo como resultado mapas de fragilidade ambiental representados em campos contínuos. Por fim, é mostrada a validação dos resultados obtidos a partir de amostras de campo.

A dissertação termina com as considerações finais, nas quais são avaliados os procedimentos metodológicos e os resultados alcançados.

CAPÍTULO 1: FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

1.1 Análise da paisagem amparada pelo estudo da fragilidade ambiental numa abordagem sistêmica

Na observação cotidiana, pode-se perceber que a paisagem é constituída por grandes contrastes resultantes da diversidade da ação antrópica sobre a superfície terrestre. Estabelecer uma definição de paisagem é uma tarefa complexa. Ferreira *et al.* (2008) relembram que a noção de paisagem na Geografia Física, apesar de ter sofrido inúmeras remodelações e adquirido diversas concepções, tem como suporte lógico a teoria geral dos sistemas. Esta teoria, ainda que oriunda no positivismo, não ficou reduzida a entraves que a impedissem interpretações diferentes a seu respeito.

Esta teoria propõe que os sistemas podem ser definidos como conjuntos de elementos com variáveis e características diversas que mantêm relações entre si e entre o meio ambiente. A análise deverá se voltar para a estrutura desse sistema, para seu comportamento, para a troca de energia, limites, ambientes ou parâmetros (GREGORY, 1992).

Ao analisar os pressupostos da teoria dos geossistemas de Sotchava (1976), que tem a paisagem como universo de análise, Spörl (2001) salientou que a preocupação central dos estudos da Geografia Física não é apenas estudar os componentes da natureza, mas sim, os atrelamentos entre eles, não devendo o estudo ficar limitado à morfologia da paisagem e suas subdivisões, mas extrapolar para o estudo das dinâmicas, sem deixar de lado a conexão entre o homem e a natureza. 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 (MORETTI, 2011). Apesar de ter sido formulado pela escola russa, a teoria geossistêmica foi difundida no mundo ocidental pela escola francesa através de G. Bertrand em 1968 (FERREIRA *et al.*, 2008).

Para Bertrand (1972), a paisagem resulta da combinação dinâmica entre atributos físicos, biológicos e antrópicos que interagem dialeticamente uns com os outros, fazendo dela um conjunto único e indissociável e em evolução permanente. Tricart (1977), em uma abordagem ecodinâmica, analisa o ambiente sob o prisma da teoria dos sistemas, que parte do pressuposto de

que na natureza as forças de energia e matéria se processam através de relações de equilíbrio dinâmico. Entretanto, este equilíbrio é frequentemente alterado pelas intervenções do homem nos diversos componentes da natureza, gerando estados de desequilíbrios temporários ou até permanentes. Sendo assim, Tricart (1977) definiu que os ambientes, quando estão em equilíbrio dinâmico, são estáveis, e quando em desequilíbrio, são instáveis.

Segundo Troppmair (1983, p.33), o termo paisagem pode ser definido como “um sistema espacial dinâmico de fenômenos naturais e socioeconômicos”. Trata-se de uma realidade dependente da presença do homem, o qual introduz modificações e desequilíbrios nesta realidade. O homem, ao criar inúmeras modificações no espaço natural com fins a adequá-lo às suas necessidades socioeconômicas, modifica o meio ambiente a sua volta e, conseqüentemente, o sistema natural é desestabilizado, retirado de seu equilíbrio e como forma de se reorganizar e obedecer às novas condições impostas pelo homem, o sistema natural cria novos padrões de funcionamento, se adaptando às novas regras impostas pelo sistema socioeconômico e as organizações espaciais (FRAISOLI, 2005).

Se a ocupação de uma região é realizada sem um planejamento adequado, a vigência de condições de alta energia no ecossistema é favorecida tanto pelas mudanças hidrológicas provocadas pelo desmatamento generalizado, quanto pelas alterações nas características das formações superficiais, além de acarretar uma redução acentuada da permeabilidade de amplas áreas, além de outros fatores (BIGARELLA e MAZUCHOWSKI, 1985).

As mudanças nas condições hidrológicas resultam num rebaixamento do lençol freático, com o decorrente aumento do escoamento superficial e alterações do fluxo das águas subterrâneas, e pode provocar o desaparecimento de nascentes e, conseqüentemente, cursos de água de 1ª ordem tendem a tornarem-se intermitentes ou desaparecem (BIGARELLA *et al.*, 1985). Com o aumento do escoamento superficial, as vertentes têm suas taxas erosivas elevadas, com maior remoção de detritos, sendo estes transportados para as baixadas, assoreando o leito dos rios e represas (BIGARELLA *et al.*, 1985).

A atividade antrópica passa a intensificar a atuação dos processos morfogenéticos, onde a erosão hídrica por escoamento superficial difuso e concentrado predomina, havendo assim uma superação da morfogênese em relação à pedogênese, iniciando-se então, um processo de degradação ambiental acelerado (BIGARELLA *et al.*, 1985). A ocupação desordenada do meio físico por atividades antrópicas, sem um planejamento prévio, desconsiderando a capacidade de

suporte do ambiente e a fragilidade ambiental a ele associado, aliada à falta de estratégias de manejo conservacionista, tem acelerado o processo de degradação ambiental, com destaque para a perda do solo superficial, comprometendo a sustentabilidade das atividades humanas e a quantidade e qualidade dos recursos hídricos, envolvendo, dessa forma, toda a sociedade nessa problemática (CALIJURI *et al.*, 2007).

Em função disto, torna-se cada vez mais imprescindível o planejamento físico territorial, não apenas com enfoque socioeconômico, mas também, ambiental, levando em consideração as potencialidades e a fragilidade das áreas com intervenções antrópicas. De acordo com Ross (1990) o planejamento não pode ser formulado a partir de uma leitura estática do ambiente, mas inserida no entendimento do processo de ocupação que norteia o desenvolvimento e a apropriação do território e de seus recursos.

Na perspectiva moderna de gestão do território, toda ação de planejamento, ordenação ou monitoramento do espaço deve incluir a análise das diferentes componentes do ambiente, incluindo-se o meio físico-biótico, a ocupação humana, e suas conexões (CÂMARA; MEDEIROS, 1998). Ao se realizar um planejamento sem o conhecimento da fragilidade ambiental, os resultados podem ser incorretos, acarretando no uso de uma Unidade de Conservação além das suas potencialidades. Neste caso, a fragilidade se constitui no inverso da estabilidade, ou seja, alta fragilidade é igual a baixa estabilidade, e vice-versa (MARGULES, 1986).

1.2 O contexto da Análise Espacial e dos Sistemas de Informação Geográfica para o estudo da paisagem

O conhecimento espacial assumiu desde longa data, grande importância no desenvolvimento das atividades humanas e no modo como o homem interage com o espaço. A possibilidade de se conhecer a localização geográfica de um fenômeno, de se estabelecer relações com outros elementos do território, de identificar padrões espaciais, ou de tomar decisões com base nas suas características geográficas são só alguns exemplos de como a informação e o conhecimento espacial desempenharam ao longo dos tempos um papel preponderante no desenvolvimento social, político e econômico da humanidade (PAINHO, 2008). Representar,

analisar e conhecer a dimensão espacial associada a esses fenômenos constitui um dos principais desafios que se colocam à análise espacial.

Todavia, com o advento dos sistemas de informações geográficas (SIG) a partir das décadas de 1960 a 1970, tais desafios se tornaram “menos complexos”. De acordo com Silva (2003) os SIG são comumente aceitos como tecnologia que possui o ferramental necessário para realizar análises com dados espaciais, permitindo a criação de um banco de dados georreferenciados e a integração de dados de diversas fontes (CÂMARA; MEDEIROS, 1998). Constituem-se em uma classe especial de sistemas de informações que possibilita a representação, análise e visualização da informação geográfica e apoiam os processos de tomada de decisão (PICKLES, 1995). Para Burrough (1998) os SIG são compostos pela coleta, armazenamento, recuperação, transformação e exibição de dados espaciais para um determinado propósito.

Por meio do SIG a paisagem real é transformada em paisagem digital com a estruturação 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). Contudo, Ferreira (2006) destaca que o conhecimento em SIG 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”. 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, entre os anos de 1950 e 1970, principalmente com os estudos desenvolvidos por Sack na década de 1970. Para Ferreira (2003), os paradigmas da escola espacial da geografia são fundamentais para a inclusão da cartografia temática, do sensoriamento remoto e do SIG na geografia contemporânea. Moretti (2011) analisa e sintetiza os principais paradigmas apresentados por Ferreira (2003):

- 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;
- 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);
- “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);
- Uma *rede geográfica* é “um conjunto de lugares interconectados em um sistema por meio de um determinado número de rotas” (HAGGET; CHORLEY, 1969);

Desta maneira, a escola espacial da geografia apresenta as bases teórico-metodológicas dos SIGs, considerados como um estágio evolutivo atual da análise espacial (FERREIRA, 2006).

Ferreira (2003) salienta que a análise espacial reúne diversas abordagens geométricas e quantitativas voltadas à modelagem de mapas e dados espaciais. As teorias sobre a interdependência espacial entre fenômenos agrupam uma série de métodos de análise de superfícies, citando-se, por exemplo, as distribuições espaciais e não espaciais, os padrões espaciais em mapas de pontos, as superfícies de tendência, a autocorrelação espacial, os variogramas, além de inúmeros métodos de interpolação para mapas isopléticos. Tais abordagens foram adaptadas posteriormente a sistemas de informação geográfica, por meio de algoritmos, funções e módulos. Desta forma, o autor destaca que:

A eficiência de um SIG para responder a questões de modelagem geográfica depende da implementação eficiente de códigos. Tais códigos baseiam-se em alguns paradigmas, entre os quais citamos a codificação *vetor-raster*, a

representação orientada a objetos, a estrutura em layers, a modelagem em campos contínuos e a lógica fuzzy (p. 26-27).

Os dados processados em ambiente SIG podem ser 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).

Goodchild (2003) destaca ainda que a questão ambiental tem sido um motivador na evolução da geoinformação e a sua aplicação em SIG, sendo estes de tamanha importância para as disciplinas ambientais que, hoje, tendem a considerá-los como partes indispensáveis da pesquisa, ensino e políticas.

CAPÍTULO 2: ÁREA DE ESTUDO

2.1 APA Fernão Dias – MG

A Área de Proteção Ambiental (APA) Fernão Dias, ocupa superfície de 180.373 ha, abrangendo os municípios de Camanducaia, Extrema, Gonçalves, Itapeva, Sapucaí-Mirim e Toledo, e parte dos municípios de Brasópolis e Paraisópolis, na região sul do Estado de Minas Gerais, junto à divisa com o Estado de São Paulo (IBITU, 1998) (Figura 2.1).

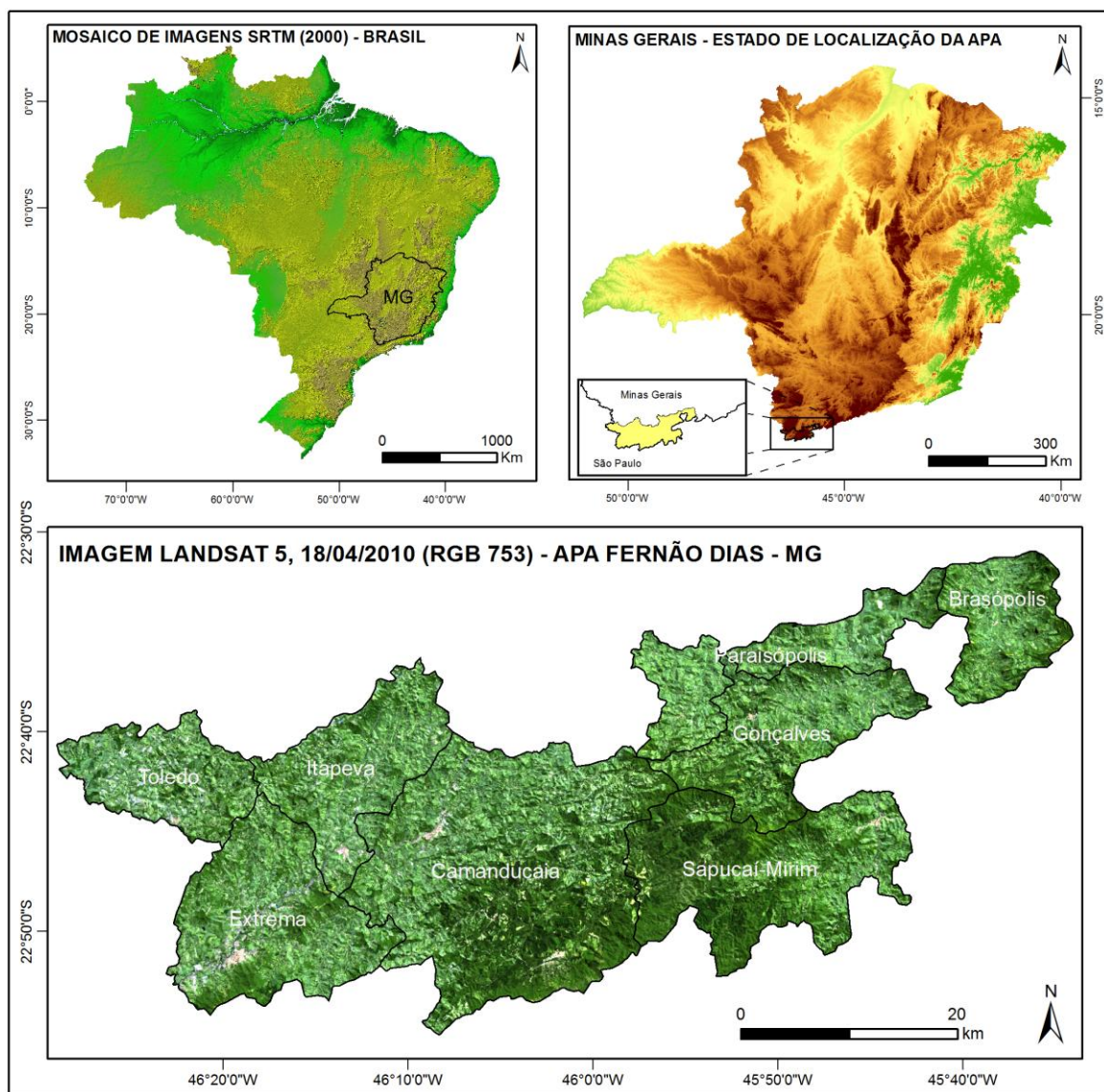


Figura 2.1 - Mapa com a localização da APA Fernão Dias, com respectivos municípios. Org.: Garofalo, 2013.

Sua origem está no licenciamento ambiental do projeto de duplicação da BR-381 (Rodovia Fernão Dias). Entre os argumentos utilizados para a necessidade da duplicação da BR-381, o principal foi o de ser um instrumento de integração regional para abertura de novas perspectivas para a industrialização e o desenvolvimento de Minas Gerais, com a modernização dos seus 473 km em território mineiro para atrair e dinamizar as atividades produtivas, prestação de serviços e logística, em toda sua área de influência (MATTOS, 2011).

No entanto, a duplicação da rodovia gerou grandes impactos ambientais e sociais nas áreas ao seu entorno, e para que estes fossem mitigados, o Relatório de Impacto Ambiental (EIA-RIMA) do empreendimento estabeleceu como condicionante ambiental para a realização da duplicação, a criação e implantação de uma Área de Proteção Ambiental, denominada APA Fernão Dias, instituída oficialmente pelo Decreto estadual nº38. 925, de 17/07/1997 (IBITU, 1998).

As principais justificativas para a criação e implantação da APA Fernão Dias foram a produção hídrica da região da serra da Mantiqueira, que forma, no espaço abrangido pela unidade de conservação, a bacia hidrográfica do rio Jaguari em Minas Gerais e as cabeceiras do rio Sapucaí-Mirim, e a presença de importantes remanescentes florestais da Mata Atlântica. 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 eco-desenvolvimento regional a fim de que o conjunto paisagístico e a cultura regional sejam conservados (MINAS GERAIS, 1997).

2.2 Contextualização da ocupação do sul de Minas Gerais

A ocupação do sul de Minas Gerais se deu com os movimentos das Entradas e das Bandeiras, ainda no século XVI, iniciando um processo de formação de pequenos núcleos onde era possível encontrar abrigo e alimentação durante as viagens dos bandeirantes. Tais núcleos eram denominados “feitorias” ou “arraiais”, onde surgiram as primeiras atividades agrícolas, a princípio voltadas para o abastecimento das tropas. Mais tarde, com a ampliação dos mercados de São Paulo e Rio de Janeiro, esses arraiais passaram a atender essa nova demanda (IBITU, 1998).

A descoberta do ouro, já no final do século XVII, também influenciou a ocupação do Estado de Minas Gerais. Nesse período, o povoamento se deu de forma fragmentada, onde as áreas de garimpo eram as mais procuradas, enquanto outras áreas ficavam desocupadas. Contudo, se observava certo povoamento em áreas de passagem, devido ao fluxo do ouro para o porto do Rio de Janeiro e o fluxo de mercadorias importadas do exterior, que faziam o trajeto contrário (IBITU, 1998).

Com o declínio da mineração, novos núcleos começaram a ser criados, e grande parte da mão de obra passa a ser empregada na criação de gado e na agricultura. A pecuária passou a exercer importante papel na economia do Estado de Minas Gerais e o gado começou a ser fornecido para os Estados de São Paulo e Rio de Janeiro. Além disso, foram instaladas indústrias de laticínios no sul de Minas, fato que fomentou o tráfego desses produtos, juntamente com a banha e o toucinho (produzidos através da criação de suínos e carneiros), principalmente para os Estados de São Paulo e Rio de Janeiro (IBITU, 1998).

O crescimento do comércio no interior da Região Sudeste, já no século passado, trouxe um desenvolvimento das estradas rodoviárias nesta área do País. Sendo uma infraestrutura para o meio de transporte mais utilizado no Brasil, até os dias de hoje, as rodovias exerceram importante influência na ocupação do Sul de Minas. Segundo o Departamento de Estradas de Rodagem (DER), duas principais vias foram abertas, primeiramente, ligando São Paulo à Minas Gerais: uma saía de São Paulo, seguindo o vale do Paraíba, passando pela serra da Mantiqueira e rio das Mortes até chegar na região mineradora. A outra passava por Guarulhos, Mairiporã, Atibaia e Bragança Paulista, em São Paulo e, seguindo para o norte, passava por Camanducaia para alcançar e acompanhar o vale do rio Sapucaí. Esta última, ainda segundo o DER, reproduz parte do traçado da rodovia Fernão Dias. O tráfego nessas vias originou a criação de pequenos núcleos urbanos, que mais tarde viriam a compor alguns dos municípios da área em estudo, como por exemplo, Extrema e Camanducaia (IBITU, 1998).

A ocupação dos municípios que compõem a APA Fernão Dias seguiu características similares. Os modelos de ocupação são relativamente compatíveis àqueles que, ao longo da história, conduziram a produção do território mineiro (IBITU, 1998). As especificidades da ocupação e de constituição desses municípios, por sua vez, estão inseridas no contexto histórico regional referente ao sul do Estado. Os municípios de Brasópolis, Camanducaia, Extrema, Gonçalves, Itapeva, Paraisópolis, Sapucaí-Mirim e Toledo, estão inseridos no cenário do ciclo do

ouro, da produção agropecuária, da importação de produtos industrializados e, sobretudo, fazem parte de um espaço onde o trânsito de pessoas foi sempre intenso, culminando na criação de pequenos aglomerados populacionais e, mais tarde, na constituição de municípios (IBITU, 1998).

2.3 Características físico-geográficas da APA Fernão Dias

A APA Fernão Dias está inserida na área abrangida pela bacia hidrográfica do Jaguari em Minas Gerais – nos municípios de Sapucaí-Mirim, Camanducaia, Itapeva e Toledo – e por áreas da bacia do rio Sapucaí-Mirim, nos municípios de Sapucaí-Mirim, Gonçalves, Paraisópolis e Brasópolis (Figura 2.2).

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. Ao sul, no município Camanducaia, estão as nascentes do ribeirão 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, no município 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).

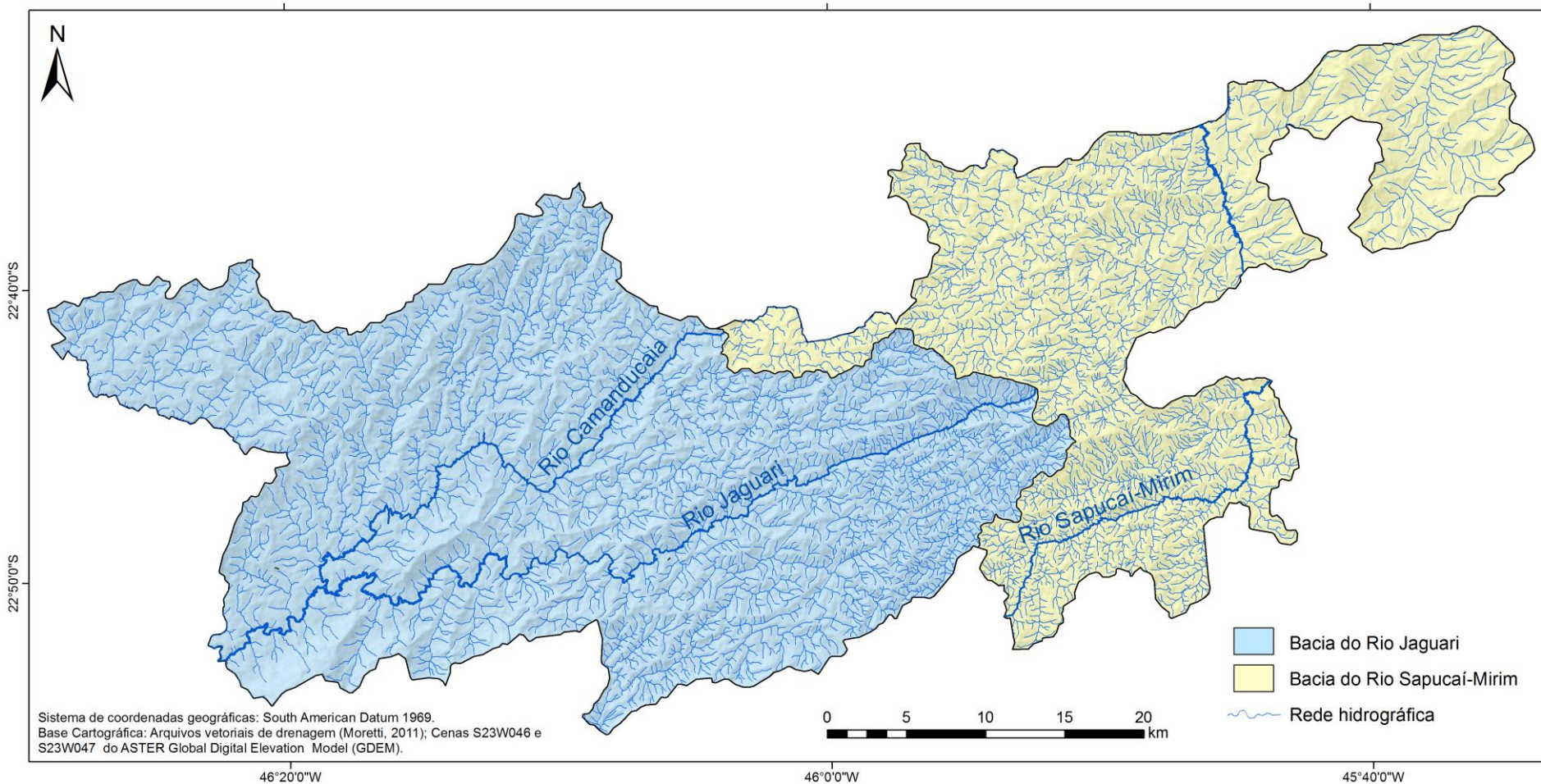


Figura 2.2 - Mapa hidrográfico da APA Fernão Dias - MG, com destaque às principais bacias. Org.: Garofalo, 2013

Com padrões de drenagem do tipo retangular, treliça e dendrítico, a alta densidade de canais de drenagem típica de ambientes serranos é condicionada pela grande quantidade de fraturas, 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).

Quanto ao regime pluviométrico, a região APA Fernão Dias apresenta 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 nesta faixa latitudinal, à proximidade do oceano e à topografia da serra da Mantiqueira, a qual favorece a ascendência orográfica (IBITU, 1998) (Figuras 2.3 e 2.4).

De acordo com a classificação climática de Köppen, a APA Fernão Dias está sob o domínio climático tropical 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, temperaturas mínimas diárias inferiores a 0°C (Figura 2.3). 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, inferior a 14°C, uma das mais baixas do Brasil (IBITU, 1998).

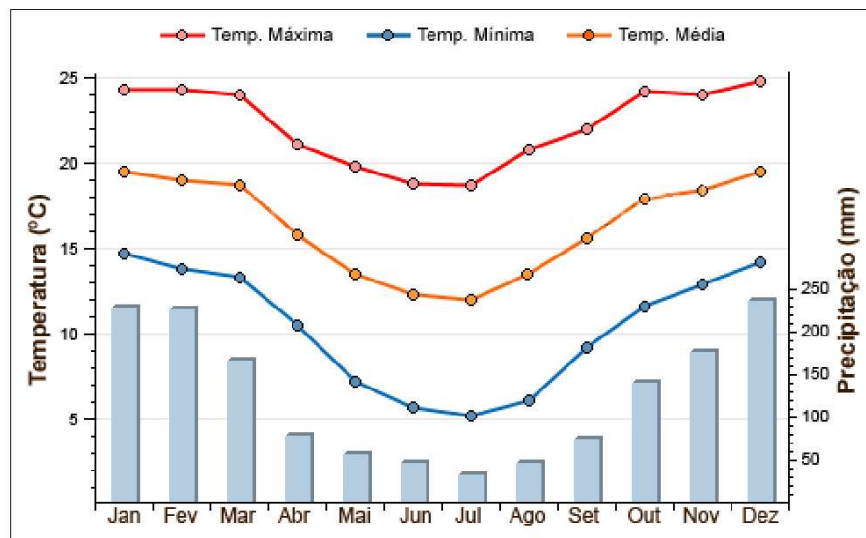


Figura 2.3 – Temperaturas mensais mínimas, máximas e médias (período de 2000 a 2010) e precipitações médias mensais (período de 1961 a 1990) no distrito de Monte Verde, município de Camanducaia (Adaptado de www.guiamonteverde.com.br, acesso em 09 de janeiro de 2013).

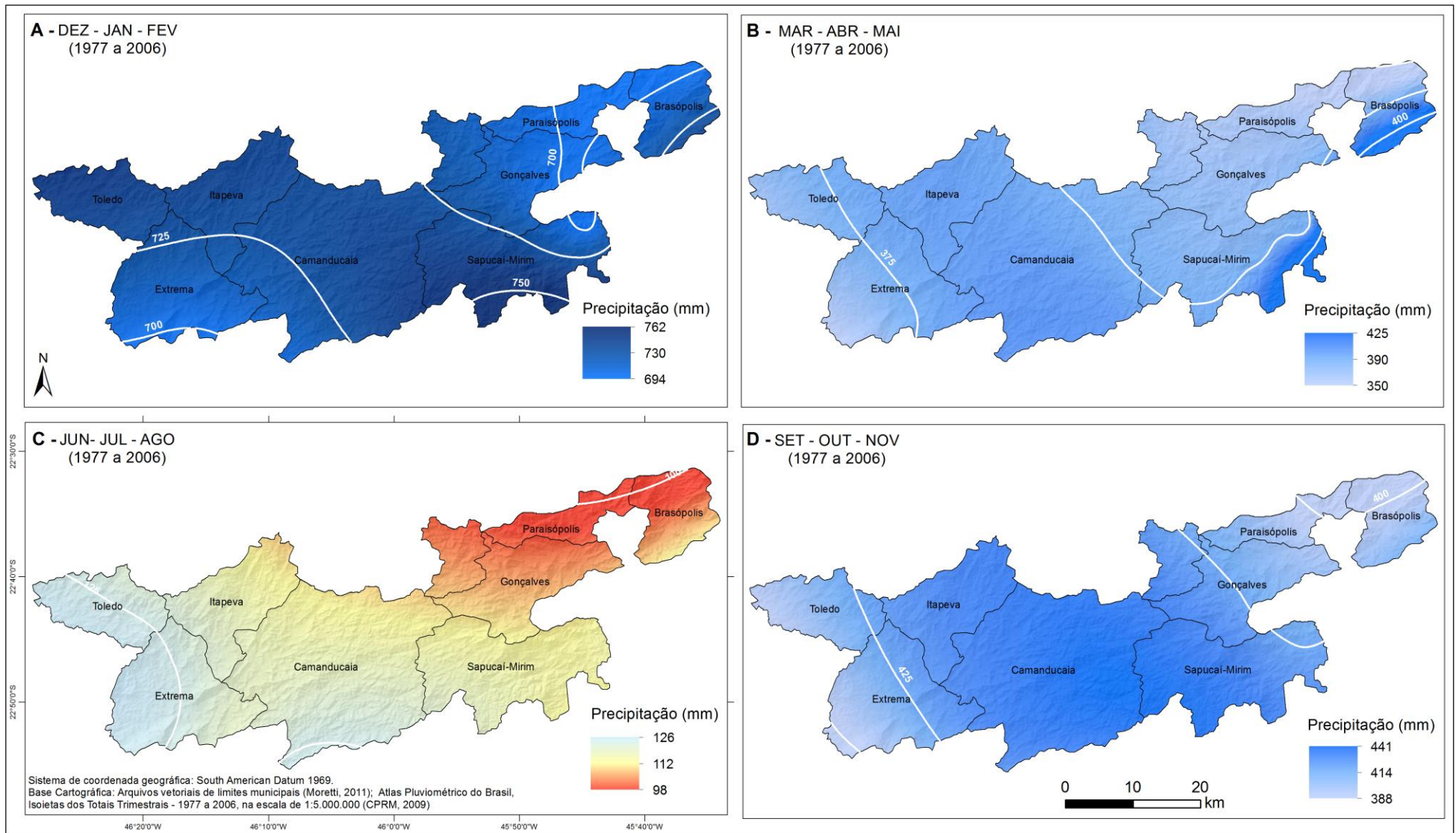


Figura 2.4 - Mapa da distribuição da chuva na APA Fernão Dias em quatro períodos trimestrais: (A) dezembro, janeiro, e fevereiro; (B) março, abril, e maio; (C) junho, julho, e agosto; (D) setembro, outubro, e novembro. Adaptado de CPRM, 2009 –Atlas Pluviométrico do Brasil, Isoietas dos Totais Trimestrais, na escala de 1:5.000.000. Org.: Garofalo, 2013.

Com altitudes que variam entre 833 e 2032 m (Figuras 2.6 e 2.7), a APA Fernão Dias está situada na região da Mantiqueira Meridional, compreendendo a Depressão de Sapucaí e os Planaltos de Campos do Jordão e de Lindóia, sendo que estas duas últimas unidades geomorfológicas apresentam contato bem nítido, praticamente coincidente com o traçado da rodovia Fernão Dias (Figura 2.5).

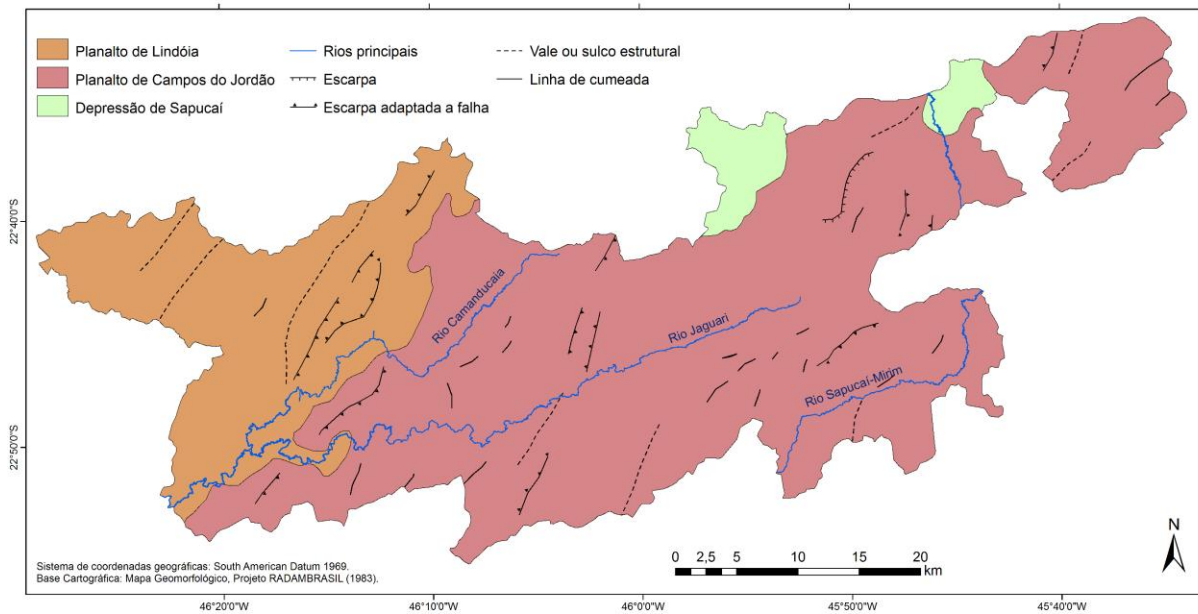


Figura 2.5 - Mapa das Unidades Geomorfológicas da APA Fernão Dias. Adaptado de RADAMBRASIL, 1983. Org.: Garofalo, 2013

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, apresentando relevo com predomínio de serras alongadas, limitadas por escarpas de falha e vales retilinizados, a exemplo das serras de Itapeva e do Lopo, importantes divisores de água da região (Figura 2.6). 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 (IBITU, 1998).

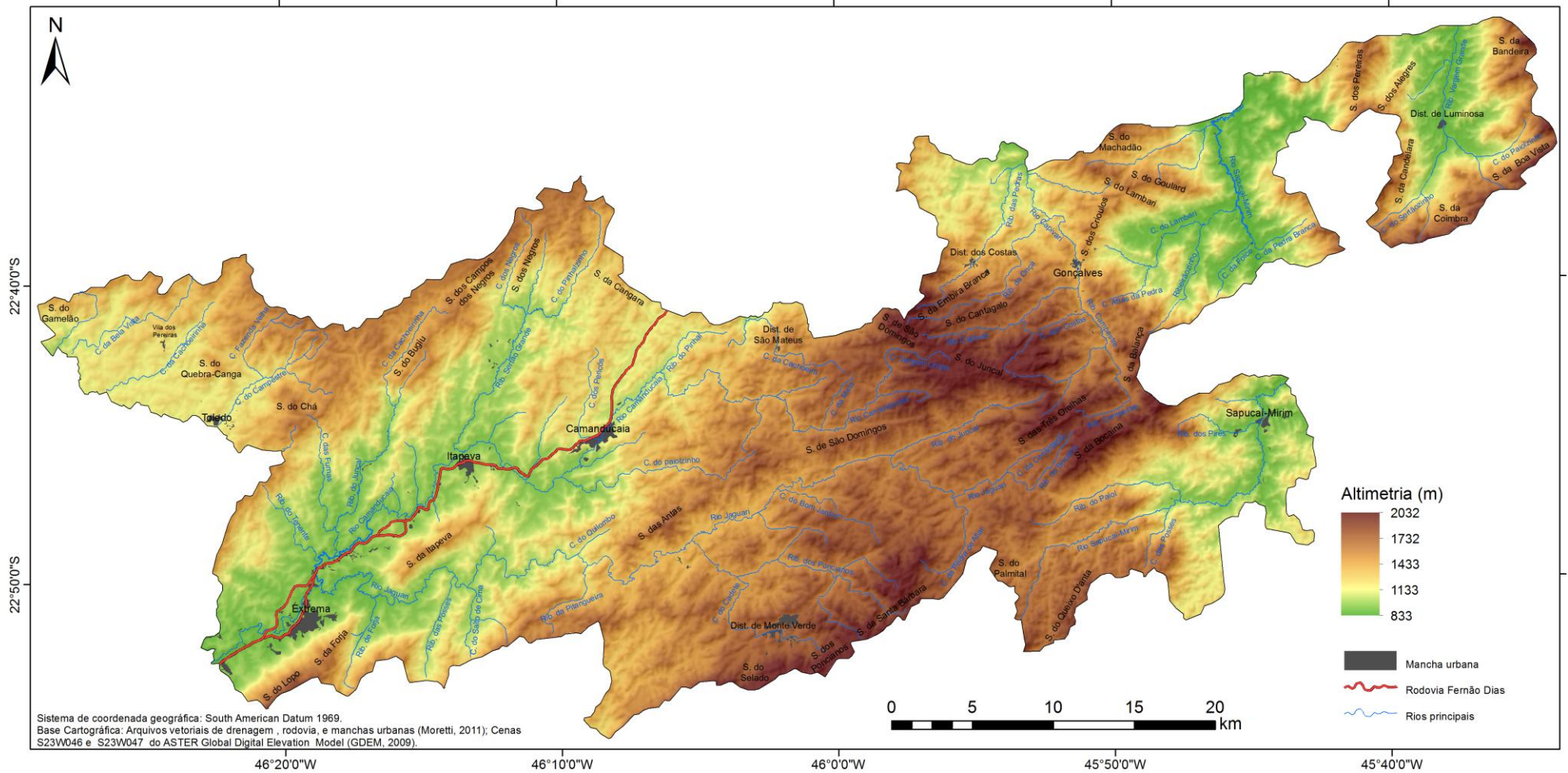


Figura 2.6 - Mapa altimétrico da APA Fernão Dias – MG.
 Org.: Garofalo, 2013.

De acordo com o CONSÓRCIO ERG-SCTP (2008), a APA Fernão Dias-MG apresenta cinco compartimentos geomorfológicos, que se distribuem em dois tipos de relevo: de agradação e de dissecção (Figura 2.7). O relevo de agradação corresponde às *planícies aluviais*, onde as superfícies são constituídas por depósitos fluviais com declividades inferiores a 5 graus. O relevo de dissecção se divide em: *relevo ondulado à colinoso*, estruturalmente alinhado na direção nordeste com elevada amplitude topográfica (530 m); *relevo colinoso*, possui alinhamento estrutural de direção nordeste e amplitude topográfica de aproximadamente 300 m; *relevo fortemente inclinado*, apresenta amplitude topográfica de cerca de 400 m; e *relevo variando de fortemente inclinado a montanhoso*, com amplitude topográfica de 300 m e alinhamento estrutural na direção noroeste.

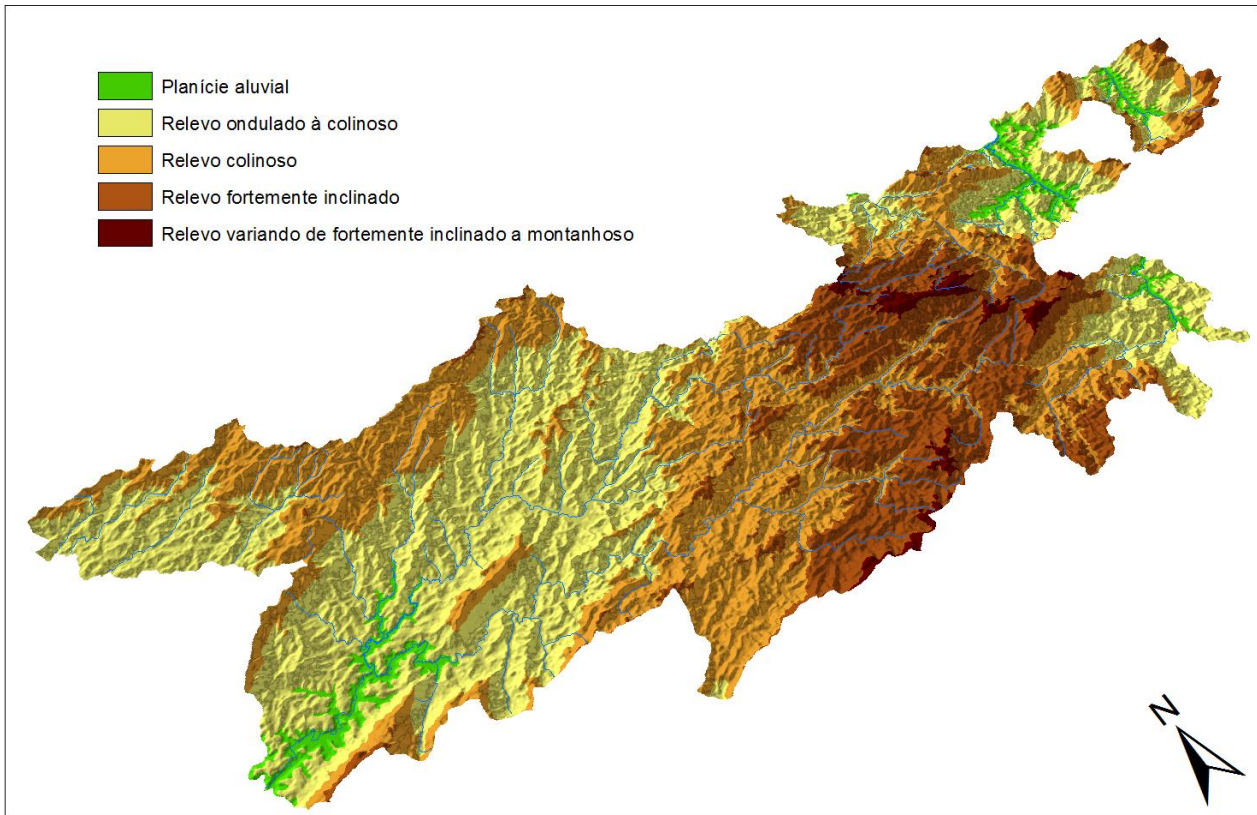


Figura 2.7 –Modelo tridimensional da APA Fernão Dias-MG, com compartimentações geomorfológicas. Org.: Garofalo, 2013. Fonte: Adaptado (CONSÓRCIO ERG-SCTP, 2008).

Quanto à geologia, a APA Fernão Dias 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 2.8).

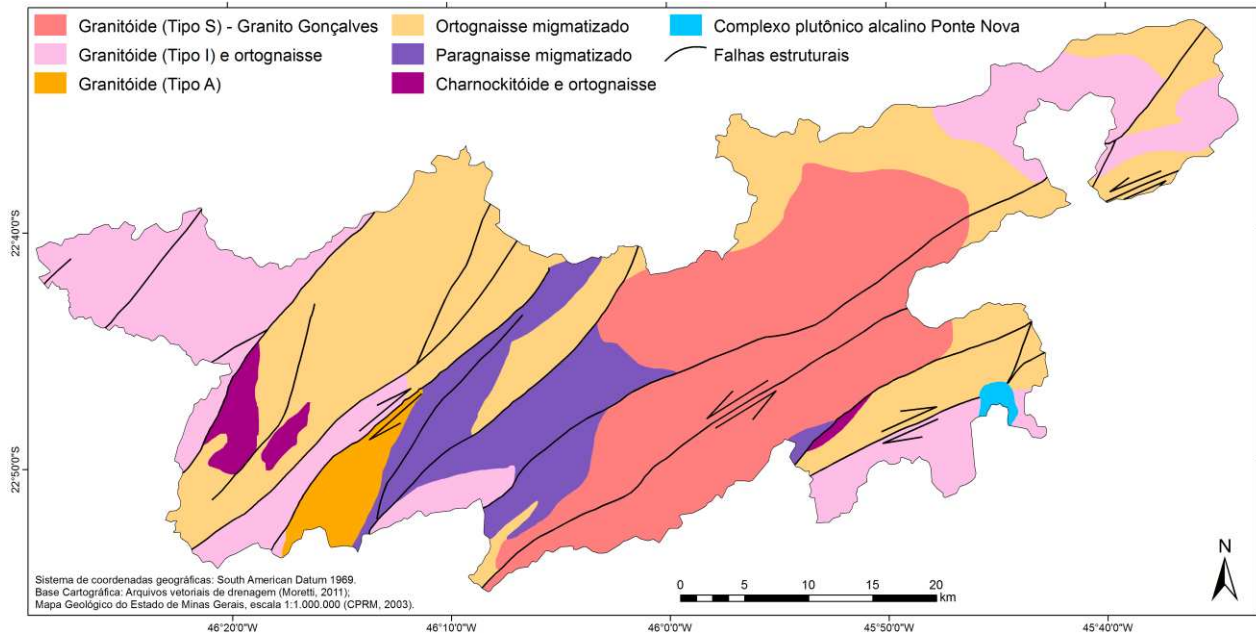


Figura 2.8 - Mapa litológico da APA Fernão Dias. Adaptado (CPRM, 2003; MORETTI, 2011).

Segundo Mattos (2011), as classes de solo que constituem a região da APA Fernão Dias-MG são Cambissolo Háplico distrófico, Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico e Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico. O Cambissolo Háplico distrófico, restrito a porção sul dos municípios de Camanducaia, Sapucaí-Mirim e Brasópolis, são solos minerais, que ocorrem em relevos ondulados a forte ondulados, pouco desenvolvidos evidenciando pouca profundidade. O Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico predomina na maior porção da APA e tem ocorrência em amplas e antigas superfícies de erosão ou terraços fluviais antigos, em relevo plano a suave ondulado, podendo ocorrer também em áreas mais dissecadas. O Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico ocorre geralmente em relevo movimentado, sendo que na APA abrange quase a totalidade das porções dos município de Brasópolis e Paraisópolis inseridas na APA, além de porções significativas de Extrema, Toledo e Itapeva, e um pequeno trecho de Camanducaia.

As condições climáticas da APA Fernão Dias-MG, relacionadas às suas condições topográficas, influenciam na composição florística e na distribuição de suas formações vegetais. Desta forma, a cobertura vegetal nativa da APA Fernão Dias é composta, de acordo com a classificação do IBGE (1992), por:

a) *Floresta ombrófila densa*: restrita às formações montanas (500 a 1500 m) e altomontanas (acima de 1500 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) (Figuras 2.9A e 2.10). É caracterizada por fatores climáticos tropicais de elevadas temperaturas (médias de 25°C) e de alta precipitação bem distribuída durante o ano (de 0 a 60 dias secos) (IBGE, 1992).

b) *Floresta ombrófila mista*: nesta formação, a maioria das árvores emergentes é composta por araucárias (*Araucária angustifolia*). Está associada à maior umidade, a temperaturas baixas, a solos profundos e a altitudes elevadas (acima de 900 m) (IBITU, 1998). Sua composição florística sugere uma ocupação a partir de refúgios altomontanos, como os situados na serra da Mantiqueira (IBGE, 1992) (Figuras 2.9B e 2.10).

c) *Floresta estacional semidecidual*: condicionada pela dupla estacionalidade climática, é caracterizada pela caducifolia em 20 a 50% dos indivíduos durante o período de maior estiagem. Predomina na porção oeste, na região de Toledo, Itapeva e Extrema, nas menores altitudes de Camanducaia, e ao norte da APA, na região de Luminosa (distrito de Brasópolis) e Paraisópolis. 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 (IBITU, 1998) (Figuras 2.9C e 2.10).

d) *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. 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) (Figuras 2.9D).

De modo geral, a APA Fernão Dias apresenta um uso predominantemente agropastoril associado aos remanescentes florestais e à silvicultura, com um adensamento urbano no eixo da Rodovia Fernão Dias (Figura 2.10).

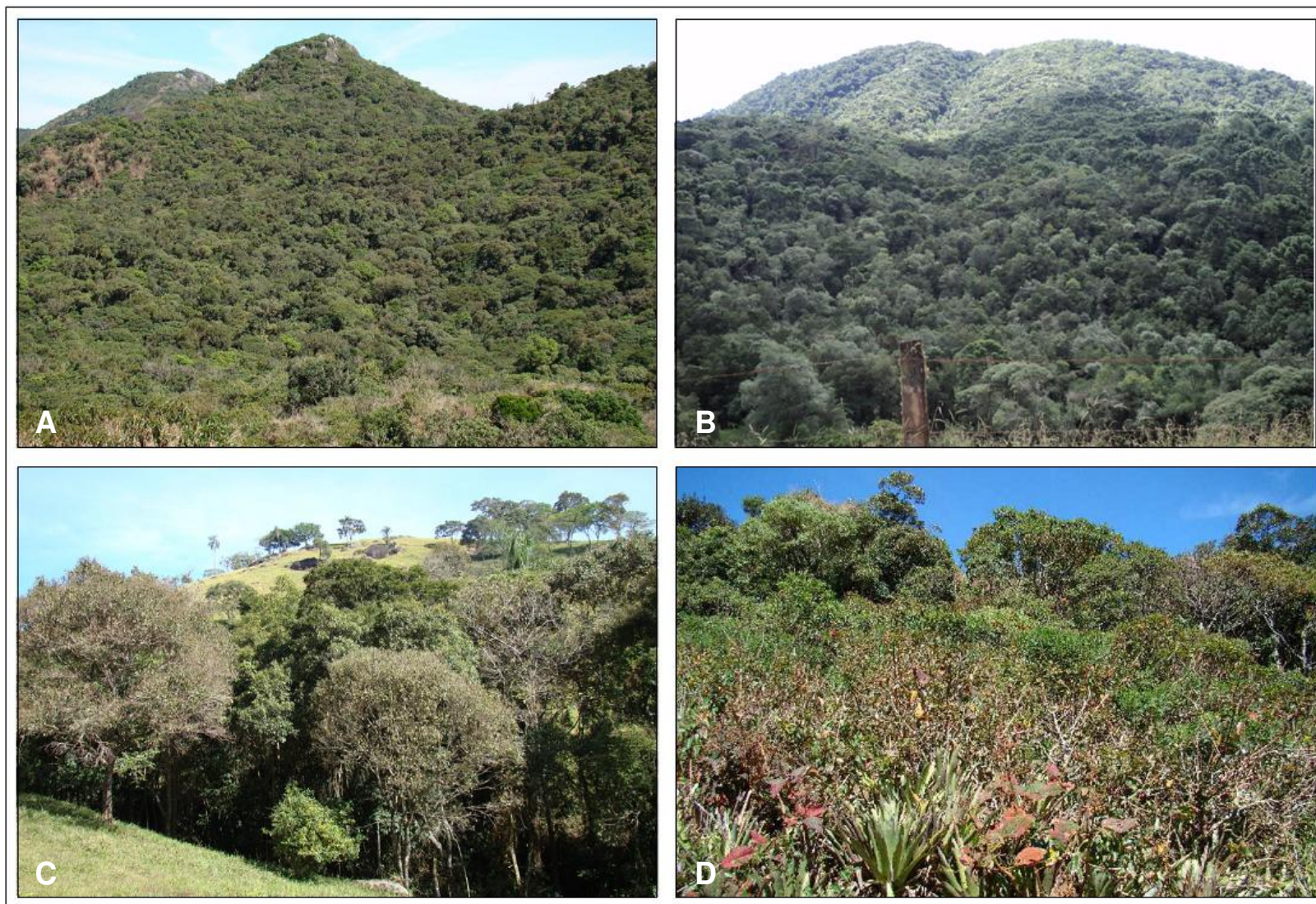


Figura 2.9 – (A) Floresta Ombrófila Densa em Monte Verde, Camanducaia; (B) Floresta Ombrófila Mista em Gonçalves; (C) Fragmento de Floresta Estacional Semidecidual em Paraisópolis; e (D) Campos de Atitude nas imediações do morro do Chapéu do Bispo, Camanducaia.
Fonte: Moretti, 2011; Garofalo, 2013.

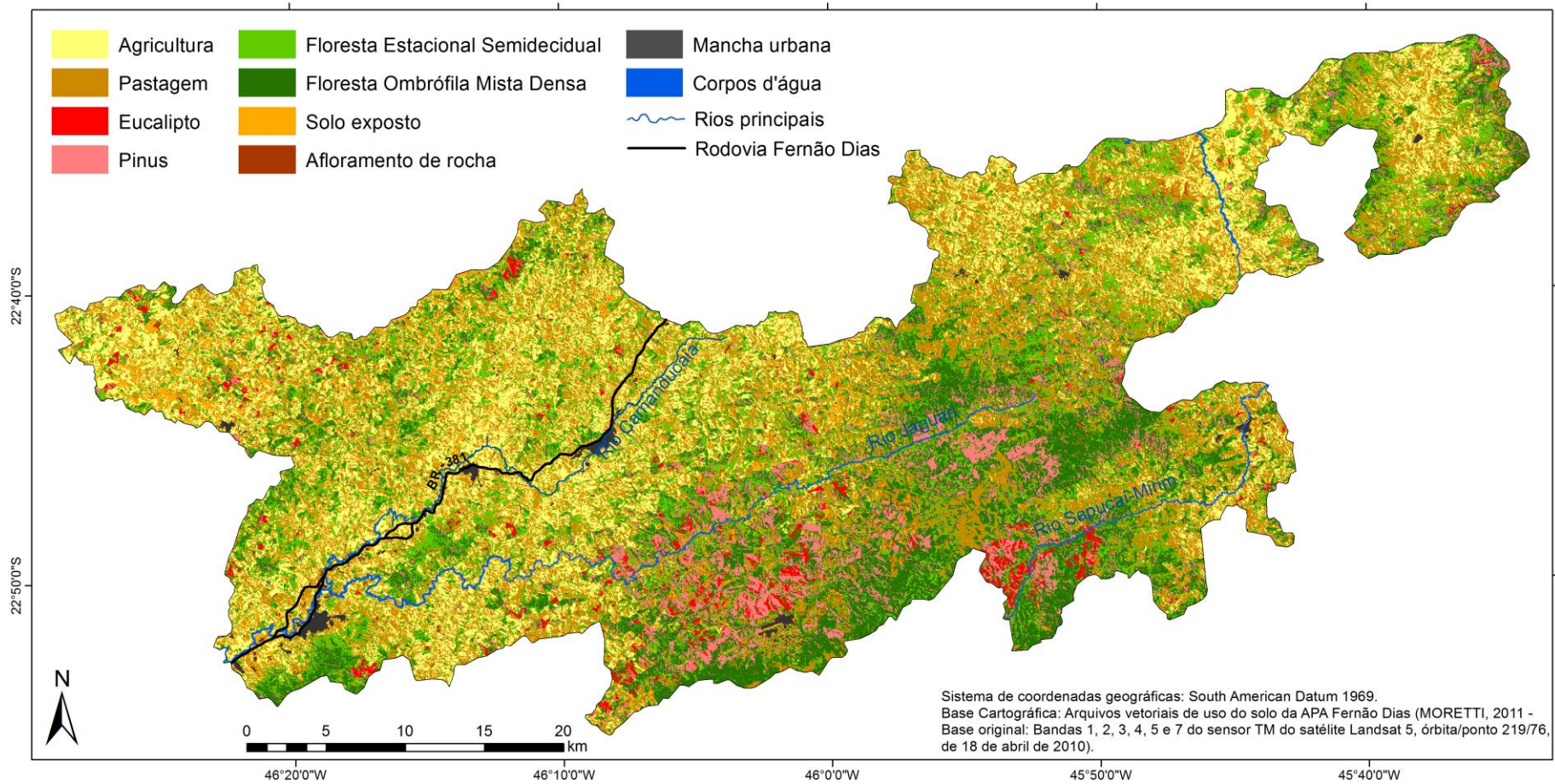


Figura 2.10 – Mapa de uso e cobertura vegetal do solo da APA Fernão Dias-MG. Fonte: Adaptado (MORETTI, 2011).

Na quantificação do mapa de uso e cobertura vegetal do solo da APA Fernão Dias realizado por Moretti (2011), 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 2.1 apresenta a área ocupada por cada classe.

Tabela 2.1 - 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	18,4
Reflorestamento de pinus	86,42	4,79
Reflorestamento de eucalipto	35,42	1,96
Áreas de pastagem e campo sujo com cultivos agrícolas isolados	926,2	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

Fonte: Adaptado (MORETTI, 2011).

2.4 Dinâmica socioeconômica

Conforme descrito anteriormente, a APA Fernão Dias é constituída por territórios de oito municípios: Brasópolis, Camanducaia, Extrema, Gonçalves, Itapeva, Paraisópolis, Sapucaí-Mirim e Toledo. Entretanto, dois deles estão apenas parcialmente incorporados: Brasópolis e Paraisópolis. O primeiro tem o distrito de Luminosa incorporado à área. O segundo fornece o distrito de Costas. Os outros seis municípios são incorporados integralmente.

2.4.1 Dinâmica econômica

Antes da duplicação da Rodovia Fernão Dias a dinâmica econômica dos municípios da APA tinha como base principal a atividade agropecuária, desenvolvida em pequenas propriedades (IBITU, 1998; MORETTI, 2011). Após as obras de duplicação da rodovia Fernão Dias – entre o período de 1995 a 2003, os municípios de Extrema e Camanducaia receberam novos empreendimentos industriais, com a instalação, em meados da década de 1990, de distritos

industriais compostos por empresas dos setores alimentício, têxtil, de confecções, de papel e celulose, de borracha e plástico, de máquinas e equipamentos, entre outros (MORETTI, 2011). Desta forma, o acesso facilitado a esta região, através da duplicação da Rodovia Fernão Dias, tem beneficiado um processo de expansão industrial e urbana e um incremento turístico a estes e aos demais municípios integrantes da APA, alterando parcialmente a dinâmica econômica destes municípios, que têm passado de uma base agropecuária para uma base industrial e de serviços, de acordo com a Tabela 2.2 e o gráfico da Figura 2.11.

Tabela 2.2 - Arrecadação dos setores econômicos e PIB dos municípios no conjunto da APA.

Município	Ano	Valor adicionado bruto (mil reais)						Total	PIB (mil reais)
		Agropecuária		Indústria		Serviços			
		Bruto	%	Bruto	%	Bruto	%		
Brasópolis	2000	12.299	29,30	5.987	14,26	23.689	56,44	41.975	44.656
	2005	15.658	23,68	10.041	15,18	40.434	61,14	66.133	72.598
	2009	25.548	26,01	12.885	13,12	59.777	60,87	98.210	105.255
Camanducaia	2000	10.725	17,92	13.422	22,43	35.689	59,64	59.836	65.817
	2005	12.865	9,08	43.477	30,70	85.292	60,22	141.634	158.515
	2009	29.458	14,74	42.783	21,41	127.572	63,85	199.813	217.758
Extrema	2000	2.705	1,04	136.146	52,35	121.237	46,61	260.088	326.174
	2005	4.563	0,63	240.285	33,26	477.692	66,11	722.540	891.187
	2009	5.693	0,50	488.735	42,61	652.626	56,90	1.147.054	1.394.322
Gonçalves	2000	2.701	28,99	870	9,34	5.747	61,68	9.318	9.694
	2005	4.355	27,22	1.618	10,11	10.026	62,67	15.999	17.009
	2009	6.094	26,17	2.129	9,14	15.064	64,69	23.287	24.095
Itapeva	2000	9.550	34,59	2.693	9,75	15.369	55,66	27.612	29.582
	2005	14.503	22,24	9.767	14,98	40.943	62,78	65.213	73.690
	2009	20.437	23,50	13.901	15,98	52.634	60,52	86.972	97.032
Paraisópolis	2000	5.741	4,49	69.937	54,68	52.224	40,83	127.902	162.500
	2005	8.827	4,16	110.406	52,05	92.886	43,79	212.119	233.984
	2009	15.550	6,20	113.786	45,39	121.337	48,40	250.673	275.499
Sapucaí-Mirim	2000	2.202	15,55	2.633	18,60	9.324	65,85	14.159	15.420
	2005	4.299	17,23	3.919	15,71	16.729	67,06	24.947	27.536
	2009	6.879	19,58	5.018	14,29	23.227	66,13	35.124	37.891
Toledo	2000	3.777	31,65	1.507	12,63	6.650	55,72	11.934	12.308
	2005	5.991	25,38	5.248	22,23	12.369	52,39	23.608	24.857
	2009	8.027	17,85	14.693	32,67	22.253	49,48	44.973	48.272
Total os municípios	2000	49.700	8,99	233.195	42,18	269.929	48,83	552.824	666.151
	2005	71.061	5,59	424.761	33,39	776.371	61,03	1.272.193	1.499.376
	2009	117.686	6,24	693.930	36,79	1.074.490	56,97	1.886.106	2.200.124

Fonte: IBGE Cidades - <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>, acessado em 05/11/2012.

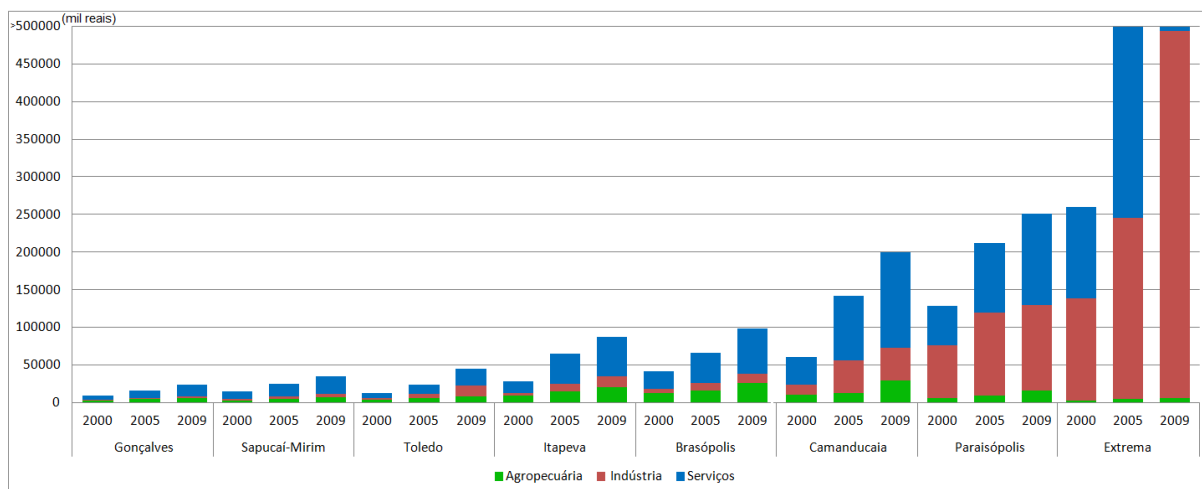


Figura 2.11 - Arrecadação dos setores econômicos dos municípios no conjunto da APA.

Fonte: IBGE Cidades - <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>, acessado em 05 de novembro de 2012.

As informações da Figura 2.12 e da Tabela 2.3 corroboram as afirmações de Almeida (2004) e Mattos (2011), de que a duplicação da Rodovia Fernão Dias (BR-381) impulsionou as economias dos municípios ao longo de seu traçado, de forma que o sul de Minas passa a figurar como importante polo empresarial e logístico mineiro. No período de 2000 a 2009, os municípios conectados à Rodovia Fernão Dias (BR-381) – Camanducaia, Extrema e Itapeva, ou próximos a ela – Toledo, foram os que apresentaram maior crescimento nos setores industrial e de serviços, acima de 200% (Tabela 2.3), enquanto que os demais municípios tiveram maior crescimento agropecuário, acima de 125%, com exceção dos municípios de Brasópolis, com crescimento agropecuário de 107%, e Camanducaia (170%) (Tabela 2.3). Estas transformações são perceptíveis ao analisar os Diagramas de Triângulos apresentados na Figura 2.12.

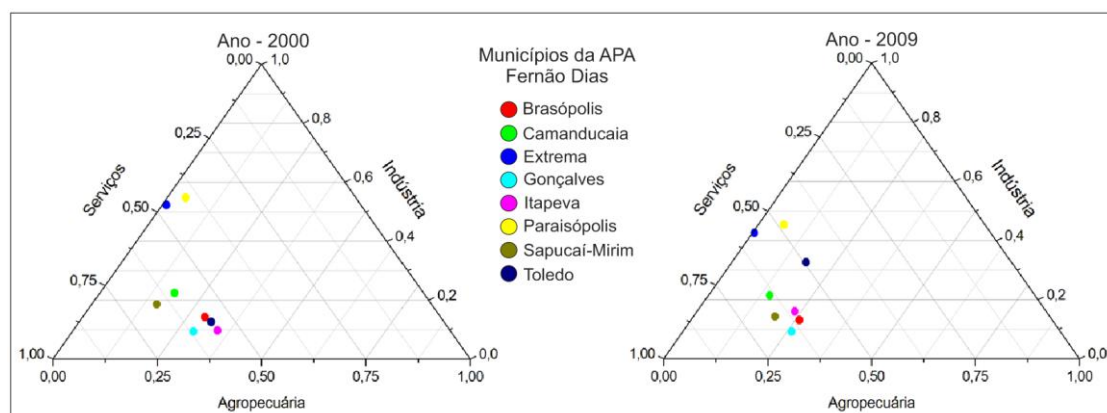


Figura 2.12 – Diagramas Triangulares referentes à participação percentual de cada setor econômico no capital arrecadado dos municípios da APA Fernão Dias. Org.: Garofalo, 2013.

Tabela 2.3 – Evolução dos setores econômicos dos municípios da APA para o período de 2000 a 2009.

Município	Período	Evolução econômica			
		Agropecuária	Indústria	Serviços	PIB
Brasópolis	2000 a 2005	27,31%	67,71%	70,69%	62,57%
	2005 a 2009	63,16%	28,32%	47,84%	44,98%
	2000 a 2009	107,72%	115,22%	152,34%	135,70%
Camanducaia	2000 a 2005	19,95%	223,92%	138,99%	140,84%
	2005 a 2009	128,98%	-1,60%	49,57%	37,37%
	2000 a 2009	174,67%	218,75%	257,45%	230,85%
Extrema	2000 a 2005	68,69%	76,49%	294,02%	173,22%
	2005 a 2009	24,76%	103,40%	36,62%	56,46%
	2000 a 2009	110,46%	258,98%	438,31%	327,48%
Gonçalves	2000 a 2005	61,24%	85,98%	74,46%	75,46%
	2005 a 2009	39,93%	31,58%	50,25%	41,66%
	2000 a 2009	125,62%	144,71%	162,12%	148,56%
Itapeva	2000 a 2005	51,86%	262,68%	166,40%	149,10%
	2005 a 2009	40,92%	42,33%	28,55%	31,68%
	2000 a 2009	114,00%	416,19%	242,47%	228,01%
Paraisópolis	2000 a 2005	53,75%	57,86%	77,86%	43,99%
	2005 a 2009	76,16%	3,06%	30,63%	17,74%
	2000 a 2009	170,86%	62,70%	132,34%	69,54%
Sapucaí-Mirim	2000 a 2005	95,23%	48,84%	79,42%	78,57%
	2005 a 2009	60,01%	28,04%	38,84%	37,61%
	2000 a 2009	212,40%	90,58%	149,11%	145,73%
Toledo	2000 a 2005	58,62%	248,24%	86,00%	101,96%
	2005 a 2009	33,98%	179,97%	79,91%	94,20%
	2000 a 2009	112,52%	874,98%	234,63%	292,20%
Total	2000 a 2005	42,98%	82,15%	187,62%	125,08%
	2005 a 2009	65,61%	63,37%	38,40%	46,74%
	2000 a 2009	136,79%	197,57%	298,06%	230,27%

Fonte: IBGE Cidades - <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>, acessado em 05 de novembro de 2012.

2.4.2 Dinâmica demográfica

Os municípios integrantes da APA Fernão Dias somaram em 2010 uma população de 108.608 pessoas, sendo 77.089 (71%) na área urbana e 31.519 (29%) na área rural. De modo geral, entre o período de 1991 a 2010, a população dos municípios que compõe a APA teve um crescimento de 39,40%, passando de 77.910 para 108.608 pessoas residentes, com um aumento de 74,09% da população urbana e um decréscimo de 6,28% da população rural. A Tabela 2.4 e a Figura 2.13 apresentam a população urbana, rural e total dos municípios integrantes da APA para

os anos de 1991, 2000 e 2010, com destaque para a evolução demográfica destes municípios neste mesmo período, apresentada na Tabela 2.4.

Tabela 2.4 - População urbana, rural e total dos municípios integrantes da APA Fernão Dias - MG para os anos de 1991, 2000 e 2010.

Município	Ano	Urbana		Cresc. dem. 1991 a 2010	Rural		Cresc. dem. 1991 a 2010	Total	Cresc. dem. 1991 a 2010
		Total	%		Total	%			
Brasópolis	1991	7.104	51,8		6.607	48,2		13.711	
	2000	7.694	50,7	11,08%	7.471	49,3	2,47%	15.165	6,93%
	2010	7.891	53,8		6.770	46,2		14.661	
Camanducaia	1991	10.441	61,7		6.486	38,3		16.927	
	2000	14.262	69,4	48,16%	6.275	30,6	-13,49%	20.537	24,53%
	2010	15.469	73,4		5.611	26,6		21.080	
Extrema	1991	9.088	63,5		5.226	36,5		14.314	
	2000	12.902	67,1	186,34%	6.317	32,9	-50,71%	19.219	99,80%
	2010	26.023	91,0		2.576	9,0		28.599	
Gonçalves	1991	926	23,9		2.951	76,1		3.877	
	2000	1.057	25,6	25,70%	3.066	74,4	3,56%	4.123	8,85%
	2010	1.164	27,6		3.056	72,4		4.220	
Itapeva	1991	3.013	54,5		2.516	45,5		5.529	
	2000	3.781	51,4	49,72%	3.580	48,6	65,06%	7.361	56,70%
	2010	4.511	52,1		4.153	47,9		8.664	
Paraisópolis	1991	10.291	70,4		4.323	29,6		14.614	
	2000	12.990	74,2	56,04%	4.508	25,8	-23,18%	17.498	32,61%
	2010	16.058	82,9		3.321	17,1		19.379	
Sapucai-Mirim	1991	1.987	46,5		2.287	53,5		4.274	
	2000	2.654	48,7	90,39%	2.801	51,3	7,48%	5.455	46,02%
	2010	3.783	60,6		2.458	39,4		6.241	
Toledo	1991	1.430	30,7		3.234	69,3		4.664	
	2000	1.952	37,4	53,15%	3.270	62,6	10,51%	5.222	23,58%
	2010	2.190	38,0		3.574	62,0		5.764	
Total	1991	44.280	56,8		33.630	43,2		77.910	
	2000	57.292	60,6	74,09%	37.288	39,4	-6,28%	94.580	39,40%
	2010	77.089	71,0		31.519	29,0		108.608	

Fonte: PNUD, 2003; IBGE Cidades - <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>, acessado em 05 de novembro de 2012.

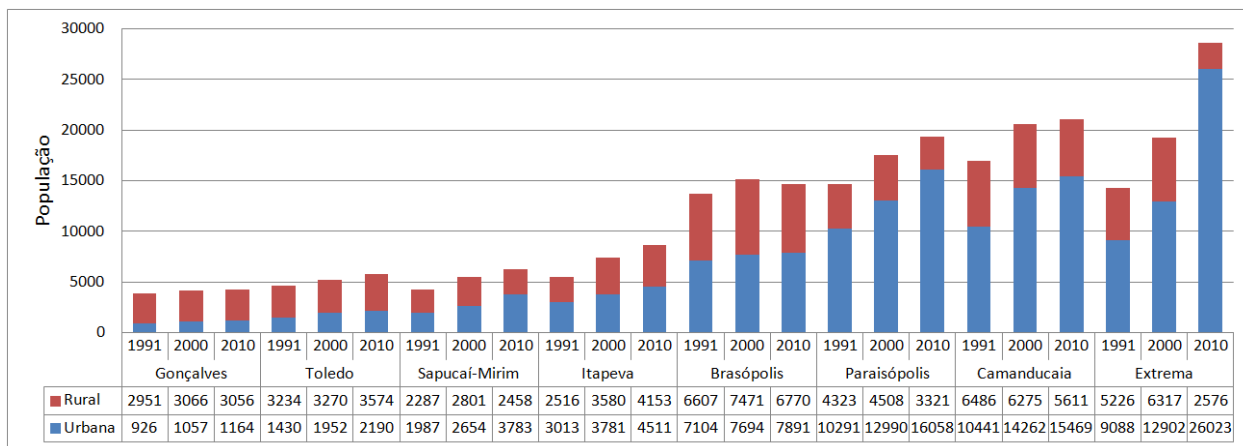


Figura 2.13 – Distribuição da população urbana e rural nos municípios integrantes da APA Fernão Dias - MG.
Org: Garofalo, 2013. Fonte: PNUD, 2003; IBGE Cidades - <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>, acessado em 05 de novembro de 2012.

O município de Extrema apresentou uma taxa de crescimento populacional de 99,8% entre o período de 1991 a 2010, com um aumento de 186,34% da população urbana e um decréscimo de 50,71% da população rural. Já o município de Brasópolis apresentou um crescimento populacional de apenas 6,93%, bem abaixo da média de crescimento populacional dos municípios integrantes da APA, que é de 36,14% (Tabela 2.4).

Contudo, os municípios de Brasópolis e Paraisópolis estão parcialmente incorporados no perímetro da APA, sendo que a população de Brasópolis residente dentro do perímetro da APA é de aproximadamente 4.116 habitantes, 3.553 na área rural e 563 na área urbana, enquanto que a população de Paraisópolis dentro do perímetro da APA é de aproximadamente 6.544 habitantes, 5.863 na área rural e 677 na área urbana (IBGE, 2011). Desta forma, de acordo com o Censo demográfico de 2010 (IBGE, 2011), o contingente populacional da APA Fernão Dias é de aproximadamente 85.228 habitantes, 54.380 na área urbana e 30.848 na área rural, com uma densidade demográfica de 47,38 hab./km². No gráfico da figura 2.14 é apresentada a participação aproximada da população residente de cada município no contingente populacional da APA Fernão Dias, de acordo com os dados censitários de 2010.

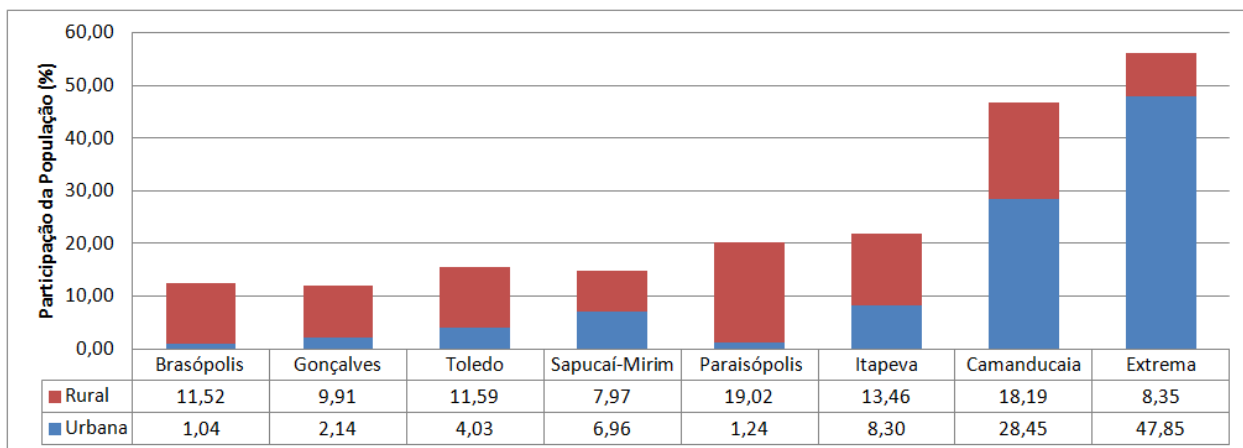


Figura 2.14 –Proporção de população rural e urbana em 2010, nos municípios inseridos na APA Fernão Dias – MG. Fonte: IBGE Cidades - <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>, acessado em 05 de novembro de 2012.

De acordo com dos dados censitários de 2010 (IBGE, 2011), as maiores concentrações populacionais na APA Fernão Dias-MG se dão principalmente na porção oeste da APA, nos trechos circundantes à BR 381, enquanto que as menores concentrações populacionais são observadas na porção sul (Figura 2.15).

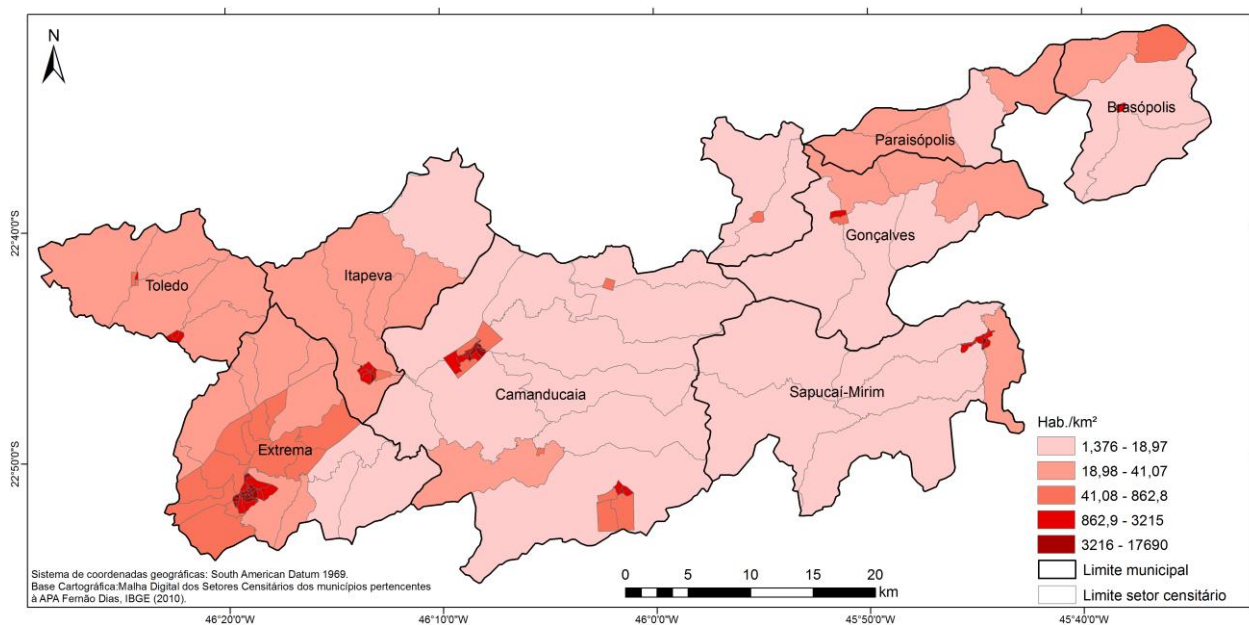


Figura 2.15 - Densidade demográfica por setores censitários dos municípios da APA Fernão Dias – MG, em 2010. Org.: Garofalo, 2013. Fonte: IBGE (2010).

2.2 Análise do Plano de Gestão da APA Fernão Dias – MG

O Plano de Gestão da APA Fernão Dias é um documento que serve como referencial para o gerenciamento da APA Fernão Dias, tendo como objetivo instrumentalizar a gerência da APA e os municípios de sua abrangência para condução da proteção da biodiversidade, controle do uso de recursos naturais e disciplinamento do uso e ocupação do solo.

O Plano de Gestão foi elaborado pela empresa *IBITU Consultoria Ambiental*, sendo concluído em 1998. Documento posterior foi elaborado em 2008 pela Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (SEMAD), Instituto Estadual de Florestas (IEF), Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM), Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM) e a Divisão de Estradas e Rodagem de Minas Gerais (DER-MG), em consórcio e sob coordenação da *ERG Engenharia/STCP*, que ratifica o anterior e o amplia nas propostas e programas, zoneamento, materiais cartográficos e didáticos. Este documento foi aprovado em 15 de setembro de 2009 pelo Conselho Gestor da APA e seu zoneamento sofreu alterações em 16 de abril de 2010.

A fim de ordenar o uso e ocupação do solo da APA Fernão Dias, o Plano de manejo apresenta um Zoneamento Ambiental, com a delimitação geográfica de áreas territoriais, estabelecendo regimes especiais de uso. Para a APA Fernão Dias o zoneamento ambiental apoiou-se nos critérios de restrições de ocupação e uso da terra e dos recursos naturais impostos pela própria base natural dos ambientes montanhosos da serra da Mantiqueira e nas normas legais vigentes. Desta forma o plano previu nove zonas de manejos:

- 1. Conservação com Concentração de Atividades Agropastoris;
- 2. Conservação com Concentração de Atividades Silviculturas;
- 3. Desenvolvimento Industrial;
- 4. Ocupação Urbana;
- 5. Expansão Urbana;
- 6. Proteção de Vida Silvestre;
- 7. Conservação de Vida Silvestre;
- 8. Uso Especial;
- 9. Ocorrência Ambiental.

O mapa com o Zoneamento Ambiental da APA Fernão Dias é apresentado na Figura 2.16; a descrição de cada zona, na Quadro 2.1.

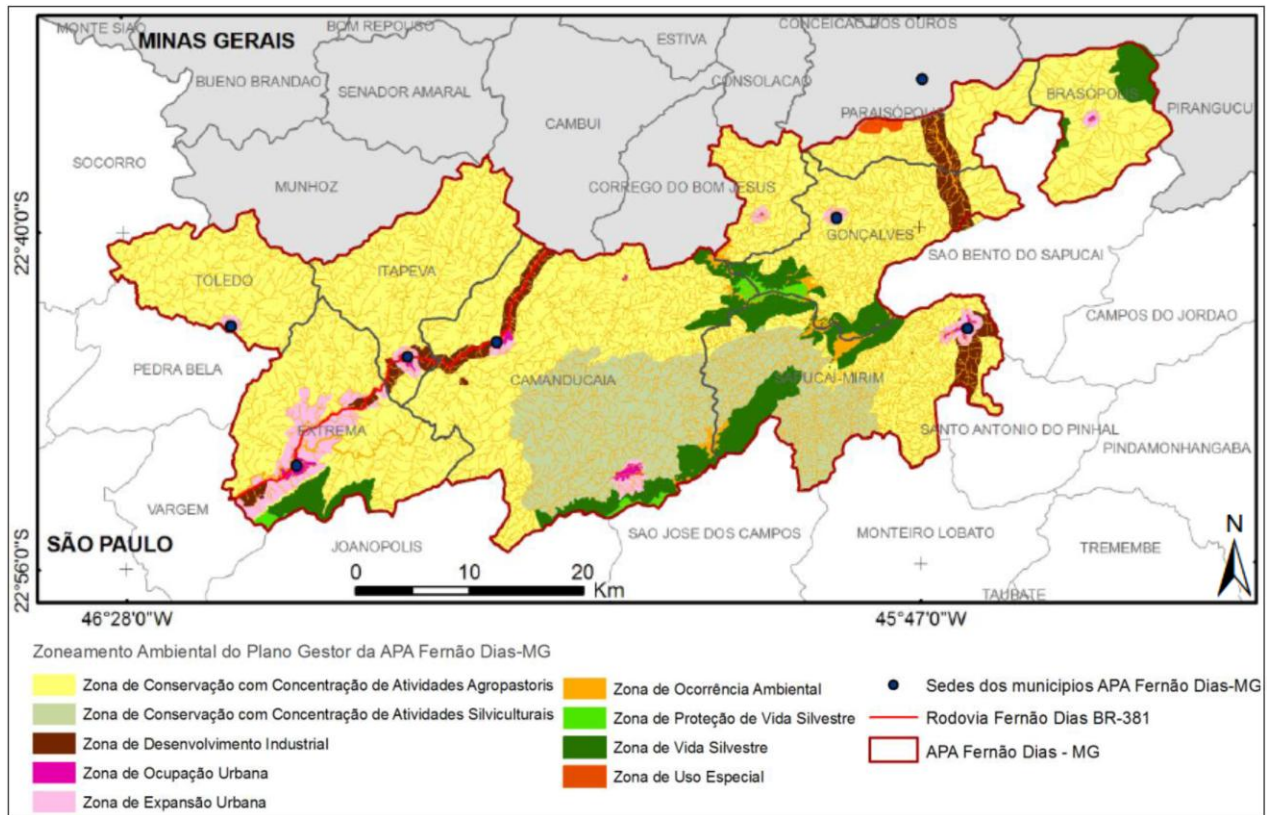


Figura 2.16 – Mapa de Zoneamento Ambiental da APA Fernão Dias – MG.
Fonte: Adaptado (CONSÓRCIO ERG-SCTP, 2008; MATTOS, 2011).

Uma descrição de cada zona de manejo é apresentada no Quadro 2.1 de forma sintetizada.

Quadro 2.1 - Síntese do Zoneamento Definido para a APA Fernão Dias.

ZONAS	DESCRIÇÃO	OBJETIVOS
Preservação da Vida Silvestre	Áreas com potencial para a criação de Unidades de Conservação, que agrupa atributos e condições ambientais naturais remanescentes ou em estágio avançado de regeneração. Consistem em porções das áreas estratégicas para o grupo de fauna e flora delimitadas a partir dos critérios apresentados para as áreas homogêneas.	<ul style="list-style-type: none"> - Proteger espécies da fauna e da flora, inclusive as raras, ameaçadas de extinção e endêmicas; - Proteger os remanescentes de Floresta Ombrófila, Estacional e áreas de campo da região Sul do Estado de Minas Gerais; e, - Possibilitar a pesquisa científica.
Conservação da Vida Silvestre	Áreas com potencial para a criação de Unidades de Conservação, que agrupa atributos e condições ambientais naturais remanescentes ou em estágio avançado de regeneração. Consistem em porções das áreas estratégicas para o grupo de fauna e flora delimitadas a partir dos critérios apresentados para as áreas homogêneas.	<ul style="list-style-type: none"> - Fornecer suporte para espécies da fauna e da flora, inclusive as raras, ameaçadas de extinção e endêmicas; - Conservar remanescentes de Floresta Ombrófila, Estacional e áreas de campo da região Sul do Estado de Minas Gerais; e, - Possibilitar a pesquisa científica.
Conservação com Concentração de Atividades Agropastoris	Ocorrência de áreas de uso agropecuário consolidado, incluindo aquela onde a agricultura é mais intensa e equipada. Vincula-se a principal vocação dos municípios que compõe a APA: a agricultura e a pecuária. Visa assimilar o uso existente, e controlar a utilização dos recursos naturais tais como os recursos hídricos e o manejo do solo.	<ul style="list-style-type: none"> - Possibilitar a utilização de formas de manejo agropecuário menos impactantes no meio ambiente, consolidando o uso rural produtivo; - Promover novas técnicas e a introdução de conceitos sustentáveis na pecuária e agricultura; - Regularizar o uso dos recursos hídricos; - Incentivar a implantação de atividades agrícolas e pecuárias de alta tecnologia, baseadas em produção intensiva e que otimizem o uso dos recursos ambientais; - Incentivar o manejo agrícola compartilhado com a combinação de espécies nativas; - Incentivar padrões de parcelamento do solo, que permitam a manutenção de baixa densidade de ocupação; e - Possibilitar a pesquisa sobre novas técnicas de manejo.
Conservação com Concentração de Atividades Silviculturais	Esta área distinguiu-se por ter seu uso econômico com predominância de atividades voltadas à silvicultura, intercalada com fragmentos florestais significativos e por outros usos de menor significância no contexto geral. As pressões sobre o meio ambiente, em longo prazo, são menores, pois nos plantios florestais são utilizados menos insumos agrícolas e um manejo de baixa intensidade, com poucas intervenções quando comparado ao sistema	<ul style="list-style-type: none"> - Oferecimento de suporte para vida silvestre; - Organização da Atividade Florestal na APA; e - Controle da dispersão de espécies exóticas.

ZONAS	DESCRIÇÃO	OBJETIVOS
	agropecuário, salvo exceções quando não são respeitados os limites de APP.	
Urbana (Zona de Ocupação e Expansão)	Zona destinada a propiciar o equilíbrio entre a conservação dos recursos naturais e os vetores de expansão, disciplinando a expansão urbana sobre as áreas de maior vulnerabilidade e de relevância para conservação, permitindo que os municípios se desenvolvam em termos de organização, infraestrutura e visibilidade do futuro almejado.	<ul style="list-style-type: none"> - Disciplinar o parcelamento do solo das áreas de expansão urbana, de forma compatível com os objetivos da APA; - Incentivar que todos os municípios possuam plano diretor para gestão ambiental urbana associada a sustentabilidade pretendida pela APA; e - Vincular a aprovação de novos loteamentos urbanos à implantação de infraestrutura de saneamento (hoje um dos mais graves problemas da APA).
Desenvolvimento Industrial	A zona de desenvolvimento industrial constitui-se de uma área definida, dentro de uma área urbana, onde institucionalmente podem se instalar indústrias e serviços que atendam a pré-requisitos como, preferencialmente baixo a médio potencial poluidor e impacto social.	<ul style="list-style-type: none"> - Ordenar a ocupação industrial na APA; - Propor o planejamento industrial aos municípios integrantes da APA; - Minimizar os possíveis impactos dos empreendimentos.
Uso Especial	Áreas inseridas na APA, decretadas como outra Unidade de Conservação, de manejo, ou outras situações especiais de proteção ambiental, administradas efetivamente pelo Poder Público.	<ul style="list-style-type: none"> - Apoiar e fortalecer as Unidades de Conservação existentes na APA; e, - Proteger fragmentos de relevância ecológica para a APA Fernão Dias;
Ocorrência Ambiental	Áreas que correspondem a situações físicas e bióticas particulares, ocorrendo de forma dispersa e generalizada em qualquer zona ambiental estabelecida, tanto de proteção e conservação.	<ul style="list-style-type: none"> - Promover conectividade entre fragmentos de vegetação e estabelecimento de corredores ecológicos; e, - Proteger os cursos d'água, buscando a qualidade e a manutenção do fluxo hídrico.

Fonte: CONSÓRCIO ERG-SCTP, 2008.

O Plano de Gestão Ambiental traz “Diretrizes de uso e ocupação do solo para o Zoneamento Ambiental” proposto para a APA Fernão Dias-MG, divididos em incentivos e usos permitidos, usos restritos e usos proibidos (Anexo 1).

CAPÍTULO 3: EROÇÃO DOS SOLOS E MOVIMENTOS DE MASSA

3.1 Introdução

Os materiais alterados formadores do solo, encontrados na superfície ou subsuperfície, sujeitos à ação dos agentes geológicos, climáticos e biológicos, constituem a estrutura das vertentes, onde ocorrem em estado de equilíbrio metaestável (BIGARELLA, 2007). No entanto, de acordo com Bigarella (2007), quando há uma ruptura de equilíbrio, prevalece a morfogênese, que favorece os processos erosivos e movimentos de massa.

Segundo Guerra (2008), a maioria dos autores refere-se de forma distinta à erosão dos solos e aos movimentos de massa, sendo dadas diferentes explicações a tais processos. Guerra (2008) destaca a importância relativa dos movimentos de massa na evolução das encostas, com caráter mais esporádico, em contraste com os efeitos produzidos pelo escoamento superficial, com caráter mais contínuo e gradativo, onde partículas e/ou agregados vão sendo destacados e transportados encosta abaixo. Nos movimentos de massa ocorre um movimento coletivo de solo e/ou rocha, onde a gravidade/declividade possui um papel significativo.

O conceito de erosão está ligado aos processos de desgaste da superfície do terreno, por meio da desagregação, remoção, transporte e deposição dos materiais alterados que compõem o solo (IPT, 1986; GUERRA, 2005; BIGARELLA, 2007; SANTORO, 2012).

De acordo com Guerra *et al.* (2005), a erosão tem início a partir do momento em que as gotas de chuva atingem o solo, provocando a ruptura de agregados, através da ação do *splash* (erosão por salpicamento), formando as crostas que provocam a selagem dos solos, dificultando a infiltração, promovendo, conseqüentemente, o escoamento difuso – erosão laminar ou em lençol (*sheetflow*), que tende a se concentrar, e o fluxo passa a ser linear (*flowline*), iniciando o processo de ravinamento, originando feições como sulco, ravina e voçoroca.

Santoro (2012) destaca que se a erosão se desenvolve não somente pelo aporte das águas superficiais, mas também por meio das águas subsuperficiais, incluindo o lençol freático, ocorre o processo de voçorocamento, envolvendo fenômenos de “*piping*” (erosão interna ou tubular).

Desta forma, com relação aos processos erosivos decorrentes da ação da água destacam-se dois tipos principais: erosão laminar e erosão linear (Tabela 3.1).

Tabela 3.1 – Principais tipos de processos erosivos em vertentes.

Tipo de processo erosivo	Descrição
Erosão laminar	- Acontece quando a água esco uniformemente pela superfície do terreno, transportando as partículas de solo, sem formar canais definidos. Apesar de ser uma forma mais amena de erosão, é responsável por grandes prejuízos às terras agrícolas e pelo fornecimento de grande quantidade de sedimentos que assoreiam rios, lagos e represas.
Erosão linear	- É aquela causada pela concentração do escoamento superficial e de fluxos d'água em forma de filetes. Sua evolução dá origem a três tipos diferentes de erosão: Sulco - é um tipo de erosão no qual o fluxo d'água ao atingir maior volume transporta maior quantidade de partículas, formando incisões na superfície de até 0,5 m de profundidade e perpendiculares às curvas de nível; Ravinas - são formas erosivas lineares com profundidade maior que 0,5m, neste caso as águas do escoamento superficial escavam o solo até seus horizontes inferiores; possuem forma retilínea, alongada e estreita; Voçoroca - é a forma mais complexa de erosão linear, neste caso ocorre o aprofundamento da erosão até atingir o nível freático que aflora no fundo do canal. Há, então, ação combinada das águas do escoamento superficial e subterrâneo, o que condiciona uma evolução da erosão lateral e longitudinalmente.

Fonte: Adaptado (SANTORO, 2012).

Outra forma de processo erosivo é o anfiteatro de erosão, também referido como grotão, que segundo Bigarella (2007) está associado a cabeceiras de drenagem, onde ocorrem canais efêmeros que são alimentados exclusivamente pelo escoamento superficial das encostas. Quando desmatadas e cultivadas o transporte efêmero de sedimentos torna-se elevado durante os aguaceiros, pela erosão do solo desprotegido.

Já os movimentos de massa constituem-se no deslocamento de material (solo, rocha e vegetação) ao longo da vertente sob influência da gravidade, sendo desencadeados pela interferência direta de outros meios ou agentes independentes, como água, gelo e ar, ao reduzirem a resistência dos materiais de vertente e/ou pela indução do comportamento plástico e fluido dos solos (GUERRA, 2005; BIGARELLA, 2007; TOMINAGA, 2012).

Fiori *et al.* (1995) mencionam que a força da gravidade origina tensões cisalhantes no interior do manto de alteração ao longo das vertentes. Estas tensões, responsáveis pela ocorrência dos movimentos de massa, aumentam com a inclinação e a altura das encostas, com o peso específico do solo e com a quantidade de água que se infiltra e acumula no mesmo. Neste processo, a água desempenha papel fundamental alojando-se nos planos potenciais de ruptura, diminuindo a resistência mecânica do solo, pelo efeito da pressão neutra e em função da lubrificação destes planos (MARCELINO, 2003).

Quanto à tipologia dos movimentos de massa, Bigarella (2007) expõe que os critérios empregados para distinguir os vários tipos de colapsos das vertentes baseiam-se no material, no conteúdo de água da subsuperfície, na velocidade, no mecanismo e no tipo de movimento. Tominaga (2012) enfatiza que os movimentos de massa podem ser de diversos tipos, ao envolverem uma variedade de materiais e processos. Dentre as classificações brasileiras, destacam-se as de Bigarella (2007), de Freire (1965), de Guidicini e Nieble (1984), de Augusto Filho (1992) e de Fernandes e Amaral (2000), sendo a de Augusto Filho (1992) apresentada na Tabela 3.2.

Tabela 3.2 – Principais tipos de movimentos de massa em vertentes.

Processos	Dinâmica/Geometria/Material
Rastejos (creep)	<ul style="list-style-type: none"> - vários planos de deslocamento (interno) - velocidades muito baixas (cm/ano) a baixas e decrescentes com a profundidade - movimentos constantes, sazonais ou intermitentes - solo, depósitos, rocha alterada/fraturada - geometria indefinida
Escorregamentos (slides)	<ul style="list-style-type: none"> - poucos planos de deslocamento - velocidades médias - pequenos a grandes volumes de material - geometria e materiais variáveis: Planares – solos poucos espessos, solos e rochas com um plano de fraqueza Rotacionais – solos espessos homogêneos e rochas muito fraturadas Em cunha – solos e rochas com dois planos de fraqueza
Quedas de blocos (rock falls)	<ul style="list-style-type: none"> - sem planos de deslocamento - movimento tipo queda livre ou em plano inclinado - velocidades muito altas (m/s) - material rochoso - pequenos e médios volumes - geometria variável: lascas, placas, blocos, entre outros. Rolamento de matacão Tombamentos
Corridas (flows)	<ul style="list-style-type: none"> - muitas superfícies de deslocamento - movimentos semelhantes ao de um líquido viscoso - desenvolvimento ao longo das drenagens - velocidades médias e altas - mobilização de solo, rocha, detritos e água - grandes volumes de material Extenso raio de alcance, mesmo em áreas planas

Fonte: Adaptado (TOMINAGA, 2012).

Prever a possibilidade de ocorrência de tais eventos em determinadas áreas, com o objetivo de minimizar perdas econômicas, ambientais e sociais, é um desafio para as comunidades científica e governamental. Neste contexto, o presente Capítulo apresenta uma

alternativa baseada em técnicas de geoprocessamento para a construção de mapas de ocorrência (inventários) de processos erosivos e de movimentos de massa. Estes mapas podem ser utilizados para a identificação e delimitação de áreas de risco, pois a densidade de eventos antigos em uma determinada área é um indicador probabilístico de suscetibilidade à ocorrência destes mesmos eventos no futuro.

3.2 Orientações metodológicas para mapeamento da ocorrência de processos erosivos e movimentos de massa

Um mapa de inventário de processos erosivos e de movimentos de massa representa a distribuição espacial de tais fenômenos, e a maioria dos mapas de inventário é elaborada através da interpretação visual de fotografias aéreas e imagens de satélite para a identificação dos processos erosivos e movimentos de massa (BRUNSDEN, 1993; MANTOVANI *et al.*, 1996; TEMESGEN *et al.*, 2001; MARCELINO, 2003).

Com o objetivo de mapear e analisar os processos erosivos e os movimentos de massa na APA Fernão Dias, foram necessárias pesquisas de material cartográfico referente a fotografias aéreas e imagens orbitais. O levantamento de material mostrou a viabilidade de se utilizar imagens orbitais do banco de imagens do *software* Google Earth, uma vez que estas apresentam resolução espacial compatível ao mapeamento dos fenômenos em análise, além de serem de uso gratuito. A operacionalização desta etapa da pesquisa, o processamento das imagens e a análise espacial foram conduzidos nos *softwares* SIG ArcGIS 10™ (ESRI, 2010) e Google Earth (Google), ambos do Laboratório do Grupo de Pesquisa *Métodos Avançados de Análise Geoespacial*, do Instituto de Geociências (IG) da Universidade Estadual de Campinas. Foram utilizados nessa fase da pesquisa os seguintes materiais:

- Base cartográfica / Planos de informações da APA Fernão Dias referentes aos limites territoriais da APA e de seus respectivos municípios, extraídos do banco de dados geográficos (BDG) construído por Moretti (2011), em escala 1:50.000, em formato vetorial (*shape*), elaborada a partir de Cartas Topográficas, tendo sido adotado o sistema de coordenadas geográficas South American Datum, 1969;
- Mosaico de Imagens GeoEye (2010) do *software* Google Earth.

Em seguida, os arquivos vetoriais em formato *shp*, correspondentes aos limites territoriais da APA e de seus respectivos municípios, foram convertidos para o formato *kmz*, por meio do comando *Conversion Tools*, do SIG ArcGIS 10™, sendo posteriormente exportados para o *software* Google Earth (Figura 3.1).

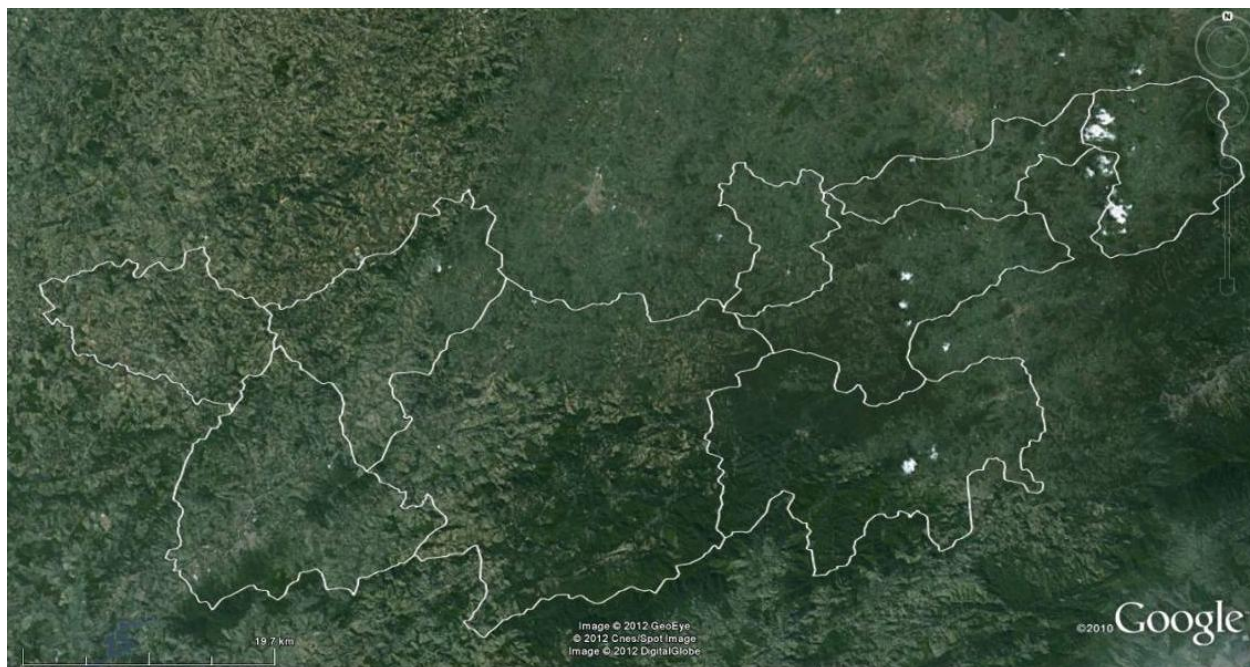
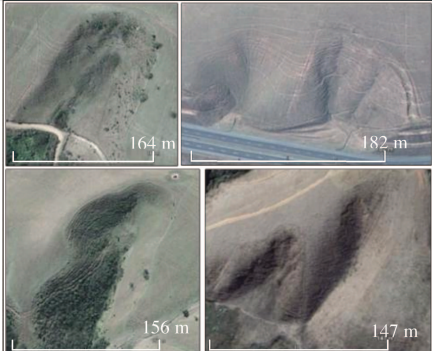


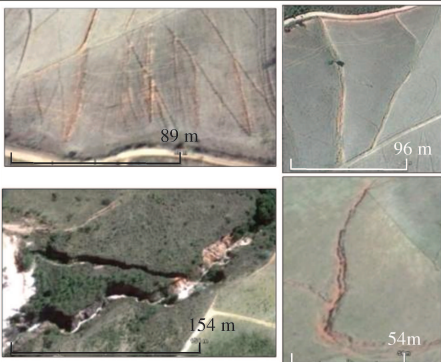


Figura 3.1 – Mosaico de Imagens GeoEye do *software* Google Earth, com a delimitação da APA Fernão Dias e seus respectivos municípios.
Org.: Garofalo, 2013.

Para melhor identificação dos fenômenos em análise, foi criada uma chave de interpretação contendo as principais características destes fenômenos observadas nas imagens no *software* Google Earth Pro (Licença teste válida por 7 dias) (Quadro 3.1). As chaves de interpretação, conforme Avery e Berlím (1985), ajudam os fotointérpretes a identificar de modo rápido as características dos fenômenos na imagem. A chave tem por base a descrição e a ilustração dos objetos de acordo com determinadas categorias.

Quadro 3.1 – Chave de interpretação visual dos processos erosivos e dos movimentos de massa. Org.: Garofalo, 2013.

Classe	Elementos de interpretação dos processos	Feições observadas nas imagens disponíveis no software Google Earth
Anfiteatros de Erosão	<p>- associação a cabeceiras de drenagem;</p> <p>- forma côncava;</p> <p>- mudança no nível de base com formação de depósito de materiais em forma de leque.</p>	
Rastejo	<p>- geometria indefinida;</p> <p>- formação de “estrias” paralelas às linhas das curvas de nível (embarrigamento);</p> <p>- associação com áreas de pastagem.</p>	
Escorregamentos e Deslizamentos	<p>- geometria variável:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Planares; • Circulares; e • Em cunha. <p>- associados à cortes de talude;</p> <p>- pequenos a grandes volumes de material deslocado.</p>	
Ravinas e Valas	<p>- feições normalmente lineares</p> <p>- sulcos e valas apresentam largura até 0,5m;</p> <p>- ravinas apresentam larguras superiores à 0,5m.</p>	

Dessa forma, Pereira *et al.* (1989) ressaltam que a importância da utilização das chaves de interpretação deve-se ao fato do alcance de resultados semelhantes com diferentes intérpretes ou o mesmo intérprete, porém em ocasiões diferentes, utilizando o mesmo produto de Sensoriamento Remoto.

A identificação e mapeamento dos processos erosivos e dos movimentos de massa foram realizados diretamente no *software* Google Earth, em escala fixa de 1:1.500, por meio do comando *Adicionar Marcador*. Foi atribuído um símbolo gráfico pontual para processos erosivos lineares (ravinas e valas) (ponto vermelho), outro para os movimentos de massa acelerado (escorregamentos rotacionais, planares e em cunha) (ponto verde), outro para movimentos de massa lentos (rastejo) (ponto amarelo), e outro para anfiteatros de erosão (ponto rosa) (Figura 3.2).

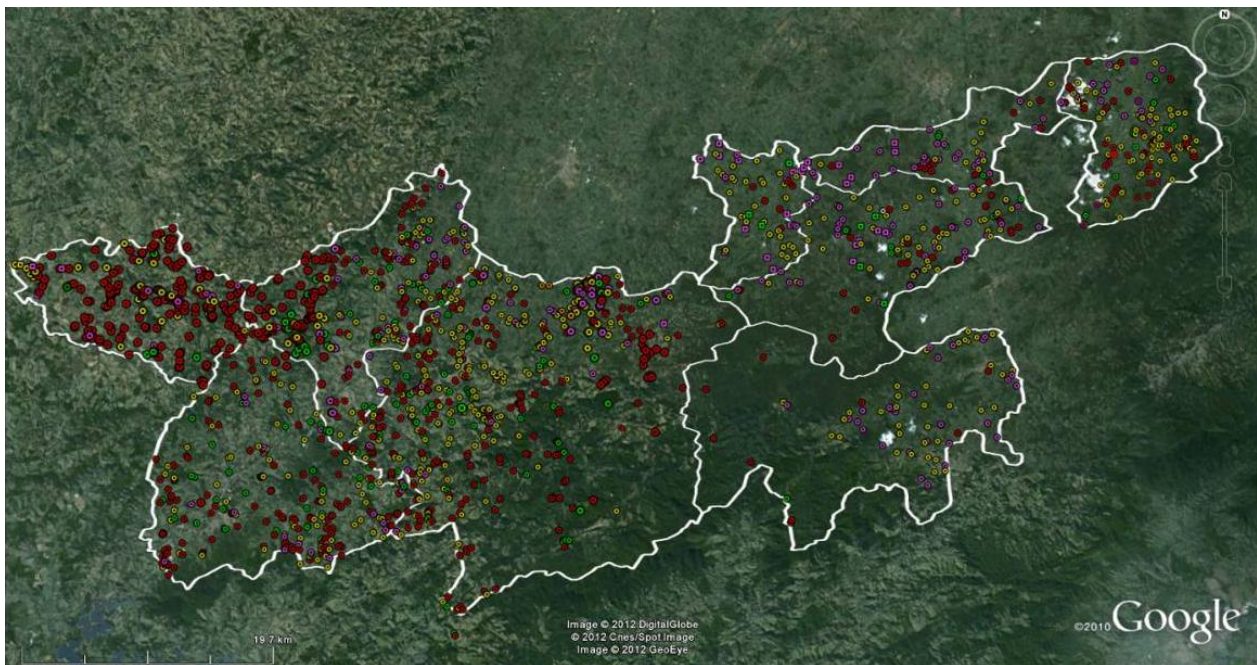


Figura 3.2 – Mosaico de Imagens GeoEye do *software* Google Earth, com destaque para os processos erosivos (pontos vermelho representam ravinas e pontos rosas representas anfiteatros de erosão) e movimentos de massa (pontos verde representam escorregamentos e pontos amarelo representam rastejos). Org.: Garofalo, 2013.

Após este processo, para cada município foi salva uma imagem em formato *JPEG*, em alta resolução (4800x4800 pixels), através da licença teste do Google Earth Pro, contendo a localização pontual dos processos identificados. Em seguida, estas imagens foram exportadas

para o SIG ArcGIS 10™, onde foram registradas (Anexo 2) no sistema de coordenadas geográficas SAD 69 (South American Datum 1969), (Figura 3.3). Cada registro utilizou 30 pontos de controle, selecionados nos arquivos vetoriais (*shp*) de drenagem e vias de circulação da APA (MORETTI, 2011). A reamostragem foi efetuada por meio do interpolador convolução cúbica e o erro médio quadrático foi inferior a 0,5 pixel (resolução de 7m). No ArcGIS 10™, os processos identificados nas imagens foram novamente digitalizados, criando-se assim, arquivos vetoriais de pontos em formato *shp*, representando a distribuição dos processos erosivos em análise.

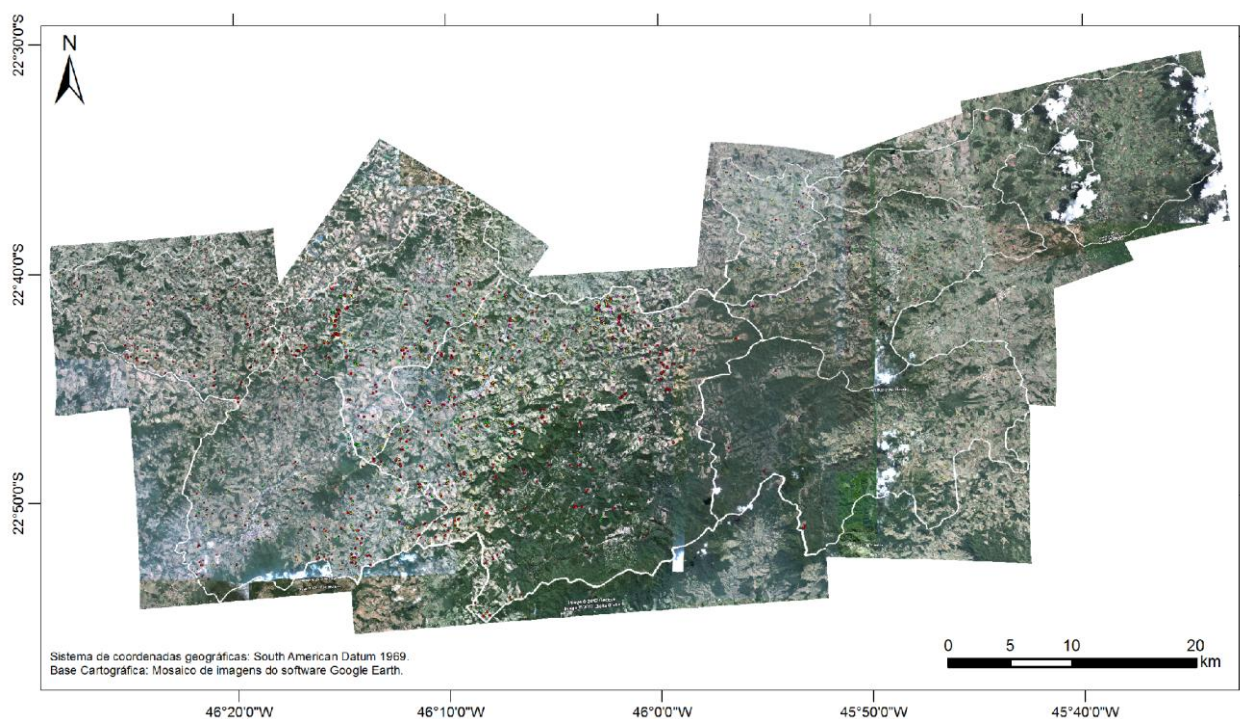


Figura 3.3 - Mosaico das imagens do *software* Google Earth georreferenciadas. Org.: Garofalo, 2013.

Em síntese, o fluxograma da Figura 3.4 mostra o encadeamento das etapas do mapeamento de processos erosivos e movimentos de massa tratadas acima.

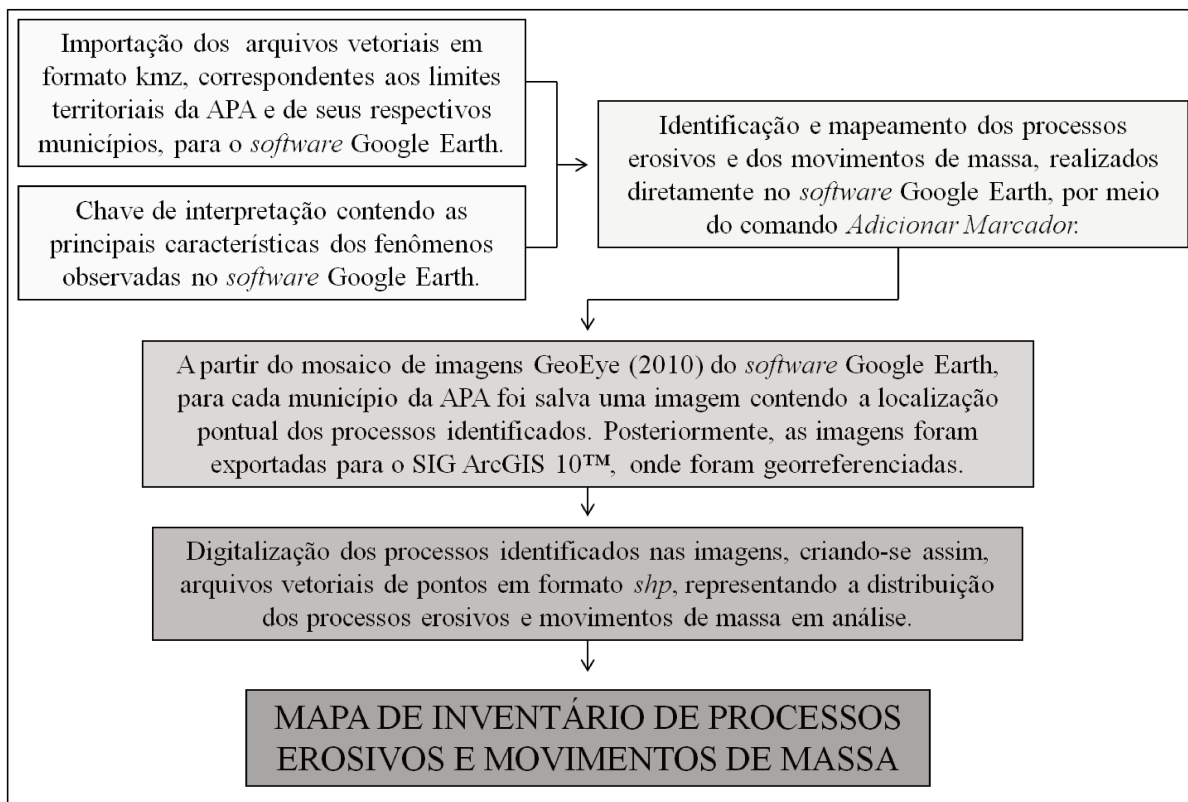


Figura 3.4 – Síntese das etapas do mapeamento de processos erosivos e movimentos de massa
Org.: Garofalo, 2013.

3.3 Análise e discussão do mapa de ocorrência de processos erosivos e movimentos de massa.

A interpretação visual dos processos erosivos e cicatrizes de escorregamento na APA Fernão Dias a partir das imagens do *Google Earth* georreferenciadas, permitiu a identificação de 731 processos erosivos lineares, 182 cicatrizes de escorregamento, 546 ocorrências de rastejo, e 257 anfiteatros de erosão (Figura 3.5). As áreas com maior concentração de processos erosivos estão localizadas na porção oeste da APA (Figura 3.5), abrangendo grande parte do município de Toledo. Esta alta concentração de processos erosivos pode estar relacionada à alta densidade de vias de circulação não pavimentadas, associada a grande ocorrência de culturas anuais e pastagens degradadas, desenvolvidas em relevos com declividades médias a acentuadas.

Também na porção centro oeste da APA (Figura 3.5), nas imediações da rodovia Fernão Dias, ocorre alta concentração de processos erosivos. Esta área está inserida no geossistema

Corredor da Rodovia Fernão Dias, delimitado por Moretti (2011). De acordo com a autora, neste geossistema há o predomínio de rochas metamórficas mais suscetíveis à erosão, diferente das demais áreas da APA, onde predominam rochas ígneas. A média densidade observada na porção leste da APA está associada ao cultivo de banana desenvolvido em vertentes com declividades elevadas.

Analisando-se a Figura 3.5B, nota-se que as áreas com maior concentração de cicatrizes de escorregamento estão localizadas próximas a malhas urbanas, principalmente na área abrangida pelo geossistema *Corredor da Rodovia Fernão Dias*. Após concluídas as obras de duplicação da rodovia Fernão Dias, os municípios de Extrema e Camanducaia receberam novos empreendimentos industriais, o que pode ter contribuído para a ocupação e o crescimento desordenado desta região - sobretudo nas áreas periféricas e regiões de entorno imediato (REI). Esta nova ordenação espacial é um dos fatores responsáveis para a concentração de movimentos de massa nesta área, se comparada à área da APA que contém maior quantidade de fragmentos florestais (alta bacia do Jaguari, entre os distritos de Juncal e Monte Verde).

Os movimentos de massa, do tipo rastejo, observados nos municípios de Toledo, Extrema, Itapeva e Camanducaia (Figura 3.5), se desenvolvem principalmente em áreas de pastagem com declives médios a acentuados ($> 7^\circ$), destinadas à pecuária extensiva. A criação de bovinos acaba por intensificação a ocorrência de rastejo, devido ao “pisoteamento” do solo pelo gado. Por outro lado, os movimentos observados nas imediações dos municípios de Sapucaí-Mirim, Gonçalves, Paraisópolis, e Brasópolis (Figura 3.5) se desenvolvem em encostas íngremes, onde a ocupação se dá por meio de pequenas propriedades destinadas, principalmente, à pecuária leiteira (MORETTI, 2011). No município de Brasópolis este fenômeno também pode estar associado ao cultivo de banana desenvolvido em encostas íngremes. Já os anfiteatros de erosão mapeados (Figura 3.5), estão associados a cabeceiras de drenagem degradadas, ocupadas especialmente por pastagem.

A baixa concentração de processos erosivos e movimentos de massa na porção centro-leste (Figura 3.5) se deve ao fato de esta área apresentar ainda expressiva quantidade de fragmentos florestais, representados principalmente pela floresta ombrófila densa, floresta ombrófila mista e floresta estacional semidecidual – além de grandes áreas de silvicultura.

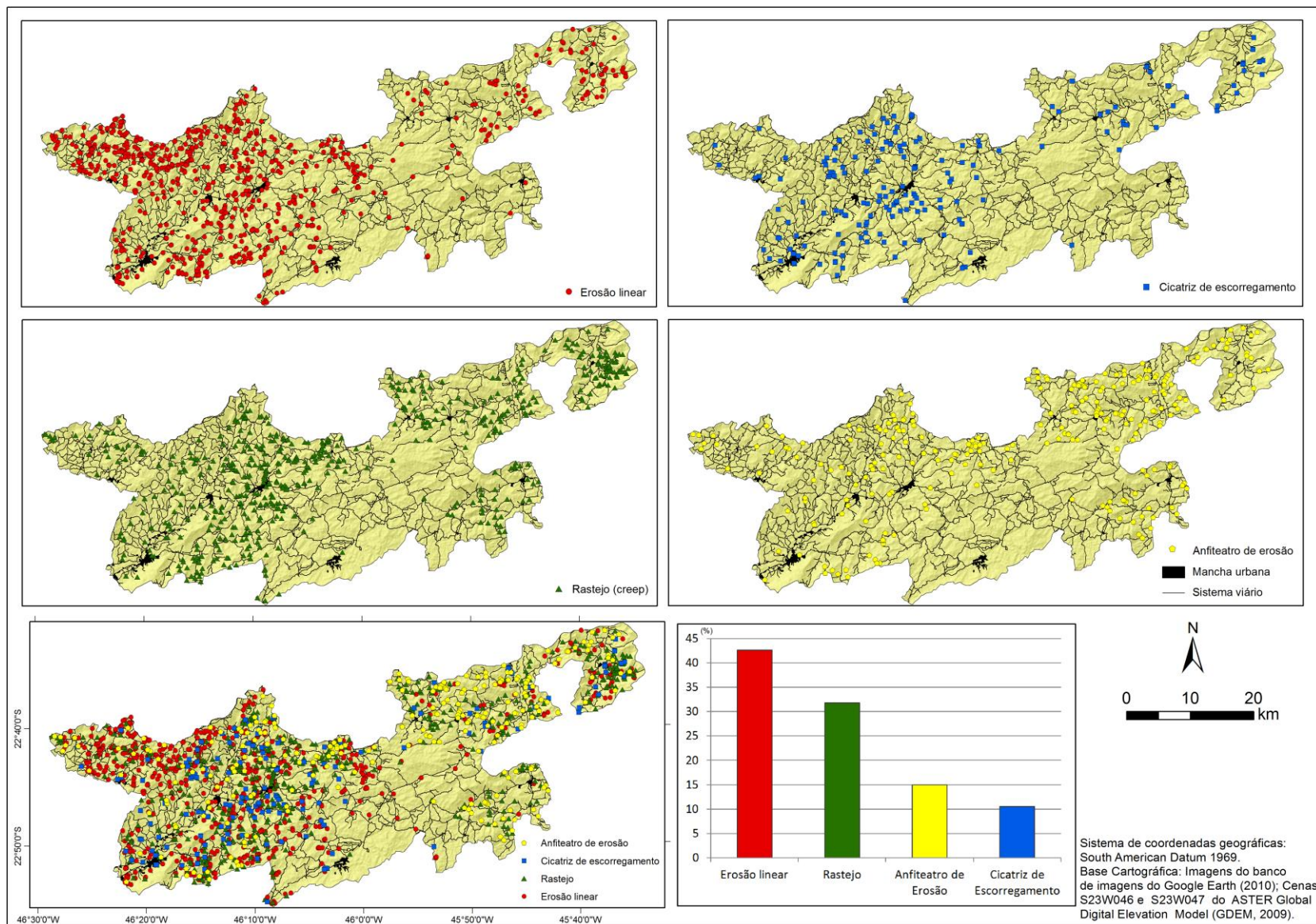


Figura 3.5 – Coleção de mapas de ocorrência de processos erosivos e movimentos de massa. Org.: Garofalo, 2013.

CAPÍTULO 4: VARIÁVEIS GEOAMBIENTAIS CONDICIONANTES DE PROCESSOS EROSIVOS E MOVIMENTOS DE MASSA

4.1 Considerações iniciais

Tanto para os processos erosivos quanto para os movimentos de massa, as condições que favorecem tais eventos dependem principalmente da estrutura geológica, da declividade da vertente, do regime de chuva (com destaque para os episódios de chuvas intensas), da perda da vegetação e da atividade antrópica (BIGARELLA, 2007). De acordo com Santos (2004), o planejamento ambiental visa estabelecer normas para territórios complexos e, para tanto, ele precisa estar suficientemente ligado à realidade em seus vários aspectos, devendo seu diagnóstico compreender o meio de forma global, por intermédio do levantamento de dados ligados a diversas disciplinas.

A partir destas afirmativas, neste capítulo são analisadas e discutidas por meio de mapas temáticos as variáveis geoambientais entendidas como condicionantes de processos erosivos e de movimentos de massa, sendo elas:

- Cobertura vegetal;
- Declividade das vertentes;
- Precipitação;
- Lineamentos estruturais e;
- Vias de circulação.

Santos (2004) salienta que todo planejamento que objetiva definir políticas e decidir alternativas requer o conhecimento sobre os componentes que formam o espaço. Sendo, portanto, essencial obter dados representativos da realidade, bem formulados e interpretáveis.

Desta forma, o levantamento e a revisão dos materiais bibliográficos, cartográficos, produtos de sensoriamento remoto e dados pluviométricos, compõem etapas importantes para o desenvolvimento e evolução desta etapa da pesquisa. Grande parte dos planos de informações (PIs) utilizados foram extraídos do banco de dados geográficos (BDG) construído por Moretti (2011), sendo todos correspondentes à área da APA Fernão Dias – MG (Tabela 4.1).

Tabela 4.1 - Base cartográfica utilizada na pesquisa.

PI	Dados	Formato	Fonte
Sistema viário	Vias de circulação	Vetorial - .shp	Moretti, 2011; IBGE, 1977
Rede hidrográfica	Cursos d'água	Vetorial - .shp	Moretti, 2011; IBGE, 1977
Limites municipais	Limites municipais	Vetorial - .shp	Moretti, 2011; IBGE, 2009
Limites da APA Fernão Dias (MG)	Limites da APA Fernão Dias (MG)	Vetorial - .shp	Moretti, 2011; IBGE, 2009; IEF, 2009
Altimetria	Mosaico das Cenas S23W046 e S23W047 do ASTER Global Digital Elevation Model (GDEM) (2009).	Matricial - .tiff	Moretti, 2011; METI, 2009
Cobertura vegetal do solo	Bandas 3 e 4 do sensor TM do satélite Landsat 5 – 18/04/2010	Matricial - .tiff	Moretti, 2011; NASA, 2010
Precipitação	Dados pluviométricos	Texto - .txt	ANA, 2012

O sistema de coordenadas geográficas dos PIs é o South American Datum 1969. A correção geométrica e radiométrica dos produtos de sensoriamento remoto, imagens ASTER e Landsat, e a correção atmosférica da imagem Landsat já haviam sido realizadas por Moretti (2011), não sendo necessária a aplicação de tais tratamentos novamente.

Os efeitos atmosféricos sobre a imagem Landsat 5 foram corrigidos por Moretti (2011) a partir do método da compensação atmosférica pelo Pixel Escuro (DOS - *Dark-Object Subtraction*) proposto por Chavez (1988), disponível no *software* ENVI. Após a compensação atmosférica, Moretti (2011) realizou a correção geométrica da imagem a partir do módulo Resample do SIG Idrisi, 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), sendo efetuada a reamostragem por meio do interpolador *vizinho mais próximo*, com erro médio quadrático inferior a 0,5 pixel (15 metros).

Com relação à operacionalização da pesquisa, todo o processamento das imagens e análises foram conduzidos nos *softwares* ArcGIS 10™ (ESRI, 2010), e pacote Microsoft Office (Microsoft), ambos do Laboratório do Grupo de Pesquisa *Métodos Avançados de Análise Geoespacial*, do Instituto de Geociências – UNICAMP.

4.2 COBERTURA VEGETAL – ÍNDICE DE VEGETAÇÃO

4.2.1 Introdução

Dentre os condicionantes dos processos erosivos e movimentos de massa, a vegetação assume um importante papel na proteção do solo. Bigarella (2007) destaca que a água das chuvas, ao caírem em uma região florestada, é em parte interceptada pelo dossel de folhas, reduzindo a quantidade de energia que chega ao solo. Ao nível do solo, uma parcela da chuva é absorvida pela serrapilheira, que também reduz o efeito *splash*, sendo o restante da água infiltrada no subsolo.

Grande quantidade da água infiltrada é utilizada pelas raízes das plantas e retornam à atmosfera por meio da evapotranspiração. O restante da porção infiltrada abastece o lençol freático. Apenas uma pequena parte das águas precipitadas escoam na superfície, sendo cerca de 60% ou mais das chuvas devolvidas à atmosfera (BIGARELLA, 2007). Desta forma, a cobertura vegetal constitui um obstáculo ao escoamento, diminuindo os efeitos erosivos. A vegetação herbácea também funciona como controladora da erosão, embora com menor intensidade do que as florestas.

O sistema radicular atua mecanicamente penetrando nas camadas do solo, contribuindo para a sua estruturação. Além disso, ao se decomporem, as raízes deixam diversas cavidades tubulares que aumentam a infiltração e melhoram a aeração do solo (GUERRA, 1995; COELHO NETO, 1995).

Bertoni e Lombardi Neto (1990) ressaltam que a vegetação, ao se decompor, adiciona matéria orgânica e húmus, melhorando a porosidade e a capacidade de retenção de água no solo. Bigarella (2007) conclui que numa paisagem desmatada, a ação das chuvas faz-se sentir imediatamente, promovendo a erosão. Além disso, a ausência de uma cobertura vegetal considerável faz com que a posição do nível médio do lençol freático diminua. Com o abaixamento do lençol freático e com a formação de fendas de dissecação são originadas condições para uma acentuada infiltração das águas no subsolo, as quais ocasionam sua saturação durante períodos de chuvas prolongadas, propiciando a ocorrência de movimentos de massa (BIGARELLA, 2007).

As análises da vegetação são realizadas com o intuito de avaliar e monitorar a cobertura vegetal. De acordo com Jensen (2011), desde a década de 1960, os cientistas vêm extraindo e modelando vários parâmetros biofísicos da vegetação com o uso de dados de sensoriamento remoto. O Jensen (2011) destaca ainda que grande parte desse esforço tem envolvido o uso de *índices de vegetação* – que são medidas radiométricas adimensionais, as quais indicam a abundância relativa e a atividade da vegetação verde.

De acordo com Liu (2006) os índices de vegetação com aplicações de Sensoriamento Remoto foram desenvolvidos para monitorar e quantificar as condições da distribuição espacial da vegetação, através do uso de dados digitais de refletâncias em várias faixas do espectro eletromagnético. Liu ressalta ainda que as aplicações de índice de vegetação no monitoramento e na discriminação de usos do solo na superfície terrestre têm várias vantagens:

- “a) Os dados compactados de índices de vegetação são calculados com dados de refletância das várias faixas espectrais da energia de radiação eletromagnética;
- b) Os valores relativos compensam a variação de intensidade da radiação;
- c) Corrigem parcialmente os efeitos das variações locais das condições atmosféricas e das variações de ângulo de visada de sensores e ângulo solares, considerando se esses efeitos na variação da refletância recebida pelos sensores nas bandas que compõem os índices são da mesma magnitude”.

Desta forma, este item teve como objetivo calcular o índice de vegetação na APA Fernão Dias (MG), a fim de analisar posteriormente o quanto esta variável geoambiental (vegetação) influencia na ocorrência ou não de processos erosivos e movimentos de massa.

4.2.2 Orientação metodológica para calcular o índice de vegetação na APA Fernão Dias

Para esta etapa da pesquisa foi utilizada imagem (Bandas 3 e 4) do sensor TM do satélite Landsat 5, órbita/ponto 219/76, passagem do satélite na data de 18 de abril de 2010 (cobertura de nuvens de 0%) (Tabela 4.1).

O sensor TM do satélite Landsat 5 apresenta uma resolução espacial de 30m – média resolução espacial, nas regiões do visível e infravermelho, e conta com uma alta resolução espectral, operando em sete bandas espectrais, sendo três na região do visível, três na região do infravermelho e uma na região do termal (MOREIRA, 2003).

O sensoriamento remoto apresenta um conjunto de técnicas eficaz para pesquisas relacionadas à vegetação. De acordo com Crósta (2002), a divisão de imagens é claramente a operação aritmética mais comum em processamento digital de imagens de sensoriamento remoto, sendo bastante utilizada na determinação dos *índices de vegetação*. A divisão serve para realçar as diferenças espectrais de um par de bandas, sendo que os extremos branco e preto da distribuição de níveis de cinza representam as maiores diferenças em reflectância entre as duas bandas consideradas.

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 da reflectância do infravermelho próximo (NIR - que corresponde à banda 4 do sensor TM do Landsat 5 - de 0,4 a 0,7 μm) e do vermelho (VIS - que corresponde à banda 3 do sensor TM do Landsat 5 - de 0,725 a 1,10 μm). Essa diferença é normalizada pela divisão da soma das faixas de NIR e VIS (LIU, 2006), de acordo com a seguinte equação:

$$NDVI = (NIR - VIS) / (NIR + VIS) \quad [\text{eq. 4.1}]$$

Os índices NDVI são distribuídos, teoricamente, entre -1 a +1, com os tons mais claros relacionados aos maiores valores (alta densidade de vegetação) e, os tons mais escuros, aos menores valores (baixa densidade de vegetação) (PONZONI; SHIMABUKURO, 2007; BOLFE, 2009). Em uma superfície de vegetação em pleno vigor de desenvolvimento vegetativo, o grau de verde alcança o valor máximo. A reflectância de NIR alcança o valor máximo de 0,55 e o VIS mínimo de 0,5. Desta forma, Liu (2006) salienta que ao aplicar esses dados na equação (4.1), o valor máximo de NDVI é 0,833, nunca ultrapassando 0,84.

Por resultar da combinação entre duas bandas, o NDVI encobre parcialmente os efeitos de presença dos constituintes atmosféricos e das perturbações radiométricas e geométricas (HOLBEN, 1986; BOLFE, 2010). Todavia, uma característica negativa atribuída ao NDVI é a rápida saturação que o torna insensível ao aumento da biomassa a partir de um determinado estágio de desenvolvimento vegetativo, de forma que os valores do NDVI estabilizam-se em um patamar, apresentando o mesmo valor, independentemente do aumento da densidade do dossel (SELLERS, 1989; GLERIANI, 1994; BOLFE, 2009). O NDVI foi calculado a partir do emprego da equação (4.1) por meio do comando *Raster Calculator* do SIG ArcGis™ 10. Posteriormente

foi realizado o recorte da Imagem referente ao NDVI (Figura 4.2) tendo como base o arquivo vetorial (*shp*) referente aos limites territoriais da APA Fernão Dias. Para tanto, foi utilizada a comando *Extract by Mask* presente no módulo *Extraction* da extensão *Spatial Analyst Tools* do software ArcGis 10™.

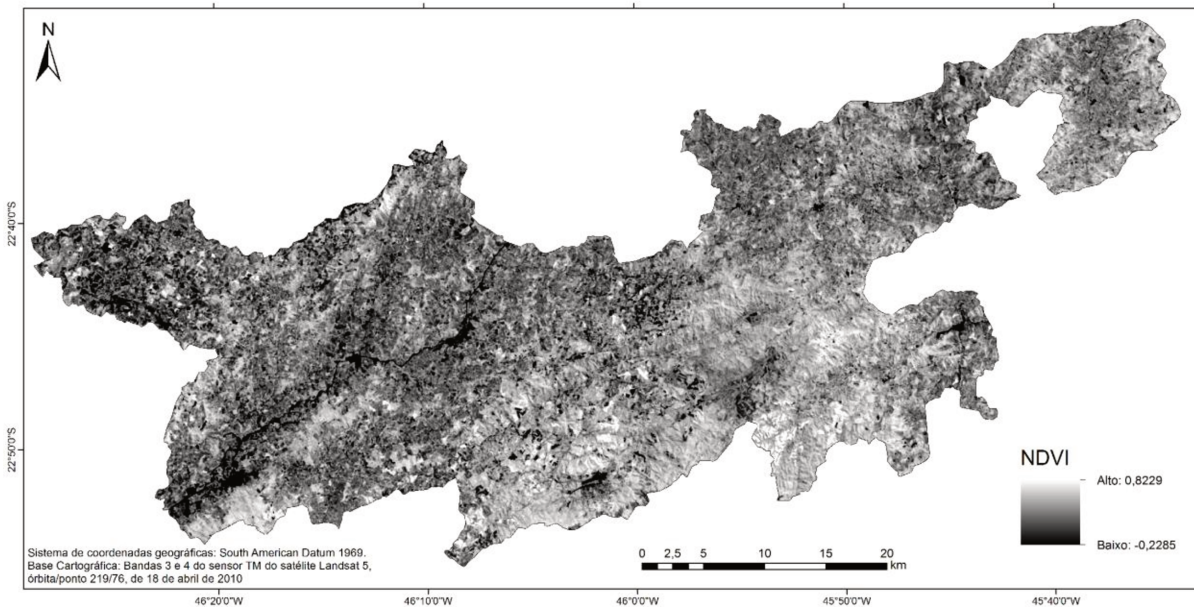


Figura 4.2 - NDVI da imagem do Landsat 5 TM, órbita/ponto 219/76, de 18 de abril de 2010. Org.: Garofalo, 2013

Por fim foi criada uma representação atribuindo cores a determinados intervalos (*Quebras-Naturais*) inseridos dentro do NDVI, a fim de facilitar a percepção de mudanças no índice. Em síntese, o fluxograma da Figura 4.3 apresenta a sequencia metodológica adotada para o desenvolvimento desta etapa da pesquisa.

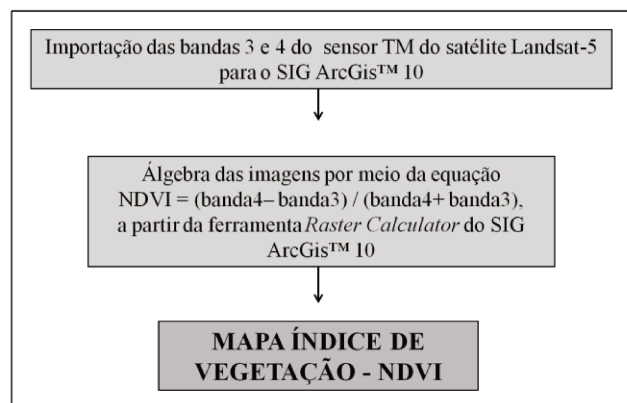


Figura 4.3 – Síntese dos procedimentos metodológicos empregados no cálculo do NDVI. Org.: Garofalo, 2013.

4.2.3 Análise do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada no contexto da APA Fernão Dias – MG

Os valores negativos de NDVI representam corpos d'água; valores baixos e próximos de zero (entre 0,01 a 0,25) referem-se a malhas urbanas; valores entre 0,26 e 0,4 foram registrados ao longo da rodovia Fernão Dias, em áreas de expansão urbanas, de solo exposto e afloramentos de rocha. As pastagens e campos sujos e as culturas agrícolas apresentaram valores entre 0,41 e 0,55, características de uma cobertura vegetal com baixa biomassa composta por gramíneas ou plantas de menor porte (Figura 4.4).

As áreas de maior densidade de cobertura vegetal apresentaram valores altos e próximos a 0,84. Na floresta ombrófila mista densa, os valores de NDVI encontrados estão entre 0,61 e 0,75. Na floresta estacional semidecidual, que conta com espécies caducifólias em seu dossel superior, os valores de NDVI variaram de 0,56 e 0,62 – relativamente inferiores quando comparados às outras formações nativas. Nas áreas de reflorestamento de *Pinus* os valores de NDVI variam de 0,56 a 0,7 e, nas de *Eucaliptus*, entre 0,71 e 0,82 (Figura 4.4).

Observou-se pelo mapa do índice de vegetação que os maiores remanescentes florestais da APA se encontram nas porções centro-sul e centro-leste, abrangendo áreas relativamente extensas dos municípios de Camanducaia e Sapucaí-Mirim, coincidindo com as áreas do geossistema *Altos da Terra Fria* delimitado por Moretti (2011), onde a silvicultura também colabora com o alto índice de vegetação. Nas demais áreas altos valores de índice de vegetação se dá em pontos isolados, geralmente associados a relevos íngremes - a exemplo da serra do Lopo, em Extrema, e da serra do Juncal (divisor das bacias dos rios Jaguari e Sapucaí-Mirim), ou em áreas de fundo de vale, representado pelas matas de galeria (Figura 2.6 e Figura 4.4).

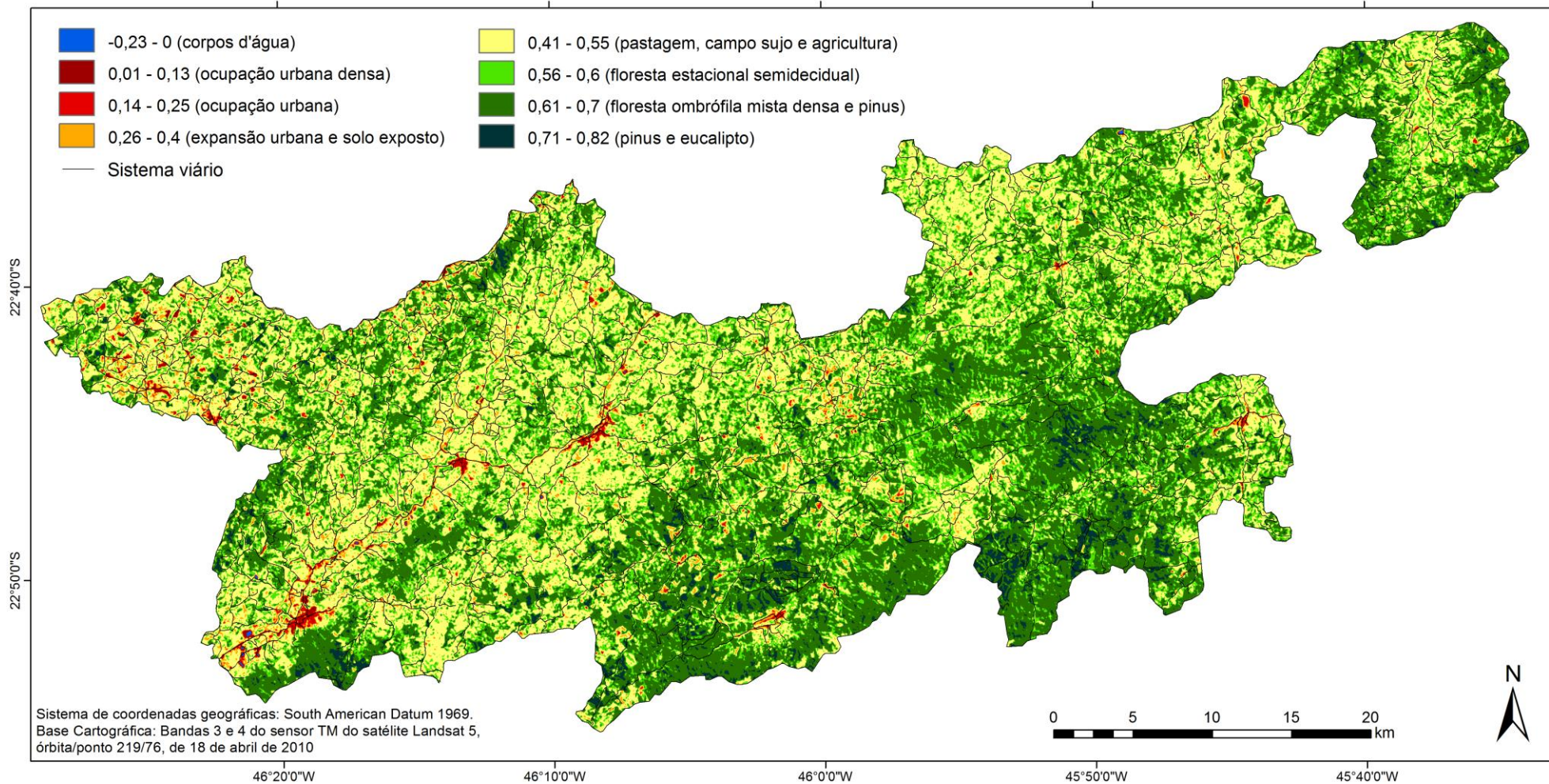


Figura 4.4 – NDVI do recorte da imagem do Landsat 5 TM, órbita/ponto 219/76, de 18 de abril de 2011. Org.: Garofalo, 2013.

4.3 RELEVO: DECLIVIDADE DAS VERTENTES

4.3.1 Introdução

Os fatores associados ao relevo que interferem nos processos erosivos e nos movimentos de massa são, principalmente, os relativos à declividade, formas e extensão das vertentes (SANTORO, 2012). De acordo com Santos (2004), “a declividade representa, de forma contínua, a inclinação e as formas do terreno. Este tema permite inferir informações como formas da paisagem, erosão, potencialidades para o uso agrícola, restrições para ocupação urbana, manejos e práticas conservacionistas”.

A declividade tem influência decisiva na intensidade da erosão. O aumento da declividade de uma vertente provoca o aumento da velocidade do escoamento superficial e, conseqüentemente, cresce também a sua capacidade erosiva. Bertoni e Lombardi Neto (1990) destacam que o volume e a velocidade das enxurradas dependem diretamente do grau de declividade da vertente. Desta forma, se o declive do terreno aumenta quatro vezes, a velocidade do fluxo do escoamento superficial aumenta duas vezes e a capacidade erosiva quadruplica.

Segundo Marcelino (2003), estudos têm demonstrado que a maior parte dos escorregamentos tem ocorrido principalmente em declividades na faixa de 20° a 45°. De acordo com Aguiar e Santos (1991) e Cruz (1974) *apud* Bigarella (2007), na região da Serra de Cubatão (SP) os escorregamentos são mais frequentes em vertentes com mais de 15° de declividade, principalmente entre 25° e 35°. Fernandes e Amaral (1996) explicam que este comportamento se dá devido às variações na presença da cobertura vegetal e pelo tipo de solo associado. Por exemplo, nas vertentes mais íngremes (alta encosta) ocorre a presença de solos litólicos, pouco desenvolvidos, com presença de cobertura vegetal de pequeno a médio porte (PENTEADO, 1974). Isto gera uma condição de baixa instabilidade em virtude da pouca capacidade de retenção da água e da diminuição da componente peso (FERNANDES *et al.*, 2001). Nas baixas encostas, com declividades geralmente inferiores a 20°, Wolle e Carvalho (1989) citam que ocorrem extensas acumulações coluvionares, normalmente em terrenos muito mais suaves, não comprometendo desta forma a estabilidade das vertentes.

Neste contexto, o objetivo deste item da pesquisa foi realizar o mapeamento da declividade das vertentes do relevo na APA Fernão Dias (MG), a fim de se analisar,

posteriormente, o quanto esta variável geoambiental (relevo) influencia na ocorrência ou não de processos erosivos e movimentos de massa.

4.3.2 Orientação metodológica para o mapeamento da declividade das vertentes do relevo da APA Fernão Dias

Para o desenvolvimento desta etapa da pesquisa, o material cartográfico utilizado foi o Mosaico das Cenas S23W046 e S23W047 do ASTER GDEM (*Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer - Global Digital Elevation Model*) (2009) (Tabela 4.1). 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. De acordo com Jesus (2009), o sensor ASTER dispõe de imagens estereoscópicas, obtidas na faixa do infravermelho próximo (0.5-0.9 μm), com resolução espacial de até 30m, o que possibilita a geração de Modelos Digitais de Elevação (MDEs) de modo rápido, com baixo custo e boa acurácia.

O MDE é uma representação digital de uma seção da superfície, dada por uma matriz de pixels com coordenadas planimétricas (x,y) e um valor de intensidade do pixel, correspondente à elevação (z). De acordo Valeriano (2004) a utilização de modelos digitais de elevação recai principalmente sobre a obtenção de variáveis derivadas da altimetria (declividade, o exemplo mais frequente). A obtenção destas variáveis é feita principalmente com operações de vizinhança. Todavia, os modelos digitais de elevação podem conter imperfeições caracterizadas por depressões espúrias, picos anômalos e pontos ou áreas com ausência de dados (JENSON e DOMINIQUE, 1988).

Inicialmente, a fim de eliminar possíveis ruídos/falhas presentes na imagem foi feita uma correção do Mosaico das Cenas S23W046 e S23W047 do MDE ASTER por meio da função *fill* da extensão *Spatial Analyst Tools* do software ArcGIS 10™. Esta ferramenta considera as altitudes dos pixels vizinhos para preencher o pixel com falha. Tal processo é semelhante ao do filtro *passa baixa*. Desta forma, é gerado um mapa de MDE com melhor consistência.

O modelo clinográfico foi gerado a partir do Mosaico das Cenas S23W046 e S23W047 do MDE ASTER (Figura 4.5), por meio do comando *Slope*, presente no módulo *Surface* da extensão

Spatial Analyst Tools do software ArcGIS 10™. O comando *Slope* toma um raster de superfície (MDE ASTER) de entrada e calcula um raster de saída, contendo a inclinação de cada célula. Para cada célula, o comando *Slope* calcula a taxa máxima de alteração no valor z a partir dessa célula aos seus vizinhos. Basicamente, a alteração máxima na elevação ao longo da distância entre a célula e seus oito vizinhos identifica a declive mais íngreme da encosta a partir da célula. Quanto menor o valor da inclinação, mais plano é o terreno, enquanto que, quanto maior for a inclinação, maior será a declividade. Para calcular o valor da inclinação o comando *Slope* utiliza a técnica média máxima (BURROUGH e MCDONELL, 1998). O mapa clinográfico foi gerado em grau, com classificação da matriz em 5 classes, com a aplicação do método de classificação *Quebras-Naturais*, a fim de facilitar a visualização da declividade das vertentes.

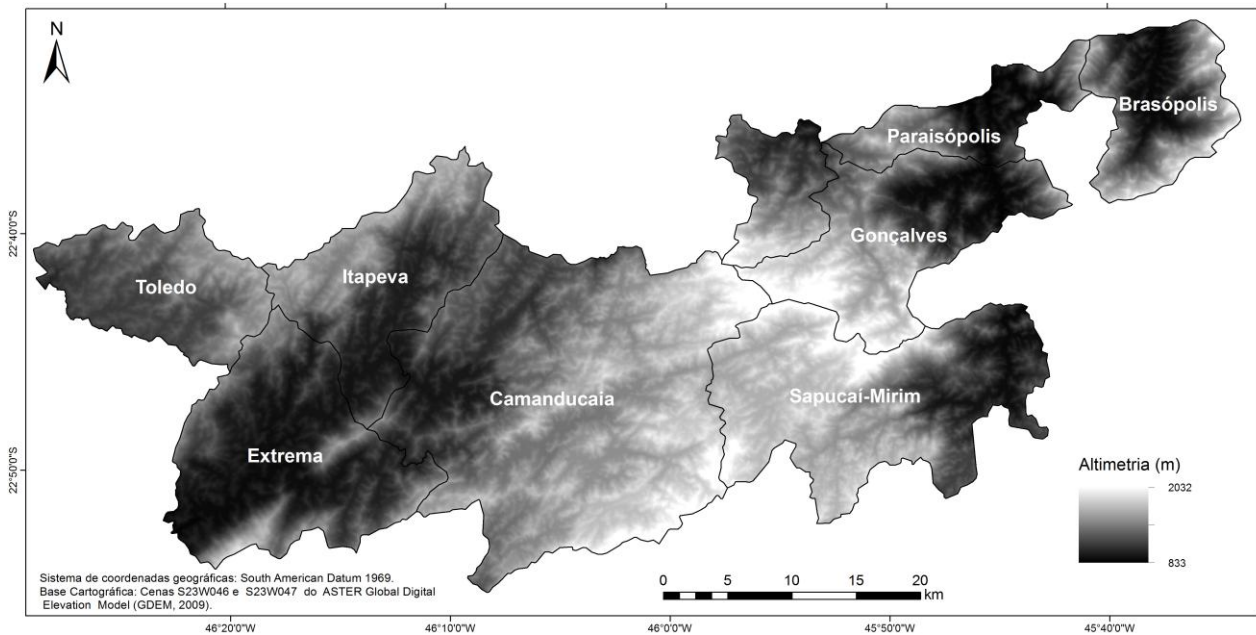


Figura 4.5 – Mosaico das cenas S23W046 e S23W047 do ASTER GDEM, que cobrem a APA Fernão Dias – MG.

Em síntese, o fluxograma da Figura 4.6 apresenta a sequência metodológica adotada para o desenvolvimento desta etapa da pesquisa.

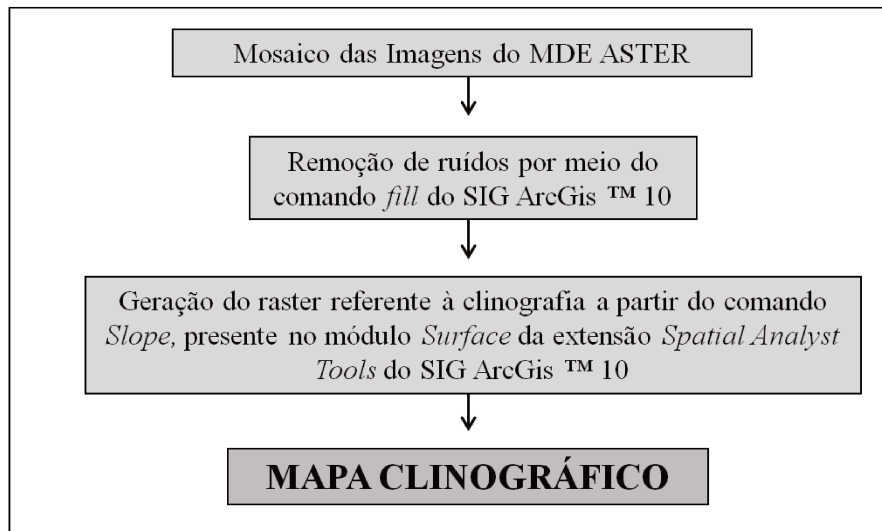


Figura 4.6 – Síntese dos procedimentos metodológicos. Org.: Garofalo, 2013.

4.3.3 Análise do mapa clinográfico da APA Fernão Dias

A APA apresenta declives acentuados, principalmente à montante das bacias dos rios Jaguari e Sapucaí-Mirim, expondo um conjunto de relevos com vertentes íngremes e apresentando superfície topográfica mais suave, a medida que atinge as áreas mais à jusante (Figura 4.7). Relacionando o mapa altimétrico (Figura 2.6), o modelo tridimensional com compartimentações geomorfológicas (Figura 2.7) e o mapa clinográfico (Figura 4.7) é possível verificar que as maiores altitudes estão associadas a relevos variando de fortemente inclinado a montanhoso com declives que variam de 10° a 20° e acima de 20° , enquanto que as menores altitudes são observadas em relevos de planícies aluviais associadas a relevo ondulado à colinoso com baixas e médias declividades, que variam de 0 a 7° .

Desta forma, vertentes com alta declividade colaboram com uma dinâmica geomorfológica ativa, que se caracteriza na presença de escoamento superficial concentrado, instalados em rampas contínuas das vertentes retilíneas. Este processo é responsável pela formação de depósitos de acumulação no sopé das vertentes, além da presença de sulcos erosivos. Por consequência, os níveis de inundação se elevam, degradando os ecossistemas aquáticos (assoreamento de corpos d'água), além de colaborar para a perda de solo e o lixiviamento de nutrientes, constituindo em problemas para a conservação do solo, que afetam áreas à jusantes na bacia hidrográfica (FORMAN e ALEXANDER, 1998).

Dentre as áreas mais expressivas da APA que apresentam declives superiores a 20°, podem ser destacadas as serras: do Lopo, do Forja, da Itapeva, dos Campos dos Negros, do Selado, do Palmital, da Bocaina, do Goulart, dos Pereiras, da Coimbra, da Boa Vista, e das Bandeiras (Figura 4.7). Já as baixas declividades são observadas principalmente nas planícies do rio Jaguari e Camanducaia, e de seus afluentes de maior ordem, nas planícies do rio Sapucaí-Mirim e de seus afluentes, assim como em pequenas planícies e brejos suspensos (Figura 4.7).

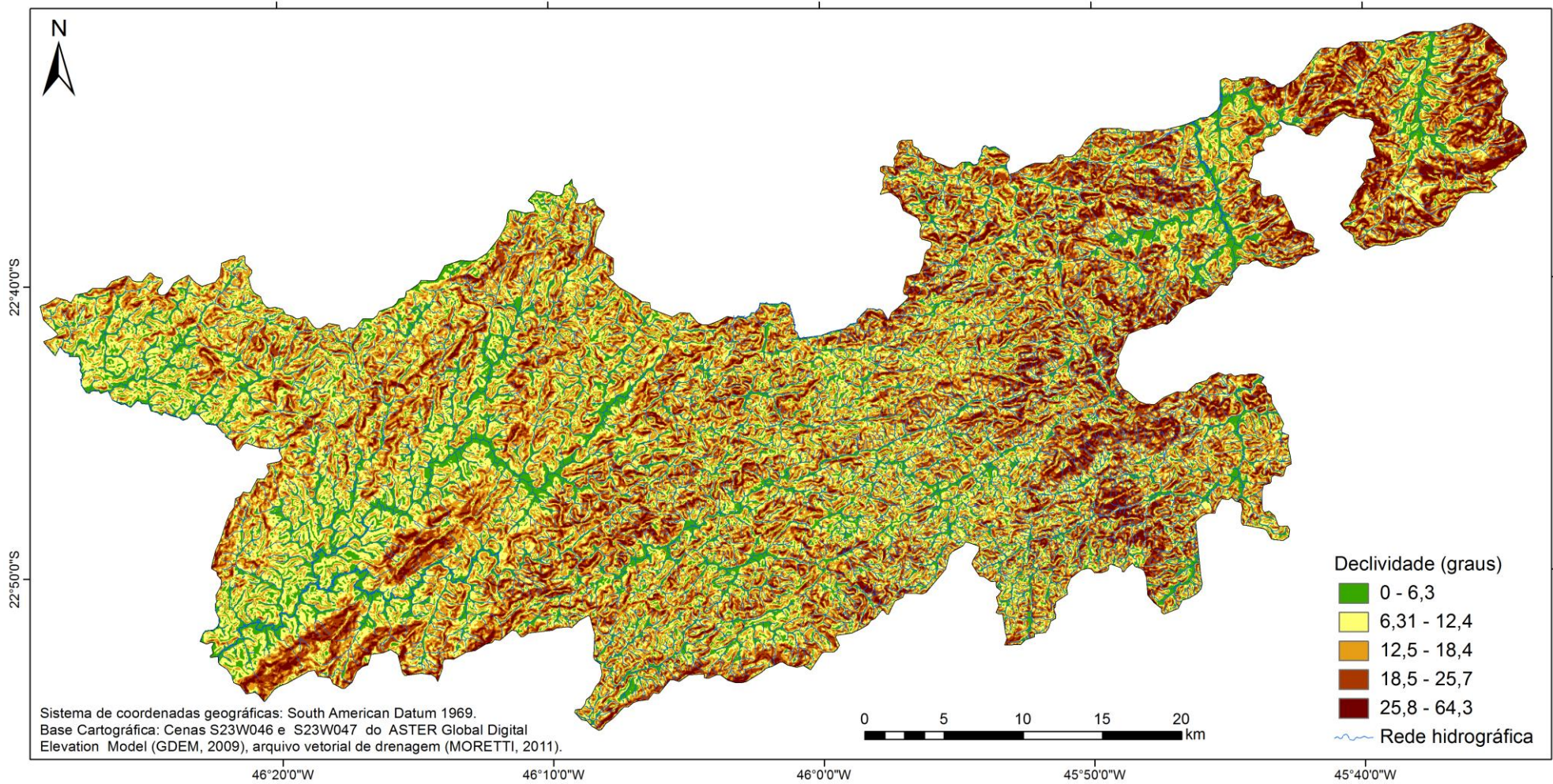


Figura 4.7 – Mapa das declividades da APA Fernão Dias (MG). Org.: Garofalo, 2013.

4.4 REGIME PLUVIOMÉTRICO: PROBABILIDADE DE OCORRÊNCIAS DE CHUVAS INTENSAS NO PERÍODO DE DEZEMBRO A MARÇO

4.4.1 Introdução

Os trópicos úmidos têm sido considerados como uma das regiões onde as vertentes estão mais sujeitas aos processos erosivos e aos movimentos de massa. A abundância de chuvas e a presença de um manto de intemperismo espesso favorecem as condições ideais para o desencadeamento do processo (BIGARELLA, 2007).

A ação do clima está relacionada basicamente ao regime pluviométrico e suas consequências sobre os processos morfogenéticos. A principal influência da precipitação nos processos erosivos e nos movimentos de massa não é considerada tão somente pela quantidade anual de chuva, mas principalmente por sua distribuição durante o ano, mais ou menos regular, no tempo e no espaço, e sua intensidade (SANTORO, 1991). Quanto à erosão pluvial, Seixas (1985) cita que a água da chuva determina uma ação erosiva sobre os solos, através do choque das suas gotas que caem com diferentes velocidades, o que possibilita impactos mais ou menos potentes, de acordo com o diâmetro das gotas, e ainda com o estabelecimento do deflúvio também variável, em consequência da precipitação, mais ou menos intensa que se verifica.

Em relação aos movimentos de massa tanto as precipitações intensas quanto as contínuas podem contribuir para deflagrar os escorregamentos, ou seja, ambas produzem o encharcamento do solo. O excesso de água no subsolo afeta os materiais coloidais que, ao invés de conferirem uma resistência ao solo, tendem à sua “liquefação” (BIGARELLA, 2007). A superfície impermeável – rocha sã, ou de cisalhamento torna-se “lubrificada”, facultando o movimento de massa.

Durante o verão, o sistema atmosférico preponderante na região da APA Fernão Dias é a massa de ar Equatorial Continental, caracterizada pela circulação de NE, constituída por ventos oceânicos com umidade relativa elevada e instabilidade convectiva, que resultam em frequentes processos de condensação das massas de ar ascendentes e formação de grandes cúmulos-nimbos produtores de precipitação abundante. Eventualmente, nesta época, a massa Tropical Atlântica se impõe sobre a região, trazendo instabilidade devido ao aquecimento a que é submetida na costa da América do Sul, em razão da presença de corrente marítima quente no litoral nesta época do

ano. Além disso, a topografia também influencia o volume de chuvas tanto pela ascendência orográfica na serra da Mantiqueira quanto pela turbulência do ar provocada pelo relevo (IBITU, 1998).

Sendo assim, as chuvas representam o principal elemento climático altamente relacionado com as alterações que ocorrem na paisagem da região da APA Fernão Dias, exercendo função direta nos processos morfodinâmicos, ativando a erosão e os movimentos de massa. Uma das preocupações quanto às chuvas é a intensidade e a frequência de sua ocorrência, pelos seus efeitos potencialmente danosos, quando em excesso. A razão entre a quantidade de chuva precipitada e o intervalo de tempo, caracteriza a intensidade da chuva. Deste modo, a intensidade da chuva é diretamente proporcional ao volume de água precipitado e inversamente proporcional ao intervalo de tempo da chuva considerada.

De forma geral, a previsão probabilística da ocorrência de chuva intensa é de suma importância para o planejamento territorial, pois podem fornecer subsídio para se determinar períodos críticos predominantes em uma dada região. Uma das estratégias utilizada para se modelar esses eventos é utilizar a distribuição de valores extremos, ou distribuição tipo I de Fisher-Tippet - mais conhecida como distribuição de Gumbel (REBOITA, 2005). Por isto, o objetivo deste item foi o mapeamento da probabilidade de ocorrência de chuvas intensas na APA Fernão Dias (MG), identificando-se as áreas onde estes eventos são mais frequentes.

4.4.2 Orientações metodológicas para o mapeamento da probabilidade de ocorrência de chuvas intensas

Em síntese, o fluxograma da Figura 4.8 apresenta a sequência metodológica adotada para o desenvolvimento desta etapa da pesquisa.

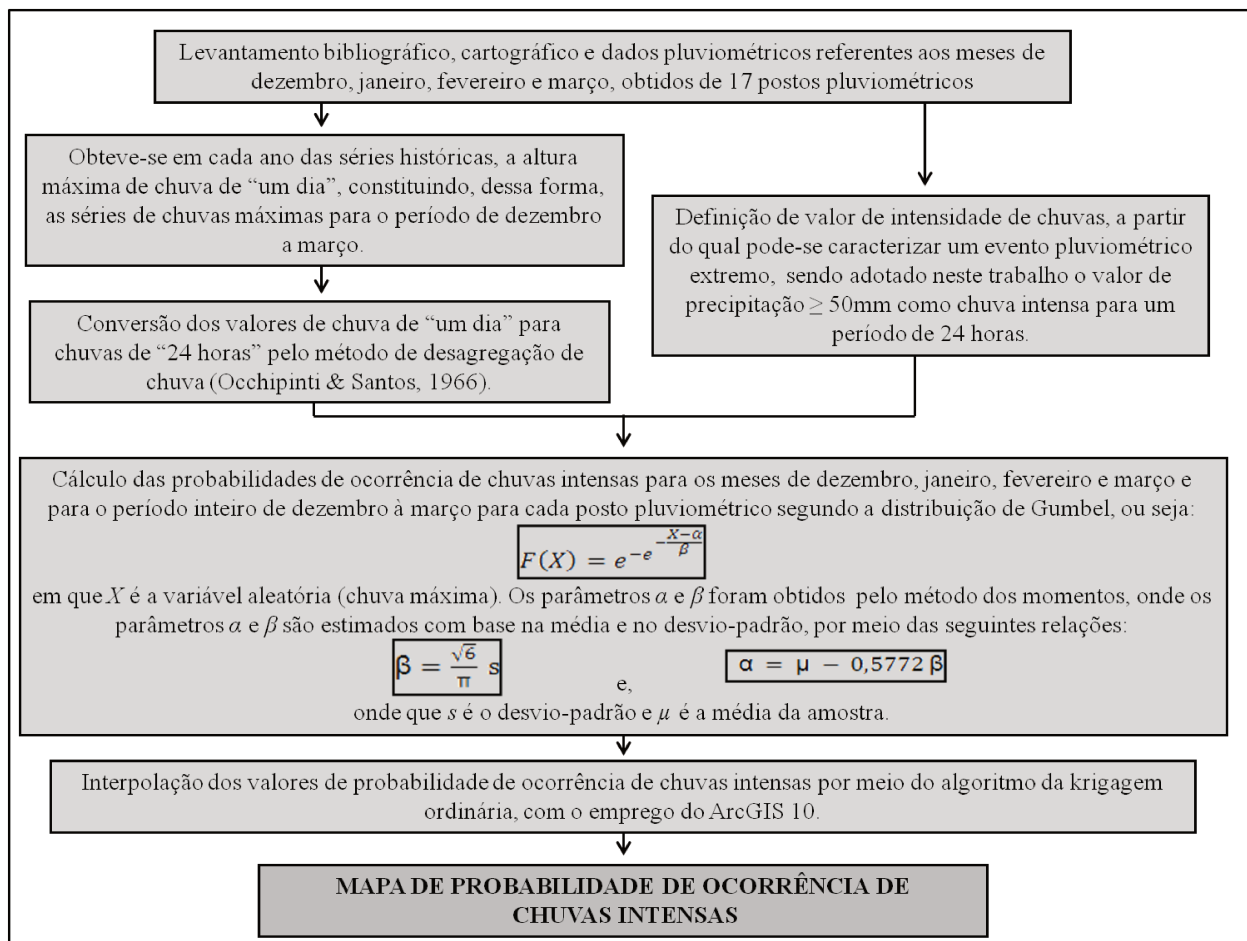


Figura 4.8 – Síntese dos procedimentos metodológicos empregados no mapeamento da POCI
Org.: Garofalo, 2013.

4.4.2.1 Materiais

Nesta etapa da pesquisa foram utilizados dados de chuvas máximas de “um dia” referentes aos meses de dezembro, janeiro, fevereiro e março, obtidos de 17 postos pluviométricos, localizados nas imediações da APA Fernão Dias (Figura 4.9 e Tabela 4.2). Os dados foram obtidos da Rede Hidrometeorológica Nacional da Agência Nacional das Águas (ANA) (<http://hidroweb.ana.gov.br>). Foi selecionado o maior número possível de estações com séries históricas de no mínimo 20 anos de observações contínuas, de forma a se alcançar boa cobertura espacial dos dados e, garantindo assim, maior acurácia ao mapa de probabilidade.

Tabela 4.2 – Características gerais dos postos pluviométricos utilizados como fonte de dados para o mapa de probabilidade de ocorrência de chuvas intensas.

Código Posto	Município	Coordenadas UTM		Altitude (metros)	Série Histórica	Precipitação Média Anual
		N (metros)	E (metros)			
2246054	Bom Repouso	7515,032	381,677	820	1941-2002	1.506
2246033	Bragança Paulista	7468,588	332,616	760	1945-2010	1.450
2245070	Brasópolis	7514,862	436,015	880	1941-2008	1.372
2246057	Camanducaia	7482,564	378,824	1040	1975-2009	1.525
2246050	Cambuú	7499,492	393,162	900	1942-2007	1.422
2245010	Campos do Jordão	7490,806	450,551	1501	1941-2009	1.748
2245082	Gonçalves	7495,566	414,371	1250	1941-1965	1.422
2245083	Itajubá	7525,502	453,986	845	1967-2009	1.450
2246090	Joanópolis	7462,027	368,984	920	1952-2003	1.506
2245054	Monteiro Lobato	7462,354	414,558	680	1941-2003	1.726
2245094	Paraisópolis	7507,889	418,301	960	1942-2004	1.243
2246095	Pedra Bela	7477,857	351,166	1090	1954-2002	1.716
2245011	São Bento do Sapucaí	7488,538	422,684	895	1941-2008	1.231
2245104	Sapucaí-Mirim	7484,452	423,532	920	1967-2009	1.520
2246017	Socorro	7498,685	342,395	740	1946-2003	1.548
2246088	Toledo	7485,271	354,517	1080	1972-1993	1.656
2246035	Vargem	7465,587	354,706	940	1941-2002	1.522

Fonte: adaptado (ANA, 2012).

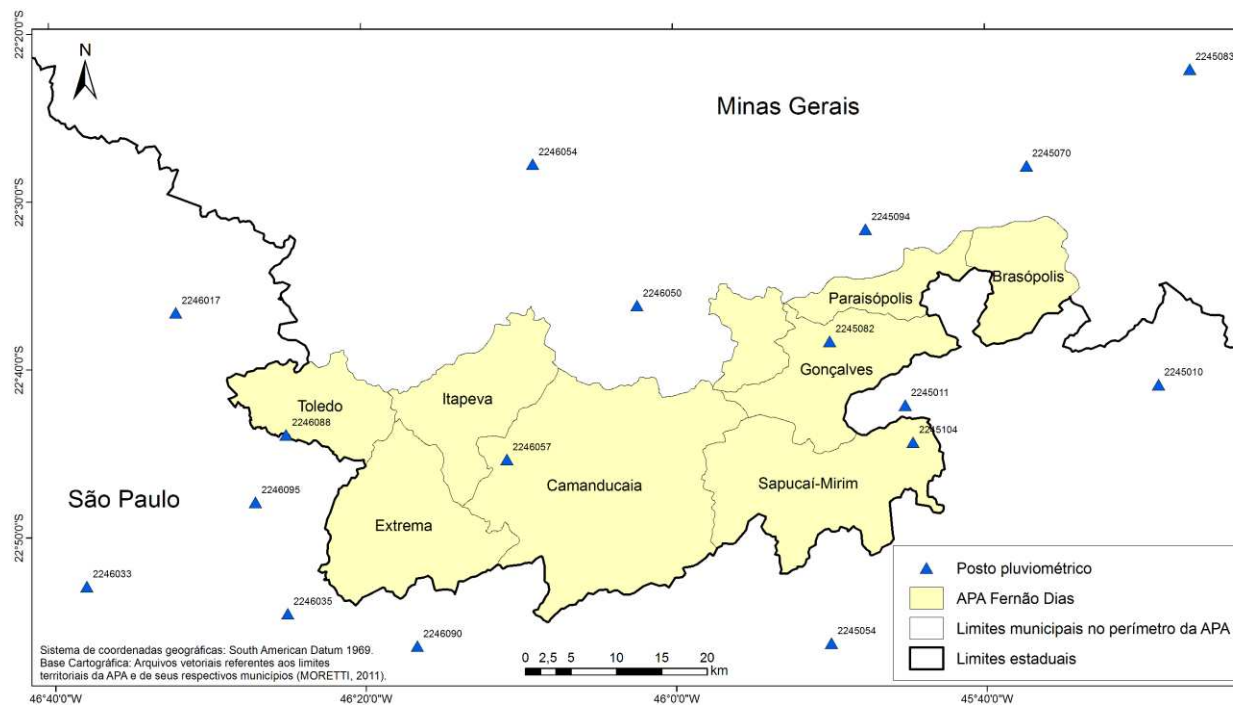


Figura 4.9 - Mapa de localização dos postos pluviométricos utilizados na pesquisa, sobreposto aos limites territoriais da APA Fernão Dias e os respectivos municípios que dela fazem parte. Org.: Garofalo, 2013.

4.4.2.2 Cálculo da probabilidade de ocorrência de chuva intensa

O cálculo da probabilidade de ocorrência de chuva intensa é feito com base em dados referentes à intensidade da chuva. Este tipo de dado é registrado em postos pluviográficos, onde as alturas precipitadas são registradas de forma contínua, possibilitando assim constatar-se a sua intensidade. Contudo, os dados pluviométricos utilizados nesta pesquisa são referente à chuva total, durante um período de tempo (um dia, por exemplo), diferente dos dados pluviográficos. Desta forma, em regiões não cobertas por pluviógrafos é possível se obter chuvas de intensidade máxima em 24 horas, a partir de chuvas máximas de um dia (dados obtidos por pluviômetros), baseado em modelos de desagregação de chuvas.

Occhipinti e Santos (1966) desenvolveram um método que permite desagregar chuvas máximas diárias em chuvas de intensidade máxima em 24 horas. Em geral, observa-se que para uma determinada chuva, as precipitações máximas em 24 horas são maiores do que as de um dia, e menores que as de dois dias. Os resultados apresentados pelos autores mostraram que as alturas pluviométricas das chuvas máximas em “um dia” e em “24 horas” guardam uma relação média de 1,14. Na Tabela 4.3 são apresentadas as constantes do modelo de desagregação de chuvas diárias (OCCHIPINTI e SANTOS, 1966).

Tabelas 4.3 - Constantes do modelo de desagregação de chuvas diárias

Relação	Constante	Relação	Constante
24 h/1 d	1,14	6 h/24 h	0,72
12 h/24 h	0,85	4 h/24 h	0,63
10 h/24 h	0,82	2 h/24 h	0,52
8 h/24 h	0,78	1 h/24 h	0,42

Fonte: Adaptado (Occhipinti e Santos, 1966).

A partir das séries históricas de dados de estações pluviométricas, extraiu-se o valor máximo de chuvas em um dia, durante o período de dezembro a março, sendo este mais chuvoso do ano. Utilizando o Excel 2007, converteram-se os valores em chuva de um dia para chuvas em 24 horas, aplicando a fórmula:

$$\text{Máx 24h} = \text{Máx dia} \times 1,14 \quad [\text{Eq. 4.2}]$$

onde Máx 24: altura máxima de chuva em 24 horas; Máx dia: altura máxima de chuva em um dia; 1,14: constante de transformação.

Já com os valores de “chuva em um dia” convertidos para valores “em chuva de 24 horas”, procurou-se definir o valor de intensidade de chuvas, a partir do qual pode se caracterizar um evento pluviométrico extremo. Wilken (1978) faz uma relação de chuvas consideradas não intensas, isto é, as que tenham intensidades menores que os valores indicados na Tabela 4.4.

Tabela 4.4 – Intensidades mínimas de precipitação pluviométrica, consideradas como intensas.

Duração Minutos	Intensidade		Duração Minutos	Intensidade		Duração Minutos	Intensidade	
	mm/min	mm/hora		mm/min	mm/hora		mm/min	mm/hora
5	2	120	30	0,67	40	120	0,25	15
10	1,2	72	45	0,51	30,6	180	0,18	11
15	1	60	60	0,42	25	240	0,15	8,7
20	0,85	51	90	0,31	18,7	---	---	---

Fonte: Wilken, 1978.

A partir das relações de desagregação de alturas pluviométricas para diferentes durações, propostas por Wilken (1978), pode-se afirmar que uma chuva de intensidade 25,00mm/60 minutos é equivalente a uma chuva de intensidade aproximada de 60,00mm/ 24 horas.

O Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE) estabeleceu uma curva que fornece as alturas mínimas utilizadas na seleção de chuvas intensas (ABE e FIGUEIREDO, 1983). Os limites adotados pelo DAEE são inferiores aqueles adotados por WILKEN (op. cit.) para durações superiores a 120 minutos. Considera-se altura de chuva de 25mm como limite para selecionar as chuvas intensas, sendo uma chuva de 25mm com duração de 120 minutos equivalente a uma chuva de aproximadamente 50mm com duração de 24 horas. A partir deste raciocínio, foi adotado neste trabalho o valor de precipitação $\geq 50\text{mm}$ como chuva intensa para um período de 24 horas

Obteve-se em cada ano das séries históricas, a altura máxima de chuva de “um dia” para os meses de dezembro, janeiro, fevereiro e março, constituindo, dessa forma, as séries de chuvas máximas para o período de dezembro a março. Posteriormente, os valores de chuva de “um dia” foram convertidos para chuvas de “24 horas” pelo método de desagregação de chuva. As probabilidades observadas de chuvas intensas para os meses de dezembro, janeiro, fevereiro e março e para o período inteiro de dezembro à março foram calculadas segundo a distribuição de Gumbel, ou seja:

$$F(X) = e^{-e^{-\frac{X-\alpha}{\beta}}} , \quad [\text{eq. 4.3}]$$

em que X é a variável aleatória (chuva máxima). Segundo Rebolita (2005), os parâmetros α e β podem ser obtidos por diferentes métodos, tais como: o método dos momentos, o método da regressão, o método de Lieblein e o método da máxima verossimilhança. O método utilizado neste trabalho foi o dos momentos, onde os parâmetros α e β são estimados com base na média e no desvio-padrão, por meio das seguintes relações:

$$\beta = \frac{\sqrt{6}}{\pi} s \quad [\text{eq. 4.4}]$$

$$\alpha = \mu - 0,5772 \beta , \quad [\text{eq. 4.5}]$$

onde que s é o desvio-padrão e μ é a média da amostra.

Na tabela 4.5 são apresentados os valores de probabilidade de ocorrência de chuvas intensas para a localidade de cada posto pluviométrico para os meses de dezembro, janeiro, fevereiro e março, e para o período de dezembro a março.

Tabela 4.5 - Probabilidade de ocorrência de chuvas intensas, segundo a localidade de cada posto pluviométrico, nos meses de dezembro, janeiro, fevereiro e março, no período de dezembro a março.

Código Posto	Município	Probabilidade de ocorrência de chuvas com intensidade >50mm/24hs - %				
		Dezembro	Janeiro	Fevereiro	Março	Dezembro/Março
2246054	Bom Repouso	39,80	52,03	42,98	37,22	43,28
2246033	Bragança Paulista	45,61	53,56	42,33	42,77	51,72
2245070	Brasópolis	60,56	53,31	50,66	27,79	48,43
2246057	Camanducaia	53,19	47,30	50,30	37,37	46,20
2246050	Cambuí	45,50	65,35	44,76	39,10	48,38
2245010	Campos do Jordão	32,70	44,21	40,24	24,90	45,64
2245082	Gonçalves	52,30	61,26	77,72	47,79	59,83
2245083	Itajubá	48,20	64,03	34,37	39,08	46,12
2246090	Joanópolis	40,02	47,69	36,87	37,86	40,51
2245054	Monteiro Lobato	58,89	65,36	59,85	51,09	58,72
2245094	Paraisópolis	27,97	50,02	31,10	28,07	35,41
2246095	Pedra Bela	52,03	53,48	36,92	34,55	44,31
2245011	São Bento do Sapucaí	25,27	34,87	25,92	21,41	33,80
2245104	Sapucaí-Mirim	56,60	60,42	46,24	42,69	50,91
2246017	Socorro	59,11	71,40	54,28	51,65	57,72
2246088	Toledo	42,36	60,48	39,96	35,39	43,76
2246035	Vargem	39,80	51,47	42,98	37,22	43,14

Fonte: ANA, 2012

4.4.2.3 Mapeamento da probabilidade de ocorrência de chuva intensa

Há categorias de dados geográficos que possuem distribuição espacial contínua e probabilística, com variações multidirecionais que se assemelham à superfície, como é o caso de dados de chuvas, que assumem a estrutura de campos contínuos, podendo ser representados em mapas de isolinhas, denominados mapas isopléticos (FERREIRA, 2003). Por serem elaborados com base em uma superfície numérica estimada segundo modelos euclidianos, os mapas isopléticos podem conter em alguns locais valores superestimados ou subestimados (FERREIRA, 2003). Ferreira (2003) salienta ainda que “este tipo de mapa não é para ser lido ponto a ponto, mas para ser interpretado nas suas tendências gerais de concentração ou dispersão com base principalmente nas diferenças de distancia entre as isolinhas”.

O mapa isoplético dos valores de probabilidade de ocorrência de chuvas intensas foi interpolados por meio do algoritmo da krigagem ordinária, a partir da ferramenta *Geostatistical Wizard* da extensão *Geostatistical Analyst* do software ArcGIS 10™. A krigagem é um estimador que procura minimizar a variância estimada a partir de um modelo prévio, considerando a dependência estocástica entre os dados distribuídos no espaço (LANDIM, 2003). Utilizando o princípio da Primeira Lei de Geografia de Tobler, que diz que unidades de análise mais próximas entre si são mais parecidas do que unidades mais afastadas, a krigagem utiliza funções matemáticas para adicionar pesos maiores nas posições mais próximas aos pontos amostrais e pesos menores nas posições mais distantes, e criar assim os novos pontos interpolados com base nessas combinações lineares de dados (JAKOB, 2002).

Primeiramente, foi realizada uma análise de tendência dos dados de POCI, que consiste na geração de uma superfície que represente a distribuição bidimensional da série espacial dos dados. A determinação da superfície é feita a partir de métodos polinomiais. Existem três tipos de superfícies de tendência que podem ser geradas a partir de dados de chuva: as superfícies lineares (função polinomial de primeira ordem), as superfícies quadráticas (função polinomial de segunda ordem) e as superfícies cúbicas (função polinomial de terceira ordem). Para a representação dos dados de probabilidade de ocorrência de chuvas intensas (>50mm/24hs), foi utilizado a superfície de tendência linear.

Ferreira (2003) salienta que as superfícies lineares são as mais simples e gerais, revelando baixas taxas de variabilidade dos dados e indicando apenas uma tendência genérica da

distribuição geográfica destes dados. Esta categoria de superfície geralmente é contínua e tem uma única direção, sendo caracterizada por intensa regularidade, orientação predominantemente constante das isolinhas e ausência de inflexão, que ocorrem somente nas superfícies quadráticas e cúbicas.

O passo seguinte foi a análise de dependência espacial das superfícies. Para tanto, foi empregada a função de semi-variograma. O semi-variograma reflete a estrutura espacial do fenômeno estudado, e é definido como a descrição matemática do relacionamento entre a variância de pares de observações (pontos) e a distância separando estas observações h (lag) (JAKOB, 2002; ANDRIOTTI, 2003). Os componentes do semi-variograma, e seus principais modelos são apresentados na Figura 4.10.

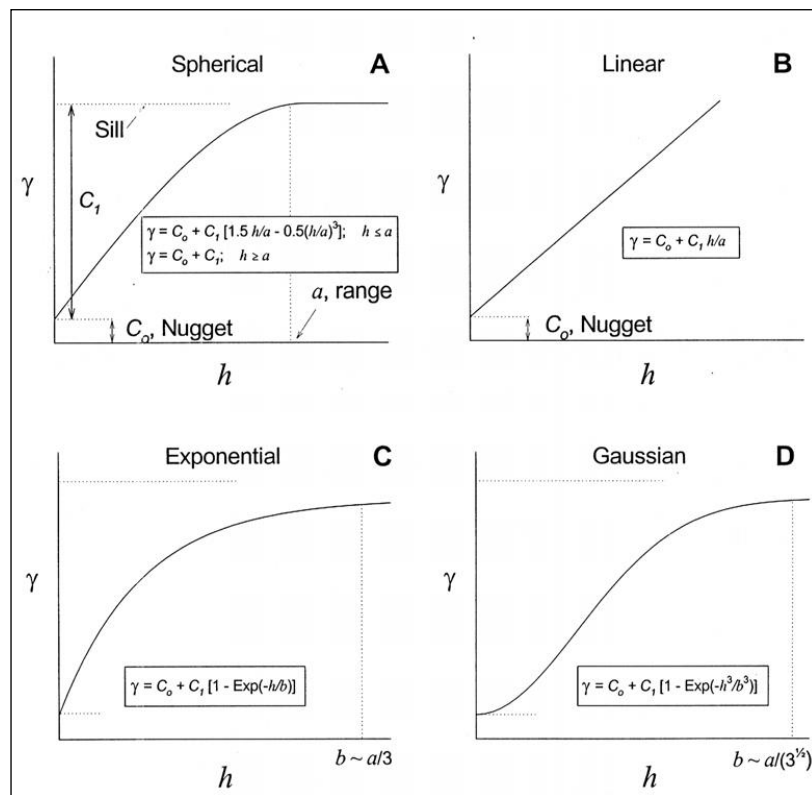


Figura 4.10 - Componentes e Modelos do Semi-variograma. Fonte: Lembo e Magri (2002).

O efeito pepita (*nugget*) é o ponto inicial da curva, onde a curva toca o eixo γ , quando $h=0$. O patamar (*sill*) é o valor de γ máximo da curva, o ponto em que não existe mais nenhuma correlação entre as variáveis, sendo assim a variância do conjunto de dados. O alcance (*range*) é

o ponto máximo onde existe autocorrelação espacial das variáveis (JAKOB, 2002). Dentre os principais modelos, o mais comum é o exponencial, sendo este o que melhor se ajustou ao semi-variograma deste estudo. Para o cálculo do semi-variograma foi utilizado um valor de h compatível com a distância mínima aproximada entre os postos pluviométricos, estimada em 12 km. Foi adotado um modelo exponencial, isotrópico e sem efeito pepita (Figura 4.11). Optou-se por não utilizar o Efeito Pepita, pois um teste mostrou que esta aplicação gerou uma grande suavização na superfície, ocasionando perda de informação e de detalhamento no mapa final.

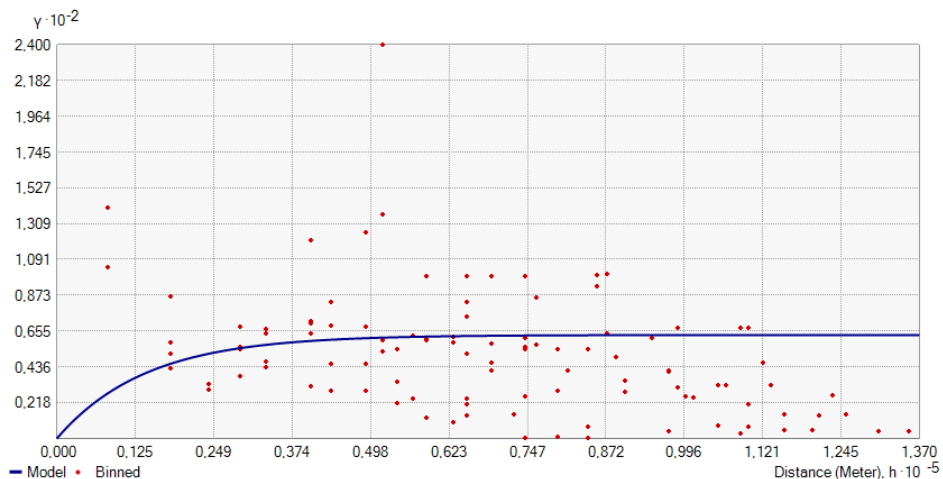


Figura 4.11 – Semi-variograma para os dados de probabilidade de ocorrência de chuvas intensas na APA Fernão Dias – MG.

A aplicação do semi-variograma revelou um patamar de 63,06 km e um alcance de 42,32 km. O método de classificação aplicado ao produto gerado a partir da interpolação foi o quartil, tendo como resultado o mapa de probabilidade de ocorrência de chuvas intensas representado em quatro classes.

4.4.3 Análise e discussão do mapeamento de probabilidade de ocorrência de chuvas intensas

As áreas com maior probabilidade à ocorrência de chuvas intensas (POCI) para o período de dezembro a março são aquelas localizadas na porção central-leste da APA, abrangendo, principalmente, a porção leste do município de Camanducaia, o município de Sapucaí-Mirim, a porção sudoeste do município de Paraisópolis e a porção sudoeste do município de Gonçalves,

onde os valores de probabilidade variam de 50 % a 59%. Os valores de POCI menores, entre 40% e 50%, foram registrados na porção sudoeste da APA (porção leste do município de Toledo, e os municípios de Extrema e Itapeva), porções leste dos municípios de Paraisópolis e Gonçalves e no município de Brasópolis, integralmente (Figura 4.12).

Comparando-se o mapa de POCI, referente ao período de dezembro à março (Figura 4.12), com o mapa altimétrico (Figura 3.2), fica evidente a influência da topografia na precipitação, ocasionada tanto pela ascendência orográfica quanto pela turbulência do ar provocada pelo relevo. Esta área que apresenta maior POCI, entre 50% a 59% (Figura 4.12) está associada a uma extensa área montanhosa, com relevo fortemente dissecado, com pontões rochosos graníticos, e vertentes com altos valores de inclinação. Tal associação contribui para a ocorrência de escoamento pluvial concentrado e escoamento subsuperficial, ativando a erosão e os movimentos de massa. Sendo assim, fica evidente que a cobertura vegetal tem um papel preponderante em ambientes com estas características, uma vez que a vegetação está diretamente relacionada à interceptação das gotas de chuva e à consequente minimização dos processos erosivos.

Nesta área também se localizam os maiores remanescentes de mata atlântica da APA Fernão Dias, representados principalmente pela floresta ombrófila densa, floresta ombrófila mista (com a presença da araucária) e floresta estacional semidecidual. Contudo, estas matas vêm perdendo espaço para a silvicultura - representada pelo cultivo de eucalipto e pinus, batata, culturas de repolho e couve-flor, e pela pecuária (MORETTI et al., 2011). Outra atividade econômica desenvolvida na área onde a POCI está entre 50% a 59% (Figura 4.12) é o turismo rural e turismo ecológico, principalmente pelos atrativos naturais e pelas baixas temperaturas.

Estas intervenções antrópicas sobre os recursos naturais, realizadas em áreas com POCI elevadas, quando praticadas sem adoção de práticas conservacionistas¹, alteram a estrutura dos ambientes geodinâmicos, intensificando os processos morfodinâmicos (erosões e movimentos de massa) e o assoreamento de nascentes importantes aí localizadas.

¹ Algumas práticas de uso do solo como a aração mecanizada na linha de declive das vertentes e a ausência de aplicações de medidas de conservação de solos, a par das acentuadas clinografias do relevo.

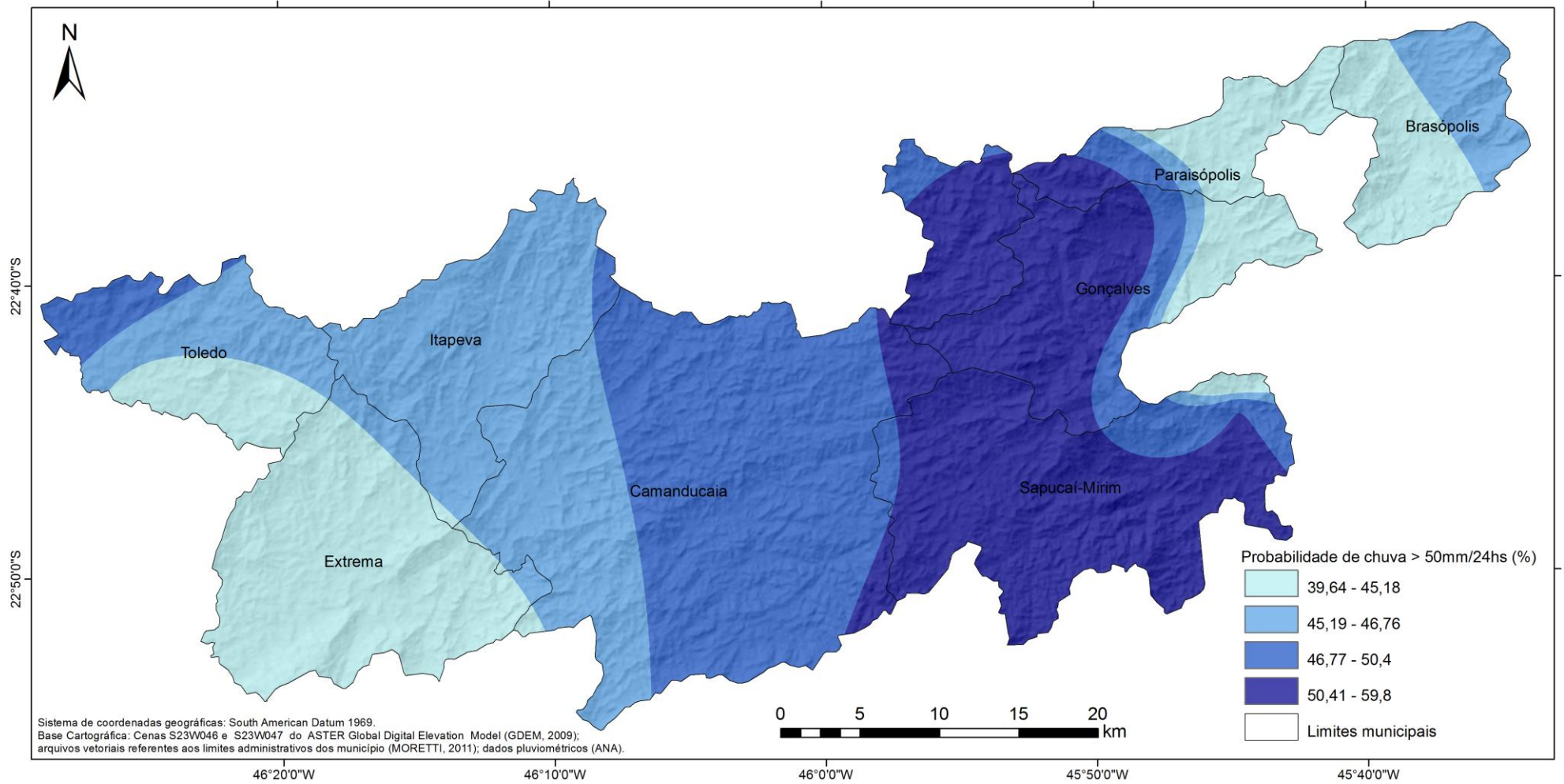


Figura 4.12 – Probabilidade de ocorrência de chuva intensa (POCI) para o período de dezembro a março, na APA Fernão Dias – MG. Org.: Garofalo, 2013.

4.5 ESTRUTURA GEOLÓGICA: LINEAMENTOS ESTRUTURAIS

4.5.1 Introdução

Os principais fatores geológicos condicionantes de processos erosivos e movimentos de massa estão intensamente vinculados ao tipo de rocha (litologia) e às características estruturais, tais como as falhas, fraturas, bandamentos, foliações e inclinação das camadas (FIORI, 1995; MARCELINO, 2003).

Os lineamentos estruturais evidenciam as áreas de alívio tectônico rúptil provocado, na maioria das vezes, por um processo cataclástico, indicando maior ou menor ocorrência de cisalhamentos (RODRIGUES, 2000); representam a permeabilidade do terreno, principalmente os cruzamentos de lineamentos, que caracterizam zonas de maior variação de tensão, ocorrendo o maior número de fraturamento, possibilitando a maior percolação de fluidos pelo sistema solo/rocha, contribuindo no domínio da morfogênese sobre a pedogênese, aumentando a instabilidade do maciço e a possibilidade de erosão.

As características estruturais que representam os pontos de menor resistência e descontinuidades exercem papel fundamental no escoamento, na infiltração e na circulação da água, e, conseqüentemente, atuam como caminhos preferenciais de alteração (SELBY, 1982; FIORI, 1995; FERNANDES E AMARAL, 2000; MARCELINO, 2003). Bigarella (2007) enfatiza que os padrões de diáclases e de fraturas, bem como de qualquer plano de descontinuidade desempenham papel importante na infiltração e na circulação das águas e, portanto, na intemperização das rochas.

Além disso, segundo Selby (1982) e Fiori (1995), a inclinação das camadas, fraturas e planos de falhas ou de foliação são importantes fatores no processo de instabilidade das vertentes, principalmente quando estas apresentam o mesmo sentido de inclinação das mesmas formando planos potenciais de escorregamentos e rastejos. Neste contexto, o presente item objetivou a análise da densidade de ocorrência de lineamentos estruturais na APA Fernão Dias, a partir da delimitação dos mesmos.

4.5.2 Orientações metodológicas para o mapeamento da densidade de lineamentos estruturais

A Figura 4.13 apresenta uma síntese da sequência metodológica adotada para o desenvolvimento desta etapa da pesquisa.

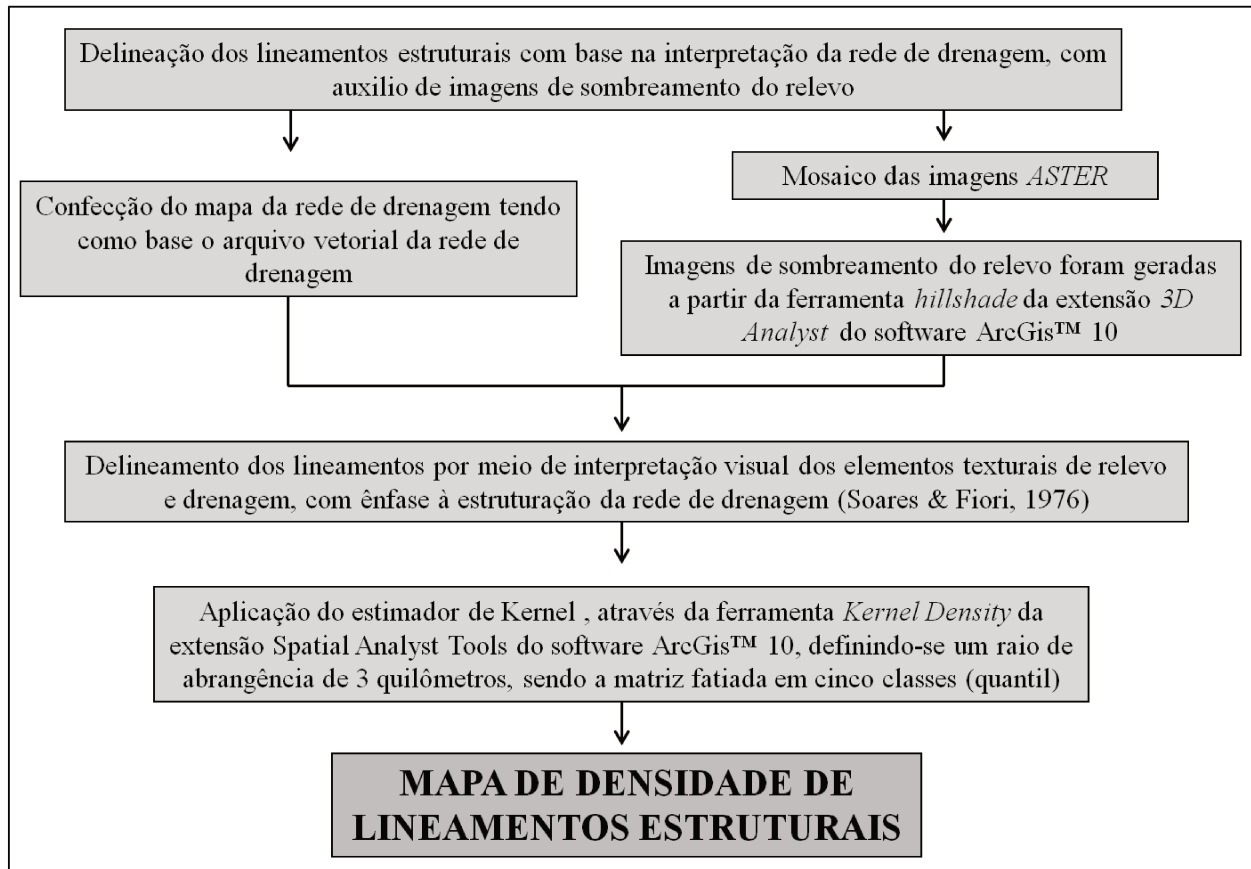


Figura 4.13 – Síntese dos procedimentos metodológicos para o mapeamento da densidade de lineamentos estruturais. Org.: Garofalo, 2013.

4.5.2.1 Mapeamento dos lineamentos estruturais

A definição de lineamentos aqui empregada é aquela recomendada por O’Leary *et al.* (1976), baseada na definição original de Hobbs (1904, apud O’LEARY *et al.*, 1976). Os autores definem estes elementos como “feições mapeáveis, simples ou compostas, onde as partes estão

alinhadas em uma relação retilínea ou levemente curva, e que diferem das estruturas adjacentes, provavelmente refletindo um fenômeno de subsuperfície”.

Os lineamentos estruturais foram traçados através dos cursos fluviais de acordo com interpretação do mapa da rede de drenagem e auxiliados também por imagens de sombreamento do relevo. As *lineações de drenagem* são elementos de drenagem fortemente estruturados, retilíneos ou em arco. De acordo com Soares e Fiori (1976), a rede de drenagem traçada de forma sistemática e uniforme pode fornecer informações de grande importância, especialmente quanto à estrutura geológica da área. Para a confecção do mapa da rede de drenagem (Figura 4.14) foi utilizado como base o arquivo vetorial da rede de drenagem em formato *shp* mencionado na Tabela 4.1.

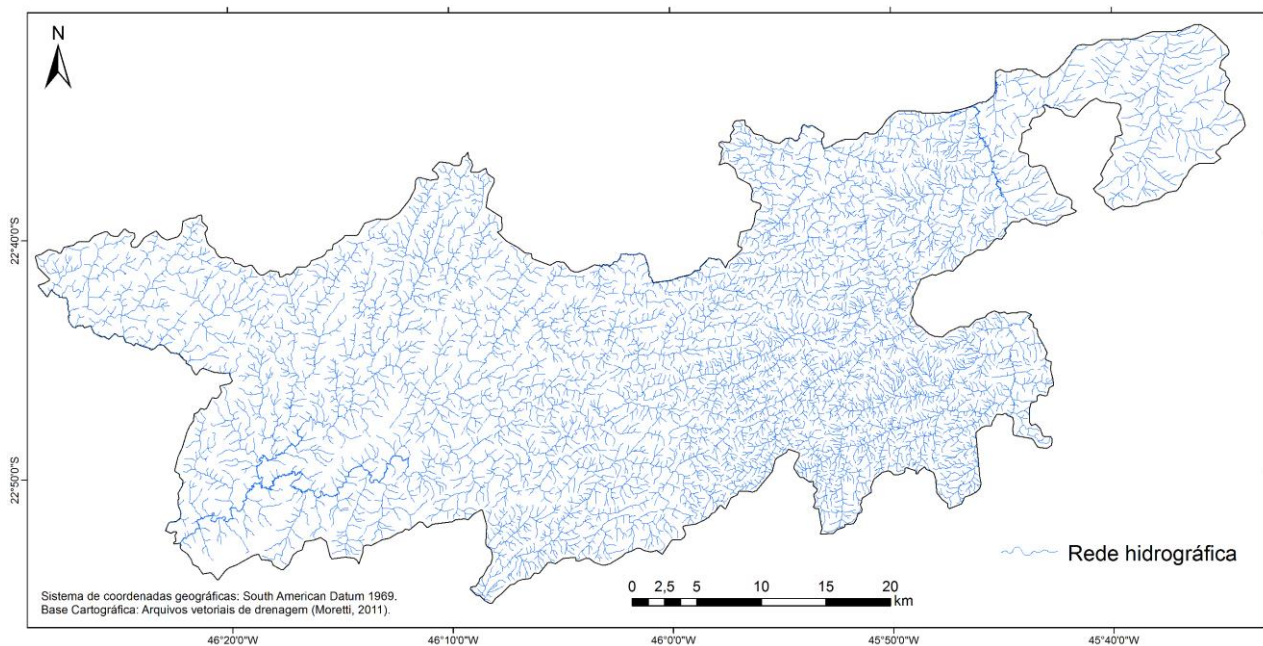


Figura 4.14 – Mapa da rede de drenagem da APA Fernão Dias (MG).
Org.: Garofalo, 2013.

As imagens de sombreamento do relevo são produtos do mosaico das imagens *ASTER* (2009), geradas a partir da ferramenta *hillshade* da extensão *3D Analyst* do software *ArcGis™* 10. A função *Hillshade* obtém a iluminação hipotética (direção angular do sol – iluminação de azimute) de uma superfície, de elevação, para determinação dos valores de iluminação para cada

célula em um raster (ESRI, 2010). Desta forma, os mapas de sombreamento do relevo foram gerados com iluminações de azimute 315° e 45° (Figuras 4.15 e 4.16 respectivamente).

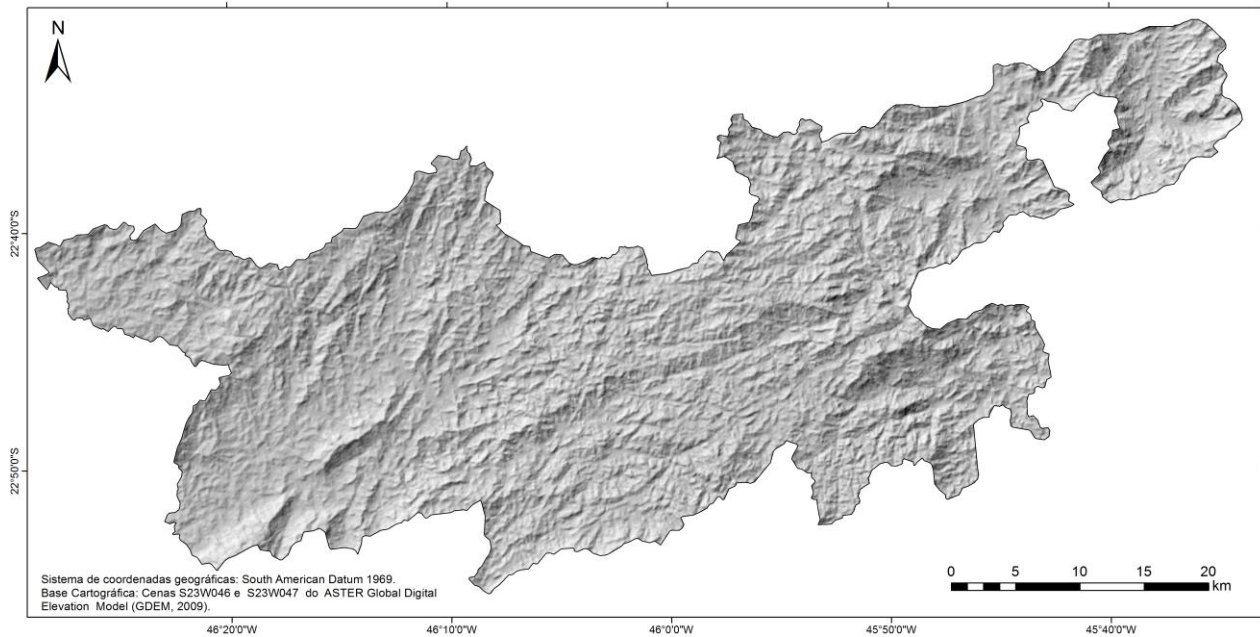


Figura 4.15 – Sombreamento do relevo com azimute de 315°. Org.: Garofalo, 2013.

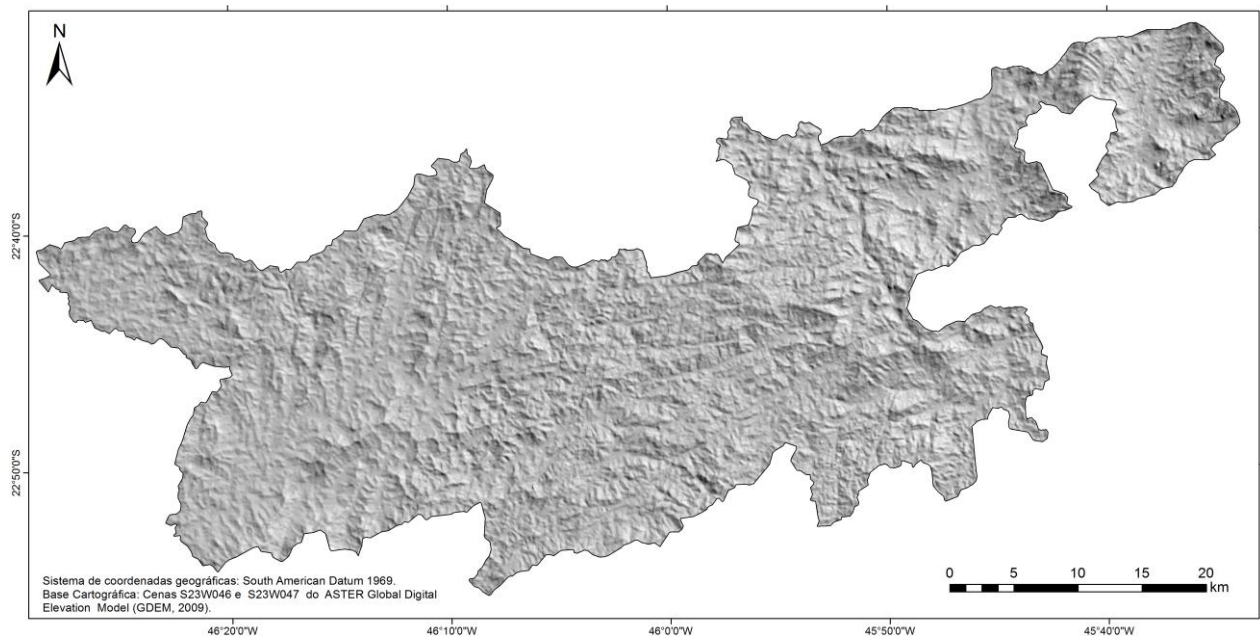


Figura 4.16 – Sombreamento do relevo com azimute de 45°. Org: Garofalo, 2013.

Após a confecção do mapa de drenagem e dos mapas de sombreamento do relevo, os lineamentos foram traçados por meio de interpretação dos elementos texturais de relevo e drenagem, com ênfase às quebras negativas de relevo (fundo de vale) e, principalmente, à estruturação da rede de drenagem (SOARES e FIORI, 1976). As zonas de fraturamento constituem zonas de desenvolvimento preferencial de linhas de drenagem retilíneas. Desta forma, criou-se um novo arquivo em formato .shp referente aos lineamentos estruturais, sendo estes digitalizados através da ferramenta *editor* do SIG ArcGis™ 10, com escala fixa de 1:50.000. A interpretação da rede de drenagem em conjunto com as imagens de sombreamento gerou um mapa composto por 1274 traços de lineamentos estruturais (Figura 4.17).

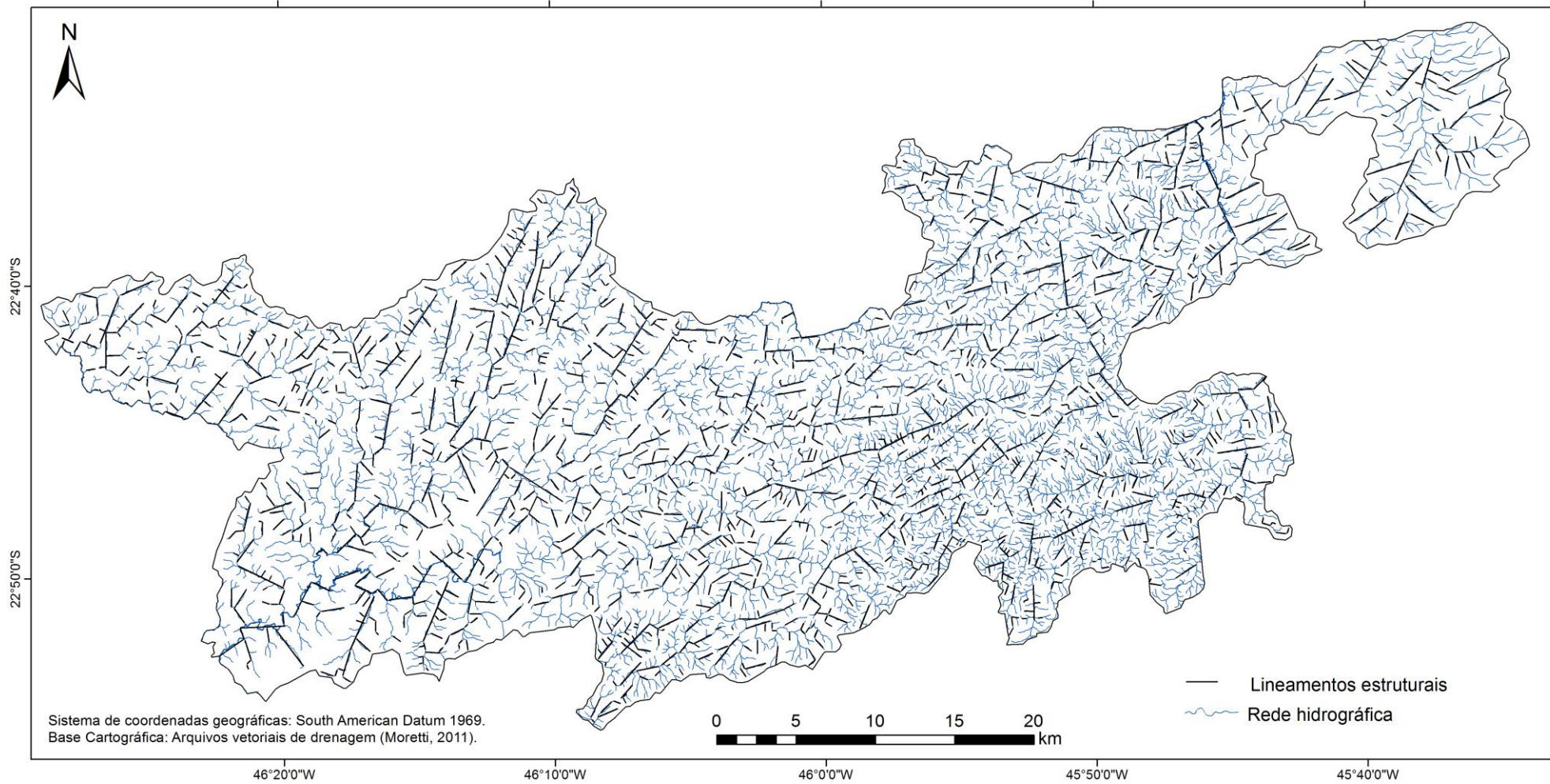


Figura 4.17 - Mapa de lineamentos estruturais. Org.: Garofalo, 2013.

4.5.2.2 Aplicação do estimador Kernel

Um dos procedimentos utilizados para a geração da densidade de lineamentos estruturais baseia-se no uso do estimador Kernel, uma ferramenta de análise espacial para processos espaciais de primeira ordem, que permite a análise da dispersão ou concentração de um dado fenômeno no espaço. Segundo Câmara e Carvalho (2001), os efeitos de primeira ordem, considerados globais ou de larga escala, correspondem a variações no valor médio do processo no espaço. Neste caso, avalia-se a intensidade do processo, isto é, o comprimento de lineamentos por unidade de área (Figura 4.18).

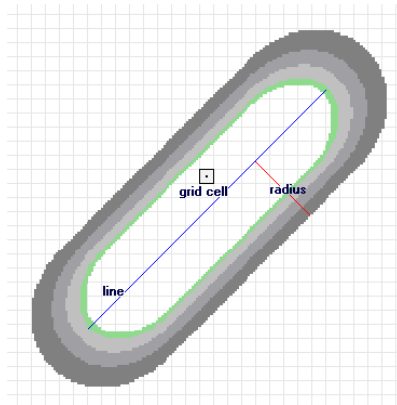


Figura 4.18 - Estimador de intensidade *Kernel* - segmento de linha com superfície kernel sobreposta ao segmento (ESRI, 2010).

Desta forma, o estimador de densidade kernel é compilado a partir da localização μ dos n eventos contidos em um raio de tamanho t em torno de μ e da distância d entre a posição e a i -ésima amostra (TAVARES *et. al.*, 2012). A expressão desta função é dada por:

$$\hat{\lambda}_\tau(u) = \frac{1}{\tau^2} \sum_{i=1}^n k\left(\frac{d(u_i, u)}{\tau}\right), \quad d(u_i, u) \leq \tau \quad [\text{eq. 4.6}]$$

Assim, conclui-se que o papel do Kernel é interpolar um valor de intensidade para cada amostra em uma área, considerando uma função simétrica, centrada nas amostras, utilizando para o

cálculo os pontos situados até certa distância do centro da amostra (OLIVEIRA e SANTOS, 2011).

A partir desta lógica, o mapa de densidade de lineamentos estruturais foi gerado por meio da ferramenta *Kernel Density* da extensão *Spatial Analyst Tools* do software ArcGIS™ 10. Definiu-se o raio de abrangência (largura da banda) para área sobre a qual o estimador geostatístico deve proceder a medição de lineamentos por unidade de área, onde foram testados vários valores para o raio de abrangência, sendo determinado o valor de 3 quilômetros como o que melhor representa a distribuição do fenômeno.

A última etapa necessária para obtenção do mapa de densidade de lineamentos estruturais corresponde ao fatiamento da matriz resultante da aplicação do Kernel, sendo a matriz classificada em quatro classes pelo método de classificação Quartil.

4.5.3 Análise da densidade de lineamentos estruturais

A alta densidade de lineamentos estruturais ocorre principalmente em áreas a montante das bacias hidrográficas da APA, tendo forte associação com cabeceiras de drenagem degradadas (Figura 4.19).

As áreas a montante das bacias dos rios Jaguari e Sapucaí-Mirim, na porção centro leste da APA, apresentam grande extensão superficial com alta densidade de lineamento (Figura 4.19). Este é o setor da APA que apresenta maior densidade hidrográfica (IBITU, 1998; MORETTI, 2011), desenvolvida em área de embasamento litológico granítico, altamente estruturado, propiciando um relevo fortemente dissecado com alto índice de lineamentos estruturais.

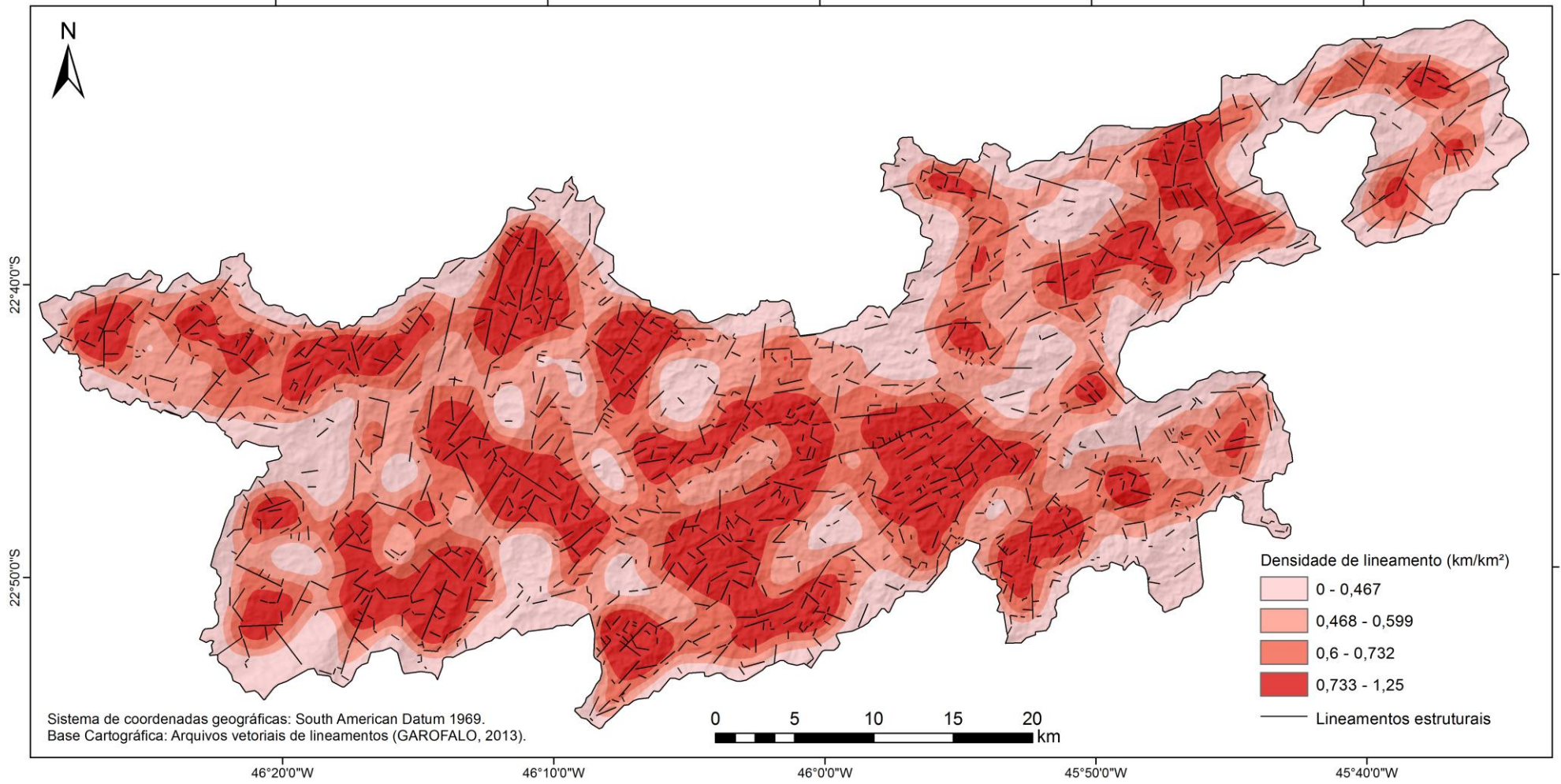


Figura 4.19 - Mapa de densidade de lineamentos estruturais, APA Fernão Dias – MG. Org.: Garofalo, 2013.

4.6 CONDICIONANTE ANTRÓPICO: VIAS DE CIRCULAÇÃO

4.6.1 Introdução

A ação antrópica interfere na dinâmica natural dos sistemas ambientais, geralmente acelerando a velocidade de mudanças da condição natural. De acordo com Santoro (2012), a degradação acelerada do solo é indicativa de uso e manejo mal conduzidos que comprometem a sua manutenção, bem como o seu potencial para usos futuros. Bigarella (2007) menciona que as alterações provocadas pelo ser humano nas vertentes têm levado vastas áreas a procurarem um novo equilíbrio através de extensos movimentos de massas.

Dentre as principais ações antrópicas indutoras dos processos erosivos e dos movimentos de massa podem-se destacar: remoção da cobertura vegetal natural para uso agropecuário; manejo inadequado de solos produtivos; lançamento e concentração de águas pluviais e/ou servidas; vazamentos na rede de abastecimento, esgoto e presença de fossas; execução de cortes com geometria inadequada (altura/inclinação); execução deficiente de aterros (compactação, geometria, fundação); lançamento de lixo nas encostas; vibrações produzidas por tráfego pesado; e traçado inadequado do sistema viário e sistemas de drenagens mal concebidos e mal executados (AUGUSTO FILHO, 1994; SANTORO, 2000; MARCELINO, 2003; BIGARELLA, 2007; SANTORO, 2012).

Segundo Forman e Alexander (1998) e Bigarella (2007), as redes rodoviárias ao atravessar a paisagem desviam as águas pluviais do seu curso normal. Se um sistema de drenagem não for convenientemente estudado, haverá a intensificação dos processos morfodinâmicos (erosão e movimentos de massa) e hidrológicos locais, além de elevar o pico de fluxos fluviais e de sedimentos à jusante. A água escoar rapidamente pela superfície de vias relativamente impermeáveis, especialmente em eventos de chuvas intensas. A água da superfície é então drenada por valas laterais das vias, algumas das quais se conectam diretamente aos cursos fluviais, enquanto outras drenam para bueiros, geralmente com incisão de ravinas abaixo dos seus pontos de deflúvio/despejo na média encosta (FORMAN e ALEXANDER, 1998).

Em suma, as vias aceleram os escoamentos pluviais, intensificando processos erosivos e transporte de sedimentos, que aumentam os níveis de inundação e degradam os ecossistemas

aquáticos (assoreamento de corpos d'água), além da perda de solo e lixiviamento de nutrientes, constituindo assim num dos principais problemas para a conservação do solo, afetando também as áreas à jusantes na bacia hidrográfica (FORMAN e ALEXANDER, 1998). Sendo assim, buscou-se nesta etapa da pesquisa analisar a densidade de vias de circulação no perímetro da APA Fernão Dias, a fim de averiguar as áreas em que a concentração de vias é mais intensa.

4.6.2 Orientação metodológica para o mapeamento da densidade de vias de circulação

4.6.2.1 Mapeamento das vias de circulação

De acordo com o anexo I do Código Brasileiro de Trânsito, o termo *via* é definido como uma superfície por onde transitam veículos, pessoas e animais, compreendendo a pista, a calçada, o acostamento, ilha e canteiro central. As vias rurais são denominadas de estradas (quando não pavimentadas) e rodovias (quando pavimentadas), enquanto as vias urbanas compreendem as ruas, avenidas, vielas, ou caminhos e similares abertos à circulação pública, situados na área urbana, caracterizados principalmente por possuírem imóveis edificadas ao longo de sua extensão. Nesta perspectiva, o mapeamento de vias de circulação foi feito com base nas estradas e rodovias dentro dos limites da APA Fernão Dias (MG).

Foi utilizado como base para o mapeamento das vias de circulação o arquivo vetorial em formato *shp* referente ao sistema viário mencionado na tabela 4.1 e imagem do sensor TM do satélite Landsat 5. O fato de Moretti (2011) ter extraído o arquivo vetorial do sistema viário de cartas topográficas produzidas na década de 1970 (IBGE) fez-se necessário atualizar o mesmo. Para tanto, no *software* ArcGIS™ 10, foi gerado uma composição colorida RGB 357, por entender que esta composição facilita o reconhecimento de vias (TRENTIN, 2012). A partir daí, o sistema viário foi atualizado por meio da ferramenta *editor*. O mapa atualizado das vias de circulação é apresentado na Figura 4.20.

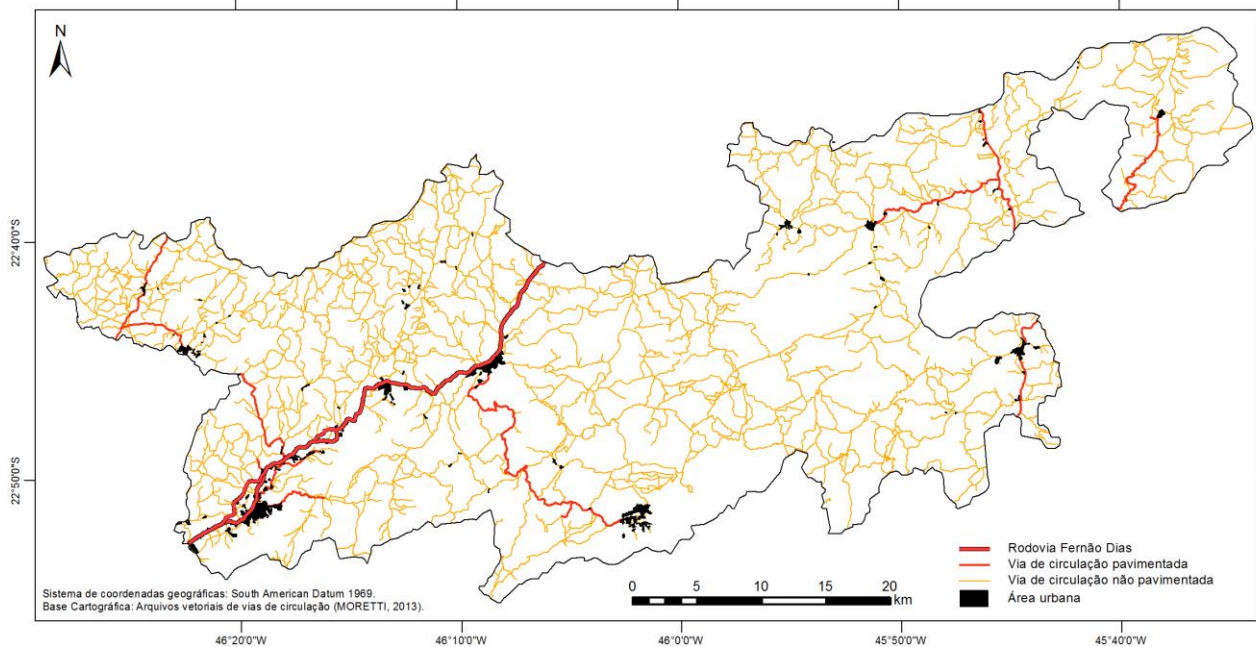


Figura 4.20 - Mapa de vias de circulação da APA Fernão Dias (MG). Org.: Garofalo, 2013.

4.6.2 Mapeamento da densidade de vias de circulação

Para mapear a densidade de vias de circulação foi empregado o estimador Kernel, mesmo processo utilizado na geração da densidade de lineamentos estruturais, descrito no item 4.5.2.2.

4.6.3 Mapa de densidade de vias de circulação

Como já era de se esperar, as áreas que apresentam maiores densidades de vias de circulação são aquelas próximas aos núcleos urbanos, principalmente ao longo da rodovia Fernão Dias, com destaque para o corredor que abrange as malhas urbanas de Extrema, Itapeva e Camanducaia (Figura 4.21). Depois de concluídas as obras de duplicação da rodovia Fernão Dias, os municípios de Extrema e Camanducaia receberam novos empreendimentos industriais, contribuindo para a ocupação e o crescimento desordenado desta região - sobretudo nas áreas periféricas e regiões de entorno imediato (REI) (MORETTI, 2011).

O município de Toledo também apresenta alta densidade de vias de circulação (Figura 4.21), que abrange quase a totalidade da área do município. Esta alta densidade é resultado da alta concentração de vias não pavimentadas que atravessam áreas de cultivos anuais e pastagens

degradadas. Se mal planejadas ou sem manutenção, essas vias aceleram os escoamentos pluviais, intensificando processos erosivos e o transporte de sedimentos.

A alta densidade de vias de circulação observada na região de Monte Verde (Figura 4.21) pode estar associada ao intenso fluxo turístico desta região, que ocorre sem planejamento e controle, promovendo a ocupação desordenada da serra.

A porção central da APA - à leste da sede de Camanducaia, à oeste da sede de Sapucaí-Mirim e ao norte do distrito de Monte Verde, é em sua maioria ocupada pela silvicultura de Pinus e Eucalipto, que demanda uma alta concentração de vias para o escoamento da madeira, as chamadas “estradas florestais”. Machado (1994) afirma que apesar da importância das “estradas florestais”, a sua construção não implica no uso de uma metodologia de alta precisão como aquelas comumente utilizadas na construção das grandes rodovias. Afirma ainda que as estradas florestais geralmente são construídas segundo aspectos de rapidez e baixo custo.

A baixa densidade em toda porção sul e na porção centro-leste da APA se dá devido aos grandes remanescentes florestais ainda preservados, além das altas declividades que dificultam a ocupação destas áreas.

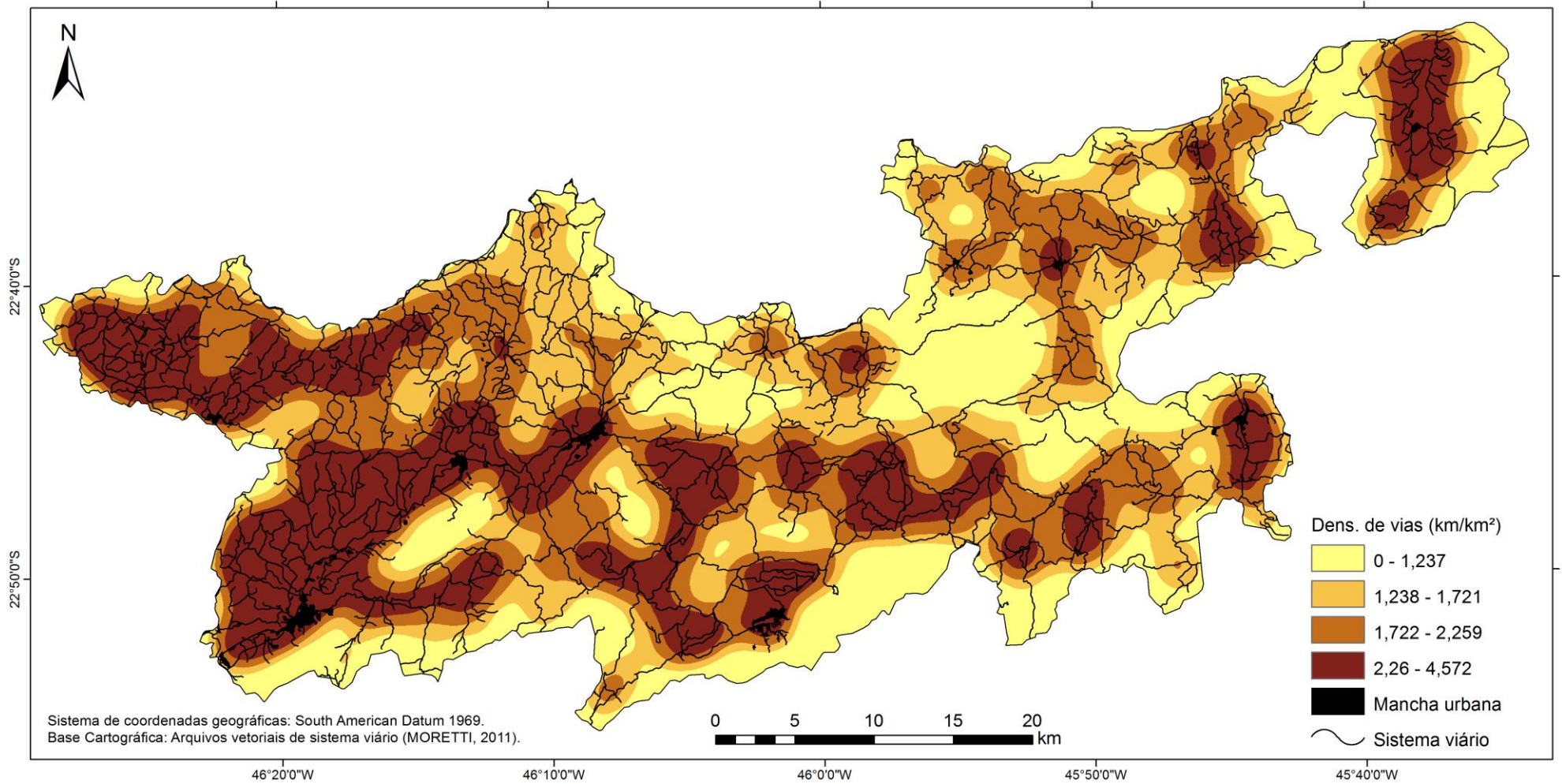


Figura 4.21 – Mapa de densidade de vias de circulação, APA Fernão Dias – MG. Org.: Garofalo, 2013.

CAPÍTULO 5: METODOLOGIA PARA MAPEAMENTO DE FRAGILIDADE AMBIENTAL

5.1 Introdução

Conforme Spörl e Ross (2001), os mapas das fragilidades ambientais possibilitam identificar e analisar os ambientes em função de seus diferentes graus de fragilidade. Através desses documentos torna-se possível apontar áreas onde os graus de fragilidade são mais baixos, favorecendo então determinados tipos de inserção, assim como áreas mais frágeis onde são necessárias ações tecnicamente mais adequadas a essas condições. Desta forma, os modelos de análise da fragilidade servem como subsídio ao planejamento estratégico ambiental. Na literatura são encontrados modelos metodológicos já consagrados para elaboração de mapas de fragilidade ambiental, dentre os quais, destacamos dois propostos por Ross (1994) e um por Crepani *et al.* (1996).

No modelo de Ross (1994a) denominado *Modelo de Fragilidade Potencial Natural com Apoio nos Índices de Dissecação do Relevo*, as unidades de fragilidade dos ambientes naturais resultam dos levantamentos básicos de geomorfologia (dissecação do relevo), solos, cobertura vegetal/uso do solo e clima. Esses elementos, quando abordados de forma integrada, permitem obter um diagnóstico das diferentes categorias hierárquicas da fragilidade dos ambientes naturais. Este modelo propõe que cada uma destas variáveis seja hierarquizada em cinco classes, de acordo com o grau de vulnerabilidade: *muito fraca (1)*, *fraca (2)*, *média (3)*, *forte (4)* e *muito forte (5)*. Estas categorias expressam a fragilidade do ambiente em relação aos processos ocasionados pelo escoamento superficial difuso e concentrado das águas pluviais. O outro modelo também proposto por Ross (1994b), denominado *Modelo de Fragilidade Potencial Natural com apoio nas Classes de Declividade*, é uma derivação do primeiro modelo; ao invés de utilizar os índices de dissecação do relevo como suporte para a confecção da carta-síntese de fragilidade, tomam como referência as classes de declividade, de acordo os intervalos já consagrados nos estudos de Capacidade de Uso/Aptidão Agrícola associados aos valores já conhecidos de limites críticos de geotecnia.

O *Modelo de Fragilidade Potencial Natural com apoio em UTB's – Unidades Territoriais Básicas*, proposto por Crepani *et al.* (2006), consiste na elaboração inicial de um mapa de Unidades Territoriais Básicas. A estabilidade ou vulnerabilidade ao processo natural de erosão das unidades de paisagem natural é definida pela análise integrada do conjunto rocha, solo, relevo, vegetação e clima. Nesta proposta metodológica cada um destes temas recebe uma pontuação de fragilidade, que varia entre 1 e 3. Desta forma, as unidades mais estáveis apresentarão valores mais próximos de 1; as intermediárias, ao redor de 2 e, as mais vulneráveis, próximas de 3.

Spörl (2001) comparou os três modelos de fragilidade ambiental discutidos acima. A autora constatou que o principal problema destes métodos está relacionado à atribuição de “pesos” às variáveis, sendo que esta avaliação é geralmente arbitrária e subjetiva, devido à complexidade de se avaliar o quanto cada uma destas variáveis contribui para se estabelecer o grau de fragilidade. Além disso, os modelos metodológicos de análise da fragilidade ambiental supracitados partem do mesmo princípio para delimitar as áreas no contexto dos diagnósticos ambientais (Spörl, 2001), apresentando limites rígidos na definição da fragilidade: as Unidades Ecodinâmicas de Tricart (1977). De acordo com Calijuri *et al.* (2007), os principais problemas relacionados à definição de limites rígidos para os fatores são os erros e as incertezas a eles associados, pois nem sempre os fenômenos naturais são devidamente representados.

Burrough (1992) demonstra como as incertezas nos valores dos atributos dos mapas causam erros nos resultados das inferências espaciais efetuadas. Os resultados alcançados por esse autor indicam que o emprego da técnica *fuzzy* pode reduzir drasticamente a propagação de erros através de modelos lógicos, fornecendo informações mais confiáveis. A inferência *fuzzy* tem como principal característica, a indefinição de fronteiras ou limiares entre as classes (BURROUGH e MCDONNELL, 1998). A utilização da lógica fuzzy possibilita a avaliação do espaço como variável contínua e não por meio de limites rígidos, oferecendo uma maior flexibilidade na modelagem de dados ambientais e uma maior proximidade aos dados reais observados em campo.

Neste contexto, o método apresentado neste trabalho propõe o mapeamento da fragilidade ambiental, a partir da análise integrada de variáveis geoambientais, sendo estas analisadas de forma contínua, e atribuição de peso de cada uma delas ao condicionamento de processos erosivos e movimentos de massa, de acordo com as condições da área de estudo. Assim, ao tratar

as variáveis geoambientais de forma integrada, representadas de forma contínua, e, considerando-se o peso de cada uma delas no condicionamento de processos erosivos e movimentos de massa, é possível se obter um diagnóstico dos diferentes graus da fragilidade da paisagem, conseqüentemente, a identificação dos ambientes naturais e suas fragilidades proporcionam uma melhor definição das diretrizes e ações a serem implementadas no espaço físico-territorial, servindo de base para o zoneamento e fornecendo subsídios à gestão do território (SPÖRL, 2004).

O fluxograma da Figura 5.1 sintetiza as etapas metodológicas empregadas no desenvolvimento deste capítulo.

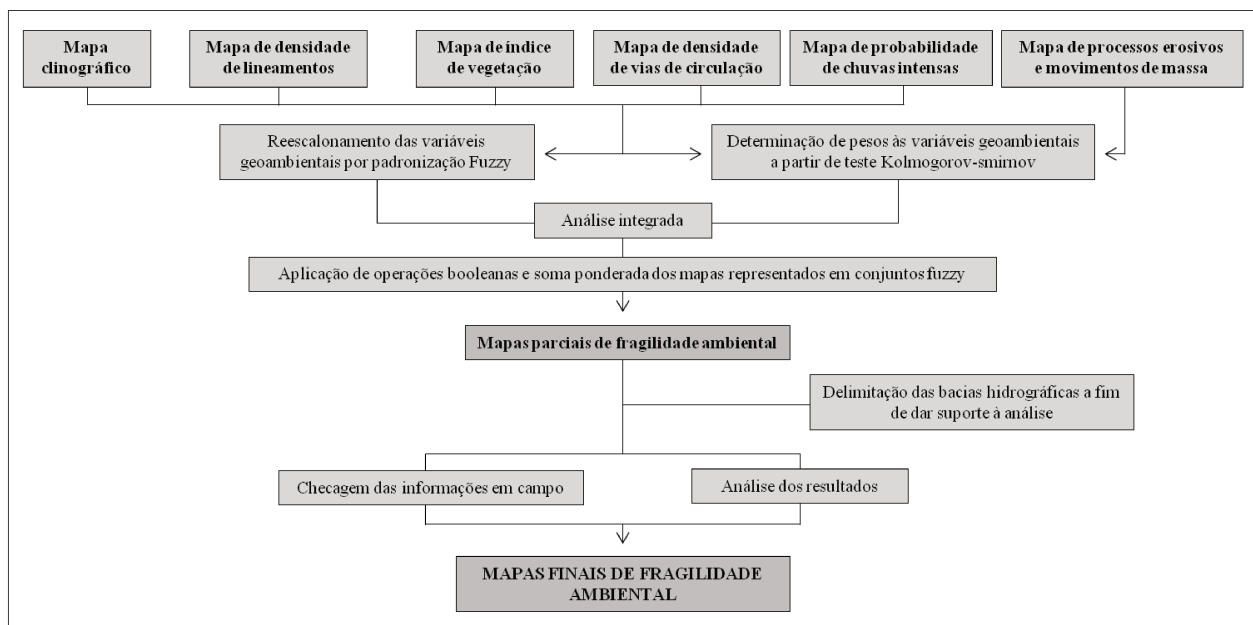


Figura 5.1 – Síntese dos procedimentos metodológicos utilizados. Org.: Garofalo, 2013.

5.2 Atribuição de pesos às variáveis geoambientais

5.2.1 Considerações iniciais

Toda paisagem, formada por seu conjunto de atributos físicos e biológicos, apresenta respostas únicas às atividades antrópicas que dela se apropriam. Desta forma, Miara (2007) salienta que tal condição representa as diferentes categorias de fragilidade e, assim, conforme as

combinações das características ambientais de um dado local, maior ou menor será sua vulnerabilidade frente às ações antrópicas.

Todavia, a definição de diferentes níveis de fragilidade de um determinado espaço, considerando seus componentes físicos, bióticos e antrópicos, depende da necessidade de conjugar dentro de uma análise os respectivos valores e as importâncias de cada variável com relação à fragilidade ambiental (MIARA, 2007). Assim, a atribuição de pesos consiste basicamente no julgamento prévio das variáveis, com base em sua importância para a mensuração do fenômeno estudado.

Contudo, estabelecer uma relação de importância entre as variáveis que mais se assemelhe com a realidade é uma tarefa um tanto quanto complexa. De acordo com Coelho (2011), tal ponderação pode ser estabelecida de três maneiras: através de análises estatísticas, através da opinião de especialistas sobre o assunto ou através de legislação pertinente e/ou metodologias que já apresentam um determinado peso para cada variável – conforme metodologias propostas por Ross (1994) e Crepani *et al.* (2006).

Quanto à ponderação por meio de opinião de especialista, uma metodologia muito utilizada em estudos ambientais é o método *Delphi*. De acordo com Moura (2007),

O método *Delphi* na obtenção de pesos baseia-se na escolha de um grupo multidisciplinar de especialistas, que conheçam bem o fenômeno e melhor ainda se conhecerem bem a realidade espacial onde ele se localiza. A esses especialistas é solicitado que hierarquizem ou coloquem as variáveis em ordem de importância para a manifestação ou ocorrência do fenômeno em estudo.

Pringle *et al.* (2000) e McLeone (2004) consideram esta estratégia subjetiva, podendo ser falaciosa, uma vez que os pesos dependem da opinião dos especialistas ou dos peritos envolvidos na tarefa de ponderação, pois o peso atribuído por um grupo de especialistas pode ser diferente da ponderação feita por um outro grupo. A atribuição de peso, com base em legislação pertinente ou metodologias que tragam as variáveis já ponderadas, também não parecem corretas, uma vez que os pesos são geralmente determinados a partir de evidências empíricas, o que onera a sua generalização a contextos distintos dos originais (COELHO, 2011).

Já a atribuição de pesos a partir de análises estatísticas, identifica as situações nas quais exista alta correlação das variáveis com o fenômeno ou ocorrência a ser explicado, atribuindo-se maior peso às variáveis que apresentam elevada correlação com o fenômeno em estudo

(MOURA, 2007), diminuindo assim a subjetividade da análise. Embora sempre haja um nível de subjetividade, pois a própria escolha de um modelo estatístico já é a opinião de um especialista segundo um olhar sobre a realidade espacial (MOURA, 2010). Neste sentido, propôs-se aqui a atribuição de pesos às variáveis geoambientais (ver Capítulo 4) a partir de teste Estatístico Kolmogorov-Smirnov.

5.2.2 Aplicação de Teste Estatístico Kolmogorov-Smirnov à atribuição de pesos às variáveis geoambientais

5.2.2.1 Teste de Kolmogorov-Smirnov

De acordo com Portal Action - ESTATCAMP (2011), grande parte dos problemas encontrados em estatística são tratados com a hipótese de que os dados são extraídos de uma população com uma distribuição de probabilidade específica. O formato desta distribuição pode ser um dos objetivos da análise. Por exemplo, supondo que um pequeno número de observações foi extraído de uma população com distribuição desconhecida e pretende-se testar hipóteses sobre a média desta população. O teste paramétrico tradicional, baseado na distribuição t-student, é obtido sob a hipótese de que a população tem distribuição normal. Nesse sentido, surge a necessidade de certificar se essa suposição pode ser assumida. Em alguns casos, assumir a normalidade dos dados é o primeiro passo para simplificar a análise. Para dar suporte a esta suposição, considera-se, dentre outros, o teste de Kolmogorov - Smirnov.

De acordo com Câmara (2001), o Teste de Kolmogorov-Smirnov de uma amostra é baseado na diferença máxima entre a função de distribuição acumulada assumida para a amostra - $F(x)$, no caso a Normal, e a função de distribuição acumulada empírica da amostra - $F_n(x)$. Como critério, compara-se esta diferença com um valor crítico, para um dado nível de significância.

O teste de Kolmogorov - Smirnov pode ser utilizado para avaliar as hipóteses:

$$\begin{aligned} H_0 &: \text{Os Dados seguem uma distribuição normal} \\ H_1 &: \text{Os dados não seguem uma distribuição normal} \end{aligned}$$

Considerando uma amostra aleatória simples X_1, X_2, \dots, X_n de uma população com função de distribuição acumulada contínua F_x desconhecida. A estatística utilizada para o teste é:

$$D_n = \sup_x |F(x) - F_n(x)| \quad [\text{eq. 5.1}]$$

A estatística D_n é denominada estatística de Kolmogorov-Smirnov de uma amostra. Esta função corresponde à distância máxima vertical entre os gráficos de $F(x)$ e $F_n(x)$ sobre a amplitude dos possíveis valores de x .

Neste caso, pretende-se testar a hipótese $H_0 : F_x = F$ contra a hipótese alternativa $H_1 : F_x \neq F$. Para isto, toma-se $X_{(1)}, X_{(2)}, \dots, X_{(n)}$ as observações aleatórias ordenadas de forma crescente da população com função de distribuição contínua F_x . No caso de análise da normalidade dos dados, assume F a função de distribuição da normal.

O desvio à direita e à esquerda definida por

$$D^+ = \sup_{x_{(i)}} |F(x_{(i)}) - F_n(x_{(i)})| \quad [\text{eq. 5.2}]$$

$$D^- = \sup_{x_{(i)}} |F(x_{(i)}) - F_n(x_{(i-1)})| \quad [\text{eq. 5.3}]$$

são chamadas estatísticas de Kolmogorov-Smirnov unilaterais (Câmara, 2001). Essas estatísticas medem as distâncias (vertical) entre os gráficos das duas funções, teórica e empírica, nos pontos $x_{(i-1)}$ e $x_{(i)}$. Com isso, podemos utilizar como estatística de teste, a seguinte função:

$$D_n = \text{Max} (D^+, D^-) \quad [\text{eq. 5.4}]$$

Se D_n é maior que o valor crítico, a hipótese de normalidade dos dados com $(1-\alpha)100\%$ de confiança é rejeitada. Caso contrário, a hipótese de normalidade não é rejeitada (CÂMARA, 2001). A distribuição de probabilidade de D é dada no anexo 3, em que os valores críticos de D são dados para diferentes tamanhos de amostra e diferentes níveis de probabilidades.

Taylor (1977) aplicou o teste estatístico kolmogorov-Smirnov a fim de analisar se a localização de cultivo de horticultura tinha maior relação com o tipo de solo ou com a distância

ao mercado consumidor. Para tanto, o autor utilizou uma amostra aleatória de 100 fazendas hortícolas. Taylor ordenou os dados em classe, criando quatro classes de tipo de solo, e quatro classes de distância de mercado, sendo apresentada a porcentagem de terra – área, e a frequência de fazendas hortícolas para cada classe das variáveis. A partir destas informações, Taylor (1977) calculou a distribuição esperada e a distribuição observada de fazendas hortícolas para cada classe das variáveis, convertendo-as para distribuições observadas e esperadas em proporções cumulativas.

Posteriormente, o autor aplicou a função D , a fim de encontrar o maior valor de diferença entre as distribuições observadas e esperadas em proporções cumulativas. Com um nível de significância de $\alpha = 0,05$, o valor crítico para uma amostra de 100 indivíduos é de 0,136, tendo sido encontrado um valor de 0,2 em uma das classes de distância de mercado. Desta forma, o autor concluiu que com um nível de significância de 5% as fazendas hortícolas estão localizadas em relação ao mercado.

5.2.2.1 Orientação metodológica para a aplicação de Teste Estatístico Kolmogorov-Smirnov à atribuição de pesos às variáveis geoambientais

A aplicação deste método pretende testar se uma determinada amostra foi extraída de uma população com uma determinada distribuição teórica. Para tanto, é preciso que os dados referentes ao fenômeno em análise sejam ordinais – ordenados em classe. Ilustramos o teste, comparando os dados de variáveis geoambientais com amostras de distribuições esperadas simples. Nossa hipótese de pesquisa é que a ocorrência de processos erosivos e de movimentos de massa está localizada no que diz respeito a cinco fatores: densidade da vegetação, declividade da vertente, chuvas intensas, densidade de lineamentos estruturais, e densidade de vias de circulação.

Para o desenvolvimento desta etapa da pesquisa, os materiais cartográficos utilizados foram as imagens em formato raster referentes aos mapas temáticos das variáveis geoambientais (Capítulo 4), e os arquivos vetoriais tipo ponto (*shp*) referentes à localização de ocorrência de processos erosivos e movimentos de massa (Capítulo 3).

O processamento das imagens e análises foram conduzidos no SIG ArcGIS 10™ (ESRI, 2010) e na planilha eletrônica Microsoft Office Excel 2007 (Microsoft), ambos do Laboratório do Grupo de Pesquisa *Análise Geoespacial de Dados Ambientais e de Saúde*, do Instituto de Geociências (IG) da Universidade Estadual de Campinas, o qual conta com a coordenação do Prof. Dr. Marcos César Ferreira e com apoio da FAPESP.

Inicialmente, no *software* ArcGIS 10™, as imagens raster das variáveis geoambientais foram classificadas em quatro classes, sendo utilizado o classificador *Quantil*. O passo seguinte foi reclassificar estas imagens. Tal procedimento foi realizado por meio do comando *reclassify* da extensão *Spatial Analyst*. Após esta etapa, as imagens reclassificadas foram convertidas em arquivos vetoriais (*shp*), com o emprego do comando *Raster to polygon*, presente no módulo *From Raster* da extensão *Conversion Tools* do *software* ArcGIS 10™. Posteriormente, foi criada uma coluna referente à *Área* na Tabela de Atributos (*Attribute Table*) dos arquivos vetoriais (*shp*) referente às classes das variáveis geomabientais (*Quantil*).

O passo seguinte foi calcular a porcentagem de ocorrência de processos erosivos (erosão linear e anfiteatro de erosão) e de movimentos de massa (cicatriz de escorregamento e rastejo) para cada uma das classes das variáveis geoambientais. Para tanto, as classes das variáveis geoambientais em formato vetorial foram exportadas, a fim de criar um arquivo vetorial para cada uma das classes. Para a realização deste procedimento, selecionou-se cada classe separadamente, por meio do comando *Select by Attributes* da Tabela de Atributos dos arquivos vetoriais (*shp*) das variáveis geoambientais. Tendo determinada classe selecionada, esta foi exportada por meio do comando *Data Export* do SIG ArcGIS 10™, originando um arquivo vetorial para cada classe das variáveis geoambientais.

Na etapa seguinte, os arquivos vetoriais tipo ponto (*shp*) referentes à localização de ocorrência de processos erosivos e movimentos de massa foram recordados, sendo utilizados como máscaras os arquivos vetoriais referentes às classes das variáveis geoambientais. Desta forma, obteve-se a ocorrência de processos erosivos e de movimentos de massa de acordo com a classe das variáveis geoambientais. O recorte dos arquivos vetoriais tipo ponto (*shp*) foi realizado através do comando *Clip*, do módulo *Extract* da extensão *Analysis Tools* do *software* ArcGIS 10™. A partir dos arquivos gerados, foi possível calcular a ocorrência observada e esperada de processos erosivos e movimentos de massa para as classes das variáveis geoambientais (Tabela 5.1, Tabela 5.2, Tabela 5.3, Tabela 5.4, e Tabela 5.5).

Tabela 5.1 - Ocorrências observada e esperada de processos erosivos e movimentos de massa, segundo intervalos de NDVI.

Parâmetros estatísticos	Classes de NDVI			
	- 0,23 a 0,51	0,52 a 0,57	0,58 a 0,62	0,63 a 0,82
Porcentagem de uso do solo	24,08	24,52	25,18	26,23
Ocorrência de anfiteatros	142	83	28	5
Ocorrência esperada de anfiteatros	(n=258) 62	63	65	68
Ocorrência de escorregamentos	93	58	24	7
Ocorrência esperada de escorregamentos	(n=182) 44	45	46	48
Ocorrência de rastejos	297	163	62	24
Ocorrência esperada de rastejos	(n=546) 131	134	137	143
Ocorrência de ravinas	430	170	99	30
Ocorrência esperada de ravinas	(n=729) 176	179	184	191
Ocorrência de todos eventos	962	474	213	66
Ocorrência esperada de todos eventos	(n=1715) 413	421	432	450

Tabela 5.2 - Ocorrências observada e esperada de processos erosivos e movimentos de massa, segundo intervalos de Declividade.

Parâmetros estatísticos	Classes de Declividade			
	0 a 8,07	8,08 a 12,9	13a 18,4	18,5 a 64,3
Porcentagem de uso do solo	24,75	24,75	25,31	25,19
Ocorrência de anfiteatros	30	76	71	81
Ocorrência esperada de anfiteatros	(n=258) 64	64	65	65
Ocorrência de escorregamentos	35	60	57	30
Ocorrência esperada de escorregamentos	(n=182) 45	45	46	46
Ocorrência de rastejos	45	95	180	225
Ocorrência esperada de rastejos	(n=546) 135	135	138	137
Ocorrência de ravinas	113	215	236	165
Ocorrência esperada de ravinas	(n=729) 180	180	184	184
Ocorrência de todos eventos	223	446	544	501
Ocorrência esperada de todos eventos	(n=1715) 424	424	434	432

Tabela 5.3 - Ocorrências observada e esperada de processos erosivos e movimentos de massa, segundo intervalos de POCI.

Parâmetros estatísticos	Classes de POCI			
	39,64 a 45,18	45,19 a 46,76	46,77 a 50,4	50,41 a 59,8
Porcentagem de uso do solo	24,06	25,41	25,69	24,84
Ocorrência observada de anfiteatros de erosão	65	68	59	66
Ocorrência esperada de anfiteatros de erosão	(n=258) 62	66	66	64
Ocorrência observada de escorregamentos	56	78	35	13
Ocorrência esperada de escorregamentos	(n=182) 44	46	47	45
Ocorrência observada de rastejos	147	210	119	70
Ocorrência esperada de rastejos	(n=546) 131	139	140	136
Ocorrência observada de ravinas	204	371	131	23
Ocorrência esperada de ravinas	(n=729) 175	185	187	181
Ocorrência observada de todos os eventos	472	727	344	172
Ocorrência esperada de todos os eventos	(n=1715) 413	436	441	426

Tabela 5.4 - Ocorrências observada e esperada de processos erosivos e movimentos de massa, segundo intervalos de densidade de lineamentos estruturais.

Parâmetros estatísticos	Classes de densidade de lineamentos (km/km ²)			
	0 a 0,47	0,48 a 0,6	0,61 a 0,73	0,74 a 1,3
Porcentagem de uso do solo	24,81	25,35	24,84	24,99
Ocorrência observada de anfiteatros de erosão	87	59	58	53
Ocorrência esperada de anfiteatros de erosão	(n=257) 64	65	64	64

Ocorrência observada de escorregamentos	(n=182)	29	51	38	64
Ocorrência esperada de escorregamentos		45	46	45	45
Ocorrência observada de rastejos	(n=544)	119	149	160	116
Ocorrência esperada de rastejos		135	138	135	136
Ocorrência observada de ravinas	(n=729)	140	185	179	225
Ocorrência esperada de ravinas		181	185	181	182
Ocorrência observada de todos os eventos	(n=1713)	375	444	459	435
Ocorrência de todos os eventos esperada		425	434	426	428

Tabela 5.5 - Ocorrências observada e esperada de processos erosivos e movimentos de massa, segundo intervalos de densidade de vias de circulação.

Parâmetros estatísticos	Classes de Densidade de Vias (km/km ²)				
	0 a 1,2	1,3 a 1,7	1,8 a 2,3	2,4 a 4,6	
Porcentagem de uso do solo	24,48	24,85	25,68	24,98	
Ocorrência de anfiteatros	(n=257)	60	84	67	46
Ocorrência esperada de anfiteatros		63	64	66	64
Ocorrência de escorregamentos	(n=182)	20	54	50	58
Ocorrência esperada de escorregamentos		45	45	47	45
Ocorrência de rastejos	(n=545)	114	152	166	113
Ocorrência esperada de rastejos		133	135	140	136
Ocorrência de ravinas	(n=729)	106	177	246	200
Ocorrência esperada de ravinas		178	181	187	182
Ocorrência de todos eventos	(n=1713)	300	467	483	463
Ocorrência esperada de todos eventos		419	426	440	428

Nas Tabelas de 5.1 a 5.5 são apresentadas as porcentagens de terra (área) para cada uma das classe das variáveis geoambientais, que ao ser analisa em conjunto com o valor de ocorrência dos processos erosivos e movimentos de massa, possibilita calcular a frequência observada e a frequência esperada destes em cada uma das classes. A frequência esperada é tida como hipótese nula (H_0). Assim, se a variável ambiental não tem qualquer influência sobre a ocorrência de processos erosivos e movimentos de massa, são esperadas frequências similares às proporções totais da área da classe (TAYLOR, 1977). Contudo, por se tratar de dados aleatórios, não é esperada uma correspondência exata, e por isso é verificado se as diferenças nos valores da ocorrência observada e da ocorrência esperada são significativas. Para tanto, aplicou-se o Teste Estatístico Kolmogorov-Smirnov, conforme proposto por Taylor (1977):

- H_0 indica que as variáveis geoambientais não influenciam na ocorrência de processos erosivos e movimentos de massa.
- O nível de significância é $\alpha = 0,05$.
- As frequências observadas (O_i) e esperadas (E_i) são calculadas em proporções cumulativas, listando suas diferenças com o emprego da estatística D :

$$D = \text{Max} | O_i - E_i | \quad [\text{eq. 5.5}]$$

- Os valores críticos de D para amostras com mais de 35 indivíduos a um nível de significância de $\alpha = 0,05$ são dados por:

$$D(\alpha = 0,05) = \frac{1,36}{\sqrt{n}} \quad [\text{eq. 5.6}]$$

Desta forma, caso o valor encontrado de D seja maior ou igual que seu valor crítico a um nível de significância de $\alpha = 0,05$, conclui-se que a variável geoambiental tem influência na ocorrência de processos erosivos e movimentos de massa, e a hipótese nula é rejeitada. Caso contrário, a hipótese nula é aceita. Os resultados do Teste Estatístico Kolmogorov-Smirnov aplicado às variáveis geombientais em análise são apresentados nas Tabelas 5.6, 5.7, 5.8, 5.9, e 5.10.

Tabela 5.6 – Resultados da aplicação do teste estatístico Kolmogorov-Smirnov à variável índice de vegetação.

Fenômeno	Parâmetros estatísticos	Classes de NDVI				D crítico
		- 0,23 a 0,51	0,52 a 0,57	0,58 a 0,62	0,63 a 0,82	
Anfiteatros	Frequência observada	0,5504	0,3217	0,1085	0,0194	0,0846
	Frequência esperada	0,2408	0,2452	0,2518	0,2623	
	Freq. acumulada observada	0,5504	0,8721	0,9806	1,0000	
	Freq. acumulada esperada	0,2408	0,4860	0,7377	1,0000	
	Diferenças (O - E)	0,3096	0,3861	0,2429	0,0000	
Escorregamentos	Frequência observada	0,5110	0,3187	0,1319	0,0385	0,1008
	Frequência esperada	0,2408	0,2452	0,2518	0,2623	
	Freq. acumulada observada	0,5110	0,8297	0,9615	1,0000	
	Freq. acumulada esperada	0,2408	0,4860	0,7377	1,0000	
	Diferenças (O - E)	0,2702	0,3437	0,2238	0,0000	
Rastejo	Frequência observada	0,5440	0,2985	0,1136	0,0440	0,0582
	Frequência esperada	0,2408	0,2452	0,2518	0,2623	
	Freq. acumulada observada	0,5440	0,8425	0,9560	1,0000	
	Freq. acumulada esperada	0,2408	0,4860	0,7377	1,0000	
	Diferenças (O - E)	0,3032	0,3565	0,2183	0,0000	
Ravina	Frequência observada	0,5898	0,2332	0,1358	0,0412	0,0503
	Frequência esperada	0,2408	0,2452	0,2518	0,2623	
	Freq. acumulada observada	0,5898	0,8230	0,9588	1,0000	
	Freq. acumulada esperada	0,2408	0,4860	0,7377	1,0000	
	Diferenças (O - E)	0,3491	0,3371	0,2211	0,0000	
Todos fenômenos	Frequência observada	0,5609	0,2764	0,1242	0,0385	0,0328
	Frequência esperada	0,2408	0,2452	0,2518	0,2623	
	Freq. acumulada observada	0,5609	0,8373	0,9615	1,0000	
	Freq. acumulada esperada	0,2408	0,4860	0,7377	1,0000	
	Diferenças (O - E)	0,3202	0,3513	0,2238	0,0000	

Tabela 5.7 – Resultados da aplicação do teste estatístico Kolmogorov-Smirnov à variável declividade.

Fenômeno	Parâmetros estatísticos	Classes de Declividade				D crítico
		0 a 8,07	8,08 a 12,9	13a 18,4	18,5 a 64,3	
Anfiteatros	Frequência observada	0,1163	0,2946	0,2752	0,3140	0,0846
	Frequência esperada	0,2475	0,2475	0,2531	0,2519	
	Freq. acumulada observada	0,1163	0,4109	0,6860	1,0000	
	Freq. acumulada esperada	0,2475	0,4950	0,7481	1,0000	
	Diferenças (O - E)	0,1312	0,0842	0,0621	0,0000	
Escorregamentos	Frequência observada	0,1923	0,3297	0,3132	0,1648	0,1008
	Frequência esperada	0,2475	0,2475	0,2531	0,2519	
	Freq. acumulada observada	0,1923	0,5220	0,8352	1,0000	
	Freq. acumulada esperada	0,2475	0,4950	0,7481	1,0000	
	Diferenças (O - E)	-0,0552	0,0270	0,0871	0,0000	
Rastejo	Frequência observada	0,0826	0,1743	0,3303	0,4128	0,0582
	Frequência esperada	0,2475	0,2475	0,2531	0,2519	
	Freq. acumulada observada	0,0826	0,2569	0,5872	1,0000	
	Freq. acumulada esperada	0,2475	0,4950	0,7481	1,0000	
	Diferenças (O - E)	0,1649	0,2381	0,1609	0,0000	
Ravina	Frequência observada	0,1550	0,2949	0,3237	0,2263	0,0503
	Frequência esperada	0,2475	0,2475	0,2531	0,2519	
	Freq. acumulada observada	0,1550	0,4499	0,7737	1,0000	
	Freq. acumulada esperada	0,2475	0,4950	0,7481	1,0000	
	Diferenças (O - E)	0,0925	0,0451	0,0256	0,0000	
Todos fenômenos	Frequência observada	0,1301	0,2602	0,3174	0,2923	0,0328
	Frequência esperada	0,2475	0,2475	0,2531	0,2519	
	Freq. acumulada observada	0,1301	0,3903	0,7077	1,0000	
	Freq. acumulada esperada	0,2475	0,4950	0,7481	1,0000	
	Diferenças (O - E)	0,1174	0,1047	0,0404	0,0000	

Tabela 5.8 – Resultados da aplicação do teste estatístico Kolmogorov-Smirnov à variável precipitação.

Fenômeno	Parâmetros estatísticos	Classes de POCI				D crítico
		39,64 a 45,18	45,19 a 46,76	46,77 a 50,4	50,41 a 59,8	
Anfiteatros	Frequência observada	0,25	0,26	0,23	0,26	0,0853
	Frequência esperada	0,24	0,25	0,26	0,25	
	Freq. acumulada observada	0,25	0,52	0,74	1,00	
	Freq. acumulada esperada	0,24	0,49	0,75	1,00	
	Diferenças (O - E)	0,0113	0,0208	0,0074	0,0000	
Escorregamento	Frequência observada	0,31	0,43	0,19	0,07	0,1008
	Frequência esperada	0,24	0,25	0,26	0,25	
	Freq. acumulada observada	0,31	0,74	0,93	1,00	
	Freq. acumulada esperada	0,24	0,49	0,75	1,00	
	Diferenças (O - E)	0,0671	0,2416	0,1769	0,0000	
Rastejo	Frequência observada	0,27	0,38	0,22	0,13	0,0584
	Frequência esperada	0,24	0,25	0,26	0,25	
	Freq. acumulada observada	0,27	0,65	0,87	1,00	
	Freq. acumulada esperada	0,241	0,495	0,752	1,000	
	Diferenças (O - E)	0,0286	0,1591	0,1202	0,0000	
Ravina	Frequência observada	0,28	0,51	0,18	0,03	0,0505
	Frequência esperada	0,24	0,25	0,26	0,25	
	Freq. acumulada observada	0,28	0,79	0,97	1,00	
	Freq. acumulada esperada	0,24	0,49	0,75	1,00	
	Diferenças (O - E)	0,0392	0,2940	0,2168	0,0000	
Todos os fenômenos	Frequência observada	0,28	0,42	0,20	0,10	0,0328
	Frequência esperada	0,24	0,25	0,26	0,25	
	Freq. acumulada observada	0,28	0,70	0,90	1,00	
	Freq. acumulada esperada	0,24	0,49	0,75	1,00	
	Diferenças (O - E)	0,0346	0,2044	0,1481	0,0000	

Tabela 5.9 – Resultados da aplicação do teste estatístico Kolmogorov-Smirnov à variável lineamento estrutural.

Fenômeno	Parâmetros estatísticos	Classes de densidade de Lineamentos (km/km ²)				D crítico
		0 a 0,47	0,48 a 0,6	0,61 a 0,73	0,74 a 1,3	
Anfiteatros	Frequência observada	0,34	0,23	0,23	0,21	0,0853
	Frequência esperada	0,25	0,25	0,25	0,25	
	Freq. acumulada observada	0,34	0,57	0,79	1,00	
	Freq. acumulada esperada	0,25	0,50	0,75	1,00	
	Diferenças (O - E)	0,0904	0,0665	0,0437	0,0000	
Escorregamento	Frequência observada	0,16	0,28	0,21	0,35	0,1008
	Frequência esperada	0,25	0,25	0,25	0,25	
	Freq. acumulada observada	0,16	0,44	0,65	1,00	
	Freq. acumulada esperada	0,25	0,50	0,75	1,00	
	Diferenças (O - E)	0,0887	0,0621	0,1017	0,0000	
Rastejo	Frequência observada	0,219	0,27	0,29	0,21	0,0584
	Frequência esperada	0,25	0,25	0,25	0,25	
	Freq. acumulada observada	0,22	0,49	0,79	1,00	
	Freq. acumulada esperada	0,248	0,502	0,750	1,000	
	Diferenças (O - E)	0,0293	0,0090	0,0367	0,0000	
Ravina	Frequência observada	0,19	0,25	0,25	0,31	0,0505
	Frequência esperada	0,25	0,25	0,25	0,25	
	Freq. acumulada observada	0,19	0,45	0,69	1,00	
	Freq. acumulada esperada	0,25	0,50	0,75	1,00	
	Diferenças (O - E)	0,0560	0,0558	0,0587	0,0000	
Todos os fenômenos	Frequência observada	0,22	0,26	0,27	0,25	0,0328
	Frequência esperada	0,25	0,25	0,25	0,25	
	Freq. acumulada observada	0,22	0,48	0,75	1,00	
	Freq. acumulada esperada	0,25	0,50	0,75	1,00	
	Diferenças (O - E)	0,0292	0,0235	0,0040	0,0000	

Tabela 5.10 – Resultados da aplicação do teste estatístico Kolmogorov-Smirnov à variável vias de circulação.

Fenômeno	Parâmetros estatísticos	Classes de Densidade de Estradas				D crítico
		0 a 1,2	1,3 a 1,7	1,8 a 2,3	2,4 a 4,6	
Anfiteatros	Frequência observada	0,23	0,33	0,26	0,18	0,0853
	Frequência esperada	0,24	0,25	0,26	0,25	
	Freq. acumulada observada	0,23	0,56	0,82	1,00	
	Freq. acumulada esperada	0,24	0,49	0,75	1,00	
	Diferenças (O - E)	0,0114	0,0669	0,0708	0,0000	
Escorregamento	Frequência observada	0,11	0,30	0,27	0,32	0,1008
	Frequência esperada	0,24	0,25	0,26	0,25	
	Freq. acumulada observada	0,11	0,41	0,68	1,00	
	Freq. acumulada esperada	0,24	0,49	0,75	1,00	
	Diferenças (O - E)	0,1349	0,0868	0,0689	0,0000	
Rastejo	Frequência observada	0,21	0,28	0,30	0,21	0,0584
	Frequência esperada	0,24	0,25	0,26	0,25	
	Freq. acumulada observada	0,21	0,49	0,79	1,00	
	Freq. acumulada esperada	0,24	0,49	0,75	1,00	
	Diferenças (O - E)	0,0357	0,0053	0,0424	0,0000	
Ravina	Frequência observada	0,15	0,24	0,34	0,27	0,0505
	Frequência esperada	0,24	0,25	0,26	0,25	
	Freq. acumulada observada	0,15	0,39	0,73	1,00	
	Freq. acumulada esperada	0,24	0,49	0,75	1,00	
	Diferenças (O - E)	0,0994	0,1052	0,0246	0,0000	
Todos os fenômenos	Frequência observada	0,18	0,27	0,28	0,27	0,0328
	Frequência esperada	0,24	0,25	0,26	0,25	
	Freq. acumulada observada	0,18	0,45	0,73	1,00	
	Freq. acumulada esperada	0,24	0,49	0,75	1,00	
	Diferenças (O - E)	0,0697	0,0456	0,0205	0,0000	

Considerando que quanto maior for o valor encontrado de D em relação ao seu valor crítico, maior será a influência da variável na ocorrência dos fenômenos em análise. Desta forma, o maior valor encontrado de D para dada variável geoambiental foi definido como sendo o peso desta à ocorrência de processos erosivos e movimentos de massa (Tabela 5.11).

Tabela 5.11 – Peso das variáveis geoambientais de acordo com o valor de D .

Tipo de processos	Peso das Variáveis ambientais (valor observado de D)					D crítico
	Dens. de estradas	Dens. de lineamentos	Declividade	POCI	NDVI	
Anfiteatros	0,0708	0,0904	0,1312	0,0208	0,3861	0,0847
Escorregamentos	0,1349	0,1017	0,0871	0,2416	0,3437	0,1008
Rastejos	0,0424	0,0367	0,2399	0,1591	0,3565	0,0582
Ravinas	0,1052	0,0587	0,0925	0,2940	0,3491	0,0505
Todos processos	0,0697	0,0292	0,1174	0,2044	0,3513	0,0328

5.2.3 Considerações acerca da atribuição de pesos às variáveis geoambientais a partir de Testes Estatísticos Kolmogorov-Smirnov

Os valores críticos de D para o teste de Kolmogorov-Smirnov, aplicados aos processos erosivos e movimentos de massa (nível de significância $\alpha = 0,05$) são: 0,0853, para anfiteatros de erosão; 0,1008 para escorregamentos; 0,0584 para rastejos; 0,0505 para ravinas e 0,0328 para todos os processos indiscriminados.

Os valores de D observados para a relação entre o $NDVI$ e os processos, são: 0,3176 - anfiteatro de erosão; 0,3861 - escorregamento; 0,3437 - rastejo; 0,3565 – ravina e 0,3491 – todos os processos. Tais valores são maiores do que os valores críticos de D . Desta forma, pode-se concluir que as duas amostras (observada e esperada) são significativamente diferentes ao nível de 5%. e temos evidências, portanto, de que a localização dos processos erosivos e dos movimentos de massa sofre influência do índice de vegetação.

Quanto à variável *Declividade*, os valores observados de D para anfiteatros de erosão (0,1312), rastejo (0,2399), ravina (0,0925), e todos os processos (0,1174) são maiores do que os valores críticos de D , ao nível de significância $\alpha = 0,05$ para estes processos (Tabela 5.11). Desta forma, conclui-se que a variável declividade tem influência na ocorrência destes fenômenos. Contudo, o valor de D observado para escorregamentos (0,0871) é menor que o valor crítico de D

encontrado para este processo, podendo ser concluído, neste caso, que as duas amostras (observada e esperada) de escorregamentos não são significativamente diferentes ao nível de 5%, e a ocorrência de escorregamentos não está localizado no que diz respeito à declividade.

A variável *POCI*, assim como o *NDVI*, apresentou valores de *D* maiores do que os valores críticos de *D* (0,2416 - escorregamento; 0,1591 - rastejo; 0,2940 - ravina; 0,2044 - todos os processos), tendo apresentado valor de *D* inferior ao *D* crítico somente ao processo de anfiteatro de erosão, conforme a Tabela 5.11, confirmando que a ocorrência de grande parte dos fenômenos em análise sofrem influência da variável *POCI* ao nível de significância de 5%.

Os valores de *D* observados para a variável *Densidade de lineamentos* (0,0904 - anfiteatro de erosão; 0,1017 - escorregamento; 0,0587 - ravina;) são maiores do que os valores críticos de *D* (0,0853; 0,1008; 0,0505, respectivamente), podendo ser concluído que para estes processos a variável *Densidade de lineamentos* tem uma influência significativa ao nível de 5%. Todavia, esta variável apresentou valores de *D*, com relação aos processos de rastejo (0,0367) e todos os processos (0,0292), menores que os valores críticos (0,0584; 0,0328, respectivamente).

Já a variável *Densidade de Vias de Circulação* mostrou ter influência na ocorrência de escorregamento, ravina e todos os processos, ao apresentar valores de *D* maiores que os valores críticos de *D* para estes fenômenos. Todavia, a *Densidade de Vias de Circulação* não apresentou ter influência na localização de anfiteatros de erosão e rastejo.

5.3 Reescalonamento das variáveis geoambientais por padronização Fuzzy

A análise integrada de variáveis geoambientais de um sistema por meio de mapas temáticos necessita que estes estejam representados em uma mesma escala de valores. Para tanto, é necessário que seja feita uma padronização destes valores. Uma forma de se obter esta padronização é por meio da *Análise Fuzzy*. A teoria do conjunto fuzzy, apresentada por Zadeh (1965), é uma ampliação da teoria convencional de conjuntos e sua utilização é apropriada em sistemas que se caracterizam pela generalidade, ambiguidade e imprecisão (FUKS, 1998). Enquanto os conjuntos tratados pela lógica booleana permitem apenas o uso de funções de associação binária (0 e 1), que identificam os elementos pertinentes ou não pertinentes a uma

classe, a lógica fuzzy admite também a possibilidade de uma associação parcial, ou seja, elementos que são parcialmente pertinentes a uma ou mais classes (entre 0 e 1) (FUKS, 1998).

A forma como os valores são atribuídos à classificação contínua depende da função de pertinência, ou seja, a função que associa a cada elemento um valor no intervalo contínuo entre 0 e 1 (SILVA, 2003). Silva (2003) ressalta que a função de pertinência pode ser modelada através de classes naturais e por imposição de classe. De acordo com o autor, “o modelo por classes naturais avalia a distribuição natural das observações, dentro de um campo multivariado estável, naturalmente ocorrendo em grupo”, enquanto que “a função de pertinência gerada pelo modelo tipo imposição de classes se dá pela especificação dos limites da classe, baseados em experiências ou definições impostas”. Desta forma, a partir dos limites inferiores e superiores, são definidas as funções: lineares, gaussianas, sigmoidais, polinomiais, entre outras.

Neste contexto, a função de pertinência utilizada na padronização das variáveis geoambientais foi a linear. A função linear define uma função de pertinência fuzzy através de uma transformação linear entre o valor mínimo especificado, com atribuição de 0 (zero), para o valor máxima definido, com atribuição de 1 (um) (ESRI, 2010).

Foi definido nesta etapa de trabalho, como valor máximo, o maior valor observado em cada uma das variáveis geoambientais, e, como valor mínimo, o menor valor observado. Com relação à *vegetação*, adotou-se procedimento inverso, isto é, foi definido como valor máximo o menor valor de NDVI, e como valor mínimo, o maior valor de NDVI, pois as áreas mais críticas à fragilidade ambiental seriam aquelas que apresentam baixo índice de vegetação (Figura 5.2).

O reescalamento foi realizado por meio do comando *Fuzzy Membership*, presente no módulo *Overlay* da extensão *Spatial Analyst Tools* do software ArcGIS 10™. Foram utilizadas como *raster* de entrada as imagens referentes às variáveis geoambientais, com aplicação da função linear a partir dos valores máximo e mínimo de cada imagem, conforme os gráficos da figura 5.2. Os mapas das variáveis geoambientais representados em conjunto fuzzy são apresentados na figura 5.3.

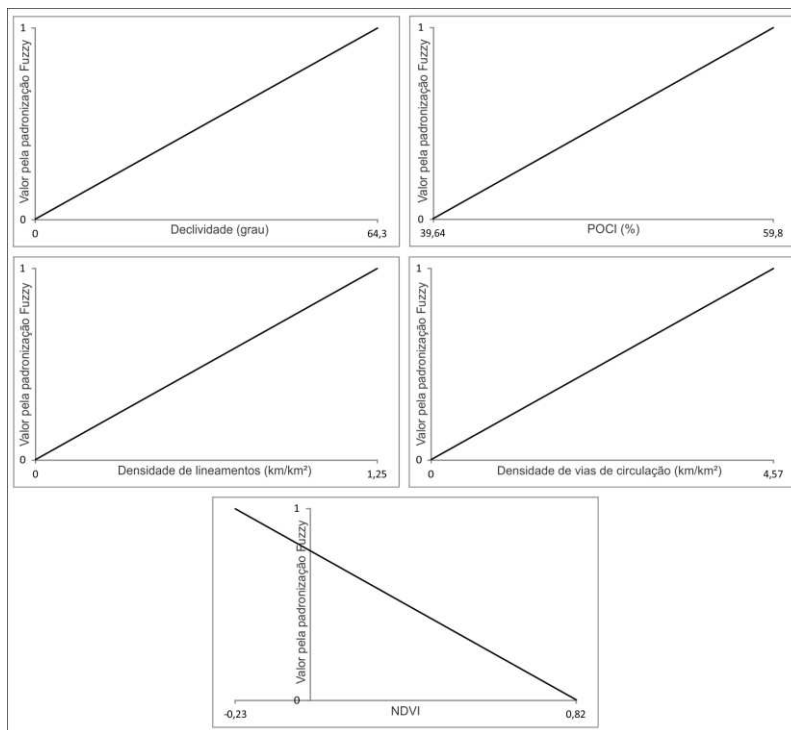


Figura 5.2 - Gráficos das funções de pertinência fuzzy para cada uma das Variáveis. Org.: Garofalo, 2013.

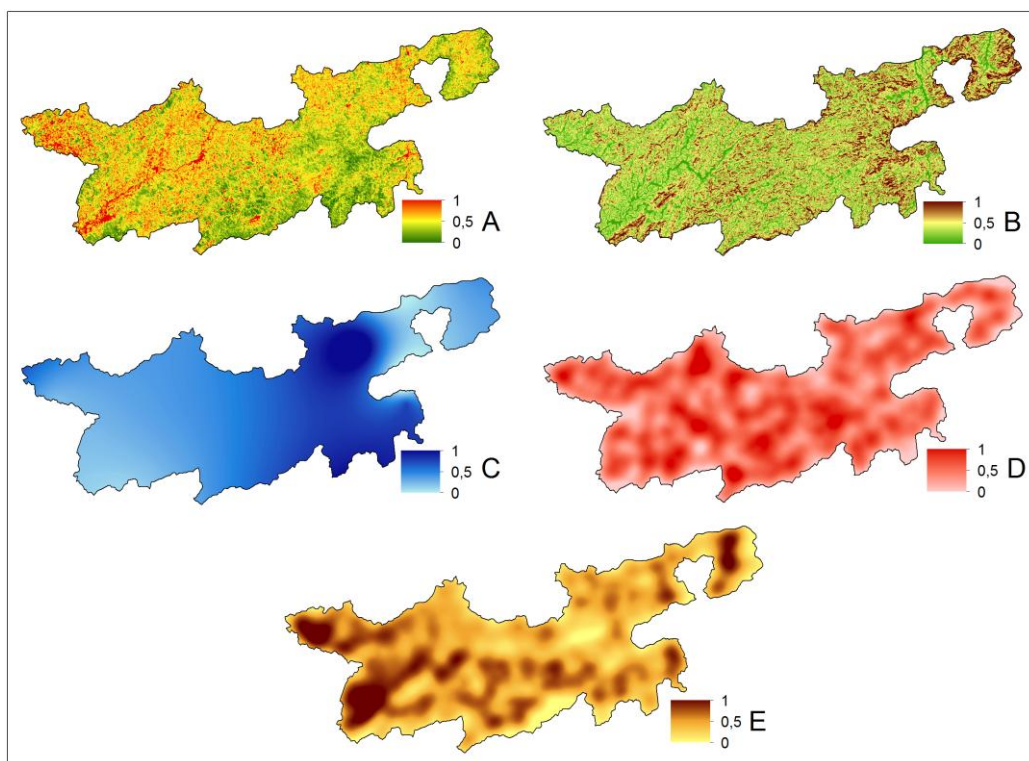


Figura 5.3 - Mapas representados em conjunto fuzzy: (A) NDVI; (B) Declividade; (C) POCI; (D) Densidade de lineamentos; (E) Densidade de vias.

5.4 Análise ponderada das variáveis geoambientais

Definidos os pesos das variáveis geoambientais à ocorrência de processos erosivos e movimentos de massa, e reescaladas as variáveis em uma mesma escala de valores, o passo seguinte para geração dos mapas de fragilidade ambiental é a álgebra das variáveis de acordo com o peso de cada uma delas. A matemática empregada é a *Média Ponderada*, calculada através do somatório das multiplicações entre variáveis e pesos, divididos pelo somatório dos pesos:

$$Fragilidade\ Ambiental = \frac{(variável_1 * peso_1 + variável_2 * peso_2 + \dots + variável_n * peso_n)}{peso_1 + peso_2 + \dots + peso_n} \quad [eq. 5.7]$$

A fim de padronizar a escala de valores referentes ao peso das variáveis geoambientais, foi feita uma normalização dos valores apresentados na Tabela 5.11, transformando-os em proporções percentuais (0 – 1), com a aplicação de Regra de Três Simples. Os pesos normalizados das variáveis são apresentados na Tabela 5.12.

Tabela 5.12 - Pesos normalizados das variáveis geoambientais.

Processo gerado	Peso das Variáveis Ambientais Influenciadoras				
	Densidade de estradas	Densidade de lineamentos	Declividade	POCI	NDVI
Anfiteatros	0,1012	0,1293	0,1876	0,0297	0,5521
Escorregamentos	0,1485	0,1119	0,0958	0,2658	0,3781
Rastejos	0,0508	0,0440	0,2875	0,1906	0,4271
Ravinas	0,1169	0,0653	0,1028	0,3269	0,3881
Todos processos	0,0903	0,0378	0,1520	0,2648	0,4551

Desta forma, os mapas de fragilidade ambiental foram gerados a partir da aplicação da Equação (5.1), por meio do comando *Raster Calculator* do SIG ArcGis™ 10, de acordo com o peso de cada variável com relação à sua influência em cada um dos processos: ravina, anfiteatro de erosão, escorregamento, rastejo, e todos os processos em conjunto (Tabela 5.12), conforme segue abaixo:

- **Fragilidade_anfiteatro**=($\text{"POCI_fuzzy"}*0.0297+\text{"NDVI_fuzzy"}*0.5521+\text{"DensLin_fuzzy"}*0.1293+\text{"DensEst_fuzzy"}*0.1012+\text{"slope_fuzzy"}*0.1876$)
- **Fragilidade_escorregamento**=($\text{"POCI_fuzzy"}*0.2658+\text{"NDVI_fuzzy"}*0.3781+\text{"DensLin_fuzzy"}*0.1119+\text{"DensEst_fuzzy"}*0.1485+\text{"slope_fuzzy"}*0.0958$)
- **Fragilidade_rastejo**=($\text{"POCI_fuzzy"}*0.1906+\text{"NDVI_fuzzy"}*0.4271+\text{"DensLin_fuzzy"}*0.0440+\text{"DensEst_fuzzy"}*0.0508+\text{"slope_fuzzy"}*0.2875$)
- **Fragilidade_ravina**=($\text{"POCI_fuzzy"}*0.3269+\text{"NDVI_fuzzy"}*0.3881+\text{"DensLin_fuzzy"}*0.0653+\text{"DensEst_fuzzy"}*0.1169+\text{"slope_fuzzy"}*0.1028$)
- **Fragilidade_todosprocessos**=($\text{"POCI_fuzzy"}*0.2648+\text{"NDVI_fuzzy"}*0.4551+\text{"DensLin_fuzzy"}*0.0378+\text{"DensEst_fuzzy"}*0.0903+\text{"slope_fuzzy"}*0.1520$)

5.5 Delimitação das bacias hidrográficas como suporte à análise fragilidade ambiental

As bacias hidrográficas são excelentes unidades de gestão dos elementos naturais e sociais, possibilitam acompanhar as mudanças introduzidas pelo homem e as respectivas respostas da natureza, sendo assim, ideais como unidades geográficas para caracterizar, diagnosticar, avaliar e planejar o uso dos recursos. Em termos de unidade de estudo e operação, Silva (2004) salienta ainda que “ a bacia hidrográfica é a unidade espacial de planejamento mais apropriada por permitir controle mais objetivo dos recursos humanos e financeiros, favorecendo a integração de práticas de uso e manejo do solo e da água e a organização comunitária”.

Desta forma, decidiu-se por utilizar as bacias hidrográficas, inseridas no perímetro da APA Fernão Dias, como unidades geográficas de referência para a análise dos mapas de Fragilidade Ambiental, destacando aquelas que apresentam maior extensão superficial de áreas com alta fragilidade ambiental, e a partir destes resultados, analisar se o Zoneamento Ambiental é coerente com a realidade da APA Fernão Dias apresentada neste trabalho.

Foram delimitadas bacias hidrográficas de 4ª e 5ª ordem (STRAHLER, 1952) a partir de curvas de nível extraídas do MDT ASTER, seguindo as linhas das cristas das elevações circundantes da seção dos cursos d'água de 4ª e 5ª ordem. A delimitação das bacias hidrográficas apresentou como resultado nove bacias hidrográficas inseridas na bacia hidrográfica do Rio Jaguari e sete bacias hidrográficas inseridas na bacia hidrográfica do Rio Sapucaí-Mirim (Figura 5.4).

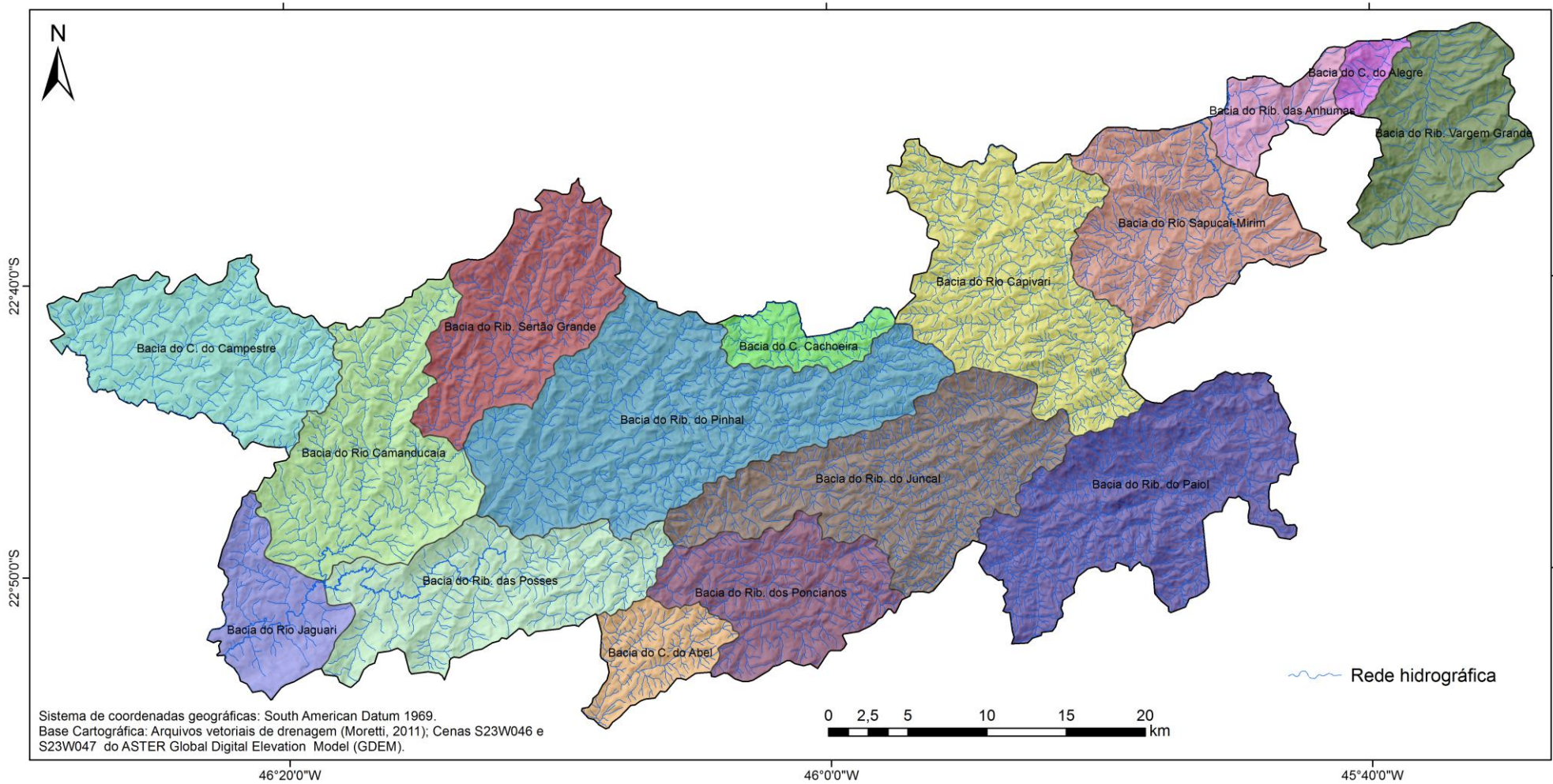


Figura 5.4 – Bacias hidrográficas de 4ª e 5ª ordem na APA Fernão Dias. Org.: Garofalo, 2013.

5.7 Discussão

Analisando-se os mapas de fragilidade ambiental pode-se concluir que os valores variaram entre 0,041 e 0,841. Inicialmente, apresentamos uma análise de cada mapa, destacando as inter-relações das variáveis geoambientais. Posteriormente, é feita análise integrada da fragilidade ambiental das áreas em relação aos processos erosivos e movimentos de massa, utilizando-se as bacias hidrográficas como unidades de análise.

Nota-se, no mapa de fragilidade à ocorrência de anfiteatros de erosão (Figura 5.5), que as áreas mais suscetíveis a este tipo de processo são as que apresentam baixa densidade de vegetação, associada à declividade acentuada e à alta densidade de lineamentos estruturais. Estas constatações corroboram com os resultados obtidos por Messias e Ferreira (2012), que constataram a ocorrência de anfiteatros de erosão em áreas com declividade acentuada e baixa densidade de vegetação – pastagem, em estudo da fragilidade ambiental (ROSS, 1994) na área de influência da Hidrelétrica do Funil – MG.

De modo geral, verificou-se que na porção oeste da APA se concentram as áreas com maior fragilidade, na bacia hidrográfica do córrego do Campestre. Estas áreas estão associadas à ocorrência de culturas anuais e pastagens degradadas, desenvolvidas em relevos com declividades médias a acentuadas.

Já a porção sul concentra as áreas menos suscetíveis à ocorrência deste processo, principalmente nas bacias hidrográficas do córrego do Abel e do ribeirão dos Poncianos (Figura 5.5).

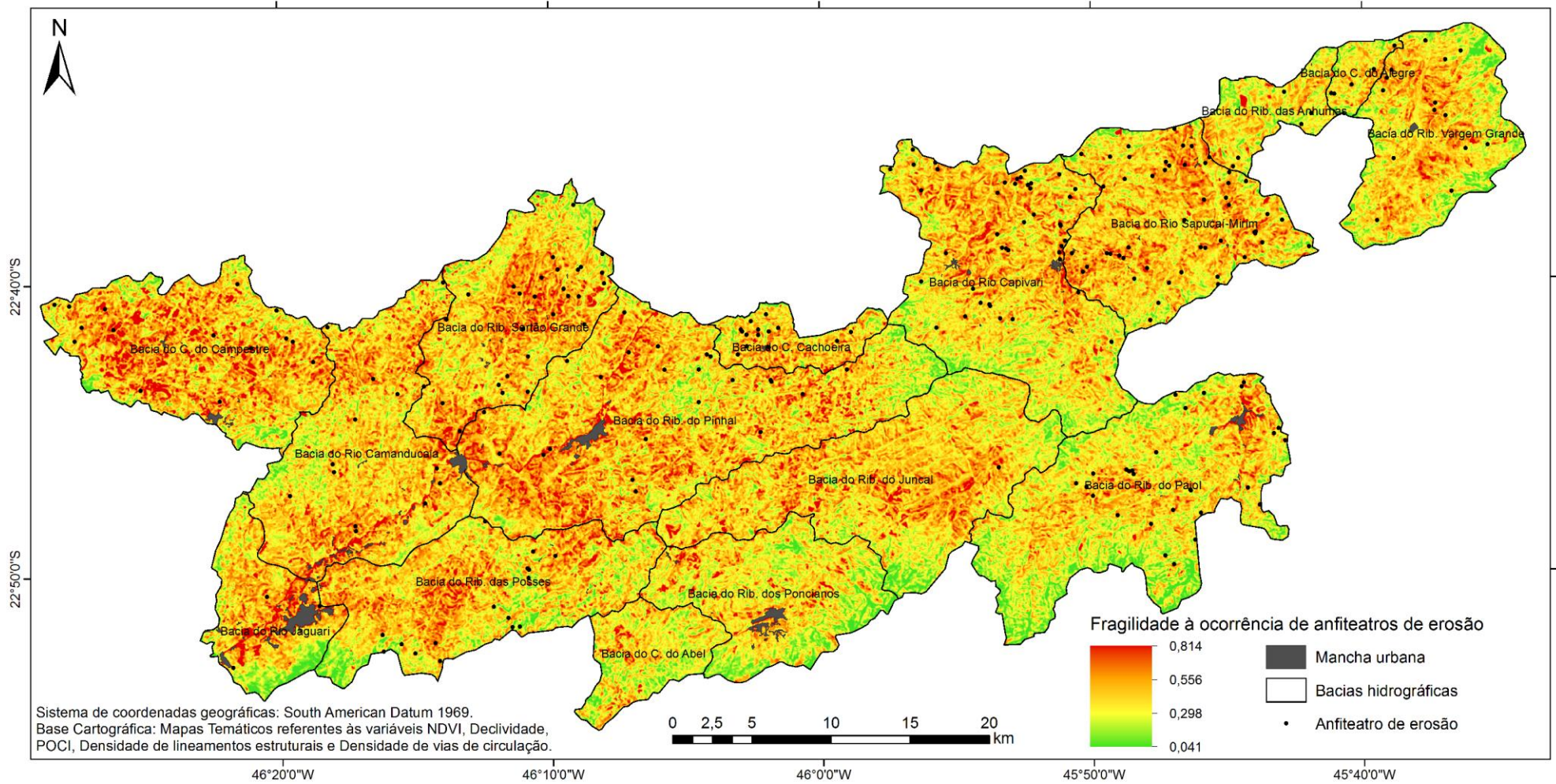


Figura 5.5 – Mapa de fragilidade ambiental à ocorrência de anfiteatro de erosão. Org.: Garofalo, 2013.

O mapa de fragilidade ambiental à ocorrência de escorregamentos (Figura 5.6) ilustra claramente que as áreas mais suscetíveis a este tipo de processo apresentam baixa densidade de vegetação (Figura 4.4), alta probabilidade de ocorrência de chuvas intensas (Figura 4.12) e densidade elevada de vias de circulação e lineamentos estruturais (Figuras 4.21 e 4.19, respectivamente). Contudo, houve pouca associação entre a ocorrência de escorregamentos e a variável declividade; a maior ocorrência deste processo se deu no intervalo 8° - 18° , porém, a ocorrência observada não foi muito maior que a ocorrência esperada (Tabela 5.2). Neste caso, a baixa ocorrência de escorregamento em vertentes de maior declividade, se deve, em parte, aos solos litólicos pouco desenvolvidos, cobertura vegetal de pequeno a médio porte, gerando uma condição de baixa instabilidade em virtude da pouca capacidade de retenção da água e da diminuição da componente peso (PENTEADO; 1974).

As áreas mais extensas classificadas como sendo de alta fragilidade ambiental à ocorrência de escorregamento estão localizadas na porção central da APA, em alguns trechos da porção oeste, e no corredor da Rodovia Fernão Dias. As bacias que apresentam maior porção de suas áreas com alta fragilidade a este processo são as do ribeirão do Juncal, do rio Capivari e do ribeirão do Paiol (Figura 5.6).

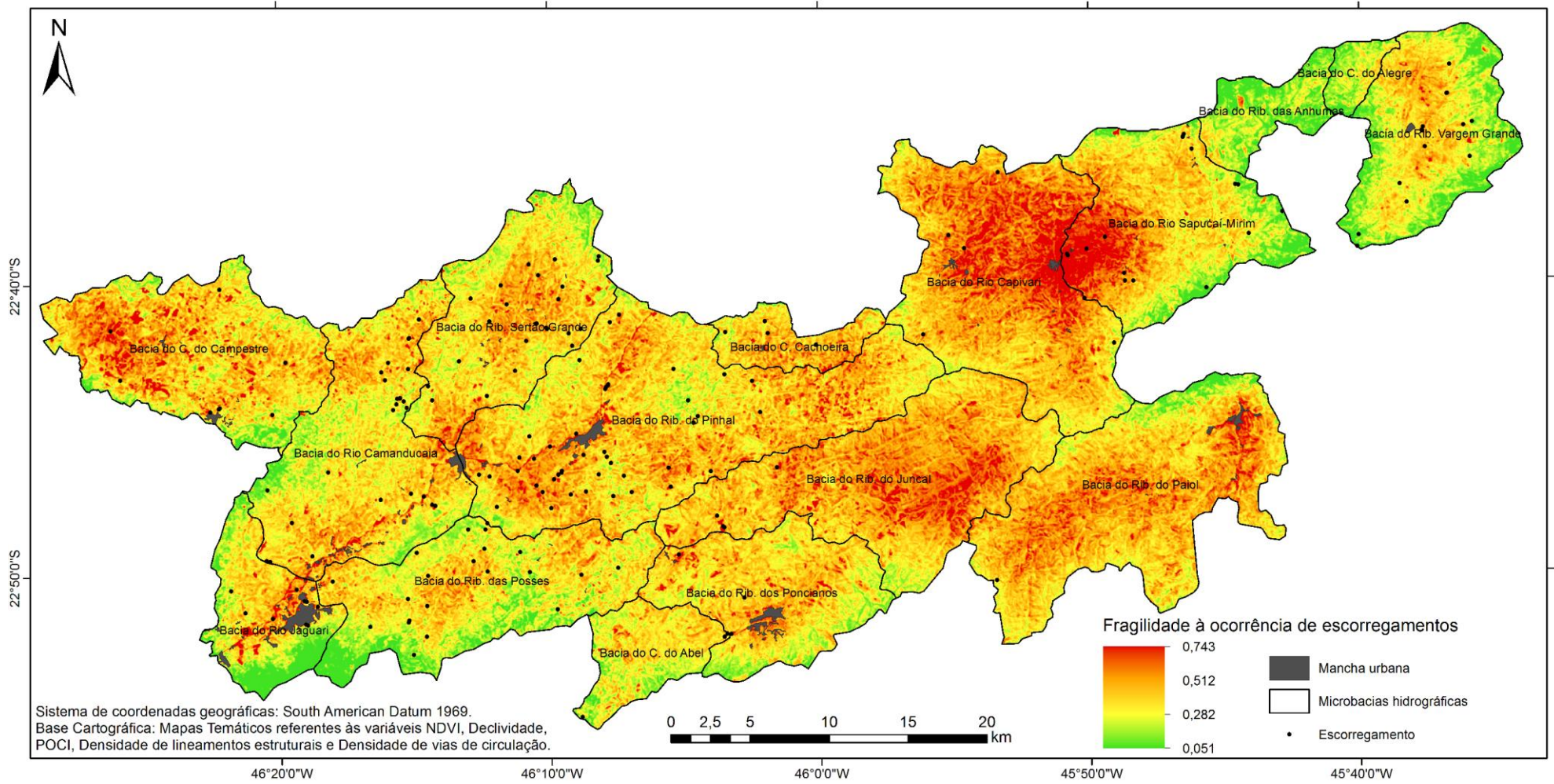


Figura 5.6 - Mapa de fragilidade ambiental à ocorrência de escorregamento. Org.: Garofalo, 2013.

A análise do mapa de fragilidade ambiental à ocorrência de rastejo (Figura 5.7) permitiu se verificar uma correspondência espacial entre alta fragilidade ambiental com baixa densidade de vegetação, declividade acentuada e elevada incidência de chuvas intensas. Esta correspondência espacial vai de acordo com as colocações de Lima (1998), baseadas em Carvalho (2007) e Selby (1990), de que o rastejo é um movimento de massa lento provocado geralmente pela gravidade, sendo esta ação combinada ao elevado grau de saturação em água do solo, e com a cobertura vegetal.

As áreas da APA mais suscetíveis a este tipo de processo estão localizadas, principalmente, na porção centro-leste, com destaque à bacia hidrográfica do rio Capivari, enquanto que, as áreas menos frágeis estão na no sudoeste da APA, nas bacias hidrográficas do rio Jaguari, do ribeirão das Posses e do córrego do Abel (Figura 5.7).

Em relação ao movimento de rastejo, podemos dizer que, o mesmo é evidenciado através da verticalidade de postes, cercas, árvores e de estacas existentes na área, assim como, pelo aparecimento de fissuras que antecedem os escorregamentos rotacionais. Desta forma, áreas suscetíveis ao processo de rastejo, são também áreas propícias à ocorrência de escorregamento futuramente.

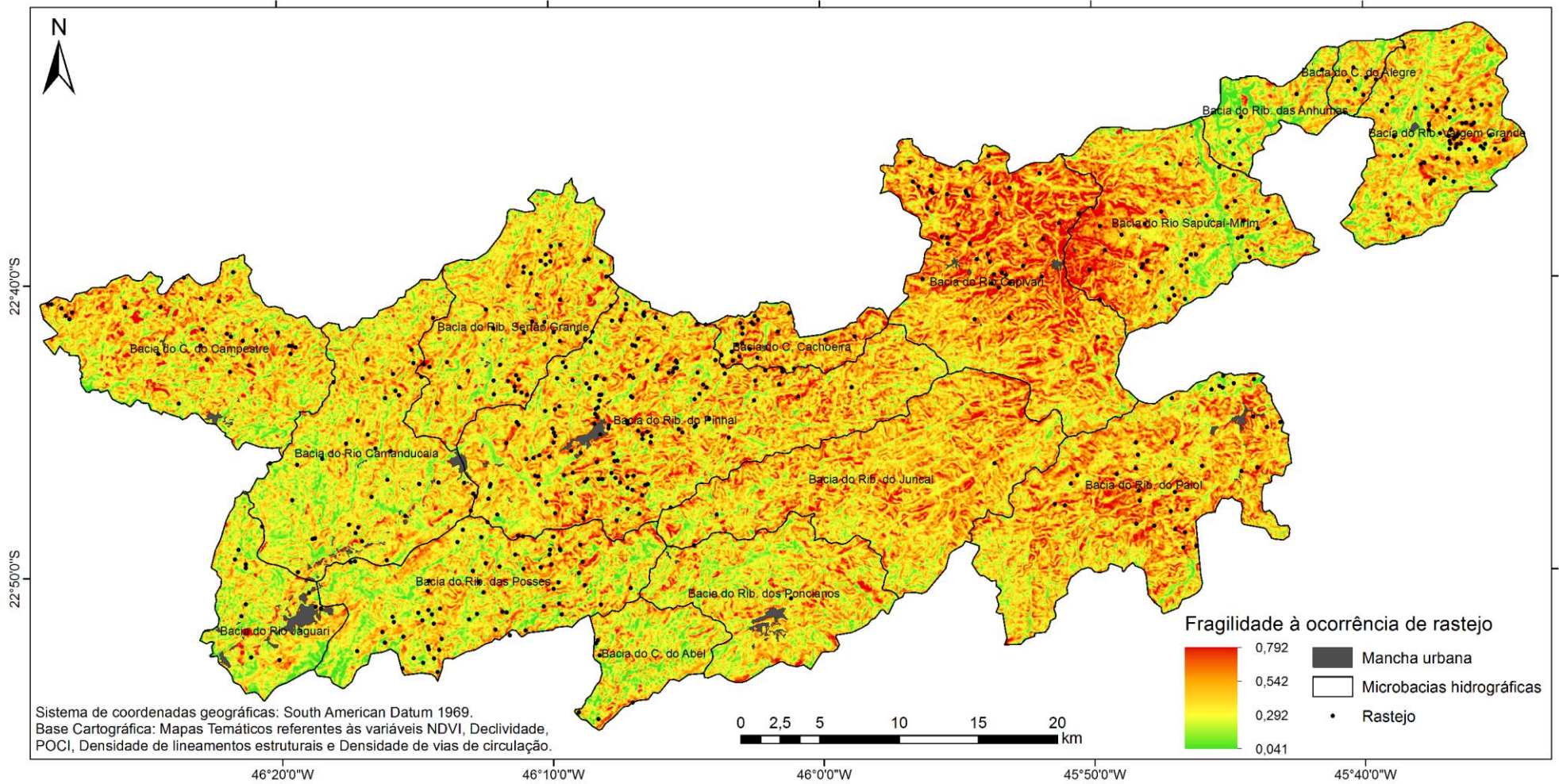


Figura 5.7 - Mapa de fragilidade ambiental à ocorrência de rastejo. Org.: Garofalo, 2013.

Observa-se no mapa de fragilidade ambiental à ocorrência de ravina (Figura 5.8) que as áreas mais frágeis possuem baixo índice de vegetação associadas (Figura 4.4) a vertentes íngremes (Figura 4.7), com alta probabilidade de chuvas intensas (Figura 4.12) e adensamento de vias de circulação e lineamentos estruturais (Figuras 4.21 e 4.19), sendo que a vegetação e a chuva são as variáveis que mais influenciam na ocorrência deste processo. Bigarella (2007) considera que, em paisagens desmatadas, a ação das chuvas se faz sentir imediatamente, promovendo a erosão. Além disto, as vias de circulação aceleram o escoamento pluvial, intensificando processos erosivos e transporte de sedimentos (FORMAN e ALEXANDER, 1998); os lineamentos estruturais são apontados como aspectos predisponentes à ocorrência de processos erosivos lineares por constituírem importantes discontinuidades mecânicas e hidráulicas (MURATORI, 1983).

As áreas com maior fragilidade ambiental à ocorrência de ravina são aquelas localizadas na porção norte da APA, na bacia hidrográfica do rio Capivari, e, na porção sudeste, bacias hidrográficas do ribeirão do Juncal e do ribeirão do Paiol. Nestas bacias uso do solo se caracteriza por áreas agropastoris entremeadas por fragmentos florestais, sobre vertentes com declividades entre 10° a 20°.

Já as áreas menos suscetíveis estão localizadas na porção sudoeste da APA –bacias hidrográficas do rio Jaguari e do ribeirão das Posses, e na porção nordeste - bacias hidrográficas do ribeirão dos Anhumas e do córrego do Alegre, onde são observados remanescentes florestais significativos.

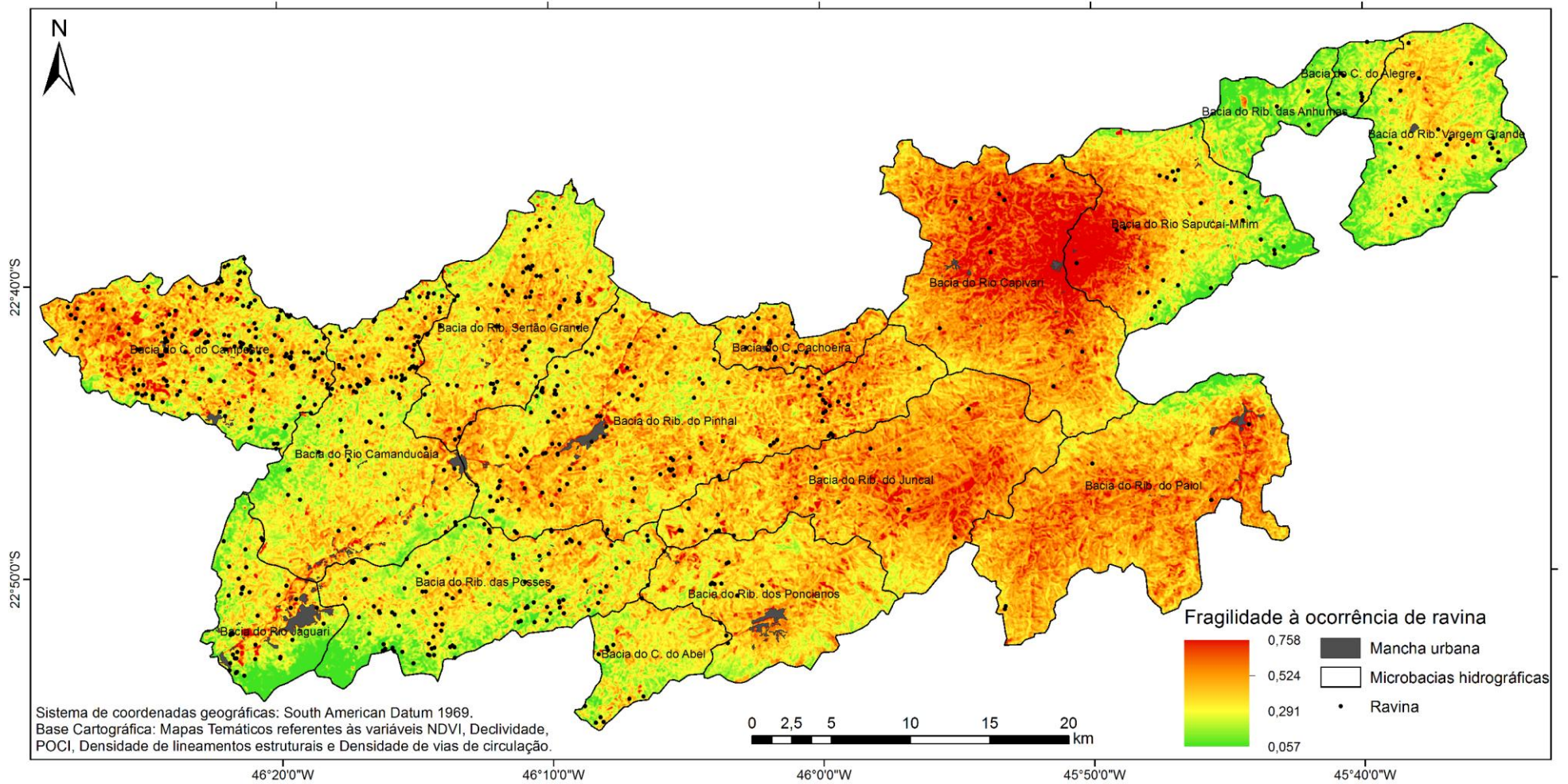


Figura 5.8 - Mapa de fragilidade ambiental à ocorrência de ravina. Org.: Garofalo, 2013.

Segundo Guerra (2008), a maioria dos autores apresentam diferentes explicações sobre a origem da erosão dos solos e dos movimentos de massa, ou seja, cada processo se comporta de forma distinta e, desta forma, a depender das características da área em estudo, as variáveis geoambientais terão maior ou menor interferência na ocorrência destes processos. Os mapas de fragilidade ambiental, apresentados e discutidos anteriormente, corroboram com esta colocação. Contudo, optou-se por também analisar a fragilidade ambiental à ocorrência de processos erosivos e movimentos de massa de forma conjunta, a fim de se ter um espectro geral das áreas da APA mais suscetíveis ao desencadeamento de ambos os processos.

O mapa de fragilidade ambiental à ocorrência de processos erosivos e movimentos de massa (Figura 5.9) evidencia que, no contexto da APA Fernão Dias, as variáveis geoambientais vegetação, chuvas intensas, declividade e densidade de vias são as variáveis que têm maior influência na ocorrência de tais eventos. Verificou-se que as áreas mais suscetíveis à ocorrência de processos erosivos e movimentos de massa são aquelas em que há a combinação entre baixo índice de vegetação, POCI elevada, declividade acentuada e alta densidade de vias de circulação.

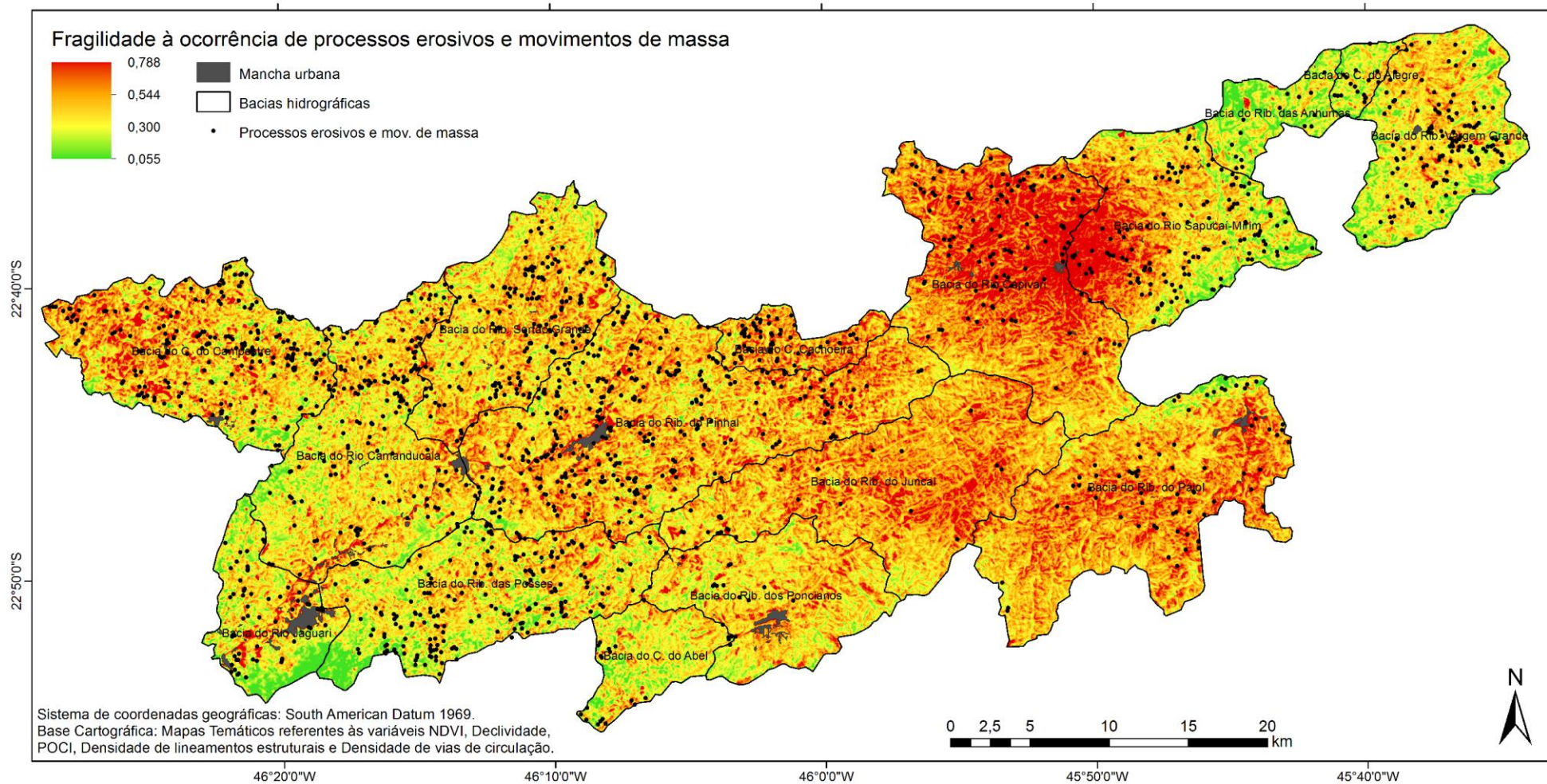


Figura 5.9 - Mapa de fragilidade ambiental à ocorrência de processos erosivos e movimentos de massa. Org.: Garofalo, 2013.

Com o propósito de auxiliar a análise da fragilidade ambiental no contexto da APA Fernão Dias, como um todo, foram destacadas no mapa, em cor vermelha, as áreas com valores de fragilidade ambiental igual ou acima do valor fuzzy médio observado (0,4) (Figura 5.10).

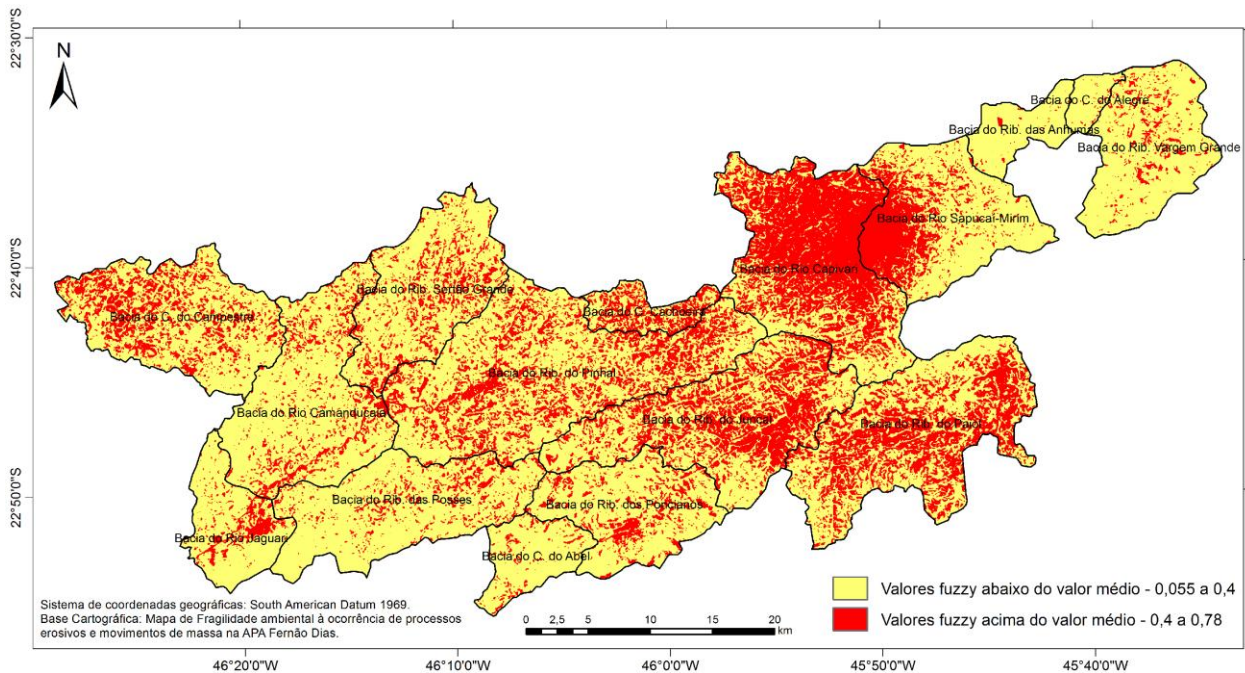


Figura 5.10 – Áreas com valores de fragilidade ambiental \geq ao valor médio de 0,4. Org.: Garofalo, 2013.

O Quadro 5.1 mostra uma síntese das características relativas ao grau de fragilidade, uso do solo predominante, densidade populacional, densidade de processos erosivos e movimentos de massa, zonas de manejo, e probabilidade de ocorrência de chuvas intensa, por bacia hidrográfica da APA Fernão Dias.

Quadro 5.1 – Síntese das relações entre o grau de fragilidade e as demais características das bacias hidrográficas da APA Fernão Dias – MG.

BACIA	GRAU DE FRAGILIDADE ¹	USO DO SOLO ²	DENSIDADE POPULACIONAL ³	DENSIDADE DE PROCESSOS ⁴	ZONAS DE MANEJO	POCF ⁵
Rio Capivari	66,22	Pastagem – 37,03 Remanescentes florestais – 34,75 Cultivos agrícolas – 18,94	30,18	Anfiteatro - 0,24 Escorregamento - 0,03 Rastejo - 0,24 Ravina - 0,06 Total- 0,57	ZCCAA – 82,32 ZCVS – 11,93 ZPVS – 3,77 ZOA – 1,98 ZOEU – 1,93	50 a 60
Córrego da Cachoeira	46,8	Pastagem – 34,76 Cultivos agrícolas – 32,61 Remanescentes florestais – 23,15	48,49	Anfiteatro - 0,48 Escorregamento - 0,14 Rastejo - 0,72 Ravina - 0,62 Total- 1,95	ZCCAA – 91,57 ZCVS – 8,43	46 a 50
Ribeirão do Paiol	42,8	Remanescentes florestais – 48,39 Pastagem – 25,58 Silvicultura de pinus e eucalipto – 14,09 Cultivos agrícolas – 9,88	34,75	Anfiteatro - 0,15 Escorregamento - 0,01 Rastejo - 0,19 Ravina - 0,03 Total - 0,38	ZCCAA – 50,80 ZCCAS – 33,36 ZDI – 6,36 ZCVS – 4,83 ZOEU – 3,83	50 a 60
Ribeirão do Juncal	42,55	Remanescentes florestais – 53,96 Silvicultura de pinus e eucalipto – 21,44 Pastagem – 18,94	14,43	Anfiteatro - 0,01 Escorregamento - 0,02 Rastejo - 0,02 Ravina - 0,10 Total - 1,15	ZCCAS – 67,26 ZCVS – 22,74 ZCCAA – 7,87 ZOA – 1,61 ZPVS – 0,49	47 a 60
Rio Sapucaí-Mirim	33,93	Pastagem – 35,56 Cultivos agrícolas – 30,26 Remanescentes florestais – 27,71	29,16	Anfiteatro - 0,39 Escorregamento - 0,13 Rastejo - 0,33 Ravina - 0,22 Total - 1,07	ZCCAA – 84,74 ZDI – 15,27 ZOEU – 0,44	45 a 60
Ribeirão do Pinhal	31,28	Pastagem – 30,85 Remanescentes florestais – 30,20 Cultivos agrícolas – 28,42 Solo exposto – 4,20	83,53	Anfiteatro - 0,09 Escorregamento - 0,18 Rastejo - 0,54 Ravina - 0,50 Total - 1,31	ZCCAA – 74,65 ZDI – 9,24 ZCCAS – 7,64 ZCVS – 4,83 ZOA – 2,55 ZPVS – 1,10	45 a 50
Córrego do Campestre	28,66	Cultivos agrícolas – 36,23 Pastagem – 28,13 Remanescentes florestais – 21,08 Solo exposto – 8,70	42,74	Anfiteatro - 0,11 Escorregamento - 0,07 Rastejo - 0,21 Ravina - 1,22 Total - 1,60	ZCCAA – 98,19 ZOEU – 1,81	45 a 50
Ribeirão Sertão Grande	21,43	Cultivos agrícolas – 33,88 Pastagem – 32,45 Remanescentes florestais – 25,48	36,94	Anfiteatro - 0,24 Escorregamento - 0,20 Rastejo - 0,38 Ravina - 0,59 Total - 1,41	ZCCAA – 99,76 ZOEU – 0,24	45 a 47
Ribeirão dos Poncianos	19,26	Remanescentes florestais – 51,40 Silvicultura de pinus e eucalipto – 30,81	3,27	Anfiteatro - 0 Escorregamento - 0,07 Rastejo - 0,14 Ravina - 0,30 Total - 0,51	ZCCAS – 70,17 ZCVS – 22,13 ZOEU – 6,18 ZOA – 1,52	47 a 50
Rio Camanducaia	15,67	Pastagem – 30,81 Remanescentes florestais – 30,47 Cultivos agrícolas – 28,81 Solo exposto – 5,92	84,75	Anfiteatro - 0,09 Escorregamento - 0,17 Rastejo - 0,26 Ravina - 0,60 Total - 1,11	ZCCAA – 79,67 ZOEU – 15,50 ZDI – 4,83	40 a 47
Rio Jaguari	15,44	Remanescentes florestais – 32,79 Cultivos agrícolas – 25,75 Pastagem – 25,05 Urbano – 4,59	382,99	Anfiteatro - 0,05 Escorregamento - 0,15 Rastejo - 0,20 Ravina - 0,63 Total - 1,03	ZCCAA – 44,03 ZOEU – 34,19 ZCVS – 10,99 ZDI – 6,54 ZPVS – 4,24	40 a 45

Ribeirão das Posses	11,82	Remanescentes florestais – 30,95 Pastagem – 29,52 Cultivos agrícolas – 28,04 Silvicultura de pinus e eucalipto – 8,09	47,95	Anfiteatro - 0,12 Escorregamento - 0,16 Rastejo - 0,45 Ravina - 0,72 Total - 1,45	ZCCAA – 79,87 ZCCAS – 8,99 ZCVS – 6,61 ZOEU – 4,63	40 a 47
Ribeirão Vargem Grande	9,4	Remanescentes florestais – 38,53 Pastagem – 30,26 Cultivos agrícolas – 21,68	28,35	Anfiteatro - 0,14 Escorregamento - 0,14 Rastejo - 0,63 Ravina - 0,33 Total - 1,23	ZCCAA – 83,69 ZCVS – 16,31 ZOEU – 1,82	40 a 47
Córrego do Abel	8,71	Remanescentes florestais – 50,48 Silvicultura de pinus e eucalipto – 23,80 Pastagem – 15,11 Cultivos agrícolas – 8,29	55,97	Anfiteatro - 0 Escorregamento - 0,03 Rastejo - 0,01 Ravina - 0,11 Total - 0,15	ZCCAS – 51,36 ZCCAA – 40,14 ZCVS – 5,07 ZPVS – 3,43	45 a 50
Córrego do Alegre	4,25	Remanescentes florestais – 40,00 Pastagem – 37,90 Cultivos agrícolas – 16,68	107,4	Anfiteatro - 0,37 Escorregamento - 0 Rastejo - 0,45 Total - 1,35	ZCCAA – 100,00	40 a 45
Ribeirão das Anhumas	2,33	Cultivos agrícolas – 37,16 Remanescentes florestais – 30,68 Pastagem – 25,61	21,39	Anfiteatro - 0,15 Escorregamento - 0 Rastejo - 0,2 Ravina - 0,09 Total - 0,44	ZCCAA – 96,97 ZDI – 3,03	40 a 45

¹ Percentagem da área da bacia com fragilidade ambiental à ocorrência de processos erosivos e movimentos de massa com valores fuzzy \geq ao valor médio – 0,4; ² Categorias de uso do solo que ocupam maior área na bacia, com percentual de ocupação, estimado a partir da intersecção dos limites das bacias com as classes de uso; ³ Estimado a partir da intersecção dos limites das bacias com os setores censitários; ⁴ Estimado a partir da intersecção dos limites das bacias com os processos erosivos e movimentos de massa; ⁵ Zonas de manejo predominantes e, percentual da área da bacia reservada a estas zonas; ⁶ Valores de POCI predominantes; ZCCAA: Zona de conservação com concentração de atividades agropastoris; ZCCAV: Zona de conservação com concentração de atividades silviculturas; ZDI: Zona de Desenvolvimento Industrial; ZOEU: Zona de ocupação e expansão urbana; ZPVS: Zona de proteção da vida silvestre; ZCVS: Zona de conservação da vida silvestre; ZOA: Zona de ocorrência ambiental.

A partir da análise da Tabela 5.13 pode-se observar que as bacias que apresentam maior proporção de suas áreas classificadas como média a alta fragilidade ambiental estão localizadas na porção centro leste da APA. Os usos do solo predominantes nesta porção são os cultivos agrícolas e pastagem entremeados por remanescentes florestais. Quanto à densidade populacional, as bacias localizadas na porção centro leste, bacias do rio Capivari, do córrego da Cachoeira, ribeirão do Paiol, do ribeirão do Juncal, e do rio Sapucaí-Mirim, apresentam valores abaixo da média das bacias da APA, que é de 71,48 hab./km².

Embora estas bacias apresentem as maiores proporções de áreas classificadas como média à alta fragilidade, a densidade de processos erosivos apresentada por elas são próximas ao valor de densidade média das bacias da APA – 1,04 proc./km². Isto se deve ao fato destas bacias ainda manterem significativos remanescentes florestais, protegendo o solo da ocorrência desses processos, mesmo sendo uma área de alta probabilidade de chuvas intensas (Tabela 5.13).

Contudo, de acordo com o Plano de Manejo da APA, as zonas de manejo que apresentam maiores áreas a elas destinadas nestas bacias são as *Zona de Conservação com Concentração de Atividades Agropastoris* e *Zona de Conservação com Concentração de Atividades Silviculturas*. Desta forma, futuramente, os remanescentes florestais destas bacias poderão dar lugar a atividades agrossilvipastoris, tornando estas bacias altamente suscetíveis à ocorrência de processos erosivos e movimentos de massa, já que estas apresentam uma fragilidade potencial elevada.

Em relação às áreas destinadas à conservação ambiental, a bacia do ribeirão do Juncal contém 22,74% de suas áreas destinadas à *Zona de Conservação de Vida Silvestre*, enquanto que a bacia do rio Capivari apresenta 11,93% de suas áreas destinadas a esta zona e 3,77% à *Zona de Proteção de Vida Silvestre*. Vale ressaltar ainda que na bacia do ribeirão do Juncal está localizada a nascente do rio Jaguari, assim como na bacia do ribeirão do Paiol está localizada a nascente do rio Sapucaí-Mirim. Ambos os rios são de grande interesse socioambiental, e se desenvolvem em ambientes de alta fragilidade ambiental.

Já as bacias localizadas na porção oeste da APA, bacias do ribeirão do Pinhal, do córrego do Campestre, do ribeirão Sertão Grande, do rio Camanducaia, e do rio Jaguari, e a bacia do ribeirão dos Poncianos, na porção sul da APA, apresentam proporções relativamente extensas de suas áreas classificadas como sendo de média a alta fragilidade, ocorrendo entre, aproximadamente, 15% a 30% nas áreas destas bacias (Tabela 5.13).

As bacias da porção oeste apresentam um uso predominantemente agropastoril, interdigitado por fragmentos florestais. Estas bacias são as que apresentam maior ocorrência de processos erosivos e movimentos de massa, sendo que as áreas mais frágeis à ocorrência destes processos apresentam declividades médias a acentuadas, associadas à ocorrência de culturas anuais e pastagens degradadas, assim como os trechos situados no corredor da Rodovia Fernão Dias.

Também nesta porção da APA são observadas as maiores densidades populacionais, com valores acima da média, destacando-se para a bacia do rio Jaguari, com densidade populacional de 382,99 hab./km². Este fato deve-se à influência da rodovia Fernão Dias, que ao atrair empresas e indústrias, acaba por concentrar ao seu entorno um efetivo relativamente alto de pessoas.

De modo geral, as áreas das bacias da porção oeste da APA são, de acordo com o Plano de manejo, destinadas principalmente à *Zona de Conservação com Concentração de Atividades Agropastoris*, estando também nesta porção as bacias com maiores proporções de áreas destinadas à *Zona Urbana (Zona de Ocupação e Expansão)* e à *Zona de Desenvolvimento Industrial* (Tabela 5.13). Quanto à bacia do ribeirão dos Poncianos observa-se que esta apresenta extensas áreas ocupadas por remanescentes florestais, que têm dado lugar à silvicultura. Prova disso é que, atualmente, as florestas representam 51,40% da área da bacia, enquanto a silvicultura representa 30,81%. Contudo, o zoneamento ambiental prevê aproximadamente 70% da área desta bacia destinadas à *Zona de Conservação com Concentração de Atividades Silviculturas*, e apenas, aproximadamente, 30% às *Zonas de Conservação de Vida Silvestre, de Proteção de Vida Silvestre e de Ocorrência Ambiental*.

Por fim, as áreas classificadas como sendo menos frágeis ocorrem principalmente na porção nordeste da APA, nas bacias do ribeirão das Anhumas, do córrego do Alegre, e do ribeirão Vargem Grande, e na porção sudoeste da APA, nas bacias do ribeirão das Posses e do córrego do Abel.

Nas bacias da porção sul há um predomínio de remanescentes florestais, seguidos de atividades agrossilvipastoris, sendo que as terras de ambas são destinadas à *Zona de Conservação com Concentração de Atividades Agropastoris* e à *Zona de Conservação com Concentração de Atividades Silviculturas*, podendo a APA, desta forma, perder extensas áreas de remanescentes florestais (Tabela 5.13). Assim como as bacias do sul da APA, citadas anteriormente, as bacias do nordeste também são ocupadas, principalmente, por remanescentes florestais e atividades

agropastoris. Mas, de acordo com o plano de manejo, as áreas situadas nestas bacias tendem a serem destinadas, quase que exclusivamente, a cultivos agrícolas e silvicultura.

5.8 Validação dos resultados apresentados nos mapas de fragilidade ambiental

A fim de analisarmos se os resultados apresentados no mapeamento da fragilidade ambiental são condizentes ao modelo de fragilidade proposto, foi realizado um trabalho de campo nos dias 22 e 23 de abril de 2013, com o objetivo de validar os resultados obtidos. Nesta atividade de campo, foi percorrido o roteiro: Extrema, Distrito de Monte Verde, Gonçalves, Camanducaia, e Itapeva (Figura 5.10).

Para avaliar os resultados apresentados pelo mapa de fragilidade ambiental à ocorrência de processos erosivos e movimentos de massa, foram selecionadas como amostras 20 quadrículas de 2 km x 2 km, nas cartas topográficas de Extrema, Camanducaia, Monteiro Lobato, Paraisópolis, e Cambuí, disponibilizadas pelo IBGE em formato vetorial, na escala 1:50.000 (IBGE, 1977). Estas amostras representam, principalmente, áreas de alta fragilidade (Figura 5.11).

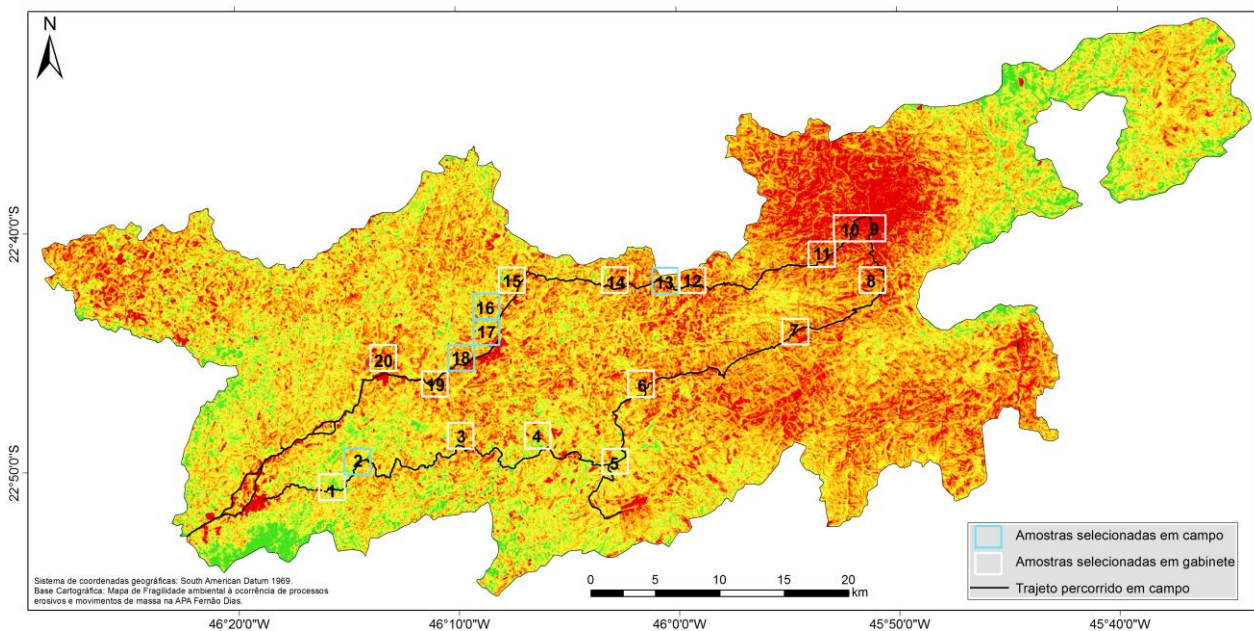


Figura 5.11 – Trajeto percorrido no trabalho de campo e áreas analisadas. Org.: Garofalo, 2013.

Os materiais utilizados no trabalho de campo foram: mapa de fragilidade ambiental à ocorrência de processos erosivos e movimentos de massa (Figura 5.10), cartas topográficas de Extrema, Camanducaia, Monteiro Lobato, Paraisópolis, e Cambuí, disponibilizadas pelo IBGE na escala 1:50.000, GPS (*Global Positioning System*), bússola, máquina fotográfica, régua e planilhas para registro de coordenadas UTM, fotografias, bacia hidrográfica, usos do solo predominantes, tipo de relevo, grau de fragilidade e processos erosivos e movimentos de massa observados nas 20 quadrículas visitadas em campo.

Em campo, o horário da máquina fotográfica foi configurado com o horário UTC (Universal Time Coordinated) do GPS. Após a realização do trabalho de campo, o roteiro gerado pelo GPS em formato *.gtm* e as fotografias obtidas em campo foram sincronizados a partir do software GPICSYNC (Google), que georeferencia a fotografia com base no horário em que esta foi obtida com a localização no roteiro neste mesmo horário. Ao final do processo, o software GPICSYNC oferece a opção de visualização das fotografias no Google Earth (Figura 5.12).

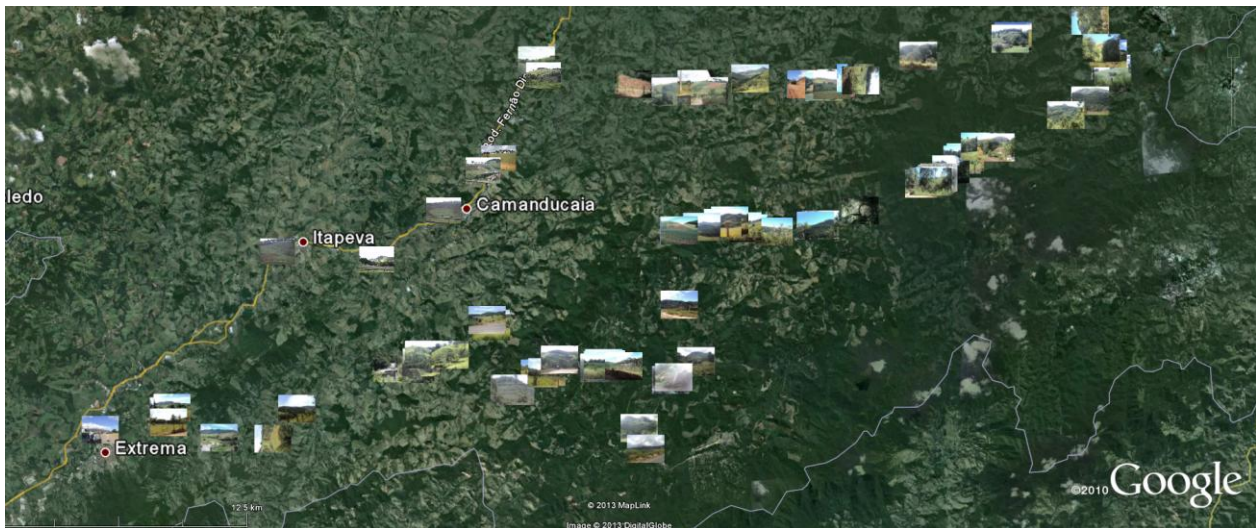


Figura 5.12 – Mosaico de Imagens GeoEye do *software* Google Earth, com destaque às fotografias georeferenciadas sobrepostas às imagens. Org.: Garofalo, 2013.

O Quadro 5.2 apresenta uma síntese das características observadas nas áreas de amostragem, referentes às áreas delimitadas pelas quadrículas selecionadas previamente e em campo.

Quadro 5.2 – Síntese das características observadas em campo nas áreas de amostragem.

Nº DA AMOSTRA	BACIA	USO DO SOLO	TIPO DE RELEVO	GRAU DE FRAGILIDADE	PROCESSOS OBSERVADO EM CAMPO
1	Rib. das Posses	Remanescentes Florestais - FOMD e FESD; Pastagem; Cultivos Agrícolas.	Planície aluvial; Relevo ondulado a colinoso; Relevo colinoso.	Baixa a média fragilidade.	Início de escorregamento rotacional em cabeceira de drenagem (Figura 5.13.1).
2	Rib. das Posses	Pastagem e Cultivos Agrícolas; Expansão urbana – chácaras; Remanescentes Florestais – FESD.	Relevo ondulado a colinoso; Relevo colinoso.	Baixa a média fragilidade.	Sulcos e ravinas desenvolvidos em vertente retilínea-côncava (Figura 5.13.2).
3	Rib. das Posses e Rib. do Pinhal	Pastagem; Cultivos Agrícolas; Remanescentes Florestais.	Relevo colinoso.	Média a alta fragilidade	Rastejo desenvolvido em vertente côncava (Figura 5.13.3).
4	Rib. das Posses e Rib. do Juncal	Silvicultura – Pinus; Remanescentes Florestais - FOMD e FESD; Pastagem.	Relevo colinoso; Relevo fortemente inclinado.	Baixa a média fragilidade.	- Não foi observado nenhum processo (Figura 5.13.4)
5	Rib. dos Poncianos	Silvicultura - Pinus e Eucalipto; Pastagem; Remanescentes Florestais – FOMD.	Relevo colinoso; Relevo fortemente inclinado.	Baixa a média fragilidade	Não foi observado nenhum processo (Figura 5.13.5)
6	Rib. do Juncal	Pastagem; Silvicultura – Pinus; Remanescentes Florestais – FOMD.	Relevo fortemente inclinado.	Média a alta fragilidade	Sulcos desenvolvidos em vertentes côncavas associadas a fundo de vale degradado (Figuras 5.13.6 e 5.13.6.1)
7	Rib. do Juncal	Remanescentes Florestais - FOMM; Pastagem e Cultivos agrícolas – milho; Silvicultura – Pinus.	Relevo fortemente inclinado.	Média a alta fragilidade	Não foi observado nenhum processo (Figura 5.13.7)
8	Rio Capivari	Pastagem Remanescentes Florestais - FESD e FOMM Silvicultura - Pinus	Relevo variando de fortemente inclinado a montanhoso.	Média a alta fragilidade	Rastejo em vertente retilínea (Figura 5.13.8)
9	Rio Capivari e Rio Sapucaí-Mirim	Pastagem Cultivos Agrícolas - batata e repolho Remanescentes Florestais - FESD	Relevo variando de fortemente inclinado a montanhoso.	Alta fragilidade	Rastejo desenvolvido em vertente côncava (Figura 5.13.9).
10	Rio Capivari	Pastagem Cultivos Agrícolas - batata e repolho Silvicultura - Pinus	Relevo variando de fortemente inclinado a montanhoso.	Alta fragilidade	Rastejo desenvolvido em vertente retilínea (Figura 5.13.10).
11	Rio Capivari	Pastagem Remanescentes Florestais - FESD e FOMM Cultivos Agrícolas - batata e repolho	Relevo variando de fortemente inclinado a montanhoso.	Alta fragilidade	Rastejo desenvolvido em vertente côncava (Figura 5.14.11).
12	C. da Cachoeira	Cultivos Agrícolas - batata e repolho Pastagem Remanescentes Florestais - FESD	Relevo fortemente inclinado.	Média a alta fragilidade	Sulcos e ravinas desenvolvidos em vertente côncava (Figura 5.14.12); Ravinamento em estrada, acarretando assoreamento de corpo d'água à jusante (Figuras 5.14.12.1A e 5.14.12.1B).
13	C. da Cachoeira	Cultivos Agrícolas - batata e repolho Pastagem Remanescentes Florestais - FESD	Relevo fortemente inclinado.	Média a alta fragilidade	Anfiteatro de erosão e rastejo em vertente côncava (Figura 5.14.13)
14	C. da Cachoeira	Cultivos Agrícolas - batata e repolho Pastagem Remanescentes Florestais - FESD	Relevo colinoso;	Média a alta fragilidade	Anfiteatro de erosão com ocorrência de sulcos (Figura 5.14.14); Área de São Mateus de Minas atingida por enchente (Figura 5.14.14.1); Sulcos em vertente retilínea (Fig. 14.14.2).
15	Rib. do Pinhal	Pastagem Cultivos agrícolas Remanescentes Florestais - FESD	Relevo ondulado a colinoso; Relevo colinoso.	Média a alta fragilidade	Não foi observado nenhum processo (Figura 5.14.15).
16	Rib. do Pinhal	Pastagem e Cultivos agrícolas Remanescentes Florestais - FESD	Relevo ondulado a colinoso; Relevo colinoso.	Baixa a média fragilidade	Ravinamento em talude de corte de estrada (Figura 5.14.16).
17	Rib. do Pinhal	Cultivos agrícolas Expansão urbana Pastagem	Relevo ondulado a colinoso; Relevo colinoso.	Média a alta fragilidade	Escorregamento rotacional em talude de corte de estrada (Figura 5.14.17).
18	Rib. do Pinhal	Pastagem Cultivos agrícolas Expansão urbana Remanescentes Florestais - FESD	Relevo ondulado a colinoso; Relevo colinoso.	Média a alta fragilidade	Ravinas e sulcos em vertente côncava (Figura 5.14.18).
19	Rib. do Pinhal e Rib. Sertão Grande	Cultivos agrícolas Pastagem	Relevo ondulado a colinoso; Relevo colinoso.	Média a alta fragilidade	Rastejo desenvolvido em vertente côncava (Figura 5.15.19).
20	Rib. do Pinhal	Cultivos agrícolas Pastagem	Relevo ondulado a colinoso; Relevo colinoso.	Média a alta fragilidade	Ocorrência de anfiteatros de erosão em vertentes côncavas (Figura 5.15.20).

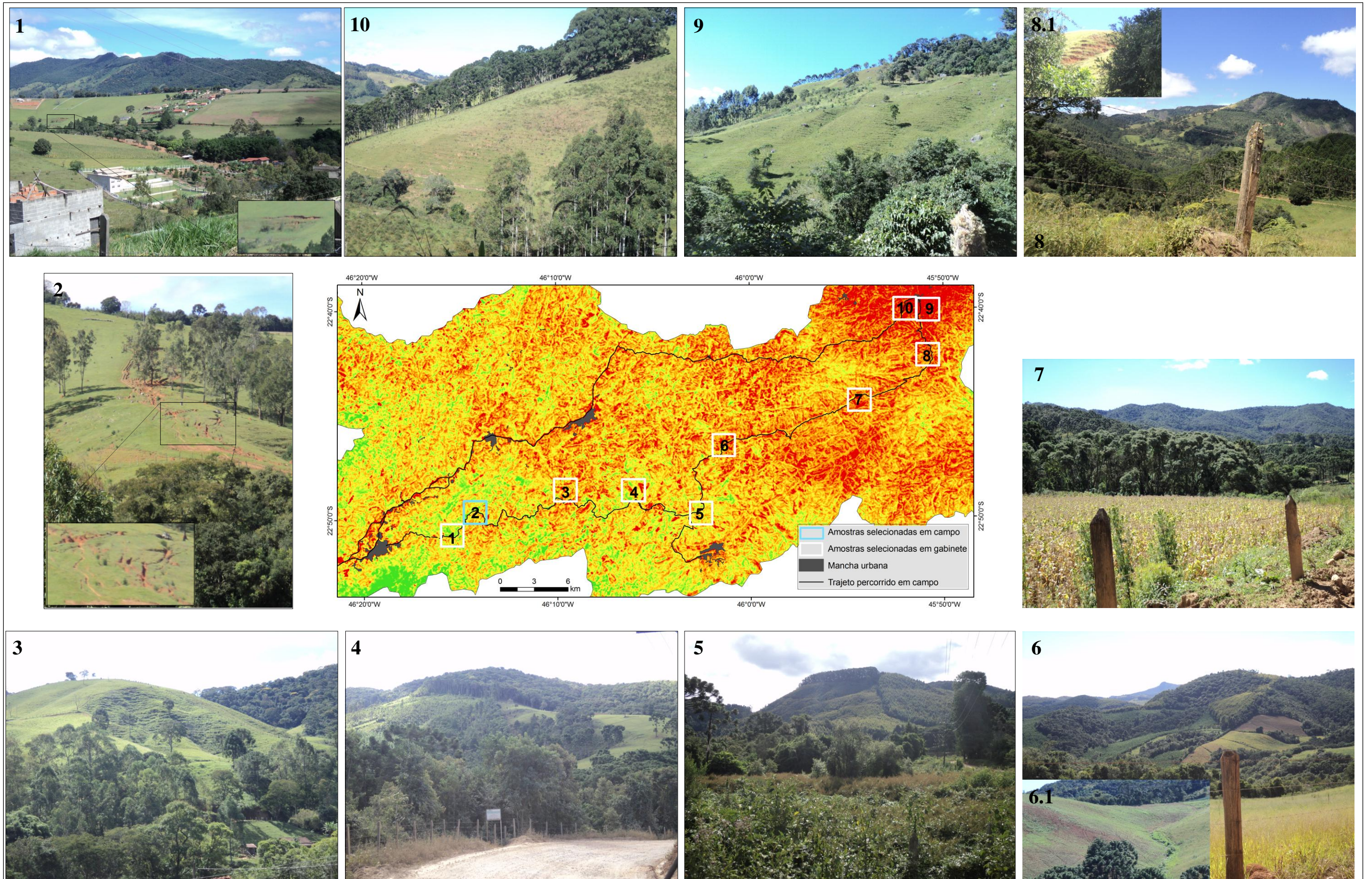


Figura 5.13 – Localização das quadrículas amostrais utilizadas em campo, e respectivas fotos ilustrando as características paisagísticas locais (quadrículas 1 a 10).

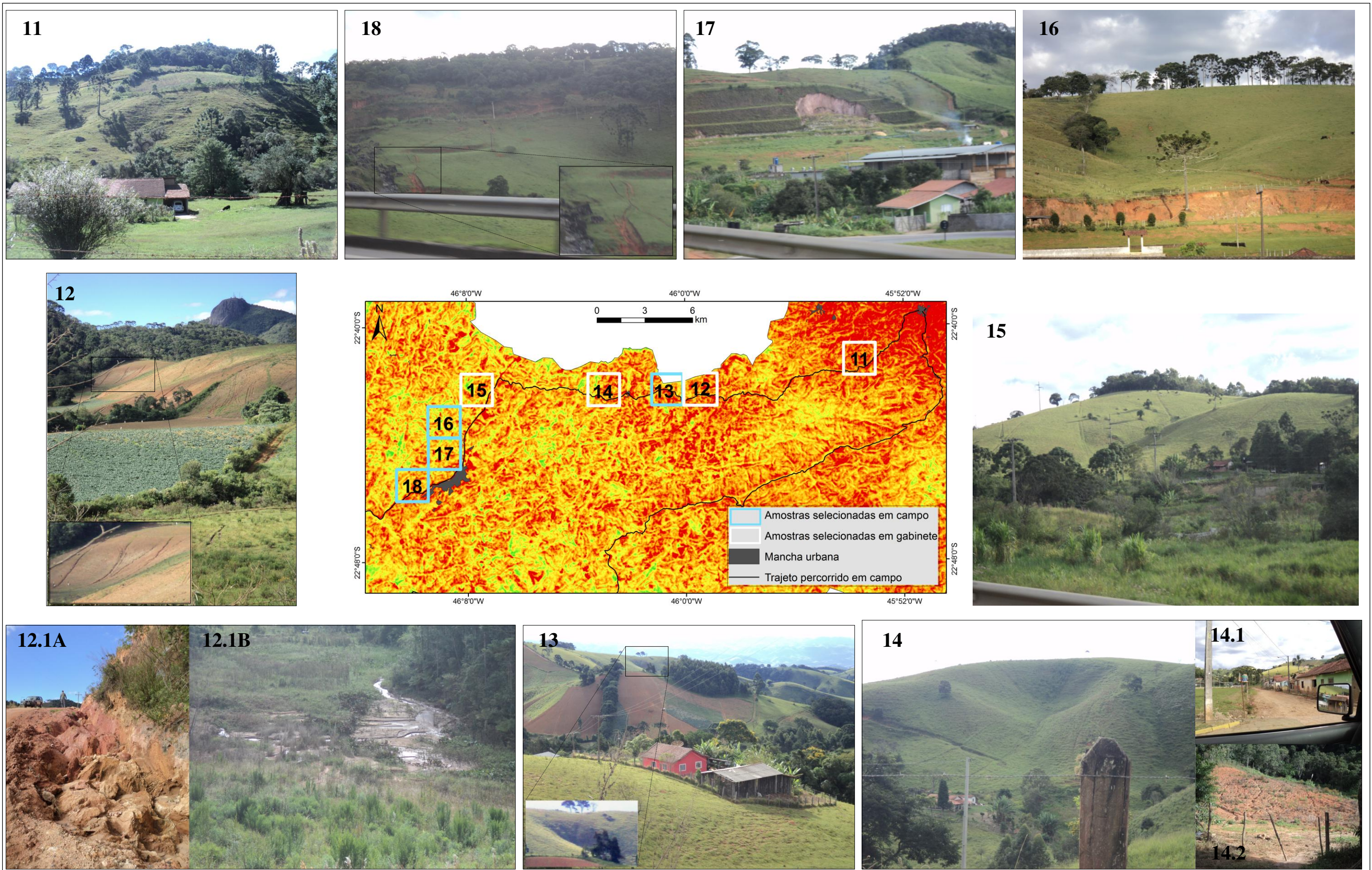


Figura 5.14 – Localização das quadrículas amostrais utilizadas em campo, e respectivas fotos ilustrando as características paisagísticas locais (quadrículas 11 a 18).

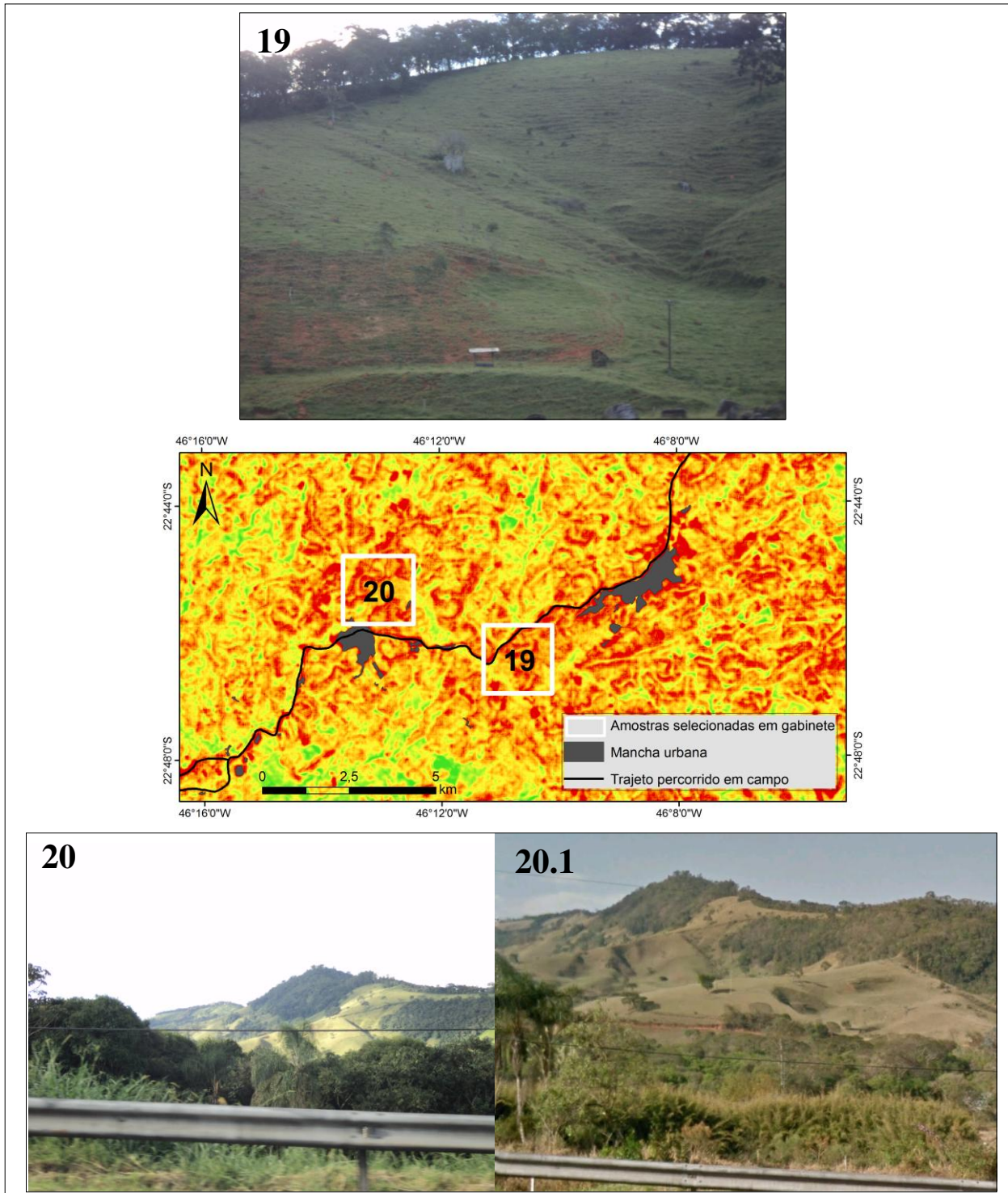


Figura 5.15 – Localização das quadrículas amostrais utilizadas em campo, e respectivas fotos ilustrando as características paisagísticas locais (quadrículas 19 a 20).

De um modo geral, verificou-se que as áreas amostradas na validação no trabalho de campo estão coerentes com o mapa de fragilidade ambiental. Observou-se que, nas áreas de média a alta fragilidade estão representadas os locais onde é maior o risco de degradação - embora não tenham sido observados processos erosivos em algumas quadriculas classificadas como média a alta fragilidade ambiental (Figura 5.13.7). Isto talvez se deva ao fato destas ainda manterem cobertura vegetal significativa, restringindo a ocorrência de processos erosivos e movimentos de massa. Contudo, se suprimida a cobertura vegetal, tais áreas se tornariam altamente suscetíveis à ocorrência destes processos.

Da mesma forma, algumas áreas classificadas no mapa como baixa a média fragilidade ambiental apresentaram em campo processos erosivos (Figura 5.13.2) e movimentos de massa (Figura 5.13.1). A ocorrência destes processos em áreas de baixa a média fragilidade pode estar associada à práticas de manejo incompatíveis com as características destas áreas.

Das dezesseis quadriculas selecionadas no mapa, correspondente a áreas de média a alta fragilidade ambiental, em apenas duas não foi observado em campo, qualquer indício de processos erosivos ou de movimentos de massa. Portanto, podemos dizer que em 87,5% das quadriculas há coincidência com as observações de campo. Estas constatações são iniciais e apontam para a necessidade de um aprofundamento da análise estatística, a ser realizado futuramente em artigos científicos derivados desta dissertação.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A abordagem sistêmica, em conjunto com a análise espacial, permitiram uma análise integrada da paisagem da APA Fernão Dias, de modo que, os resultados apresentados pelo mapeamento da fragilidade ambiental refletem a realidade vigente e podem ser utilizados no prognóstico de situações futuras. Assim, avaliamos que os materiais utilizados e os procedimentos metodológicos adotados foram adequados ao objetivo proposto: analisar a inter-relação dos componentes físicos, bióticos e antrópicos na APA Fernão Dias por meio do mapeamento da fragilidade ambiental, a partir de modelos de análise espacial desenvolvidos em sistemas de informação geográfica (SIG).

O mapeamento de processos erosivos e movimentos de massa a partir de imagens disponibilizadas pelo *software* Google Earth possibilitou uma análise detalhada com relação a localização geográfica dos processos. Tal procedimento pode ser uma contribuição a estudos que tenham como propósito o mapeamento de áreas de risco, pois é um indicativo da distribuição espacial destes eventos.

A vantagem do uso do mapa de índice de vegetação, em substituição ao mapa convencional de uso e ocupação do solo, como variável no mapeamento da fragilidade ambiental, se deve ao fato do primeiro possibilitar uma análise mais detalhada, ao considerar a transição da biomassa da cobertura vegetal.

A técnica empregada para a espacialização da ocorrência de chuva intensa ($\geq 50\text{mm}/24\text{hs}$) se mostrou eficaz, tendo sido observada a associação entre áreas com elevada probabilidade de chuvas intensas e áreas de relevo mais alçado, caracterizando a ocorrência de eventos pluvio-oroográficos. Tal abordagem pode contribuir com para estudos que tenham como propósito mapear áreas propícias a desastres naturais, indicando aquelas onde precipitações de alta intensidade têm maior probabilidade de ocorrência durante o verão.

Constatou-se que o cálculo da declividade, a partir do modelo digital de elevação do sensor ASTER, é eficiente, mais preciso e com maior acurácia do que produtos gerados a partir de curvas de nível, embora não tenhamos realizado testes estatísticos para confirmar tal fato. Esta suposição advém do fato do MDE ASTER possuir valores de altitudes para todos os pixels, e resolução espacial de 30 metros. Desta forma, a análise da declividade a partir do MDE ASTER atendeu totalmente nossas expectativas.

A aplicação do estimador Kernel para a geração da densidade de lineamentos estruturais e densidade de vias de circulação se mostrou eficaz, evidenciando os locais nos quais tais variáveis são mais frequentes, tendo sido observada a associação entre alta densidade de vias nas imediações da Rodovia Fernão Dias, em áreas agropastoris e de silvicultura; alta densidade de lineamentos estruturais nas áreas de cabeceiras, principalmente nos locais em que a drenagem se desenvolve em ambiente litológico altamente estruturado.

O método proposto para determinação dos pesos atribuídos às variáveis ambientais, baseado em teste estatístico Kolmogorov-Smirnov, alcançou resultados altamente satisfatórios. Tal método apresenta um nível de subjetividade inferior aos dos métodos convencionais, em que os pesos são determinados a partir de consulta a especialistas. Além disso, a determinação de pesos baseado em teste estatístico Kolmogorov-Smirnov respeita as especificidades de cada local. Desta forma, no contexto da APA Fernão Dias-MG, verificou-se que as variáveis que apresentam maior peso no condicionamento de processos erosivos e movimentos de massa são, respectivamente, índice de vegetação, intensidade da chuva, declividade, densidade de vias de circulação, e densidade de lineamentos estruturais.

A álgebra das imagens referentes às variáveis ambientais, representadas em conjunto fuzzy, para o mapeamento da fragilidade ambiental, tornou os resultados mais precisos, pois considerou as áreas de transição de cada variável, e não se restringiu às classes de fragilidades com seus limites rígidos, visto que na realidade vigente, tais limites são raramente observados.

O uso da bacia hidrográfica como unidade de análise da fragilidade ambiental na APA Fernão Dias tornou o diagnóstico mais amplo, sendo possível associar a fragilidade ambiental de cada bacia ao uso a elas destinado, e, também, ao zoneamento previsto para cada uma delas. Verificou-se que as bacias hidrográficas da porção centro leste são as que apresentam maior fragilidade, mesmo estas apresentando remanescentes florestais significativos. Contudo, de acordo com o zoneamento ambiental da APA, está previsto para estas bacias um uso quase que exclusivamente agropastoril e de silvicultura, o que pode tornar a área, ainda mais suscetível a processos erosivos e movimentos de massa. Já na porção oeste da APA, principalmente nos trechos circundantes à Rodovia Fernão Dias, as áreas de alta fragilidade ocorrem onde a expansão urbana é mais desordenada, e, nas demais áreas desta porção da APA, as mais frágeis são aquelas que concentram cultivos anuais e pastagens degradadas e vias não pavimentadas. Desta forma, os resultados obtidos mostram que, determinadas áreas da APA Fernão Dias devem ser monitoradas

e fiscalizadas a fim de se evitar o uso intensivo agrícola dos sistemas ambientais e a expansão urbana desordenada.

Espera-se que os procedimentos metodológicos aqui apresentados possam contribuir como instrumentos de planejamento ambiental de bacias hidrográficas e municípios situados em outras áreas de proteção ambiental.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABE, K.; FIGUEIREDO, F.M.I.S. Metodologia para processamento de dados Pluviométricos. **In: Simpósio Brasileiro de Hidrologia e Recursos Hídricos**, 5 , 1983, Blumenau, SC. Anais.. Fortaleza, CE: Associação Brasileira de Hidrologia e Recursos Hídricos, 1983.p.399-428.

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.

ANDRIOTTI, J. L. S.. **Fundamentos de Estatística e Geoestatística**. Porto Alegre/RS: Editora Unisinos. 165 p, 2003.

AUGUSTO FILHO, O. Caracterização geológico-geotécnica voltada à estabilização de encostas: uma proposta metodológica. In: **Conferência Brasileira sobre Estabilidade de Encostas**, 1, Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro: ABMS/ABGE/PUCRJ, 1992, v.2, p.721-733.

AUGUSTO FILHO, O. **Cartas de risco de escorregamentos**: uma proposta metodológica e sua aplicação no município de Ilhabela, SP. São Paulo. 162p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Escola Politécnica - Universidade de São Paulo, 1994.

AVERY, T. E.; BERLIM, G. L. **Interpretation of Aerial Photographs**. 4 ed. Minneapolis: Burgess Publishing Company, 1985.

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

BERRY, B.J. - Approaches to regional analysis: a synthesis. **Annals of the Association of American Geographers**, 54:2-11, 1964.

BERTONI, J. , LOMBARDI NETO, F. 1990. **Conservação do Solo**. Ed. Icone. São Paulo.

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

BIGARELLA, J. J., BECKER, R. D., SANTOS, G. F. dos. **Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais vol. 3**. Contribuição de Maria Lúcia de Paula Herrmann... [et al.]. – Florianópolis: Ed. da UFSC, 2007.

BIGARELLA, J. J.; MAZUCHOWSKI, J. Z. **Visão integrada da problemática da erosão**. Curitiba, Associação de Defesa e Educação Ambiental e Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 1985, 329p.

BOLFE, E. ; FERREIRA, M. C.. Biomassa Epígea e Estoque de Carbono de Agroflorestas em Tomé-Açu, PA. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 4, p. 2171-2175, 2009.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Lei no. 9985**, de 18 de Julho de 2000. Instituiu o Sistema Nacional das Unidades de Conservação da Natureza. Brasília, 2000.

BRUNSDEN, D. Mass movement; the research frontier and beyond: a geomorphological approach. **Geomorphology**, v. 7, p. 85-128, 1993.

BURROUGH, P. A.; MCDONELL, R. A.. **Principles of Geographical Information Systems** (Oxford University Press, New York), 1998, 190 pp.

BURROUGH, P.A. - Are GIS data structures too simple minded? **Computers and Geosciences**, 18(4):395-400, 1992.

CALIJURI, M. L.; ALVES, J. E. M.; BAPTISTA, A. C.; SANTIAGO, A. da F.; LOURES, S. S. P. Proposta metodológica para geração da carta de fragilidade ambiental, utilizando lógica fuzzy e combinação linear ponderada. **Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE, p. 3311-3318.

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

CÂMARA, G.S., CARVALHO, E.J. Análise de dados espaciais. Brasília: Embrapa, 2001.

CÂMARA, G.S.; MONTEIRO, A. M.; DRUK, S. CARVALHO, M. S. Análise espacial e geoprocessamento. In: DRUCK, S.; CARVALHO, M.S.; CÂMARA, G.; MONTEIRO, A.V.M. (eds) "Análise Espacial de Dados Geográficos". Brasília, EMBRAPA, 2004 (ISBN: 85-7383-260-6).

CARVALHO, C. S. **Mapeamento de riscos em encostas e margens de rios**, Brasília: Ministério das Cidades; Institutos de Pesquisas Tecnológicas - IPT, 2007.

CHORLEY, R. J. Geomorphology and general systems theory. U. S. Geological Survey, Professional Paper 500-B, 1962 (Tradução em **Notícia Geomorfológica**, 11 (21): 3-22, 1971).

COELHO NETO, A. L. Hidrologia de encosta na interface com a geomorfologia. In: GUERRA, J.T.; CUNHA, S.B. **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1995. p. 93-148.

COELHO, H. M. G. **Modelo para avaliação e apoio ao gerenciamento de resíduos sólidos de indústrias**. Tese (Doutorado) – Programa e Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais, 2011.

COFFEY, W. J. **-Geography: towards a general spatial systems approach**. Methuen, London, 270 p. 1981.

CHORLEY, R.J. and KENNEDY, B. **Physical Geography. A systems approach**. Prentice Hall int. Inc., London, 1971, 370p.

CREPANI, E.; MEDEIROS, J.S.; AZEVEDO, L.G.; DUARTE, V.; HERNANDEZ, P.; FLORENZANO, T. **Curso de Sensoriamento Remoto Aplicado ao Zoneamento Ecológico-Econômico**. São José dos Campos: INPE, 1996.

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

CUNHA, C. M. L.; MENDES, I. A.; SANCHEZ, M. C. A Cartografia do Relevo: Uma Análise Comparativa de Técnicas para a Gestão Ambiental. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, Ano 4, Nº 1, p.01-09, 2003.

ESRI. ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE. **ArcGIS Desktop 10 Help**, 2010.

FERNANDES, N. F.; AMARAL, C. P. Movimentos de massa: uma abordagem geológicogeomorfológica. In: Guerra, A. J. T.; Cunha, S. B. (Ed.) **Geomorfologia e meio ambiente**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996. Cap. 3, p. 123-194.

FERNANDES, N. F.; AMARAL, C. P. Movimentos de Massa: Uma Abordagem Geológico-Geomorfológico. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (org.): **Geomorfologia e Meio Ambiente**. Editora Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, 3ª Ed.,2000, pp. 123-199.

FERNANDES, N. F.; GUIMARÃES, R. F.; Gomes, R. A. T.; VIEIRA, B. C.; MONTGOMERY, D. R.; GREENBERG, H. Condicionantes geomorfológicos dos escorregamentos nas encostas: avaliação de metodologias e aplicação de modelo de previsão de áreas susceptíveis. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 2, n. 1, p. 51-71, 2001.

FERREIRA, J. C. **Mapas mensais de precipitação máxima e erosividade para o Estado de São Paulo de interesse à engenharia**. 1999. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Agrícola, Faculdade de Engenharia Agrícola, Unicamp, Campinas, 1999.

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

FERREIRA, M. C. **Procedimento metodológico para modelagem cartográfica e análise regional de epidemias de dengue em sistema de informação geográfica**. Tese de Livre docência, Unicamp, Campinas, 2003.

FERREIRA, M. F. M.; OLIVEIRA, R. L. de S.; GAROFALO, 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.

FIORI, A. P. Fatores que influem na análise de vertentes e no movimento de massa em encostas. **Boletim Paranaense de Geografia**, n. 43, p. 7-24, 1995.

FIORI, A. P.; CARMIGNANI, L. **Fundamentos de mecânica dos solos e rochas: aplicações na estabilidade de taludes.** Curitiba: Editora da UFPR, 2001. 550 p.

FORMAN, R. T. T.; ALEXANDER, L. E. Roads and their major ecological effects. **Annual Reviews in Ecology & Systematics**, v. 29, p. 207-231, 1998.

FRAISOLI, C. **Valorização do espaço e fragilidade ambiental: o caso da construção do meio ambiente urbano da Bacia do Córrego Santo Antônio, Mogi Mirim.** Dissertação (mestrado) Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Geociências, 2005.

FREIRE, E. S. M. **Movimentos coletivos de solos e rochas e sua moderna sistemática.** Construção, Rio de Janeiro, n. 8, 1965, p. 10-18.

FUKS, S. D. Novos modelos para mapas derivados de informações de solo. In: ASSAD, E. D.; SANO, E. E. **Sistemas de Informações Geográficas: Aplicações na Agricultura.** 2ª ed. EMPRAPA, Brasília, 1998.

GOODCHILD, M. F. Geographic information science and systems for environmental management. In: **Annu. Rev. Environ. Resour**, 2003. 28:493–519.

GREGORY, K.J. **A natureza da Geografia Física.** Rio de Janeiro, Bertrand Brasil, 1992, 367p.

GUERRA, A. J. T. E MARÇAL, M. S. **Geomorfologia ambiental.** Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2006.

GUERRA, A. J. T. Encostas e a questão ambiental. In: CUNHA, S. B.; GUERRA, A. J. T. (orgs.). **A questão ambiental – diferentes abordagens.** 4ª Ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2005. p. 191-218.

GUERRA, A. J. T.; LOPES, P. B. M.; FILHO, R. D. S. Características geográficas e geomorfológicas da Apa petrópolis, RJ. **Revista brasileira de geomorfologia** - ano 8, nº 1, 2007.

GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M. (orgs.). **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações.** 2ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2005.

GUIDICINI, G.; NIEBLE, C. M. 1984. **Estabilidade de Taludes Naturais e de Escavação**. São Paulo: 2a ed. Edgard Blücher,. 194p. **Principles of Geographic Information Systems**. Oxford: Oxford University, 1998.

HAGGET, P.; CHORLEY, R. - **Network analysis in geography**. London, Edward Arnold, 1969, 342 p.

HAIGH, M. J. Geography and general systems theory, philosophical homologies and current practice. **Geoforum**, 16(2): 191-203, 1985.

HOLBEN, B.N. Characteristics of maximum-value composite images from temporal AVHRR data. **International Journal of Remote Sensing**, v. 7, n. 11, p. 1417-1434. 1986.

HUTCHINSON, M.F. (1989) A new procedure for gridding elevation and stream line data with automatic removal of spurious pits. **Journal of Hydrology**, 106: 211-232. JENSON e DOMINIQUE, 1988.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual Técnico de Geomorfologia**. 2ª Ed. Rio de Janeiro, 2009.

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

INPE. **Geoprocessamento para projetos ambientais**. 2a. Edição - Revisada e Ampliada São José dos Campos- SP, 1998.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO – IPT. **Orientações para o combate à erosão no Estado de São Paulo, Bacia do Peixe/Paranapanema**. São Paulo: IPT/DAEE. 6v. (IPT, Relatório 24 739). 1986.

JAKOB A. A. E. A Krigagem como Método de Análise de Dados Demográficos. **In: XIII Encontro da Associação Brasileira de Estudos Populacionais**, Ouro Preto, MG, 4 a 8 de novembro de 2002.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente: Uma Perspectiva em Recursos Terrestres** (Tradução da Segunda Edição). São José dos Campos, Parêntese Editora, 2011, 598 p.

JESUS, N. **Avaliação do modelo digital de elevação aster para análise morfométrica de bacias hidrográficas**. Tese de Doutorado. IG-UNICAMP, Campinas, 2009.

KAWAKUBO, F. S.; MORATO, R. M.; CAMPOS, K. C.; LUCHIARI, A.; ROSS, J. L. S. **Caracterização empírica da fragilidade ambiental utilizando geoprocessamento**. Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005, INPE, p. 2203-2210.

LANDIM, P. M. B. **Análise estatística de dados geológicos**. São Paulo: Editora UNESP, 2003. 2. ed. Rev. E ampl. 253 p.

LEMBO, A. J.; MAGRI, A. **Geostatistics**. Paper apresentado durante a ministração do curso *Spatial Modeling and Analysis – CSS 620*, do Department of Crop and Soil Sciences, Cornell University, Ithaca, NY, 2002.

LIMA, Maria do Socorro Bezerra de. **Movimentos de Massa nos barrancos do Rio Acre e implicações socioeconômicas na área urbana de Rio Branco – Acre**. Dissertação de Mestrado em Geografia. Departamento de Geociências, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1998.

LIU, W. T. H.. **Aplicações de Sensoriamento Remoto**. Campo Grande: UNIDERP, 2007.

MACHADO, C. C. **Planejamento e controle de custos na exploração florestal**. Viçosa: UFV; Imprensa Universitária, 1994.

MANTOVANI, F.; SOETERS, R.; WESTEN, C. J. Remote sensing techniques for landslides studies and hazard zonation in Europe. **Geomorphology**, v. 15, n. 3-4, p. 213-225, Abr. 1996.

MARCELINO, E. V. **Mapeamento de áreas susceptíveis a escorregamentos no município de Caraguatatuba (SP) usando técnicas de sensoriamento remoto** / E. V. Marcelino. – São José dos Campos: 2003. 228p. – (INPE-12146-TDI/970).

MARGULES, C.R. Conservation evaluation in practice. **Wild-life Conservation Evaluation** (ed. M. B. Usher). Chapman and Hall, London, pp. 297-314, 1986.

MATTOS, E. C. A. **Análise espacial da bataticultura e sua interação com agricultura familiar, agrotóxicos e usos do solo em Camanducaia, na área de proteção ambiental da Fernão Dias, em Minas Gerais.** Tese (doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Geociências, 2011.

MCLEONE, P. **Carstairs Scores for Scottish Postcode Sectors from the 2001 Census.** MRC Social & Public Health Sciences Unit, University of Glasgow, Glasgow, 2004.

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

MENDES, C.A.B.; CIRILO, J.A. **Geoprocessamento em recursos hídricos: princípios, integração e aplicação.** Porto Alegre: ABRH, 2001. 536 p.

MESSIAS, C. G. ; FERREIRA, M. F. M. ; RIBEIRO, M. B. P. ; MENEZES, M. D. . Análise empírica de fragilidade ambiental utilizando técnicas de Geoprocessamento: o caso as área de influência da Hidrelétrica do Funil - MG. **Revista GeoNorte**, v. 2, p. 112-125, 2012.

MIARA, M. A.; OKA-FIORI, C. Análise por múltiplos critérios para a definição de níveis de fragilidade ambiental – um estudo de caso: bacia hidrográfica do rio Cará-Cará, Ponta Grossa/PR. **R. RA E GA**, Curitiba, n. 13, p. 85-98, 2007.

MINAS GERAIS (Estado). Decreto nº 38.925, de 17 de julho de 1997. Declaração 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.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação.** Viçosa: Ed. UFV, 2003.

MORETTI, A. I. P. **Mapeamento de corredores ecológicos na APA Fernão Dias – MG a partir de técnicas de geoprocessamento e análise espacial.** Dissertação (Mestrado em Geografia), Campinas: Instituto de Geociências, UNICAMP, 2011.

MORETTI, A. I. P.; FERREIRA, M. C.; MATTOS, E. C. A.; TRENTIN, G. Avaliação de métodos de classificação supervisionada para o mapeamento da cobertura vegetal nativa da Área de Proteção Ambiental Fernão Dias a partir de imagem Landsat. **In: Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, Curitiba, PR, Brasil, 30 de abril a 05 de maio de 2011, INPE p.7279.

MOURA, A. C. M. Reflexões metodológicas como subsídio para estudos ambientais baseados em Análise de Multicritérios. In: **Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE, p. 2899-2906.

MOURA, A. C. M.; MOURA, C. A.; SANTANA, S. A. DE; LANNA, L. DE S.; AZEVEDO, U. C. DE S. G.; LOURENÇO, P. M. B. Geoprocessamento nos diagnósticos e prognósticos de áreas de interesse especial ao na área de influência das linhas de transmissão da CEMIG – estudo de caso da RMBH. In: **Anais XXIV Congresso Brasileiro de Cartografia - Aracaju - SE - Brasil**, 16 a 20 de maio de 2010.

MURATORI, A. M. **Erosão no nordeste do Paraná: uma proposta metodológica de estudo sistemático através do uso de fotografias aéreas.** Dissertação de Mestrado, UFPR, Curitiba, PR, 1983.

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

OCCHIPINTI, A. G.; SANTOS, P.M. **Relações entre as precipitações máximas de “um dia” e de “24 horas” na cidade de São Paulo.** São Paulo, Instituto Astronômico e Geofísico, USP. 1966. 26p.

O'LEARY, D. W.; FRIEDMAN, J. D.; POHN, H. A. Lineament, linear lineation: some proposed new Standards for old terms. **Geological Society of America Bulletin**, Boulder, Colo., v. 87, p. 1463-1469, 1976.

OLIVEIRA, C. F.; SANTOS, R. L. Mapeamento de estatística espacial dos deslizamentos em Salvador. In: V GEO NORDESTE, 2011, **Anais...** Feira de Santana – BA: 2011. cdrom.

PAINHO, M. Participação pública e sistemas de informação geográfica – oportunidades e desafios. In: **Anais II Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Informação**, Recife, PE, Brasil, 8 a 11 de setembro de 2008.

PENTEADO, M. M. **Fundamentos de geomorfologia**. Rio de Janeiro: IBGE, 1974. 158 p.

PEREIRA, M. N. et al. **Cobertura e uso da terra através de Sensoriamento Remoto**. S/I: INPE, 1989. 115 p.

PICKLES, J. (ed.). **Ground truth the social implications of Geographic Information Systems**. New York: The Guilford Press, 1995. 248 p.

PINTO, F. A.; FERREIRA, P.A. PRUSKI, F.F.; ALVES, A. R.; CECON, P.R. Equivalências de Chuvas Intensas para Algumas Localidades do Estado de Minas Gerais. **Rev. Bras. EngenhariaAgrícola**, v.16n.1. p.91-104, 1996.

PONZONI, F.J.; SHIMABUKURO, Y.Ed. **Sensoriamento remoto aplicado ao estudo da vegetação**. 1. ed. São José dos Campos: Parêntese, 2007. 135 p.

Pringle, D.; Cook, S.; Poole, M. e Moore, A. **Cross-Border Deprivation Analysis. A Summary Guide**. Dublin, Oak Tree Press, 2000.

REBOLITA, M. S. **Introdução à Estatística Aplicada à Climatologia: Parte II – Distribuições de Probabilidades**. Em: <http://mirabeli.meteo.furg.br/aulas/Poligrafos/PoligrafoMichelleII.pdf>. Acesso em: 25 janeiro 2012.

RODRIGUES, M. Geoprocessamento: Um Retrato Atual. In: **Revista Fator GIS**, Ano 1, n.º 2, p. 20-23. Curitiba: Sagres, 1993.

RODRIGUES, R.M. **Estudo e caracterização do meio físico da bacia do Rio Camboriú/SC, visando zoneamento geoambiental**. 2000, 73 f. Tese (Doutorado em Geologia Regional).

Orientador: MATTOS, J.T. Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2000.

ROSA, R. **Sistema de Informação Geográfica**. Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia-SP, 2004.

ROSS, J. L. S O registro cartográfico dos fatos geomórficos e a questão da taxonomia do relevo. **Revista do Departamento de Geografia**, n. 6, 1992.

ROSS, J. L. S. Análise Empírica da Fragilidade dos Ambientes Naturais e Antropizados. In: **Revista do Departamento de Geografia n°8, FFLCH-USP**, São Paulo, 1994.

ROSS, J. L. S. **Geomorfologia, ambiente e planejamento**. São Paulo: Contexto, 1990.

ROSS, J. L. S. **Geomorfologia: Ambiente e Planejamento**. Sao Paulo: Contexto, 1990. 85p.

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.

SANTORO, J. Erosão continental. In: TOMINAGA, L. K.; SANTORO, J.; AMARAL, R. do. **Desastres naturais: conhecer para prevenir**. 2. Ed. São Paulo : Instituto Geológico, 2012.

SANTORO, J.. **Fenômenos erosivos acelerados na região de São Pedro – SP. Estudo da fenomenologia com ênfase geotécnica**. Rio Claro – SP (Dissertação de Mestrado). IGCE UNESP- Campus de Rio Claro, 1991.

SANTOS, R. F. DOS. **Planejamento Ambiental: teoria e prática**. 1 ed. Oficina de textos, 184p., 2004.

SEIXAS, B. L. S. **Fundamentos de manejo e da conservação do solo**. Bahia, UFDA. 1985.

SELBY, M. J. **Hillslope materials & processes**. New York: Oxford University Press, 1990.

SILVA, A. B. Sistemas de Informações Geo-referenciadas: conceitos e fundamentos. Campinas, SP: Ed. UNICAMP, 2003.

SILVA, A. M. DA ; SCHULZ, H. E. ; CAMARGO, P. B.. **Erosão e Hidrossedimentologia em Bacias Hidrográficas**. São Carlos: RiMa, 2004 138 p.

Sistema de Informação Geográfico na geografia. In: VITTE, A. C. **Contribuições à história e à epistemologia da geografia**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2006. p.101-125.

SOARES, P. C.; FIORI, A. P. **Lógica e Sistemática na análise interpretação de fotografias aéreas em geologia**. Noticiário Geomorfológica, 1976. P.107–121.

Solos e Rochas, v. 12, n. único, p. 27-36, 1989.

SPÖRL, C. **Análise da Fragilidade Ambiental Relevo-Solo com Aplicação de Três Modelos Alternativos nas Altas Bacias do Rio Jaguari-Mirim, Ribeirão do Quartel e Ribeirão da Prata**. Dissertação de Mestrado. São Paulo: FFLCH – USP, 2001.

STRAHLER, A.N. **Hypsometric analysis of erosional topography**. *Bull. Geol. Soc. Am.*, n. 63, p.111-1141, 1952.

TAVARES, A. C.; ANDRÉ, I. R. N.; AZEVEDO, T. S. **Aplicação da técnica de intensidade kernel na determinação das áreas de risco de enchentes e deslizamentos durante a operação verão de 2001 a 2007: uma ferramenta para o planejamento estratégico da defesa civil**. In: Congresso Brasileiro Sobre Desastres naturais, **Anais...** Rio Claro-SP, 2012.

TAYLOR, P. J. Inferential statistic. In: P. J. Taylor. **Quantitative methods in geography**. Boston, Houghton Mifflin Co., 1977, pp. 102-123.

TAYLOR, P. J. The spacing approach. In: P. J. Taylor. **Quantitative methods in geography**. Boston, Houghton Mifflin Co., 1977, pp. 155-174.

TEMESGEN, B.; MOHAMMED, M. U.; KORME, T. Natural hazard assessment using GIS and remote sensing methods, with particular reference to the landslides in the Wondogenet Area, Ethiopia. **Physics and Chemistry of the Earth, Part C: Solar, Terrestrial & Planetary Science**, v. 26, n. 9, p. 665-675, Set. 2001.

TOMINAGA, L. K. Escorregamentos. In: TOMINAGA, L. K.; SANTORO, J.; AMARAL, R. do. **Desastres naturais: conhecer para prevenir**. São Paulo : Instituto Geológico, 2009.

TRENTIN, G. **A expansão urbano-industrial do município de Americana - SP: geotecnologias aplicadas à análise temporal e simulação de cenários.** Dissertação (Mestrado em Geografia) Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, 2008.

TRENTIN, G. **Dimensão fractal, dinâmica espacial e padrões de fragmentação urbana de cidades médias do estado de São Paulo.** Tese (Doutorado em Geografia) Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Geociências, 2012.

TRICART, J. **Ecodinâmica.** Rio de Janeiro, IBGE/ SUPREN, 1977.

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

TROPPEMAIR, H. **Metodologia Simples para Pesquisar o Meio Ambiente.** Rio Claro, 1988.

VALERIANO, M. M. . **Modelo digital de elevação com dados SRTM disponíveis para a América do Sul.** São José dos Campos, SP: INPE: Coordenação de Ensino, Documentação e Programas Especiais (INPE-10550-RPQ/756). 72p., 2004 (Boletim).

WILKEN, P. S. **Engenharia de drenagem superficial.** São Paulo, SP: CETESB, 1978.

WOLLE, C. M.; CARVALHO, C. S. Escorregamentos em encostas na Serra do Mar – Brasil, 1989.

ZADEH, L. A. Fuzzy sets. **Information and Control**, 8, 338 p., 1965.

ANEXOS

Anexo 1. Diretrizes de uso e ocupação do solo para o Zoneamento Ambiental da APA Fernão Dias-MG. Fonte: Plano de Manejo da APA Fernão Dias, disponível em: <https://sites.google.com/site/apafernaodias/plano-de-gestao/zoneamento-ambiental>, acesso dia 20 de maio de 2013.

A) Zona de Vida Silvestre

DIRETRIZES DE USO DA ZONA DE VIDA SILVESTRE		
INCENTIVOS E USOS PERMITIDOS	USOS RESTRITOS	USOS PROIBIDOS
<ul style="list-style-type: none"> - Incentivo a recuperação de áreas degradadas; - Plantio de espécies nativas para enriquecimento dos fragmentos; - Pesquisa científica; - Incentivo à meliponicultura; - Incentivo a construção de fossas sépticas; - Averbação das reservas legal; - Áreas de propriedade de empresas de reflorestamento devem possuir programas ambientais para conhecimento e proteção de suas áreas; - Incentivo a criação de RPPN ou outras unidades de conservação públicas. 	<ul style="list-style-type: none"> - Turismo rural, científico e ecológico, desde que seja estabelecido ordenamento junto as secretarias municipais, estaduais e circuitos turísticos e que não comprometam os recursos naturais; - Esportes radicais não motorizados desde que com liberação pelos órgãos responsáveis por tal licenciamento e que se tenha controle e fiscalização do fluxo de pessoas e das agências envolvidas; - Culturas anuais já estabelecidas, desde que com o manejo adequado do solo e utilização permitida de água (outorga e uso insignificante); - Pecuária, silvicultura e a truticultura já existentes desde que desenvolvendo ações em busca da sustentabilidade; - Soltura de animais silvestres, desde que acompanhada pelo órgão responsável e seguindo critérios estabelecidos pelo mesmo; - Construções de melhoria 	<ul style="list-style-type: none"> - Ampliação de atividades agrosilviculturais; - Supressão da vegetação nativa; - Uso de agrotóxicos; - Abertura de novas estradas que comprometam o estado atual de conservação; - Atividade minerária (CONAMA 10/88 Art.5º § 6º); - Pousadas, hotéis e outros empreendimentos que afetem o ecossistema da zona; - Atividade de apicultura (espécies exóticas de abelhas); - Parcelamento de unidades territoriais para o uso do solo < 2 ha (segundo o INCRA-Minas Gerais esse é o lote mínimo para os oito municípios da APA); - Turismo de aventura motorizados; - Turismo utilizando montaria; - Caça e pesca (art.33 do SNUC); - Criação ou soltura de peixes exóticos, incluindo a

DIRETRIZES DE USO DA ZONA DE VIDA SILVESTRE		
INCENTIVOS E USOS PERMITIDOS	USOS RESTRITOS	USOS PROIBIDOS
	<p>nas propriedades existentes que envolvam modificações nas condições atuais de conservação da área, desde que aprovadas pelo órgão gestor da APA e sujeitas a normas rígidas de licenciamento ambiental;</p> <ul style="list-style-type: none"> - Coleta de pinhão no período proposto pela portaria normativa DC nº 20; - Atividades, projetos e planos não elencados como permitidos ou proibidos, ou que já estejam efetivamente implantados antes da vigência do Plano de Gestão, desde que observados os trâmites do processo de licenciamento ambiental. 	<p>truta, nos córregos da região;</p> <ul style="list-style-type: none"> - Expansão urbana; - Atividade de criação de ovinos, eqüinos, gado entre outros animais domésticos soltos, facilitando a entrada na zona; - Uso do fogo (Lei 4.771 de 15/09/1965 - Art. 26 e Lei 9.605 de 12/02/1998 Art. 41); - Novas instalações de serraria e carvoarias; - Abertura de novas áreas para pecuária, agricultura e silvicultura, a truticultura; - Implantação de aterros sanitários, controlados ou lixões (CONAMA nº308/2002, Lei Estadual 11.720/1994 e Lei Estadual 12.040/1995, Deliberação Normativa COPAM 52/2001); - Atividade industrial de qualquer natureza.

B) Zona de Conservação com Concentração de Atividades Agropastoris

DIRETRIZES DE USO DA ZONA DE CONSERVAÇÃO COM CONCENTRAÇÃO DE ATIVIDADES AGROPASTORIS		
INCENTIVOS E USOS PERMITIDOS	USOS RESTRITOS	USOS PROIBIDOS
<ul style="list-style-type: none"> - Incentivo à criação de RPPNs nos remanescentes de vegetação nativa; - Formação de corredores de mata nativa entre as áreas de reflorestamento e agricultura; - Plantio de espécies 	<ul style="list-style-type: none"> - Pavimentação de estradas (sujeito ao licenciamento ambiental ou a normas que minimizem os impactos sobre os recursos naturais, especialmente os recursos hídricos); - Soltura de animais silvestres, desde que com 	<ul style="list-style-type: none"> - Uso do Fogo (Lei 4.771 de 15/09/1965 - Art. 26 e Lei 9.605 de 12/02/1998 Art. 41); - Uso de pastagem sobre áreas de supressão de nativas; - Supressão de fragmentos de nativas; - Ocupação das faixas

DIRETRIZES DE USO DA ZONA DE CONSERVAÇÃO COM CONCENTRAÇÃO DE ATIVIDADES AGROPASTORIS		
INCENTIVOS E USOS PERMITIDOS	USOS RESTRITOS	USOS PROIBIDOS
<p>nativas para recuperação de APP;</p> <ul style="list-style-type: none"> – Incentivo à: pesquisa científica, meliponicultura e culturas anuais; – Incentivo ao consórcio entre culturas anuais e floresta plantada; – Expansão de áreas de silvicultura (sujeitas ao licenciamento ambiental), com utilização de bases ecológicas, condicionadas a manutenção ou recomposição de, pelo menos 20% do total da área conforme legislação prevista; – Plantio de espécies nativas nos pastos para sombreamento; – Manejo sustentável da criação de gado de corte e leiteiro e da agricultura proporcionando baixo consumo de recursos ambientais e promovendo o desenvolvimento de tecnologias que associem alta produtividade e redução de impactos ambientais; – Incentivo a culturas orgânicas a exemplo dos Orgânicos da Mantiqueira; – Turismo rural ordenado e normatizado; – Pousadas e outros empreendimentos que permitam o desenvolvimento do ecoturismo e turismo 	<p>permissão do órgão responsável e manejo adequado;</p> <ul style="list-style-type: none"> – Atividades industriais de acordo com a DN COPAM nº 74/2004, sujeito ao licenciamento ambiental e consentimento da entidade administradora da APA e seu Conselho Consultivo; – Uso de agrotóxicos (Lei Estadual 9.121 de 30/12/1985 [1], portaria 36/Bsb da secretaria da saúde); – Atividade de mineração (sujeito ao licenciamento ambiental); – Coleta de pinhão no período proposto pela portaria normativa DC nº 20; – Esportes motorizados; – Expansão urbana desde que devidamente contemplada em Plano Diretor Municipal; – Monocultura intensiva (sujeito ao licenciamento ambiental); – Suinocultura (sujeito ao licenciamento ambiental); – Lavouras temporárias nas zonas de cabeceiras dos cursos d'água; – Loteamentos já existentes destinados a chácaras de lazer e outras finalidades urbanas, condicionados à implantação de infraestrutura de coleta e tratamento adequado de efluentes sanitários; – Utilização de áreas para disposição e tratamento de 	<p>limítrofes aos cursos d'água, lagoas e nascentes conforme normalização do Código Florestal e Lei Florestal de Minas Gerais nº10.561 de 27/12/91;</p> <ul style="list-style-type: none"> – Propriedades rurais sem reserva legal averbada em cartório; – Entrada de animais domésticos nas áreas de vegetação nativa; – Parcelamento do uso do solo < 2 ha (módulo mínimo indicado pelo INCRA de Minas Gerais para os oito municípios da APA); – Parcelamento do solo destinado a loteamentos com finalidades urbanas; – Implantação e operação de indústrias de alto e médio potencial poluidor (DN74/2004); – Soltura de peixes exóticos, incluindo a truta, nos córregos da região; – Utilização dos rios e de suas margens para lavagem de carros e maquinários; – Crescimento urbano sem controle e planejamento a exemplo do que vem ocorrendo com os bairros São Sebastião, Serrinha e Córrego da Foíce em Gonçalves; – Chacreamentos não devem ser permitidos até que se tenha definição, por meio dos planos diretores a serem

DIRETRIZES DE USO DA ZONA DE CONSERVAÇÃO COM CONCENTRAÇÃO DE ATIVIDADES AGROPASTORIS		
INCENTIVOS E USOS PERMITIDOS	USOS RESTRITOS	USOS PROIBIDOS
<p>rural;</p> <ul style="list-style-type: none"> - Construção de fossas sépticas; - Criatórios para aquicultura desde que seguindo o proposto pela Lei nº12.265 de 24/07/1996 e Decreto Estadual 38.744 de 09/04/1997 e pela DN74/2004; - Inserção de aterros sanitários desde que com o devido licenciamento e estudos de impactos (Deliberação Normativa Copam 75/2004, CONAMA nº308/2002, Lei Estadual 11.720/1994 e Lei Estadual 12.040/1995, Deliberação Normativa COPAM 52/2001). Adotar os moldes Centro Mineiro de Referência em Resíduos - CMRR do programa Minas sem lixões; - Utilização dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos, de acordo com as normas de licenciamento vigente (DN do COPAM nº74/2004); - Atividades de piscicultura desde que tomadas as devidas precauções e que estejam em consonância aos processos de licenciamento vigentes no Estado (DN 74/2004); - Articulação entre o mercado imobiliário, as 	<p>efluentes sanitários, resíduos sólidos domésticos ou industriais, sob condições que impliquem risco de poluição do solo e das águas superficiais e subterrâneas;</p> <ul style="list-style-type: none"> - Agroindústrias de pequeno porte e de baixo potencial poluidor, complementar às atividades agropecuárias da região; - Loteamentos rurais, desde que aprovados pelo INCRA, pela entidade administradora (CONAMA 10/88 art.9) e contemplados no plano diretor municipal. - Atividades, projetos e planos não elencados como permitidos ou proibidos, ou que já estejam efetivamente implantados antes da vigência do Plano de Gestão, desde que observados os trâmites do processo de licenciamento ambiental. 	<p>elaborados ou já instituídos, das áreas destinadas a esse tipo de parcelamento do solo.</p>

DIRETRIZES DE USO DA ZONA DE CONSERVAÇÃO COM CONCENTRAÇÃO DE ATIVIDADES AGROPASTORIS		
INCENTIVOS E USOS PERMITIDOS	USOS RESTRITOS	USOS PROIBIDOS
<p>agências de turismo em Monte Verde e Gonçalves e demais municípios da APA, buscando a integração de suas atividades e a conservação dos ambientes da APA;</p> <ul style="list-style-type: none"> – Apresentar as imobiliárias da região as implicações envolvendo a compra da terra na APA, referente as restrições ambientais em termos de APP e reserva legal; – Regularização das Outorgas e usos insignificantes através de uma força tarefa do IGAM para regularização dos usos d'água. 		

C) Zona de Conservação com Concentração de Atividades Silviculturais

DIRETRIZES DE USO DA ZONA DE CONSERVAÇÃO COM CONCENTRAÇÃO DE ATIVIDADES SILVICULTURAS		
INCENTIVOS E USOS PERMITIDOS	USOS RESTRITOS	USOS PROIBIDOS
<ul style="list-style-type: none"> – Incentivo à criação de RPPNs; – Incentivo a implantação de atividades silviculturais com espécies nativas; – Formação de corredores de mata nativa entre as áreas de reflorestamento; 	<ul style="list-style-type: none"> – Apicultura restrita a área de cultivo, desde que as caixas estejam dentro dos plantios ou pastos; – Expansão das áreas de silvicultura apenas mediante licenciamento; – Atividades industriais (sujeitas ao licenciamento ambiental) e que não 	<ul style="list-style-type: none"> – Uso alternativo do solo para a implantação de novas pastagens; – Uso do Fogo (Lei 4.771 de 15/09/1965 - Art. 26 e Lei 9.605 de 12/02/1998 Art. 41); – Supressão de fragmentos de vegetação nativa, primária e secundária

DIRETRIZES DE USO DA ZONA DE CONSERVAÇÃO COM CONCENTRAÇÃO DE ATIVIDADES SILVICULTURAIS

INCENTIVOS E USOS PERMITIDOS	USOS RESTRITOS	USOS PROIBIDOS
<ul style="list-style-type: none"> - Incentivo à pesquisa científica; - Culturas anuais; - Meliponicultura; - Consórcio entre culturas anuais e floresta plantada; - Incentivo a construção de fossas sépticas; - Implantação de programas ambientais de empresas do setor florestal na região de inserção dos plantios; - Articulação entre o mercado imobiliário, as agências de turismo em Monte Verde e Gonçalves e demais municípios da APA, buscando a integração de suas atividades e a conservação dos ambientes da APA; - Inserir as imobiliárias da região na conservação ambiental, apresentando as implicações envolvendo a compra da terra na APA, referente as restrições ambientais (APP e reserva legal); - Regularização das Outorgas e usos insignificantes através de uma força tarefa do IGAM para regularização dos usos d'água; - Criatórios para aquicultura desde que 	<p>comprometam a integridade do ambiente, de acordo com a DN COPAM nº 74/2004;</p> <ul style="list-style-type: none"> - Esportes motorizados, desde com licença dos órgãos pertinentes e do órgão gestor da APA. Como é realizado em áreas particulares, deve-se solicitar e obter as devidas autorizações; - Pavimentação de estradas (sujeito ao licenciamento ambiental ou a normas que minimizem os impactos sobre os recursos naturais, especialmente os recursos hídricos); - Soltura de animais silvestres, desde que com permissão do órgão responsável e manejo adequado; - Uso de agrotóxicos (Lei 9.121 de 30/12/1985, portaria 36/Bsb da secretaria da saúde); - Lavouras temporárias nas zonas de cabeceiras dos cursos d'água; - Loteamentos já existentes destinados a chácaras de lazer e outras finalidades urbanas, condicionados à implantação de infraestrutura de coleta e tratamento adequado de efluentes sanitários; - Utilização de áreas para disposição e tratamento de efluentes sanitários, resíduos sólidos domésticos ou industriais, sob condições que impliquem risco de poluição 	<p>em estágio médio e avançado de regeneração, ressalvados os casos permitidos pela Lei 11.428/06;</p> <ul style="list-style-type: none"> - Expansão urbana; - Parcelamento do uso do solo <2 ha (segundo INCRA Minas Gerais, esse é o módulo mínimo para os oito municípios da região). - Entrada de animais domésticos na vegetação nativa; - Novas áreas de disposição de lixo; - Soltura de peixes exóticos, incluindo a truta, nos córregos da região; - Crescimento urbano sem controle e planejamento a exemplo do que vem ocorrendo com os bairros São Sebastião, Serrinha e Córrego da Foice em Gonçalves.

DIRETRIZES DE USO DA ZONA DE CONSERVAÇÃO COM CONCENTRAÇÃO DE ATIVIDADES SILVICULTURAIS		
INCENTIVOS E USOS PERMITIDOS	USOS RESTRITOS	USOS PROIBIDOS
<p>segundo o proposto pela Lei nº12.265 de 24/07/1996 e Decreto Estadual 38.744 de 09/04/1997 e pela DN74/2004;</p> <ul style="list-style-type: none"> – Incentivar a regularização ambiental das propriedades. 	<p>do solo e das águas superficiais e subterrâneas;</p> <ul style="list-style-type: none"> – Agroindústrias de pequeno porte e de baixo potencial poluidor, complementares às atividades agropecuárias da região; – Loteamentos rurais, desde que aprovados pelo INCRA e constantes no plano diretor municipal (CONAMA 10/88 art.9); - Atividades, projetos e planos não elencados como permitidos ou proibidos, ou que já estejam efetivamente implantados antes da vigência do Plano de Gestão, desde que observados os trâmites do processo de licenciamento ambiental. 	

D) Zona Urbana

DIRETRIZES DE USO DA ZONA URBANA		
USOS RESTRITOS	INCENTIVOS E USOS PERMITIDOS	USOS PROIBIDOS
<ul style="list-style-type: none"> – Utilização de áreas para disposição e tratamento de efluentes sanitários, resíduos sólidos domésticos ou industriais; – Indústrias já existentes sendo que na renovação das licenças ambientais, deverão ser observadas, com maior rigor, a forma de controle e disposição de efluentes e resíduos; 	<ul style="list-style-type: none"> – Infraestruturas destinadas as atividades de turismo de grande porte como hotéis e outros equipamentos; – Imantação de infraestrutura de saneamento básico; – Implantação de projetos de urbanização desde que com autorização da entidade administradora (resolução CONAMA 10/88); – Parques urbanos, dotados de 	<ul style="list-style-type: none"> – Disposição de efluentes ou de resíduos industriais, resíduos de agrotóxicos ou de fertilizantes e outros resíduos perigosos sem os devidos tratamentos; – Expansão do perímetro urbano sobre áreas de alta vulnerabilidade; – Manutenção ou ampliação dos atuais padrões de lançamento de efluentes

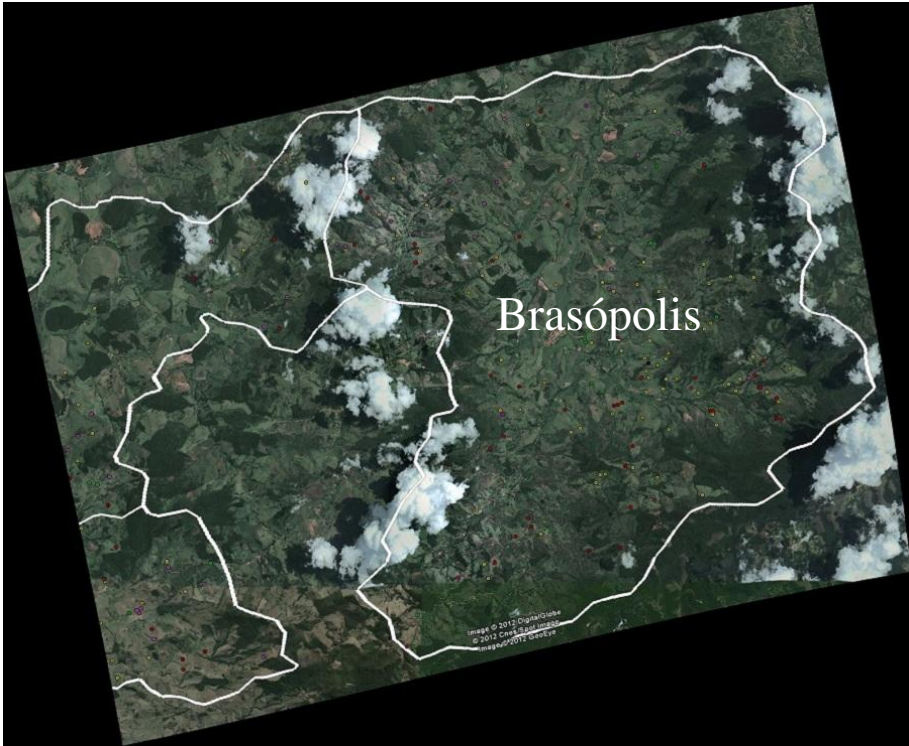
DIRETRIZES DE USO DA ZONA URBANA		
USOS RESTRITOS	INCENTIVOS E USOS PERMITIDOS	USOS PROIBIDOS
<p>- Atividades, projetos e planos não elencados como permitidos ou proibidos, ou que já estejam efetivamente implantados antes da vigência do Plano de Gestão, desde que observados os trâmites do processo de licenciamento ambiental.</p>	<p>infraestrutura para esportes, lazer, centros de convenções e exposições;</p> <ul style="list-style-type: none"> - Parques lineares, aproveitando as áreas de proteção ao longo dos rios para o lazer e trabalhos de educação ambiental; - Coleta seletiva de lixo; - Assentamentos urbanos, residencial, comercial e de serviços, observadas as condições elencadas nos planos diretor referente a arruamentos, obras de drenagem e controle de erosão, etc; - Loteamentos e conjuntos habitacionais; - Articulação entre o mercado imobiliário, as agências de turismo em Monte Verde e Gonçalves e demais municípios da APA, buscando a integração de suas atividades e a conservação dos ambientes da APA; - Apresentar as imobiliárias da região as implicações envolvendo a compra da terra na APA, referente as restrições ambientais em termos de APP e reserva legal; - Regularização das Outorgas e usos insignificantes através de uma força tarefa do IGAM para regularização dos usos d'água; - Atividades industriais que possuam porte pequeno a médio e potencial poluidor/degradador pequeno (de acordo com a Deliberação Normativa 74/2004 do COPAM). 	<p>domésticos sem tratamento nos córregos da região de acordo com os prazos estabelecidos pela Deliberação Normativa COPAM Nº128/2008 e Deliberação Normativa COPAM 96/2006;</p> <ul style="list-style-type: none"> - Crescimento urbano sem controle e planejamento a exemplo do que vem ocorrendo com os bairros São Sebastião, Serrinha e Córrego da Foice em Gonçalves.

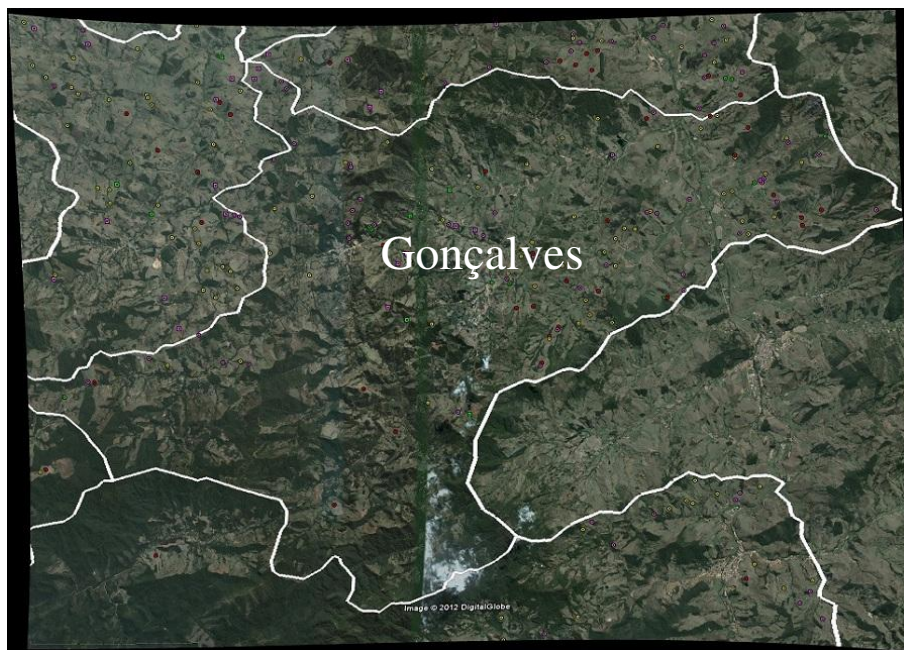
E) Zona de Desenvolvimento Industrial

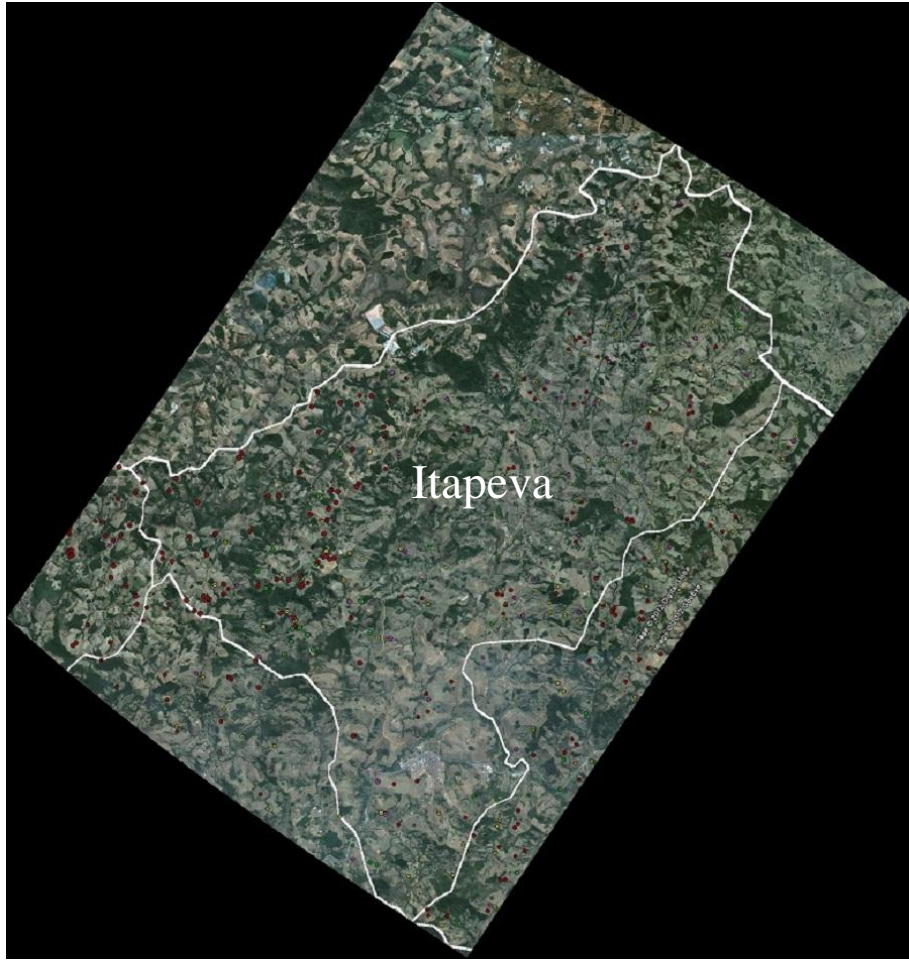
DIRETRIZES DE USO DA ZONA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL		
INCENTIVOS E USOS PERMITIDOS	USOS RESTRITOS	USOS PROIBIDOS
<ul style="list-style-type: none"> – Incentivar a concepção de um plano industrial estratégico dos municípios inseridos na APA, visando o planejamento das atividades industriais municipais; – Incentivar a alocação de indústrias nessa zona; – Inserção de aterros sanitários desde que com o devido licenciamento e estudos de impactos (Deliberação Normativa Copam 75/2004, CONAMA nº308/2002, Lei Estadual 11.720/1994 e Lei Estadual 12.040/1995, Deliberação Normativa COPAM 52/2001). Adotar os moldes Centro Mineiro de Referência em Resíduos - CMRR do programa Minas sem lixões; – Incentivar atividades industriais de baixo e médio potencial de poluição ou impacto social; – Estações de tratamento de água e esgoto (sujeito ao licenciamento ambiental); – Pavimentação de vias (sujeitas ao licenciamento ambiental) e de forma a não comprometer os recursos naturais; – Desenvolver serviços e infraestrutura para dinamizar o potencial ecoturístico dos municípios envolvidos, além de atividades relacionadas ao marketing na Unidade de Conservação; – Assentamentos urbanos, residencial, comercial e de 	<ul style="list-style-type: none"> – Vilas operárias; – Utilização da água condicionada a outorga ou uso insignificante dada pelos órgãos competentes; – Emissão e tratamento de efluentes líquidos e atmosféricos (sujeitos ao licenciamento ambiental); – Deposição de resíduos sólidos sujeito ao licenciamento ambiental (Resolução CONAMA nº 308 de 21/03/2002); – Assentamentos urbanos já instalados sendo dotados de sistemas de coleta, disposição e tratamento de efluentes sanitários; - Atividades, projetos e planos não elencados como permitidos ou proibidos, ou que já estejam efetivamente implantados antes da vigência do Plano de Gestão, desde que observados os trâmites do processo de licenciamento ambiental. 	<ul style="list-style-type: none"> – Supressão de fragmentos de vegetação nativa primária e secundária em estágio médio e avançado de regeneração, ressalvados os casos permitidos pela Lei 11.428/06; – Disposição de efluentes ou de resíduos urbanos ou industriais, resíduos de agrotóxicos ou de fertilizantes e outros resíduos perigosos, sem manejo adequado; – Utilização dos rios e de suas margens para lavagem de carros e maquinário.

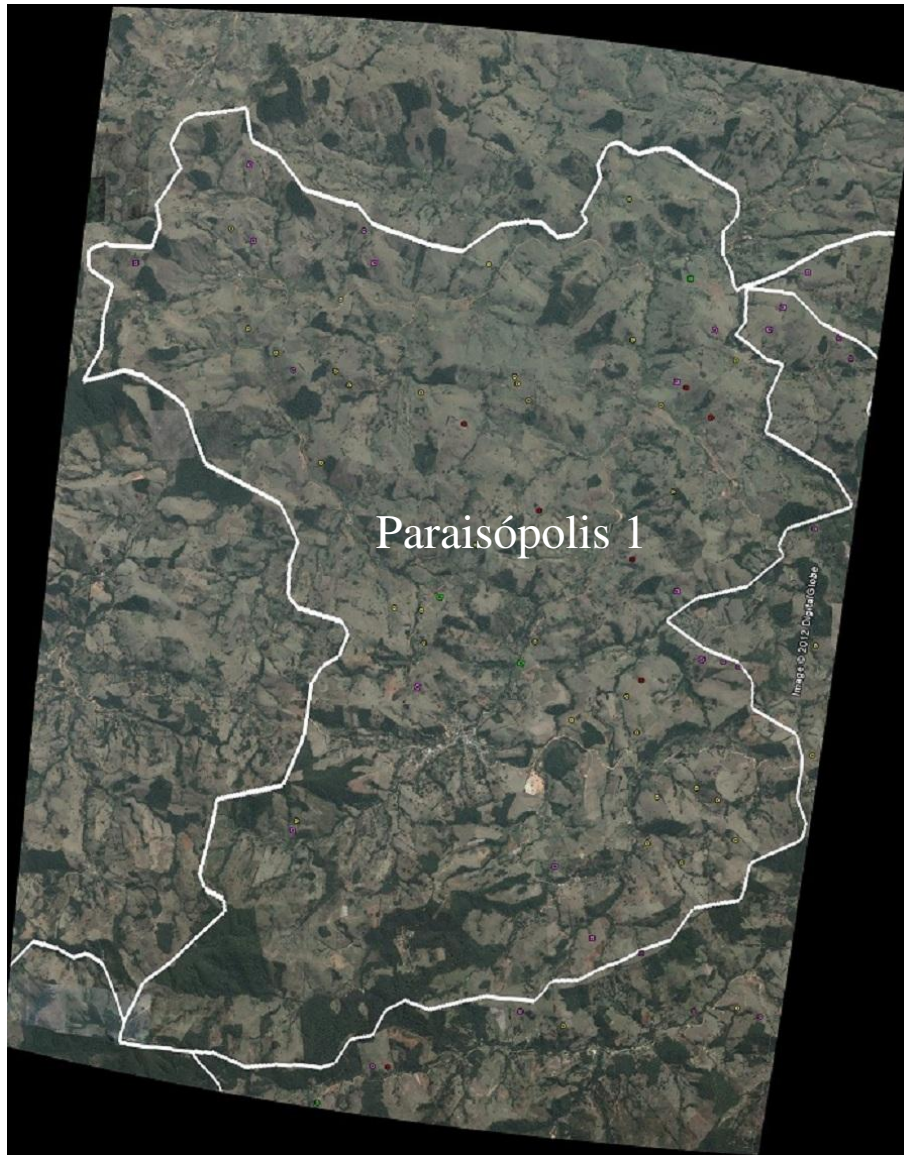
DIRETRIZES DE USO DA ZONA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL		
INCENTIVOS E USOS PERMITIDOS	USOS RESTRITOS	USOS PROIBIDOS
<p>serviços (com médio a baixo índice de ocupação), observadas as condições de implantação de arruamentos, obras de drenagem e controle de erosão;</p> <ul style="list-style-type: none"> – Articulação entre o mercado imobiliário, as agências de turismo em Monte Verde e Gonçalves e demais municípios da APA, buscando a integração de suas atividades e a conservação dos ambientes da APA; – Regularização das Outorgas e usos insignificantes através de uma força tarefa do IGAM para regularização dos usos d'água. – Indústrias que possuem pequeno a médio potencial poluidor/degradador, de acordo com a Resolução 74/2004 do COPAM, regularmente licenciadas e observadas as exigências relativas ao controle ambiental da atividade. 		

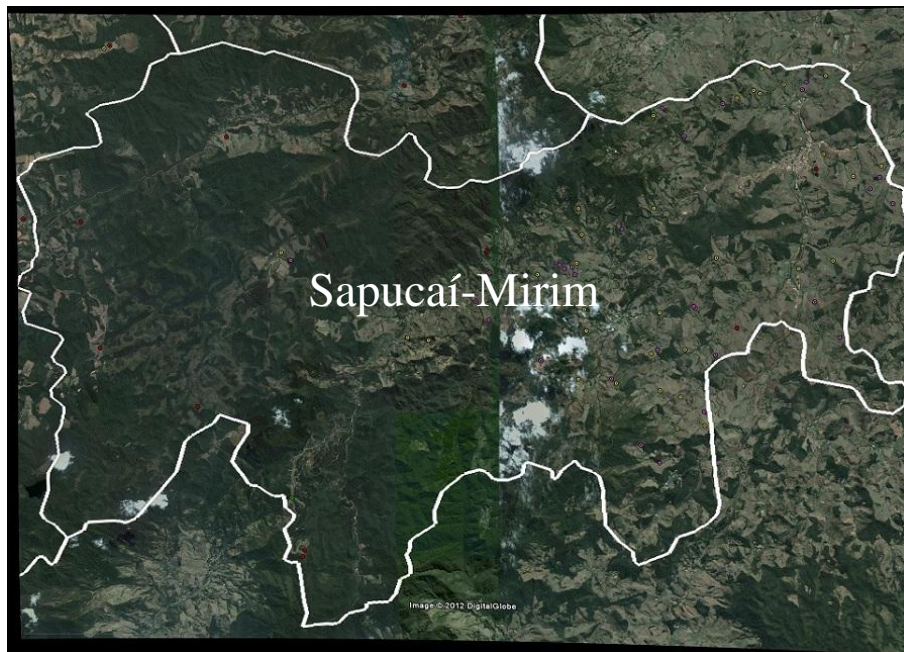
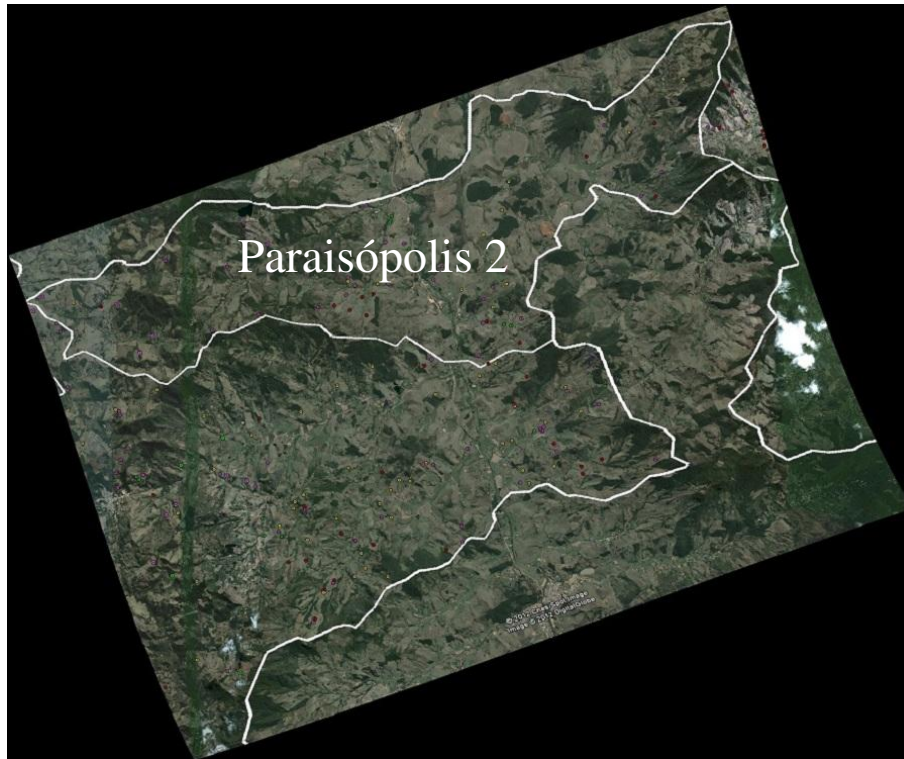
Anexo 2. Imagens do banco de imagens do Google Earth Georreferenciadas (Brasópolis, Camanducaia, Extrema, Gonçalves, Itapeva, Paraisópolis1, Paraisópolis2, Sapucaí-Mirim, e Toledo, respectivamente).

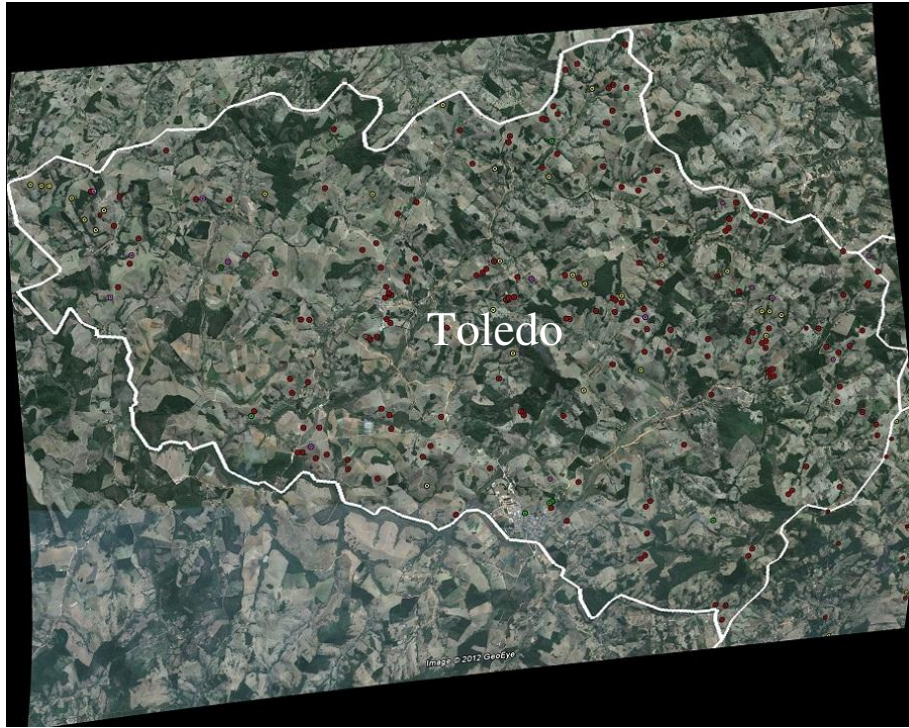












Anexo 3. Tabela de valores críticos para a estatística do teste de Komolgorov-Smirnov (D_n)

n	Nível de Significância α			
	0,2	0,1	0,05	0,01
5	0,45	0,51	0,56	0,67
10	0,32	0,37	0,41	0,49
15	0,27	0,30	0,34	0,40
20	0,23	0,26	0,29	0,36
25	0,21	0,24	0,27	0,32
30	0,19	0,22	0,24	0,29
35	0,18	0,20	0,23	0,27
40	0,17	0,19	0,21	0,25
45	0,16	0,18	0,20	0,24
50	0,15	0,17	0,19	0,23
Valores maiores	$\frac{1,07}{\sqrt{n}}$	$\frac{1,22}{\sqrt{n}}$	$\frac{1,36}{\sqrt{n}}$	$\frac{1,63}{\sqrt{n}}$

Fonte: TAYLOR, 1977.