



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

**PROGRAMA DE  
PÓS-GRADUAÇÃO  
EM  
GEOGRAFIA**

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM ORGANIZAÇÃO DO ESPAÇO

LIMITAÇÃO FÍSICA EM ÁREA RURAL DEGRADADA: BUSCA  
METODOLÓGICA PARA DEFINIR O USO ADEQUADOS  
DAS TERRAS

**FELIPE AUGUSTO SCUDELLER ZANATTA**

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS E CIÊNCIAS EXATAS

RIO CLARO  
2018

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

“Júlio de Mesquita Filho”

Instituto de Geociências e Ciências Exatas

Câmpus de Rio Claro

FELIPE AUGUSTO SCUDELLER ZANATTA

**LIMITAÇÃO FÍSICA EM ÁREA RURAL DEGRADADA:  
BUSCA METODOLÓGICA PARA DEFINIR O USO  
ADEQUADO DAS TERRAS**

Tese de Doutorado apresentada ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas do Câmpus de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Geografia.

Orientador: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Cenira Maria Lupinacci

Co-orientador: Prof. Dr. Marcos Norberto Boin

Rio Claro (SP)

2018

Z271 Zanatta, Felipe Augusto Scudeller  
Limitação física em área rural degradada: busca metodológica para definir o uso adequado das terras / Felipe Augusto Scudeller Zanatta. -- Rio Claro, 2018  
168p.: il., tabs., mapas

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro  
Orientadora: Cenira Maria Lupinacci  
Coorientado: Marcos Norberto Boin

1. dinâmica erosiva. 2. processos erosivos lineares. 3. uso adequado da terra. I. Título

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca do Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada

FELIPE AUGUSTO SCUDELLER ZANATTA

**LIMITAÇÃO FÍSICA EM ÁREA RURAL DEGRADADA:  
BUSCA METODOLÓGICA PARA DEFINIR O USO  
ADEQUADO DAS TERRAS**

Tese de Doutorado apresentada ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas do Câmpus de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Geografia.

Comissão Examinadora

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Cenira Maria Lupinacci – Orientadora

Instituto de Geociências e Ciências Exatas / UNESP/ Rio Claro (SP)

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Regina Célia de Oliveira

IG/UNICAMP/Campinas(SP)

Prof. Dr. João Osvaldo Rodrigues Nunes

FCT/UNESP/Presidente Prudente (SP)

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Andreia Medinilha Panher

IGCE/UNESP/Rio Claro (SP)

Prof. Dr. Fabiano Tomazini da Conceição

IGCE/UNESP/Rio Claro (SP)

**Conceito:** Aprovado em 05 de Novembro de 2018

Rio Claro – SP

2018

## AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo financiamento, sob o processo nº 2015/00875-2, o qual proporcionou na tranquilidade necessária para o desenvolvimento desta tese.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

À Cenira Maria Lupinacci, orientadora, e Marcos Norberto Boin, co-orientador, por toda dedicação a este trabalho, à minha formação e ao exemplo de profissionalismo que levo para a vida.

À comissão examinadora de qualificação, Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Regina Célia de Oliveira e Prof. Dr. Fabiano Tomazini da Conceição, pelos apontamentos e direcionamentos que contribuíram para o desenvolvimento da pesquisa em um momento difícil.

À comissão examinadora da defesa pelos apontamentos que contribuíram na melhoria do texto, da análise e do resultado final.

Aos funcionários da biblioteca da UNESP Rio Claro e da seção técnica de pós-graduação.

À todas professoras e todos professores do curso de graduação em Geografia da Faculdade de Ciências e Tecnologia, UNESP, campus de Presidente Prudente e do Programa de Pós-Graduação em Geografia do Instituto de Geociências e Ciências Exatas da UNESP, campus de Rio Claro, pelas contribuições na minha formação.

Ao professor Doutor Antonio Cezar Leal, orientador na graduação, a quem me abriu a possibilidade da pesquisa em geografia, contribuindo significativamente na minha formação enquanto geografo e pesquisador.

Aos meus familiares, em especial minha mãe, Silvia Cristina Marconi Scudeller Zanatta, e meu pai, Nelson Antonio Zanatta.

Aos companheiros de LAGEO e agregados que, durante os anos de meu doutoramento, se esforçaram na construção de um grupo de pesquisa, de ajuda mútua no a todas as pesquisas desenvolvidas no laboratório.

À Luís Inácio Lula da Silva, Fernando Haddad e Dilma Rousseff pelos investimentos na educação durante seus governos, sendo um diferencial para professores e pesquisadores ao longo de toda história brasileira.

## RESUMO

O objetivo desta pesquisa foi a elaboração de uma proposta metodológica para definir o uso adequado das terras em ambientes rurais degradados, definindo-se como objeto de estudo sub-bacias do ribeirão Areia Dourada, localizadas em Marabá Paulista (SP), onde são encontradas centenas de formas erosivas em sulcos, ravinas e voçorocas. Para atingir o objetivo, aplicaram-se três distintas metodologias: cartografia geomorfológica retrospectiva; alguns princípios da geoecologia da paisagem e do sistema de capacidade de uso. Entende-se que essas metodologias apresentam aspectos complementares que auxiliam na avaliação de cenários rurais e degradados, no entendimento da dinâmica erosiva sob interferência antrópica, bem como nas possibilidades de uso desses ambientes. A partir da aplicação e análise das três metodologias, estruturaram-se duas propostas metodológicas: ideal e viável. Na primeira, trabalhosa e especializada, foram agrupados os elementos mais representativos: os compartimentos de relevo; a energia do relevo; a textura, permeabilidade e profundidade dos solos; o substrato rochoso; as Áreas de Preservação Permanente; as áreas de terraço e planície fluvial; as formas erosivas em ravina e voçoroca; e a bacia de captação direcionada à voçoroca. Para simplificar os procedimentos e elaborar uma proposta mais acessível na aplicação em outras áreas, estruturou-se a metodologia viável, tendo como base o levantamento realizado na proposta ideal, no entanto reduzindo o universo de variáveis, considerando-se: declividade; textura e profundidade dos solos; Áreas de Preservação Permanente; formas erosivas em ravinas e voçorocas; e bacia de captação direcionada à voçoroca. Esse menor número de variáveis proporcionou uma distribuição espacial das classes de uso adequado da terra com maior continuidade espacial nos usos sugeridos, demonstrando-se mais significativo para o uso prático, considerando-se o universo estudado e as práticas agrícolas estabelecidas; diferentemente da proposta ideal, em que se fragmentou em demasia a área estudada entre as classes de uso adequado. Destaca-se ainda, que a presente pesquisa preenche uma lacuna nos estudos que visam levantamento do uso adequado das terras, ao partir da problemática erosiva, permitindo-se identificar diversos aspectos, como o efeito de borda em áreas de voçorocamento, as variáveis do meio físico de maior predisposição à formação e desenvolvimento de processos erosivos lineares e as possibilidades de uso de cenários rurais e degradados.

**Palavras-chave:** dinâmica erosiva; processos erosivos lineares; uso adequado da terra.

## ABSTRACT

The objective of this research was the elaboration of a methodological proposal to define the appropriate use of land in rural environments degraded by erosive processes. When considering the problem, an area representative of rural and degraded scenarios were searched for, in order to define as object of study the sub-basins of the Areia Dourada stream, located in Marabá Paulista (SP), where hundreds of erosive forms in furrow, ravines and gullies. To reach the goal outlined, three different methodologies were applied to the selected area: retrospective geomorphological cartography; geoecology of the landscape and the system of use capacity. It is understood that these methodologies presented complementary aspects that help in the evaluation of rural and degraded scenarios, in the understanding of the erosive dynamics under anthropic interference, as well as in the possibilities of using these environments. From the application and analysis of the three mentioned methodologies, two methodological proposals were structured: ideal and simplified. In the first, laborious and specialized, the most representative elements were grouped: relief forms; the relief energy; the texture, permeability and depth of soils; the rocky substrate; the Permanent Preservation Areas; the terrace and fluvial plain areas; erosive forms; and the catchment basin directed to the gully. In order to elaborate a proposal of easier application in other areas, the simplified methodology was structured, based on the survey carried out in the ideal proposal, however reducing the universe of variables to declivity, texture and depth of soils, Permanent Preservation Areas, erosive forms and catchment basin directed to the gully. The lower number of variables in the simplified proposal provided a spatial distribution of the classes of land use with greater spatial continuity in the suggested uses, which was shown to be more significant for practical use, considering the studied universe and established agricultural practices, unlike an ideal proposal, in which the studied area between the classes of adequate use. It should be noted that the present study fills a gap in the studies that aim to survey the proper use of land, starting from the erosive problem, and identifies several aspects that should be considered for this, such as the edge effect in areas of gullies, the variables of the physical environment with greater predisposition to the formation and development of linear erosive processes and the possibilities of using rural and degraded scenarios.

**Keywords:** erosive dynamics; linear erosive processes; adequate use of land.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Localização das sub-bacias do ribeirão Areia Dourada, Marabá Paulista (SP).....	1
<b>Figura 2:</b> Erros na triangulação por procedimento automático para gerar a declividade dentro da mesma curva de nível.....	16
<b>Figura 3:</b> Ajuste manual dos polígonos para cálculo da declividade.....	16
<b>Figura 4:</b> Exemplo de ajuste para correção da dissecação horizontal.....	18
<b>Figura 5:</b> Maciço com orifícios tubulares da Formação Santo Anastácio. Fácies características da Formação Santo Anastácio.....	22
<b>Figura 6:</b> Pontos de coleta de material da camada superficial e subsuperficial para análise de textura.....	24
<b>Figura 7:</b> Pontos de coleta de material da camada superficial e/ou subsuperficial para análise de permeabilidade (condutividade hidráulica).....	26
<b>Figura 8:</b> Esquema teórico de construção de uma nomenclatura da cobertura terrestre nas sub-bacias da alta bacia do ribeirão Areia Dourada, em escala 1: 10.000. Adaptado de Heymann (1994 apud IBGE, 2013, p.24). ....	30
<b>Figura 9:</b> Identificação das áreas antrópicas agrícolas.....	32
<b>Figura 10:</b> Identificação das áreas de vegetação natural.....	35
<b>Figura 11:</b> Identificação das áreas sem vegetação.....	37
<b>Figura 12:</b> Símbolos da carta de geomorfologia.....	39
<b>Figura 13:</b> Identificação de feições denudativas.....	42
<b>Figura 14:</b> Identificação de feições fluviais em todos os anos mapeados.....	44
<b>Figura 15:</b> Identificação do modelado antrópico nos anos mapeados.....	46
<b>Figura 16:</b> Peso de 0 a 100 das variáveis das classes temáticas geologia, compartimentos de relevo, energia do relevo e características pedológicas.....	55
<b>Figura 17:</b> Sequência do processo de degradação dos geossistemas.....	57
<b>Figura 18:</b> Principais rios, estruturas regionais e formações geológicas do Planalto Ocidental. (a) Estado de São Paulo. (b) área estudada.....	70
<b>Figura 19:</b> Esboço da litologia das sub-bacias do ribeirão Areia Dourada, Marabá Paulista (SP). ....	72
<b>Figura 20:</b> Carta de declividade das sub-bacias do ribeirão Areia Dourada, Marabá Paulista (SP).....	74
<b>Figura 21:</b> Carta de compartimentos de relevo das sub-bacias do ribeirão Areia Dourada, Marabá Paulista (SP).....	75
<b>Figura 22:</b> Carta de dissecação vertical das sub-bacias do ribeirão Areia Dourada, Marabá Paulista (SP).....	77
<b>Figura 23:</b> Carta de dissecação horizontal das sub-bacias do ribeirão Areia Dourada, Marabá Paulista (SP).....	78
<b>Figura 24:</b> Carta de energia do relevo das sub-bacias do ribeirão Areia Dourada, Marabá Paulista (SP).....	79
<b>Figura 25:</b> Carta de características pedológicas das sub-bacias do ribeirão Areia Dourada, Marabá Paulista (SP).....	81
<b>Figura 26:</b> Área recoberta por Floresta Estacional Semidecidual nos anos de 1963, 1979, 2011 e 2016.....	83
<b>Figura 27:</b> Uso e cobertura superficial da terra nos anos de 1963, 1979, 1997, 2011 e 2016 das sub-bacias do ribeirão Areia Dourada, Marabá Paulista.....	84
<b>Figura 28:</b> Carta de uso e cobertura superficial da terra das sub-bacias do ribeirão Areia Dourada, Marabá Paulista (SP), 1963.....	86

<b>Figura 29:</b> Carta geomorfológica das sub-bacias do ribeirão Areia Dourada, Marabá Paulista (SP), 1963.....	87
<b>Figura 30:</b> Carta de uso e cobertura superficial da terra das sub-bacias do ribeirão Areia Dourada, Marabá Paulista (SP), 1979. ....	88
<b>Figura 31:</b> Carta geomorfológica das sub-bacias do ribeirão Areia Dourada, Marabá Paulista (SP), 1979.....	89
<b>Figura 32:</b> Carta de uso e cobertura superficial da terra das sub-bacias do ribeirão Areia Dourada, Marabá Paulista (SP), 1997. ....	90
<b>Figura 33:</b> Carta geomorfológica das sub-bacias do ribeirão Areia Dourada, Marabá Paulista (SP), 1997.....	91
<b>Figura 34:</b> Carta de uso e cobertura superficial da terra das sub-bacias do ribeirão Areia Dourada, Marabá Paulista (SP), 2011. ....	92
<b>Figura 35:</b> Carta geomorfológica das sub-bacias do ribeirão Areia Dourada, Marabá Paulista (SP), 2011.....	93
<b>Figura 36:</b> Carta de uso e cobertura superficial da terra das sub-bacias do ribeirão Areia Dourada, Marabá Paulista (SP), 2016. ....	94
<b>Figura 37:</b> Carta geomorfológica das sub-bacias do ribeirão Areia Dourada, Marabá Paulista (SP), 2016.....	95
<b>Figura 38:</b> Feições erosivas e técnicas conservacionistas e de contenção dos processos erosivos em todos os anos mapeados. ....	97
<b>Figura 39:</b> Terraços agrícolas, afloramentos de água e feições vinculadas aos cursos fluviais nos anos mapeados.....	99
<b>Figura 40:</b> Marcas de erosão laminar e sulcos em solos sob cana-de-açúcar (2011). Fotografias após evento chuvoso. ....	101
<b>Figura 41:</b> Evolução das formas erosivas na sub-bacia W, atingida por voçorocamento a partir de 1997.....	102
<b>Figura 42:</b> Evolução dos processos erosivos nas vertentes com conseqüente solapamento das margens e formação de áreas de terraço e planície fluvial em canal de fundo plano de 1979 para 2011.....	103
<b>Figura 43:</b> Tributários do canal principal antes, em 1997, e após, em 2011 e 2016, o barramento do canal para formação de açude. ....	104
<b>Figura 44:</b> Mudanças no padrão da formação e desenvolvimento de ravinas após a barragem do fluxo de água da voçoroca de 1997 para 2011. ....	105
<b>Figura 45:</b> Influência dos terraços agrícolas no fluxo de água no canal antropogênico resultado do processo de voçorocamento que atinge a estrada rural de 2011 para 2016.....	106
<b>Figura 46:</b> Desenvolvimento de voçorocas a jusante de rupturas topográficas com afloramento de água em área de pasto em 2015. ....	107
<b>Figura 47:</b> Carta de unidades físicas das sub-bacias do ribeirão Areia Dourada, Marabá Paulista (SP).....	109
<b>Figura 48:</b> Área, em porcentagem, das unidades físicas com uso incompatível. ....	111
<b>Figura 49:</b> Total, em porcentagem, das áreas com uso e cobertura superficial incompatível em cada classe de unidade física nas sub-bacias do ribeirão Areia Dourada, Marabá Paulista (SP). ....	112
<b>Figura 50:</b> Carta de estado ambiental das sub-bacias do ribeirão Areia Dourada, Marabá Paulista (SP). ....	113
<b>Figura 51:</b> Área de Preservação Permanente com 30m demarcados a partir do leito regular de canal fluvial com voçorocamento. Sub-bacia W.....	116

<b>Figura 52:</b> Porcentagem das áreas legalmente protegidas com usos e coberturas superficiais inadequados à Lei Nº 12651/12 das sub-bacias do ribeirão Areia Dourada, Marabá Paulista (SP).....	117
<b>Figura 53:</b> Carta de capacidade de uso das terras das sub-bacias do ribeirão Areia Dourada, Marabá Paulista (SP), 2016.....	120
<b>Figura 54:</b> Classes de capacidade de uso da terra e uso e cobertura superficial da terra. Área em %.....	123
<b>Figura 55:</b> Sulcos erosivos no setor S da área estudada.....	124
<b>Figura 56:</b> Formas erosivas em área de cultivo de cana-de-açúcar, sub-bacias SE e W.....	125
<b>Figura 57:</b> Desenvolvimento de ravinas em terrenos de classe VI com uso para pastagem, a montante de voçorocamento.....	127
<b>Figura 58:</b> Relações entre os sistemas vertente e fundo de vales, solapamento das margens e formação de ravinamentos na baixa vertente.....	128
<b>Figura 59:</b> Formação de sulcos, terracetes e voçorocas em terrenos da classe VI sob uso para pastagem, com terraços agrícolas.....	129
<b>Figura 60:</b> Árvore de decisão para identificar o uso adequado das terras em área rural degradada, proposta metodológica ideal.....	136
<b>Figura 61:</b> Árvore de decisão para identificar o uso adequado das terras - proposta metodológica viável.....	143
<b>Figura 62:</b> Carta de uso adequado da terra em área rural degradada em área rural degradada, proposta ideal, sub-bacias do ribeirão Areia Dourada, Marabá Paulista (SP).....	146
<b>Figura 63:</b> Carta de uso adequado da terra em área rural degradada, proposta viável, sub-bacias do ribeirão Areia Dourada, Marabá Paulista (SP).....	147
<b>Figura 64:</b> Área (%) das classes de uso adequado da terra em área rural degradada, metodologia ideal e viável, sub-bacias do ribeirão Areia Dourada, Marabá Paulista (SP).....	148
<b>Figura 65:</b> Grau de diferença das classes de uso adequado das terras da metodologia ideal para a viável. Sub-bacias do ribeirão Areia Dourada, Marabá Paulista (SP).....	149
<b>Figura 66:</b> Mapeamentos das propostas ideal e viável e as feições erosivas (2016) na sub-bacia S, SE e W.....	150
<b>Figura 67:</b> Mapeamentos das propostas ideal e viável e as feições erosivas (2016) na sub-bacia N.....	151

## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 1:</b> Uso e cobertura superficial da terra (área, em %) em todos os anos mapeados.....	96
<b>Quadro 2:</b> Coeficiente de Correlação de Pearson (CCP) entre variáveis de uso da terra e geomorfologia em todos os anos mapeados.....	100
<b>Quadro 3:</b> Porcentagem das unidades como Área de Preservação Permanente e Reserva Legal. Sub-bacias do ribeirão Areia Dourada, Marabá Paulista (SP).....	115
<b>Quadro 4:</b> Área em porcentagem da natureza das limitações da capacidade de uso das terras.....	119
<b>Quadro 5:</b> Pontos positivos, negativos e adaptações das metodologias do sistema de capacidade de uso, geoecologia da paisagem e cartografia geomorfológica retrospectiva.....	133
<b>Quadro 6:</b> Média da densidade normalizada das formas erosivas dos anos de 1963, 1979, 1997, 2011 e 2016 sobre as classes de compartimentos de relevo, sub-bacias do ribeirão Areia Dourada, Marabá Paulista (SP).....	135
<b>Quadro 7:</b> Média da densidade normalizada das formas erosivas dos anos de 1963, 1979, 1997, 2011 e 2016 sobre as classes de litologia, sub-bacias do ribeirão Areia Dourada, Marabá Paulista (SP).....	135

<b>Quadro 8:</b> Média da densidade normalizada das formas erosivas dos anos de 1963, 1979, 1997, 2011 e 2016 sobre as classes de energia do relevo, sub-bacias do ribeirão Areia Dourada, Marabá Paulista (SP).....	135
<b>Quadro 9:</b> Média da densidade normalizada das formas erosivas dos anos de 1963, 1979, 1997, 2011 e 2016 sobre as características pedológicas, sub-bacias do ribeirão Areia Dourada, Marabá Paulista (SP).....	137
<b>Quadro 10:</b> Média da densidade normalizada das formas erosivas dos anos de 1963, 1979, 1997, 2011 e 2016 sobre as classes de declividade, sub-bacias do ribeirão Areia Dourada, Marabá Paulista (SP).....	142
<b>Quadro 11:</b> Diferenças das metodologias ideal para a viável, sub-bacia do ribeirão Areia Dourada, Marabá Paulista (SP).....	148

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1:</b> Critérios para definição das classes de energia do relevo das sub-bacias do ribeirão Areia Dourada, Marabá Paulista (SP).....	20
<b>Tabela 2:</b> Área de cada classe e área ocupada pelas formas erosivas em cada classe de energia do relevo nos cinco anos mapeados. ....	50
<b>Tabela 3:</b> Resultado da divisão entre a área de cada variável ocupada por forma erosiva pela área total da mesma variável nos cinco anos mapeados. Exemplo da energia do relevo.....	52
<b>Tabela 4:</b> Exemplo da densidade normalizada da área ocupada pelas feições erosivas lineares em cada classe de energia do relevo nos cinco anos mapeados. ....	52
<b>Tabela 5:</b> Média da densidade normalizada de cada forma erosiva em cada classe de energia do relevo dos cinco anos mapeados. ....	53
<b>Tabela 6:</b> Área (ha) atingida por sulcos, ravinas e voçorocas e área de sedimentação (planície e terraço fluvial) das sub-bacias W e S nos anos de 1963 e 2016.....	53
<b>Tabela 7:</b> Exemplo da média ponderada entre o peso das feições erosivas lineares (sulco, ravina e voçoroca) na média da densidade normalizada das classes temáticas de energia do relevo. ...	54
<b>Tabela 8:</b> Área (ha) de cada classe de uso e cobertura superficial da terra e área ocupada pelas formas erosivas em cada classe, nos cinco anos mapeados.....	59
<b>Tabela 9:</b> Resultado da divisão entre a área de cada classe temática de uso e cobertura superficial da terra ocupada por forma erosiva pela área total da mesma classe temática nos cinco anos mapeados.....	59
<b>Tabela 10:</b> Densidade normalizada da área ocupada pelas feições erosivas lineares em cada classe de uso e cobertura superficial da terra nos cinco anos mapeados. ....	61
<b>Tabela 11:</b> Média da densidade normalizada dos cinco anos mapeados, peso das feições erosivas, média ponderada e peso de cada forma erosiva em cada classe temática de uso e cobertura superficial da terra.....	62
<b>Tabela 12:</b> Características identificadas na área estudada e adaptações para definição das subclasses. ....	66
<b>Tabela 13:</b> Estado ambiental das áreas legalmente protegidas das sub-bacias do ribeirão Areia Dourada, Marabá Paulista (SP). Área em porcentagem. ....	118
<b>Tabela 14:</b> Pontos positivos, negativos e adaptações das metodologias do sistema de capacidade de uso, geocologia da paisagem e cartografia geomorfológica retrospectiva.....	133

## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO</b> .....	1
<b>CAPÍTULO I – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	4
<b>1.1 Degradação ambiental e área degradada</b> .....	4
<b>1.2 Erosão do solo: formas e processos</b> .....	7
<b>CAPÍTULO II - MATERIAIS, TÉCNICAS CARTOGRÁFICAS E ADAPTAÇÕES</b> .....	14
<b>2.1 Cartas de morfometria de relevo</b> .....	14
2.1.1 <i>Carta de declividade</i> .....	14
2.1.2 <i>Carta de dissecação horizontal</i> .....	17
2.1.3 <i>Carta de dissecação vertical</i> .....	18
2.1.4 <i>Carta de energia do relevo</i> .....	19
<b>2.2 Esboço da litologia</b> .....	21
<b>2.3 Carta de características pedológicas</b> .....	23
<b>2.4 Cartografia retrospectiva</b> .....	28
2.4.1 <i>Cartas de uso e cobertura superficial da terra</i> .....	29
2.4.2 <i>Cartas geomorfológicas</i> .....	38
2.4.3 <i>Tratamento dos dados</i> .....	47
<b>2.5 Metodologia da geocologia das paisagens adaptada à problemática erosiva da área</b> 48	
2.5.1 <i>Carta de unidades físicas</i> .....	48
2.5.2 <i>Relação entre capacidade de uso e função socioeconômica</i> .....	56
2.5.3 <i>Carta de estado ambiental</i> .....	57
2.5.4 <i>Mapeamento e análise das áreas legalmente protegidas: Áreas de Preservação Permanente e Reserva Legal (Lei Nº 12.651/12)</i> .....	64
<b>2.6 Metodologia do sistema de capacidade de uso das terras</b> .....	65
<b>CAPÍTULO III – RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	68
<b>3.1 As sub-bacias no ribeirão Areia Dourada, o contexto físico natural e a ação humana</b> .....	69
<b>3.2 A antropogeomorfologia e a cartografia geomorfológica retrospectiva: análise da problemática erosiva das sub-bacias do ribeirão Areia Dourada, Marabá Paulista (SP)</b> .....	85
<b>3.3 A geocologia das sub-bacias do ribeirão Areia Dourada na perspectiva dos processos erosivos lineares</b> .....	108
<b>3.4 Análise da metodologia do Sistema de Capacidade de Uso na área estudada</b> .....	119
<b>CAPÍTULO IV - PROPOSTAS METODOLÓGICAS PARA DEFINIR O USO ADEQUADO DAS TERRAS EM ÁREA RURAL DEGRADADA</b> .....	132
<b>4.1 A construção das propostas ideal e viável</b> .....	132
<b>4.2 Análise dos resultados</b> .....	145

<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>153</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>156</b>
<b>APÊNDICE 1 – Programação da <i>phyton</i> para elaboração da carta de energia do relevo</b>	<b>163</b>

## INTRODUÇÃO

A erosão do solo representa um problema de crescente preocupação, discutido em pesquisas nacionais e internacionais, muitas das quais apontam a interferência humana como catalisadora dos processos erosivos, uma vez que esses passam a ocorrer em distintas regiões do planeta (CUNHA et al., 1999; STEIN; PONÇANO; SAAD, 2003; MARKER et al., 2007; CEBECAUER; HOFIERKA, 2008; LESSCHEN et al., 2008; FU et al., 2009; PEREZ-FILHO; QUARESMA, 2013; GARCIA-RUIZ et al., 2013; BASTOS; MANIESI; GOMES, 2015).

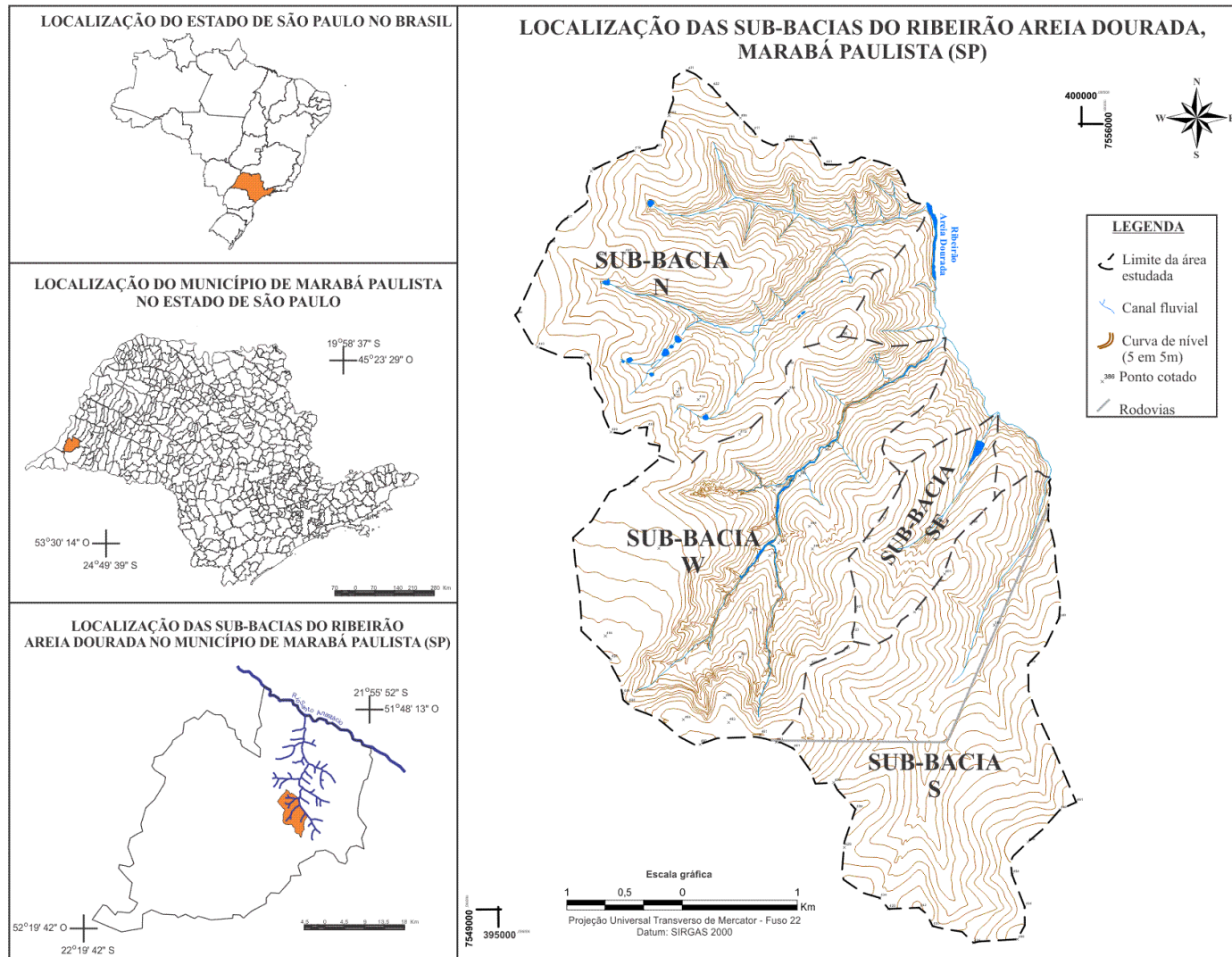
García-Ruiz et al. (2013), em revisão bibliográfica sobre a região mediterrânea, constataram que a erosão do solo se tornou um dos mais significativos problemas ambientais, sendo o foco de diversas pesquisas na Espanha, Itália, França, Portugal, Israel, Grécia e N da África. Tais pesquisas buscam avaliar como as atividades humanas impactaram os ambientes, tornando a agricultura insustentável a curto e médio prazo. Na porção S da região de Toscana, Itália, Marker et al. (2007) identificaram que as mudanças no uso da terra desempenharam papel importante na erosão do solo, sobretudo devido à sua intensificação por meio da mecanização da agricultura, aplicação de fertilizantes, pesticidas e manejos das encostas. Na região semiárida no SE da Espanha, de acordo com Lesschen et al. (2008), terraços agrícolas mal projetados em áreas de cultivos de oliveiras e vinhedos resultaram na ativação de processos erosivos que removeram, em média, 87 toneladas/ha/ano de solo e tornaram tais campos improdutivos, ao ponto de serem abandonados pelos produtores. Também em clima semiárido, no *Loess Plateau* na China, Fu et al. (2009), ao analisarem diversas variáveis ambientais em setores atingidos por processos erosivos, consideraram o uso inadequado como fator chave na degradação dos solos, mais importante que o clima e a topografia. Cabecauer e Hofierka (2008) identificaram que mudanças na paisagem de 1990 a 2000, sobretudo com a conversão de florestas em terras aráveis, aumentaram consideravelmente o risco e a frequência de processos erosivos em regiões montanhosas e de alta declividade na Eslováquia.

No Brasil, diversas pesquisas também destacam a influência da ação humana nos processos erosivos. No SW da Amazônia, em solos predominantemente arenosos, Bastos, Maniesi e Gomes (2015) constaram que a expansão da bovinocultura na região tem promovido alterações dos índices de vulnerabilidade natural à erosão, uma vez que a área não é adequada para a atividade pecuária. Cunha et al. (1999), em análise das bacias do

Córrego Jacu e Santo Antônio, Rio Claro (SP), identificaram que o uso da terra tem a capacidade de criar feições erosivas em situações em que os parâmetros naturais apresentam baixo potencial ao desenvolvimento dessas. Perez-Filho e Quaresma (2011), ao analisarem diversos trabalhos que abordaram a problemática erosiva no W, NW e E do estado de São Paulo e o processo de desertificação no Brasil central, constataram que tais fenômenos não podem ser explicados unicamente pelos elementos naturais, uma vez que estes processos, de ocorrência característica na escala geológica de tempo, passaram a se desenvolver na escala de tempo histórico, caracterizando-se, portanto, como processos geomorfológicos de gênese antrópica. Stein, Ponçano e Saad (2003) constataram, em estudo sobre a bacia do Rio Santo Anastácio, no oeste Paulista, que as alterações profundas, introduzidas pelas diversas atividades antrópicas, modificaram o regime de escoamento das águas pluviais, intensificando a atividade erosiva que afeta diretamente os cursos fluviais da bacia.

A região do oeste Paulista, embora com histórico de ocupação mais recente que muitas regiões do estado, iniciada no final do séc. XIX e início do séc. XX (MONBEIG, 1984; FERRARI-LEITE, 1999), desponta em termos de quantidade de formas erosivas, o que muito se deve à devastação promovida no processo de ocupação, em solos predominantemente arenosos (IPT, 2015). Na Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Pontal do Paranapanema (UGRHI-22), que abrange 26 municípios (4% do total do estado) localizados na área limítrofe com os estados do Mato Grosso e Paraná, foram registradas 3.261 formas erosivas em ravinas e voçorocas, 12,1% de todo estado, sendo que apenas no município de Marabá Paulista encontram-se 371 destas formas (IPT, 2012). Zanatta (2014) levantou na alta bacia do ribeirão Areia Dourada, que abrange 4.623ha do município de Marabá Paulista, 530 formas erosivas lineares, sendo 385 sulcos, 138 ravinas e sete voçorocas.

Entende-se, assim, que a alta bacia do ribeirão Areia Dourada, inserida no contexto supramencionado, pela expressiva problemática erosiva, constitui uma área modelo para estudos voltados à compreensão da erosão enquanto processo e das interferências antrópicas na dinâmica erosiva. Para tanto, fez-se um recorte dos setores mais problemáticos da alta bacia, estabelecendo como objeto de estudo um conjunto de sub-bacias localizado na margem esquerda do ribeirão Areia Dourada (Figura 1), as quais abrangem uma área de 2.117,05ha.



**Figura 1:** Localização das sub-bacias do ribeirão Areia Dourada, Marabá Paulista (SP).

O objetivo central desta pesquisa foi a elaboração de uma proposição metodológica que permita identificar o uso adequado das terras em uma área rural e degradada. Estabeleceram-se como objetivos específicos:

- a) Avaliar as mudanças no uso da terra e a formação e desenvolvimento dos processos erosivos, considerando os diversos usos estabelecidos ao longo do tempo, contemplando os anos de 1963, 1979, 1997, 2011 e 2016;
- b) Identificar a dinâmica natural da bacia e os elementos fundamentais que garantem o equilíbrio do meio físico por meio de alguns princípios da metodologia da geoecologia da paisagem;
- c) Avaliar a adequabilidade do uso das terras na escala das propriedades rurais, mediante a metodologia do Sistema de Capacidade de Uso, e desenvolver procedimentos para o reconhecimento do uso mais apropriado às características físicas das referidas propriedades.

Com a finalidade de criar uma proposta de mapeamento do uso adequado das terras em que se parta da problemática erosiva, foram utilizadas três distintas metodologias: da cartografia geomorfológica retrospectiva; da Geoecologia da Paisagem (RODRIGUEZ et al., 2004; LEAL, 1993 e OLIVEIRA, 2003); e do Sistema de Capacidade de Uso das Terras (LEPSCH et al., 1983).

A opção por trabalhar com estas três metodologias parte da ideia de que cada uma dessas pode colaborar com um aspecto diferenciado e importante para a análise da problemática da pesquisa. Assim, através da cartografia geomorfológica retrospectiva, tem-se a possibilidade de identificar os mecanismos pelos quais a erosão evolui e as interferências antrópicas na formação e desenvolvimento dos processos erosivos. A proposta da Geoecologia da Paisagem avalia amplo número de variáveis do meio físico de forma integrada, buscando identificar os setores mais ou menos sujeitos à formação e desenvolvimento de tais processos. A partir da proposta de Lepsch et al. (1983), tem-se uma visão agrônoma para estruturar as possibilidades de uso da terra. Assim, as três metodologias, por apresentarem visões diferenciadas sobre a problemática existente e a possibilidade de uso das terras, serviram como alicerce na construção da proposta objetivo desta pesquisa.

No intuito de elucidar a trajetória deste trabalho, esta tese foi organizada em quatro capítulos: I) fundamentação teórica; II) materiais, técnicas cartográficas e métodos; III)

resultados e discussões e IV) propostas metodológicas para definir o uso adequado das terras em área rural e degradada.

O capítulo I foi dividido em duas partes. A primeira trata-se de conceituar o que se entende por área degradada, partindo de interpretações em literaturas da ciência geomorfológica nacional e dispositivos da legislação brasileira. A segunda parte visa o entendimento do processo erosivo laminar e linear e a caracterização das formas erosivas como produto de cada etapa deste processo, através de uma revisão em estudos da ciência geomorfológica, geológica, agrônômica e de órgãos públicos.

O segundo capítulo detalha as bases utilizadas e os procedimentos adotados nos mapeamentos desenvolvidos nesta pesquisa, como também o tratamento quantitativo dos dados e a forma como essas informações foram avaliadas. Na ordem: 1) cartas de morfometria do relevo (declividade, dissecação horizontal e vertical e energia do relevo; 2) esboço geológico; 3) carta de características pedológicas; 4) os mapeamentos da cartografia retrospectiva, com as cartas de uso da terra e geomorfologia dos anos de 1963, 1979, 1997, 2011 e 2016, a quantificação destes dados e aplicação do coeficiente de correlação de Pearson ( $p$ ); 5) proposta de adaptação metodológica da geoecologia da paisagem, com a elaboração das cartas de unidades físicas, da relação entre as unidades físicas e o uso atual, do estado ambiental e a situação das áreas legalmente protegidas (Áreas de Preservação Permanente e Reserva Legal); 6) proposta de adaptação metodológica do sistema de capacidade de uso das terras;

O terceiro capítulo compreende a análise das informações geradas em comparativo com as bibliografias existentes na região desenvolvidos na região do Oeste Paulista, Pontal do Paranapanema e bacia do rio Santo Anastácio. Este capítulo traz a caracterização da área através dos mapeamentos referentes ao esboço geológico, cartas de morfometria do relevo, compartimentos de relevo e características pedológicas. Em seguida, apresenta-se a análise dos dados da cartografia retrospectiva; seguida da proposta de geoecologia da paisagem e do sistema de capacidade de uso das terras.

Por fim, no quarto capítulo, faz-se uma avaliação das metodologias da cartografia geomorfológica retrospectiva, sistema de capacidade de uso e da geoecologia da paisagem. Nesta análise, levantaram-se as contribuições das metodologias para o entendimento da dinâmica erosiva, das variáveis isoladas e da combinação entre variáveis que determinam maior ou menor potencial à formação e desenvolvimento dos processos erosivos, bem como das orientações para definir a capacidade de uso das terras. A partir dessa análise, apropriando-se da estrutura da proposta de Lepsch (et al., 1983),

elaboraram-se duas árvores de decisão, em que os elementos ou a combinação dos elementos determinam as possibilidades de uso dos terrenos em uma área rural degradada. A primeira árvore de decisão consiste em uma proposta ideal, trabalhosa e especializada, com análises de laboratório de elevado custo, com mapeamentos demorados, que carecem de conhecimentos específicos da geomorfologia e geologia. Com base nesta proposta ideal, elaborou-se a segunda proposta, viável, com menor número de variáveis, com levantamentos e mapeamentos de mais fácil aplicação.

## CAPÍTULO I – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo, discute-se a que se entende por degradação ambiental e área rural degradada, tanto nas definições existentes na legislação brasileira, como de seu significado em estudos da ciência geomorfológica. Na segunda parte, buscou-se a definição teórica das formas erosivas, as quais foram utilizadas nos mapeamentos geomorfológicos desenvolvidos na pesquisa.

### 1.1 Degradação ambiental e área degradada

A questão ambiental, amplamente discutida na atualidade, emerge como resultado de um movimento histórico de mudança da percepção da sociedade sobre a natureza e do próprio ser humano. Essa percepção perpassa pelo conceito de ambiente, que integra a sociedade à natureza.

Tais preocupações, a partir de 1950, resultaram na elaboração e ampliação de políticas ambientais ao longo do mundo (SANTOS, 2004). A partir então, a questão desenvolvimentista, antes estritamente econômica, passa a considerar os devidos limites dos recursos naturais e a degradação ambiental como ônus da sociedade.

Santos (2004) destaca que o termo degradação se encontra atrelado ao conceito de desenvolvimento sustentável, apresentado pela *World Conservation Union/Internacional Union Conservation Nature* (1950) e com maiores proporções na reunião de Founex, em 1971, com abordagens a respeito do ecodesenvolvimento. Nesta reunião, a ideia de degradação ambiental aparece junto às preocupações acerca da condição social dos desprivilegiados, da falta de saneamento, do consumo indiscriminado e da poluição ambiental, de modo que a ideia de ecodesenvolvimento traz embutida a proposta de “[...] observar as potencialidades e fragilidades dos sistemas que compunham o meio e estimular a participação popular” (SANTOS, 2004, p.19). A partir da Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente Humano, em Estocolmo, em 1972, em que se criou o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA), diversos governos passaram a elaborar políticas ambientais.

No Brasil, este movimento aparece de maneira mais efetiva em 1981, período de transição da ditadura militar para democracia no país, com a criação da Política Nacional de Meio Ambiente (PNMA) (Lei Federal nº 6938, publicada em 31 de Agosto de 1981),

em que se define legalmente meio ambiente como “conjunto de condições, leis, influências e interações de ordem, física, química e biológica, que permita, abriga e rege a vida em todas suas formas” (BRASIL, 1981, Art. 2º, Inciso II), considerado “patrimônio público a ser necessariamente assegurado e protegido, tendo em vista o uso coletivo” (Art.2º, Inciso II).

Nesta perspectiva, a legislação brasileira incorpora a visão holística no entendimento da natureza e a ideia de que a vida, em todas suas formas de manifestação, presentes e futuras, depende do equilíbrio do meio físico, regido por leis que lhe são próprias. Esta visão sobre a natureza busca o entendimento do meio como um todo complexo, de maneira que a alteração de um elemento deste meio provoca modificações nos demais e compromete a qualidade de vida.

A legislação brasileira, então, passa a incorporar o termo degradação da qualidade ambiental, definindo como “ alteração adversa das características do meio ambiente” (BRASIL, 1981, Art. 2º, Inciso II). Estas alterações adversas são medidas a partir da poluição, definida como:

- [...] degradação da qualidade ambiental resultante de atividades que de maneira direta ou indireta:
  - a) prejudiquem a saúde, a segurança e bem-estar da população;
  - b) criem condições adversas às atividades sociais e econômicas;
  - c) afetem desfavoravelmente a biota;
  - d) afetem as condições estéticas ou sanitárias do meio ambiente;
  - e) lancem matérias ou energia em desacordo com os padrões ambientais estabelecidos (BRASIL, 1981, Art. 3º, Inciso III).

Dentre as distintas formas de manter, preservar, melhorar e recuperar a qualidade ambiental, a Lei estabelece:

- II) a racionalização do uso do solo, do subsolo, da água e do ar;
- III) planejamento e fiscalização do uso dos recursos naturais;
- V) controle e zoneamento de atividades potencial ou efetivamente poluidoras;
- [...]
- VIII) recuperação de áreas degradadas;
- [...]
- IX) proteção de áreas ameaçadas de degradação (BRASIL, 1981, Art. 2º).

Posteriormente, a Constituição Federal de 1988, que dedica o Capítulo VI ao tema, de maneira a reforçar a ideia democrática do direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, estabelece como um direito “essencial à sadia qualidade de vida, cabendo a

todos, estado e sociedade civil, o dever de defendê-lo e preservá-lo” (Art. 225), mesmo quando do uso privado dos recursos naturais.

Na ciência geomorfológica, o termo degradação encontra-se relacionado a processos que geram alterações nas formas de relevo, sobretudo aqueles relacionados à erosão do solo, que provocam modificações intensas em todo meio em que se desenvolvem.

Na primeira edição do dicionário geomorfológico em 1954, encontra-se o termo degradação atrelado apenas ao solo, como produto da alteração promovida por fenômenos erosivos, provocada por alteração microclimática, destruição da vegetação, entre outros (GUERRA, 1954). Na edição seguinte de 1966, além do termo vinculado ao solo, acrescentou-se a degradação do relevo como sinônimo de formas terrestres em destruição, promovida por processos erosivos, como antônimo de formas de agradação (GUERRA, 1966). Estas mesmas definições encontram-se nas edições de 1969 e 1975. Na edição de 1997, incorporando as designações que influenciaram a legislação ambiental brasileira, além dos termos degradação do relevo e do solo, adicionou-se o termo degradação ambiental, definida como

[...] a degradação do meio ambiente, causada pela ação do homem, que, na maioria das vezes, não respeita os limites impostos pela natureza. A degradação ambiental é mais ampla que a degradação dos solos, pois envolve não só a erosão do solo, mas também a extinção de espécies vegetais e animais, a poluição de nascentes, rios, lagos e baías, o assoreamento e outros impactos prejudiciais ao meio ambiente e ao próprio homem. (GUERRA; GUERRA, 1997, p. 184).

Nesta edição, o autor adiciona ainda o termo degradação estética, considerando junto à degradação do meio ambiente, a descaracterização dos recursos cênicos, como resultado da percepção subjetiva da paisagem degradada. Estas quatro definições (degradação do solo, do relevo, ambiental e estética) encontram-se até a oitava edição (GUERRA; GUERRA, 2010).

Em pesquisas da geomorfologia, encontra-se o termo degradação, em sua maioria, associado à erosão do solo, intensificados pelas alterações antrópicas em áreas urbanas e rurais (MARÇAL; GUERRA, 2003; MATA et al., 2007; GUERRA; GONÇALVES; LOPES, 2007; GUERRA; OLIVEIRA; JORGE, 2013), no entanto, também foi utilizado como resultado de processos morfopedológicos que promovem a alteração de um horizonte (PAISANI, 2004; UCHA; BOAS; HADLICH, 2010), ou como resultado de processos exclusivamente naturais, como deslizamentos de massa em setores sob

vegetação florestal nativa, sem a influência de atividades humanas (NEGREIROS; COELHO NETTO, 2009).

Ao considerar aspectos da legislação brasileira e da ciência geomorfológica, a compreensão da degradação ambiental ou de área degradada passa pelo entendimento sistêmico e conjunto do meio físico, biótico e socioeconômico, sendo a degradação resultado de um processo que promove alterações adversas no ambiente, de maneira direta ou indireta pela ação humana. Esta análise ainda permitiu incorporar a proposta deste estudo, de elaboração de metodologia de uso da terra adequada às características do universo estudado, considerações sobre o meio ambiente e de sua qualidade como um direito de todo cidadão, de maneira a propor a adequação da ação humana às características do meio físico e à Constituição Federal.

## **1.2 Erosão do solo: formas e processos**

Por erosão compreende-se “a realização de um conjunto de ações que modelam uma paisagem” (GUERRA; GUERRA, 2010 p. 229). Bertoni e Lombardi-Neto (1990) definem como “processo de desprendimento e arraste acelerado das partículas do solo, causado pela água e pelo vento” (p. 68), complementando que, em seu aspecto físico, a erosão consiste na “realização de uma quantidade de trabalho no desprendimento do material do solo e no seu transporte” (p. 70). Fendrich et al. (1997) e Fookes et al. (2007) acrescentam, como um último estágio do processo erosivo, a deposição dos sedimentos removidos e transportados, momento em que as forças que atuam perdem a capacidade de transporte.

Dentre as forças atuantes neste processo, Lepsch et al. (1983) alertam para a importância de estudar os processos atinentes à erosão hídrica, devido às características climáticas determinarem sua maior frequência e intensidade em território nacional.

A erosão hídrica opera por distintos mecanismos, superficiais e subsuperficiais. Para Lepsch et al. (1983), em estudos sobre o tema, reconhecer “o estágio de erosão do solo, considerando suas diversas formas, representa importante aspecto a ser levantado, porque indica o grau de redução de sua produtividade, bem como a natureza e a intensidade das práticas conservacionistas que se fazem necessárias” (p. 90), salientando que “a adoção de medidas efetivas de controle preventivo e corretivo da erosão depende

do entendimento correto dos processos relacionados com a dinâmica de funcionamento hídrico sobre o terreno” ( p. 229).

Há um consenso entre diversos autores (IPT & DAEE, 1989; BERTONI; LOMBARDI-NETO, 1990; LAL, 1990; FENDRICH, 1997; OLIVEIRA, 2012; SALOMÃO, 2012) de que a erosão hídrica se inicia pelo impacto das gotas d’água da chuva no solo. Bertoni e Lombardi-Neto (1990) consideram esse primeiro estágio o mais importante de todo processo erosivo.

O impacto das gotas d’água, fenômeno denominado de *splash*, ou, segundo a tradução de Guerra (1966), erosão por salpicamento, descarrega energia cinética no solo, provocando a desagregação de material particulado; a eficiência deste processo está relacionada com a altura da queda, o diâmetro da gota, a natureza do solo e o tipo de cobertura vegetal. De acordo com Bertoni e Lombardi-Neto (1990, p. 46), “durante uma chuva muito forte, milhares de milhões de gotas de chuva golpeiam cada hectare de terreno, despreendendo as partículas da massa de solo. Muitas dessas partículas podem ser atiradas a mais de 60 cm de altura e a mais de 1,5m de distância”. Estas partículas, ao se depositarem, podem preencher os poros do topo do solo, formando uma crosta que dificulta a infiltração da água. A redução da capacidade do solo em absorver água proporciona a formação de poças, onde o excedente ocupa as irregularidades da superfície. Quando saturadas, as poças transbordam, escorrendo pela vertente e se conectando com outras poças, aumentando o fluxo. Iniciam-se, assim, os processos desencadeados pelo escoamento superficial da água. Nesta etapa, as gotas d’água de chuva continuam atuando ao provocar o salpicamento e imprimem energia em forma de turbulência à água superficial.

De acordo com Lal (1990), o aumento do fluxo de água escoando pela vertente forma o *sheet flow*, ou escoamento em forma de lâmina. Fookes et al. (2007) destacam que esta forma de *overland flow* raramente ocorre como um *sheet flow*, pois, devido a pequenas irregularidades da superfície, a água escorre como fluxo raso anastomosado. Este escoamento, ao encontrar ângulos críticos da vertente, provoca tensão de cisalhamento, modelando o trajeto em pequenos canais denominados *rill*, onde o escoamento se faz concentrado (LAL, 1999).

O potencial erosivo do *sheet erosion* é classificado nos estudos de forma diferenciada. Lal (1990) considera sua capacidade de remoção e transporte muito baixa, sendo significativa apenas quando a tensão de cisalhamento promove a atuação da *rill erosion*. Já Lepsch et al. (1983, p. 91), seguido pela Coordenadoria de Assistência Técnica

Integral (CATI, 1997), avaliam o potencial erosivo deste processo como significativo, pois definem erosão laminar como “remoção de uma camada aparentemente uniforme da parte superficial do solo pela ação da enxurrada não concentrada”, e descrevem que a erosão pode ocorrer de forma ligeira no Horizonte A e B, e evoluir até atingir estágio extremamente severo, quando boa parte do Horizonte B é removido, atingindo o Horizonte C. Fendrich et al. (1997, p. 32) caracterizam erosão laminar – traduzida pelos autores do termo *sheet erosion* – como “desgaste laminar causado pelas enxurradas que deslizam como um lençol, desgastando a superfície do solo, suave e uniformemente em toda sua extensão”, complementando que este fenômeno é responsável pelo depauperamento do solo, pois remove, primeiramente, a argila e o carbono orgânico, considerados as principais fontes de nutrientes das plantas.

A partir do ponto em que a tensão de cisalhamento promove a concentração do fluxo nas microdepressões formadas no solo a partir da *sheet erosion*, a ação erosiva se processa com maior intensidade.

A concentração do fluxo de água nas microdepressões é caracterizada pela literatura como *rill erosion* (FOOKES et al, 2007; LAL, 1990). Nesta fase, o efeito erosivo é potencializado em consonância com a capacidade do escoamento em transportar as partículas. O atrito entre as partículas transportadas pela lâmina d’água com o material do fundo e das bordas nas microdepressões provoca o rompimento e transporte destes materiais que se encontram na estrutura do solo e, conseqüentemente, a forma erosiva aprofunda e alarga. Este impacto gera, ainda, turbulência no fluxo de água, elevando seu potencial erosivo.

Uma vez estabelecidos os processos desencadeados pela *rill erosion*, o canal não apenas se aprofunda e alarga, mas, de acordo com Fookes et al. (2007 p. 100), “*once formed, rills can migrate upslope by head ward retreat*”.

Para Lal (1990), quando os processos erosivos que atuam sobre o *rill* provocam seu desenvolvimento ao ponto de comprometer a produção agrícola. Quando o *rill* se torna profundo de modo a ser impossível sua obliteração no preparo do solo, a forma erosiva passa a ser definida por *gully*. De acordo com o autor, o momento e os processos que envolvem a transição de *rill* para *gully* não são muito bem conhecidos, no entanto, uma vez iniciada, a *gully erosion* se propaga rapidamente através de desbarrancamentos promovidos pelo escavamento da base, formando paredões íngremes (LAL, 1990).

Este critério, que considera a possibilidade de recuperação dos terrenos por práticas conservacionistas normais como critério para diferenciar feições erosivas,

também foi utilizado por Lal (1990) para distinguir *rill* de *gully*, e se assemelha à utilizada por Salomão (2012) para distinguir sulcos de ravinas, com base nas definições estabelecidas pela *Soil Conservation Service* (1966).

Ao analisar a literatura nacional e internacional, Oliveira (2012) destaca que o termo sulco não é utilizado com frequência e que, tradicionalmente, as feições são distintas entre ravina e voçoroca pelo caráter dimensional, em que as ravinas representam incisões de até 50 centímetros de largura e profundidade e a voçoroca se caracterizada por incisões acima destes valores.

Lepsch et al. (1983), Bertoni e Lombardi-Neto (1990), Karman (2008) e Guerra e Guerra (2010) não diferenciam as formas erosivas em sulco e ravina, mas as distingue da voçoroca ou boçoroca. Lepsch et al. (1983) e Bertoni e Lombardi Neto (1990) consideram possível o uso do termo sulco para caracterizar tanto as formas erosivas que podem ser corrigidas por operações normais no preparo do solo, como aquelas que atingem profundidades que interrompem o trabalho de máquinas agrícolas; e, embora não estabeleçam uma dimensão padrão na caracterização das formas erosivas, definem voçoroca como a evolução da erosão em sulco, em que os processos erosivos formam grandes concavidades, que podem atingir centenas de metros de comprimentos e dezenas de metros de profundidade. Lepsch et al. (1983) citam a profundidade da erosão em relação aos horizontes como critério para diferenciar as formas erosivas, sendo as voçorocas sulcos muito profundos, as quais já atingiram o Horizonte C.

Fendrich et al. (1997) também não distinguem sulco de voçoroca, descrevendo essas como estágios mais avançados da *rill erosion*, traduzido pelos autores como “erosões em canal”. Enquanto Karman (2008) traduz voçoroca do termo *gully* e descreve sulcos ou ravinas como resultados da ação do escoamento de água em superfície, sendo a boçoroca o estágio avançado destas erosões, quando se somam aos processos erosivos derivados do escoamento em subsuperfície. Esta definição foi também sugerida por Salomão (2012), DAEE e IPT (1989) e Guerra e Guerra (2010) para caracterizar voçoroca. Fookes et al. (2007) diferenciam *gully* de *badlands*, tanto pelos processos atuantes em superfície e subsuperfície, como pelo conjunto de fatores favoráveis ao seu desenvolvimento, associando *badlands* a solos frágeis.

A discussão sobre os fatores que desencadeiam a erosão acelerada, resultando na formação da voçoroca, também apresenta divergência entre os autores estudados. De acordo com Oliveira (2012), este fenômeno pode ocorrer como resultado da ação humana ou de fenômenos naturais, haja vista que estas feições erosivas geram antigos depósitos

sedimentares que datam mais de 20.000 anos antes do presente. Karman (2008) destaca que a evolução do sulco para boçorocas é consequência de alterações ambientais locais, quase sempre provocadas pela ação humana sobre a dinâmica da paisagem. Fendrich et al. (1997, p.33) e Lal (1990, p.171), diferentemente do que aponta Oliveira (2012) e Karman (2008), consideram que a voçoroca é consequência exclusiva das perturbações provocados no ambiente pela ação antrópica.

Embora haja divergência na definição de ravinas e voçorocas, há um consenso de que essas erosões, uma vez estabelecidas, se desenvolvem a partir da combinação de distintos mecanismos, que atuam em diferentes escalas temporais e espaciais, condicionados tanto pelo escoamento superficial, como subsuperficial.

De acordo com Lal (1990) e Fendrich et al. (1997), o formato do fundo da forma erosiva está relacionado às características do solo. Para os autores, quando em solo homogêneo – igualmente frágil em todos os horizontes–, como Latossolo, a base é em formato de U. Enquanto em solo com horizonte subsuperficial composto de materiais mais resistentes que o superficial, como Argissolo, o formato da feição erosiva é em V. Fendrich et al. (1997) ainda destacam que este formato é mais comum no início do processo erosivo, muito embora seja frequente encontrar ambos os formatos numa mesma voçoroca, independentemente de sua idade ou estabilização.

Oliveira (2012) aponta que a evolução das voçorocas ocorre a partir de processos que se desenvolvem em margens com maior coesão aparente. Nestas margens, a água que chega de montante desemboca na forma de cascata, escavando uma depressão na base da borda, dependendo da altura que o degrau atinge, podendo gerar desbarrancamentos. O autor ainda destaca a ação dos filetes subverticais, formados a partir da separação do volume principal da cascata, que escorrem ao longo das paredes da incisão esculpindo alcovas de regressão. Estas alcovas, quando aprofundadas na parede, também podem resultar em colapso do material acima, seja na cabeceira ou na lateral da forma erosiva, provocando tanto o alargamento do canal como a erosão remontante.

O autor ainda atenta para feições em pedestais (*demoiselles*), as quais

[...] indicam a ocorrência de salpicamento intercalado com remoção das partículas pelo escoamento superficial. Em geral, essas feições são formas residuais esculpidas abaixo de um objeto, cuja densidade não permitiu a sua remoção [...] e fornecem, de imediato, um parâmetro para estimar a taxa de ablação pluvial da superfície nas quais são esculpidas (p.69).

Bertoni e Lombardi-Neto (1990) discorrem sobre a erosão em pináculo, fenômeno que geralmente está associado às condições altamente erosivas e ocorre quando o solo não apresenta coesão, formando pináculos no fundo e na borda das voçorocas. Os autores também destacam a importância de reconhecer esta forma erosiva, visto a dificuldade que promove no controle da erosão pelas condições adversas de umidade do solo e de nutrientes, que dificultam a colonização por vegetação.

A água que infiltra no solo, ao atingir um horizonte menos permeável, começa a escoar em subsuperfície. De acordo com Lal (1990), o escoamento ocorre de duas distintas formas: de forma difusa, denominado de *interflow*; e de forma concentrada, como *pipe* ou *tunnel flow*, sendo esse com potencial para remover e transportar partículas.

O *pipe* inicia-se pelo escoamento que se forma nos macroporos, rachaduras existentes ou caminhos abertos pela bioturbação, provocando a remoção e transporte dos materiais menos coesos do solo em subsuperfície. Lal (1990) e Fookes et al. (2007) indicam que os fluxos em *pipe* podem provocar o colapso do material adjacente, transformando o *pipe* em *gully erosion*.

A erosão em *pipping* pode ser observada tanto nas paredes e cabeceira da voçoroca – onde surgem como vazios, despejando fluxo de água e sedimento – como ao longo das vertentes, seja qual for sua forma, côncava, retilínea ou convexa.

A erosão tubular interna retrogressiva (*pipping*) não se processa apenas nas proximidades do talude, ela pode se desenvolver ao longo de centenas de metros de distância da voçoroca, enfraquecendo o solo e estabelecendo regiões de percolação preferencial. Em razão disto existem vários relatos de afundamento de uma porção de solo em formato arredondado, formando fossas de pequeno diâmetro com a vegetação intacta (FENDRICH et al., 1997 p.35).

Tanto a água proveniente da superfície como da subsuperfície, ao convergirem para a base da erosão, passam a escoar no interior da voçoroca. Este fluxo também pode provocar o solapamento das margens e, conseqüentemente, o colapso das paredes; o processo se potencializa em consonância com o aumento da velocidade e turbulência do fluxo.

Se por um lado os processos erosivos em superfície se intensificam durante as estações chuvosas, os de subsuperfície atuam ao longo das estações secas, estabelecendo na área atingida a ação erosiva contínua, em diferentes intensidades e mecanismos de atuação. De acordo com Pradini (1980 apud FENDRICH et al., 1997, p.35),

[...] o lençol freático atinge seu nível máximo de 4 a 6 meses após a época das chuvas. Assim, o efeito da água subterrânea pode ser intenso nas estações secas, sendo que o material desabado vai se acumulando no pé do talude e à primeira chuva de proporções, causará um escoamento superficial que transportará este material a jusante.

Fendrich et al. (1997) e Fookes et al. (2007) atentam para a estabilidade dos processos erosivos, que ocorrem quando, com o tempo, o gradiente do canal (diferença entre altura do leito sobre nível de base em relação ao comprimento do canal) é reduzido e o processo erosivo cessa ao ponto da vegetação conseguir se desenvolver. Quanto maior o desenvolvimento da vegetação, maior a proteção dos solos e estabilidade das paredes da forma erosiva. Os mecanismos de superfície, subsuperfície e lençol, que provocaram a erosão, continuam a atuar, no entanto, ocorre um equilíbrio dinâmico entre esses e as formas. Fookes et al. (2007) alertam ao fato desta estabilização ser momentânea, uma vez que o processo pode ser reativado através de eventos climáticos, mudanças no gradiente e uso da terra.

Com base nestas informações e na particularidade da área estudada, optou-se por aderir às definições de: sulco como pequenas incisões passíveis de correção por procedimentos simples de preparo do solo; ravinas como incisões mais profundas, com formação de base e paredes laterais; e voçorocas quando a erosão linear atinge e expõe o lençol freático<sup>1</sup>.

Dentro das possibilidades deste trabalho, entende-se que o viés geomorfológico é o mais pertinente, devido ao entendimento destas formas erosivas através dos mecanismos que operam em seu desenvolvimento, além da possibilidade de avaliar a evolução do processo erosivo em um intervalo de 53 anos, através do mapeamento dos anos de 1963 a 2016. Foram usadas também fotografias aéreas na identificação de tais formas erosivas, ainda que essas não tenham possibilitado a distinção precisa da profundidade da erosão nos horizontes do solo, aspecto contemplado pelo levantamento realizado por agrônomos e orientado pela CATI (1997).

---

<sup>1</sup> Cabe uma distinção quanto ao termo: por lençol freático caracteriza-se pela presença da água nos poros do solo, enquanto aquífero freático quando a água se encontra nos poros das rochas.

## **CAPÍTULO II - MATERIAIS, TÉCNICAS CARTOGRÁFICAS E ADAPTAÇÕES**

Neste capítulo apresentam-se os materiais e os procedimentos utilizados nos distintos mapeamentos realizados nesta pesquisa, em escala 1: 10.000. Em um primeiro momento, apresentam-se os levantamentos das características físicas da área estudada (morfometria do relevo, geologia, características pedológicas). Em seguida, os mapeamentos utilizados na cartografia geomorfológica retrospectiva, apresentando os procedimentos para a elaboração das cartas de uso da terra (IBGE, 2006) e geomorfológicas de 1963, 1979, 1997, 2011 e 2016 (TRICART, 1965 e VERSTAPPEN; ZUIDAM, 1975), a quantificação destes dados e a aplicação do Coeficiente de Correlação de Pearson. Nos tópicos 2.6 e 2.7 apresentam-se os mapeamentos vinculados à aplicação da metodologia da Geoecologia da Paisagem (MATEO-RODRIGUES, 2005) e do Sistema de Capacidade de Uso (LEPSCH et al., 1983).

Nesta pesquisa, trabalhou-se os mapeamentos no *software* ArcGIS 9.2 e o sistema de coordenadas Universal Transverso de Mercator, Fuso 22, *datum* SIRGAS 2000.

### **2.1 Cartas de morfometria de relevo**

A base cartográfica para a elaboração das cartas de declividade, dissecação horizontal e vertical foi obtida a partir da digitalização das informações referentes à topografia, curvas de nível e pontos cotados, e dos canais fluviais encontradas nas cartas elaboradas pelo Instituto Geográfico e Cartográfico do Estado de São Paulo (IGC, 2000), folhas 057/019; 057/20, 058/19 e 058/20, em escala 1: 10.000, com equidistância das curvas de nível de cinco metros.

Para levantamento dos dados de morfometria do relevo foram realizados procedimentos em meio digital, com correções e refinamentos manuais dos dados gerados.

#### *2.1.1 Carta de declividade*

Esta carta objetiva quantificar a inclinação do terreno, sendo, portanto, um documento cartográfico de extrema importância para determinar manejos nas áreas rurais, restrição à urbanização, avaliar a possibilidade de ocorrência de processos

morfodinâmicos e áreas a serem efetivamente preservadas, previstas na legislação ambiental vigente (Lei 12.651/12).

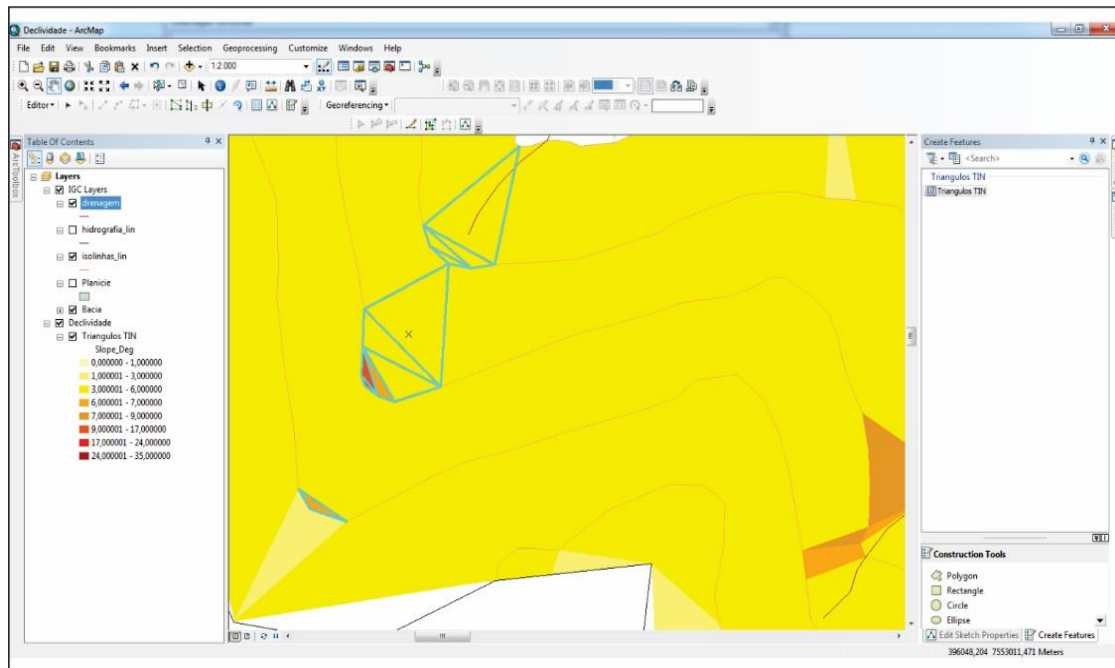
Para representar o declive dos terrenos, foram seguidos os princípios apontados por De Biasi (1970), o qual avalia os espaçamentos entre as curvas de nível através de medidas, convertidas em dados de declividade em porcentagem, de acordo com a equidistância das curvas de nível e escala de trabalho (DE BIASI, 1970, p.55). Este procedimento foi realizado de forma automática através da ferramenta *Create TIN from feature*, no qual se inseriram as curvas de nível com os valores altimétricos, vetorizadas das cartas topográficas do IGC (2000), o Modelo Digital de Elevação (MDE) e os pontos cotados.

As classes foram estabelecidas de acordo com a proposta de Lepsch (1983, p.88-89), com adaptações aos objetivos desta pesquisa. A saber:

- a)  $\leq 2\%$ : há grande possibilidade de alagamento;
- b) 2 + 5%: tendência ao alagamento;
- c) 5 + 10%: Declive entre as indicações apontadas por Lepsch (1983, p.88).
- d) 10 + 15%: limite máximo, 15%, para utilizar máquinas no preparo do solo ou colheita (DE BIASI, 1992);
- e) 15 + 47%: terrenos não aptos ao uso de maquinário agrícola e com severas limitações devido ao declive acentuado;
- f)  $\geq 47\%$ : de acordo com a Lei 12.651/12, Art.11,

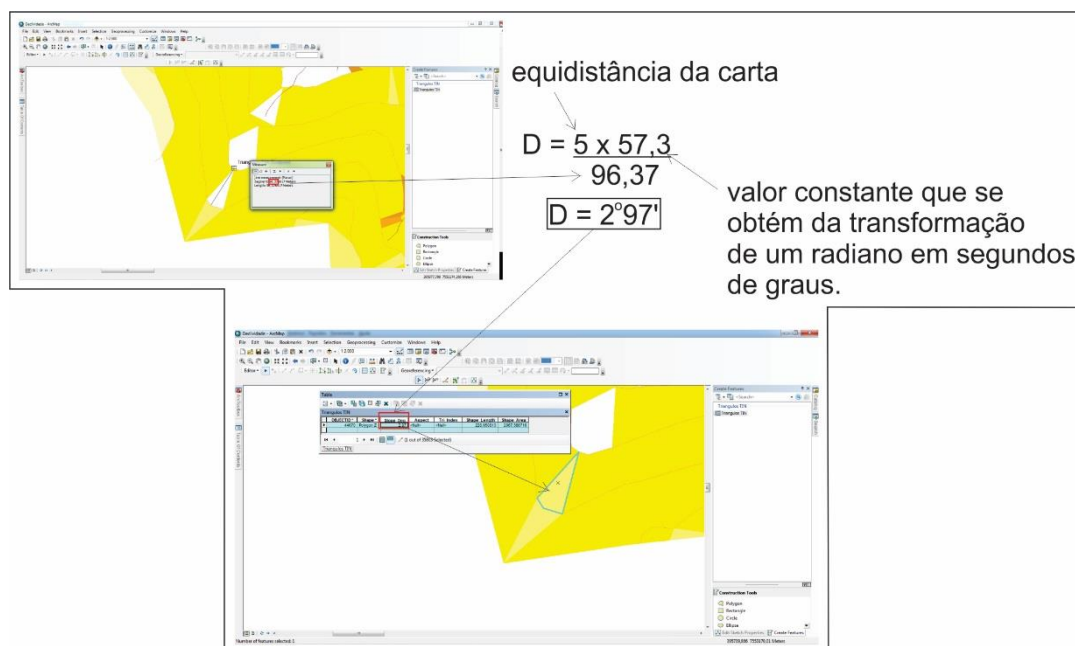
Em áreas de inclinação entre 25° e 45° serão permitidos o manejo florestal sustentável e o exercício de atividades agrossilvipastoris, bem como a manutenção da infraestrutura física associada ao desenvolvimento das atividades, observadas boas práticas agronômicas, sendo vedada a conversão de novas áreas, executadas as hipóteses de utilidade pública e interesse social.

No procedimento automático, ao triangular os valores altimétricos das curvas de nível, foram constatados erros, sobretudo nas vertentes côncavas e em alguns setores das convexas, nas quais a triangulação e as respectivas medidas ocorrem dentro da mesma curva de nível, sendo assim, necessário o ajuste manual (Figura 2).



**Figura 2:** Erros na triangulação por procedimento automático para gerar a declividade dentro da mesma curva de nível.

Para corrigir os erros detectados, um novo polígono de triangulação foi criado entre as curvas, realizando a medida pela ferramenta *Measure*. A distância entre as curvas de nível, obtida em metros, foi convertida em graus, seguindo a equação descrita por De Biasi (1970, p.48) e a indicação de medida segundo a escala de trabalho (DE BIASE, 1970, p.55). Posteriormente, este valor foi inserido na tala de atributos, coluna *Slope\_Deg*, incluído automaticamente na classe de declividade a que pertence (Figura 3).



**Figura 3:** Ajuste manual dos polígonos para cálculo da declividade.

Cabe destacar que, embora este ajuste manual demande muito tempo e trabalho, a carta de declividade é de suma importância para atingir os objetivos desta pesquisa, sendo o seu detalhamento fundamental para a aplicação das metodologias de Lepsch (1983) e Mateo Rodrigues (2005), na confecção da carta de energia do relevo de acordo com Mendes (1993) e na avaliação dos processos geomórficos existentes na área.

A declividade obtida em graus foi ajustada para porcentagem, de acordo com as indicações de Lepsch (1983, p.140).

Para a legenda da carta de declividade e das demais cartas morfométricas, as tonalidades escolhidas obedeceram à sequência da rosa cromática, indicando os terrenos planos com cores frias e os terrenos mais declivosos com as cores mais intensas.

### *2.1.2 Carta de dissecação horizontal*

A carta de dissecação horizontal permite avaliar a distância entre a linha de cumeada e o fundo de vale das bacias, ou seja, o trabalho de dissecação realizado pelos rios. Através destes dados, se identificam setores com maior potencialidade para a remobilização do material, em função da ação erosiva dos cursos fluviais, o que, por conseguinte, eleva a possibilidade de ação denudativa nas vertentes.

Para gerar as informações de dissecação horizontal, de acordo com os critérios descritos por Spiridonov (1981), foi utilizada a ferramenta desenvolvida e apresentada por Ferreira et al. (2014). Esta ferramenta produz os dados a partir dos canais fluviais, dos limites das bacias, das curvas de nível e do Modelo Digital de Elevação, além de outros dados preenchidos de acordo com a escala de trabalho, como os parâmetros de segmentação e agrupamento e as classes de dissecação horizontal.

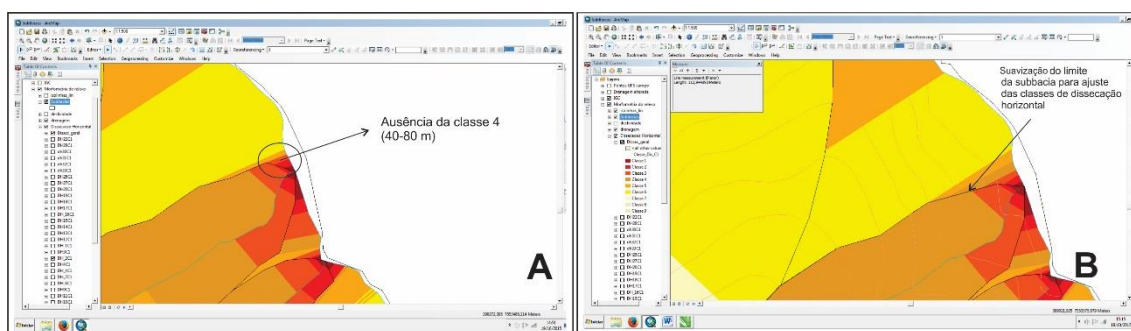
Na opção parâmetro de segmentação de drenagem, segundo Ferreira et al. (2014, p.589),

De acordo com IBGE (1999), o menor comprimento que se pode representar em um desenho é 1/5 de milímetro ou 0,2 mm, pois esse seria o menor valor pontual que a vista humana pode distinguir. Em termos lineares, para um mapa na escala 1: 10.000, o valor estabelecido para o erro gráfico é de 2 metros, ou seja, esse é o menor valor linear distinto nesta escala. Assim, o parâmetro de segmentação foi definido como 2 metros.

O parâmetro de agrupamento dos canais de drenagem está relacionado à sinuosidade desses e ao parâmetro de segmentação. Comparando a área analisada pelo referido autor, também em escala 1: 10.000, com os rios da área estudada nesta pesquisa, optou-se por utilizar o mesmo parâmetro adotado por Ferreira et al. (2014): 60.

O intervalo entre as classes foi definido de acordo com a proposta de Spiridonov (1981) e conforme a escala de trabalho. Assim, a primeira classe compreendeu os valores inferiores ou igual a 10 metros. As demais classes foram definidas com base no dobro do limite da classe anterior, até atingir a máxima distância ainda passível de representação da área estudada, sendo definidas as classes:  $\leq 10$  m; 10 + 20 m; 20 + 40 m; 40 + 80 m; 80 + 160 m; 160 + 320 m;  $\geq 320$  m.

Devido procedimento demandar muitas horas para gerar os dados de dissecação horizontal e por vezes ocorrer erros no processamento, os quais prejudicam a qualidade da informação gerada, optou-se por trabalhar com grupos de quatro sub-bacias, de modo a otimizar o tempo de verificação e identificação dos erros e fazer as correções necessárias (Figura 4).



**Figura 4:** Exemplo de ajuste para correção da dissecação horizontal.

### 2.1.3 Carta de dissecação vertical

A carta de dissecação vertical tem por objetivo destacar na topografia o grau de entalhamento realizado pelos canais fluviais. Estes dados indicam o desnível altimétrico entre o divisor de águas e o canal fluvial, o que possibilita identificar os setores com maior potencial para ocorrência de processos gravitacionais.

Para obter os dados de dissecação vertical, considerando os critérios indicados por Spiridonov (1981), foi utilizada a ferramenta desenvolvida e apresentada por Ferreira et al. (2015). Para gerar a dissecação, se faz necessário inserir informações dos canais fluviais, limites das sub-bacias, curvas de nível e Modelo Digital de Elevação, além da

indicação da escala de trabalho (1:10.000) e da equidistância das curvas de nível (5 metros).

As classes de dissecação vertical foram definidas a partir do agrupamento da equidistância das curvas de nível, sendo a melhor representação adquirida a partir de intervalos de 10 metros, até o limite máximo da área estudada, resultando nas classes: <10m; 10 f 20m; 20 f 30m; 30 f 40m; 40 f 50m e  $\geq$  50m.

Diferentemente da ferramenta de dissecação horizontal, o processamento dos dados de dissecação vertical demanda poucas horas. Neste caso, as sub-bacias foram processadas em grupos de 20, analisando-se cada grupo gerado e efetuando-se as correções necessárias, de modo a otimizar o tempo e melhor adequar o produto gerado.

#### *2.1.4 Carta de energia do relevo*

Mendes (1993) demonstra que através do cruzamento das informações quantitativas da morfometria é possível obter a energia do relevo de forma qualitativa. Tal procedimento visa qualificar o potencial dos terrenos ao desencadeamento dos processos geomórficos, que variam de muito fraca a muito forte.

Seguindo as indicações da referida autora, as informações quantitativas de morfometria (declividade, dissecação horizontal e vertical) foram cruzadas de modo a indicar a energia do relevo, sendo a escolha das classes relacionada às características específicas do ambiente estudado e aos objetivos desta pesquisa, considerando:

- a) Muito fraca: terrenos com menor classe de declividade, dissecação horizontal ou vertical. Apesar de terrenos com a classe de declividade  $\leq 2\%$  inundarem, optou-se por considerar essas áreas como energia muito fraca, pois essa enfatiza os processos erosivos em área predominantemente rural;
- b) Fraca: representa os terrenos com baixo declive ou dissecação horizontal ou vertical baixas;
- c) Média: terrenos cuja morfometria apresenta valores intermediários de dissecação dentro do universo de estudo e com declividades que comportam a mecanização agrícola;
- d) Medianamente forte: declive limite para uso de maquinário agrícola e dissecação vertical e horizontal, que indica potencial significativo ao desencadeamento de processos morfogenéticos;

- e) Forte: declives superiores ao limite para uso de maquinário na agricultura; dissecação horizontal elevada; maiores altitudes em relação ao nível de base, que tornam os terrenos com potencial ao desenvolvimento de processos geomórficos.
- f) Muito forte: declives superiores a 47%, os quais ocorrem predominantemente às margens dos canais fluviais e à jusante das rupturas topográficas abruptas; dissecação horizontal que indica maior potencialidade de desenvolvimento de processos denudativos, sobretudo em terrenos próximos à confluência de canais (Tabela 1).

**Tabela 1:** Critérios para definição das classes de energia do relevo das sub-bacias do ribeirão Areia Dourada, Marabá Paulista (SP).

Classes de energia do relevo	Declividade (%)	Combinação	Dissecação Horizontal (m)	Combinação	Dissecação Vertical (m)
<b>Muito Forte</b>	$\geq 47\%$	OU	$\leq 10$ m	-	-
<b>Forte</b>	15 F 47%	OU	10 F 20 m	OU	$\geq 50$ m
<b>Medianamente Forte</b>	10 F 15%	OU	20 F 40 m	OU	40 F 50 m
<b>Média</b>	5 F 10 %	OU	40 F 160 m	-	-
	2 F 5%	-	-	E	20 F 40 m
<b>Fraca</b>	2 F 5%	OU	160 F 320 m	OU	10 F 20 m
<b>Muito Fraca</b>	$\leq 2\%$	OU	$\geq 320$ m	OU	$\leq 10$

A opção de levar em conta a classe muito forte sem considerar os dados de dissecação vertical decorre de similaridades entre a área estudada e as observações feitas por Cunha (2001) na alta bacia do rio Passa-Cinco (SP), quando destaca que “muitas áreas com alta dissecação vertical se encontram em áreas de topos suaves, cujas morfologias denotam certa estabilidade, considerando-se então este parâmetro como secundário na definição da energia” (CUNHA, 2001, p.54).

Por não existir ainda uma ferramenta específica para o desenvolvimento dos dados de energia do relevo, neste estudo as informações foram geradas a partir da combinação de distintos procedimentos. A saber:

- a) Cruzamento dos dados de declividade, dissecação horizontal e dissecação vertical através da ferramenta *Intersect*;

- b) Criação de uma coluna do tipo texto (“Energia”) na tabela de atributos do arquivo vetorial (*shapefile*) gerado pela ferramenta *Intersect*;
- c) Foi utilizada a ferramenta *Field Calculator* na coluna “Energia”, selecionando o *Paisier Python*, com *Show Codeblock* habilitado. Dentro do primeiro quadro, é inserida a tradução da Tabela 1 para a linguagem que o programa reconhece na caixa de texto do *Pre-logic Script Code* (Apêndice 1), enquanto, no segundo quadro são digitados o nome da coluna da tabela (“Energia”) e as demais colunas, com as informações de dissecação horizontal, vertical e declividade, a serem combinadas;
- d) Verificou-se o resultado da combinação dos dados morfométricos nas classes de energia do relevo na coluna “Energia”, selecionando em *layer properties – categories – unique value – value field* a coluna energia e espacializando as classes de energia do relevo.

O processamento adotado neste mapeamento, devido à velocidade e precisão com que os dados foram gerados, mostrou-se bastante pertinente, ao passo que permitiu repensar os critérios adotados em cada classe de energia do relevo, realizando diversos testes no intuito de melhor adequar o produto aos objetivos desta pesquisa, às características e problemática da área estudada.

## 2.2 Esboço da litologia

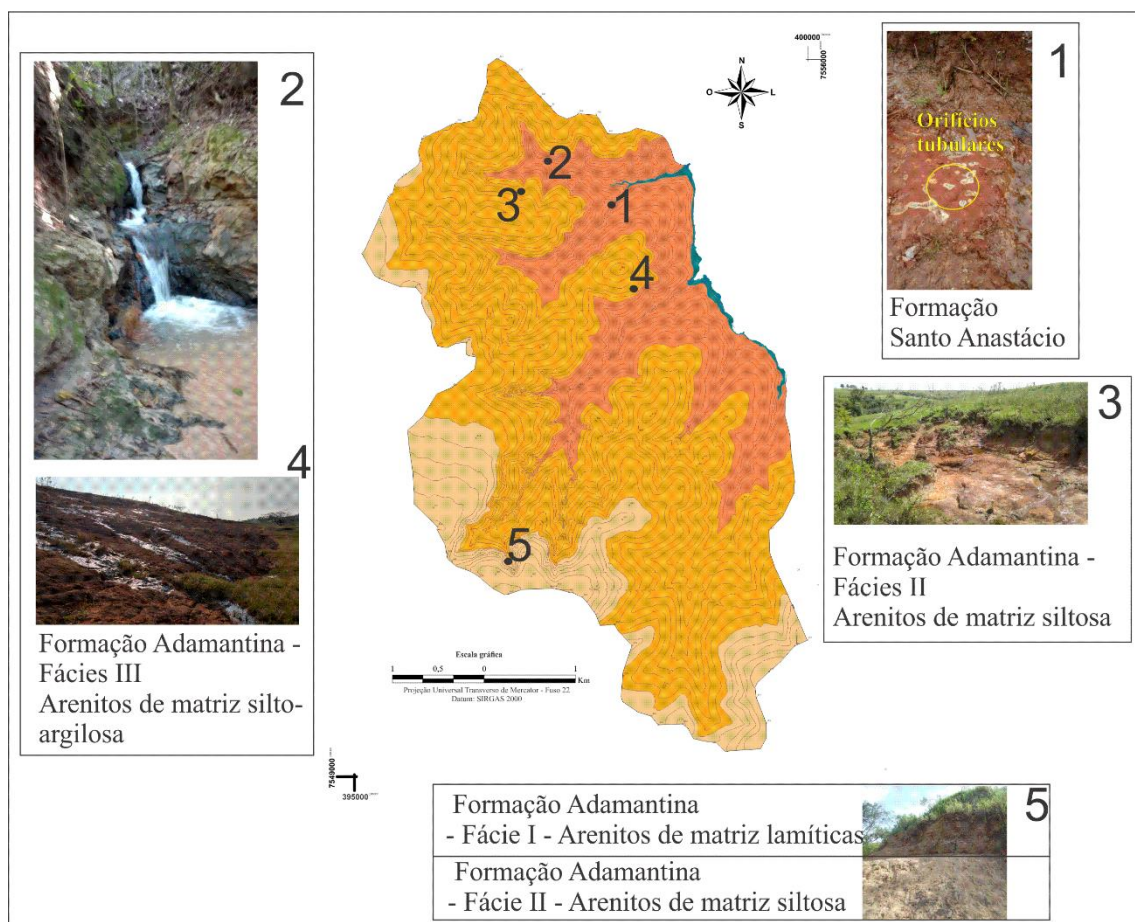
Como base para elaboração do esboço geológico, foi utilizada a adaptação da carta do IPT (1994) em escala 1: 250.000, para 1:100.000, realizada por Stein (1999). Na área, de acordo com o referido mapeamento, encontram-se feições da Formação Adamantina, do topo dos interflúvios às baixas vertentes, e da Formação Santo Anastácio, localizada da baixa vertente aos fundos de vale, sobretudo na proximidade do ribeirão Areia Dourada.

Em trabalho de campo, buscou-se identificar tais litologias em afloramentos rochosos, no percurso de rios, em quedas d’água, em áreas de solos muito rasos (<0,25m) e em rupturas topográficas. Nestes setores fez-se o registro fotográfico e a obtenção de coordenadas geodésicas, utilizando o *Global Position System* (GPS). Estas informações foram adicionadas ao banco de dados, sendo avaliadas junto as curvas de nível (IGC, 2000) e as rupturas topográficas, identificadas e mapeadas nas cartas geomorfológicas.

Na área estudada, verificou-se a mudança nas características do relevo em três patamares com características distintas, os quais representam três fases deposicionais da Formação Adamantina; nos setores de menor altitude, na baixa vertente e margens do ribeirão Areia Dourada, encontra-se a Formação Santo Anastácio.

De acordo com diversos autores (BOIN et al, 2000; PAULA E SILVA, CHANG E CAETANO-CHANG, 2003 DIBIESO, 2013), a Formação Adamantina caracteriza-se pela intercalação de bancos de arenitos, siltitos e argilitos.

Para delimitar a fácies I da Formação Adamantina, foram considerados os setores que apresentavam topos amplos e de baixo declive ( $\leq 2\%$  e de 2-5%), onde a forma indica presença de materiais de menor resistência e maior permeabilidade em relação aos demais terrenos da área estudada (Figura 5). De acordo com Agostinho (2009), em estudo na região noroeste do estado de São Paulo, esta fácies é composta de arenitos finos de matriz lamítica.



**Figura 5:** Maciço com orifícios tubulares da Formação Santo Anastácio. Fácies características da Formação Santo Anastácio.

A segunda fácies da Formação Adamantina encontra-se sob extensas vertentes convexizadas e topos divisores das sub-bacias, onde o declive predominante é de 2-5%, apresentando material pouco mais resistente que a fácies anterior e maior permeabilidade em relação à fácies III. Nesta fácies, Agostinho (2009) constatou que a presença de concreções carbonáticas e tubos de escavação verticais e horizontais caracterizam bancos de arenitos finos de matriz siltosa.

A terceira fácies da Formação Adamantina caracteriza-se por materiais mais resistentes e menos porosos que as demais fácies, potencialmente de matriz argilosa. Nessa, as vertentes apresentam declives mais acentuados, de 5-10% e de 10-15%, onde ainda se registram rupturas topográficas na transição com a fácies II, em que ocorrem afloramentos de água, registrando a menor permeabilidade desta fácies em relação as anteriores.

Para delimitar os terrenos sobre a Formação Santo Anastácio, buscou-se em campo, afloramentos com estruturas maciças e orifícios tubulares, característicos desta Formação, de acordo com Fernandes e Coimbra (1994) (Figura 5).

Para delimitar os terrenos com sedimentos aluvionares, que demarcam deposições do Cenozoico, consideraram-se as áreas de planície e terraço fluvial, levantadas na carta geomorfológica de 2016.

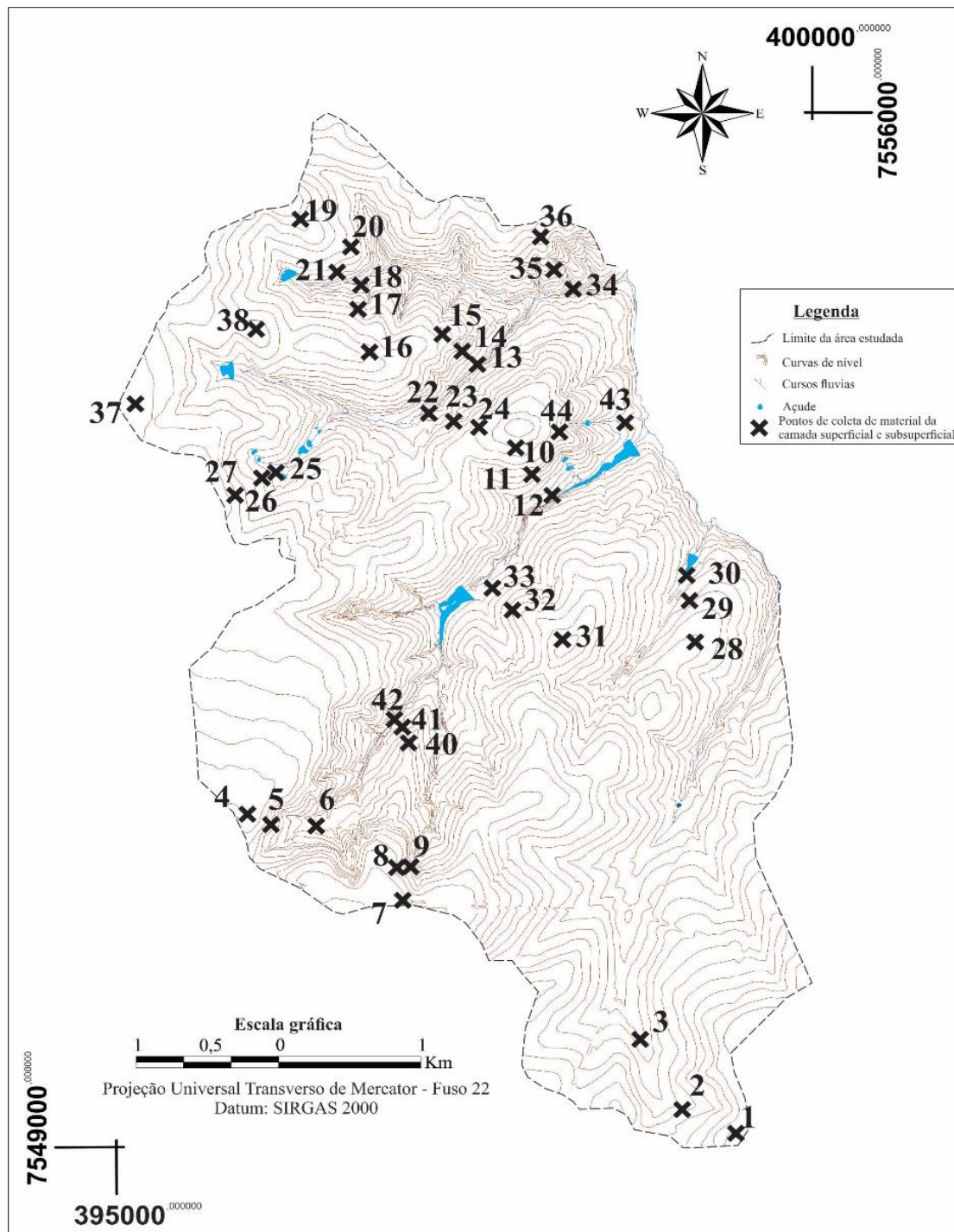
Assim, na área estudada, identificaram-se três fácies da Formação Adamantina, a Formação Santo Anastácio e os sedimentos aluvionares. As três fácies da formação Adamantina foram hierarquizadas de tons claro para escuro, de modo a indicar o aumento da resistência do material de cada fácies.

### **2.3 Carta de características pedológicas**

Para o mapeamento das características pedológicas da área estudada, considerou-se a metodologia proposta por Lepsch et al. (1983), o qual se caracteriza os solos por sua profundidade, textura e permeabilidade da camada superficial e subsuperficial.

Em um primeiro momento, foram selecionados 44 pontos de coleta, totalizando 80 coletadas. A escolha destes pontos teve como fundamento as observações em campo e os mapeamentos de geomorfologia e energia do relevo, obedecendo aos princípios da topossequência (topo, vertente e fundo de vale) (Figura 6); optou-se por trabalhar com maior número de amostras nas porções central e N da área estudada, devido à maior

movimentação do relevo, enquanto na nos setores ao S, por apresentar relevo menos movimentado, decidiu-se analisar estas sub-bacias com menos amostras.



**Figura 6:** Pontos de coleta de material da camada superficial e subsuperficial para análise de textura.

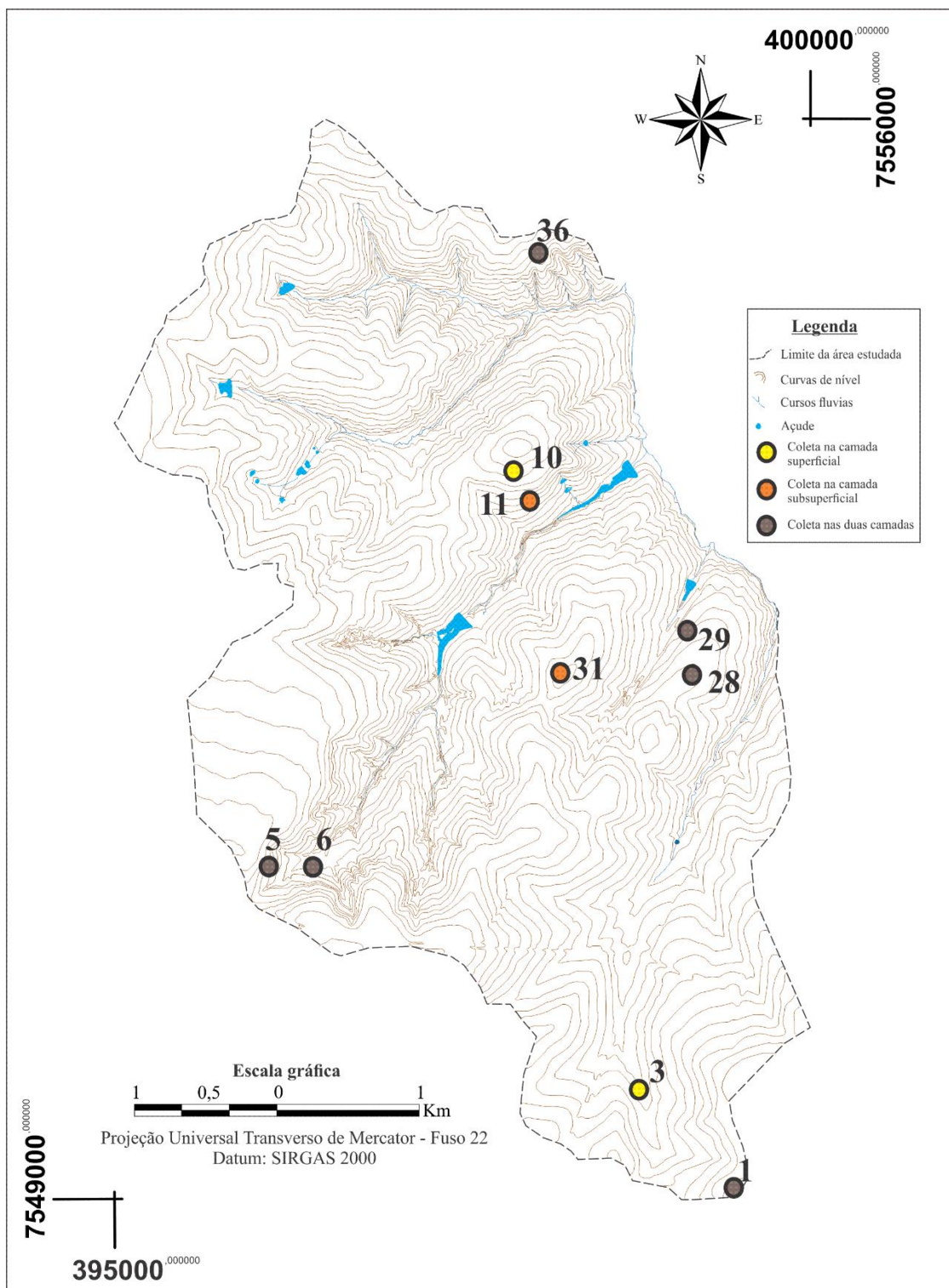
Após a seleção dos pontos amostrais, com uso de um trado, foram coletadas 2 amostras deformadas por ponto: a primeira foi retirada de 25 centímetros de profundidade, compreendendo a camada superficial; na segunda amostra, da camada

subsuperficial, fizeram-se análises em campo com as amostras removidas com o trado. Nestas análises, seguindo-se as orientações de Santos et. al (2015), foram avaliadas a pegajozidade, plasticidade e textura, e a cor, com base no *Soil Survey Staff* (1993). A partir do momento em que se identificava uma diferença em relação à amostra da camada superficial, coletava-se a amostra como da camada subsuperficial.

Todas as amostras foram embaladas em sacos plásticos, rotuladas com número da amostra, coordenadas obtidas pelo *Global Position System* (GPS), profundidade do perfil e profundidade da camada e encaminhadas para o Laboratório de Solos da Escola Superior de Agricultura Luís de Queiroz (ESALQ), Universidade de São Paulo (USP), *campus* de Piracicaba, para quantificação das frações granulométricas e avaliação da textura.

Ainda, em cada um dos pontos de coleta, perfurou-se o solo até uma profundidade máxima de 3 metros, sendo menor a profundidade perfurada quando em contato lítico ou pedregosidade, permitindo-se estimar a profundidade total do solo.

Em seguida, para seleção dos pontos amostrais para levantar a condutividade hidráulica das camadas (permeabilidade), as informações de textura, composição granulométrica e profundidade dos pontos de coleta foram avaliadas conjuntamente, formando-se grupos cujas informações apresentavam semelhanças, resultando na seleção de 16 amostras representativas destes grupos (Figura 7).



**Figura 7:** Pontos de coleta de material da camada superficial e/ou subsuperficial para análise de permeabilidade (condutividade hidráulica).

Em campo, para coleta do material em campo, quando da camada superficial do solo, limpava-se o terreno entre 5 a 10 centímetros de profundidade, e se introduzia um

cilindro com o martelo de Ulhand. Já para as amostras da camada subsuperficial, abriu-se uma trincheira com 70 cm de largura e 20 cm de espessura, e profundidade variada, de acordo com a camada subsuperficial. As amostras, coletadas nos cilindros, foram embaladas com papel alumínio e embrulhadas com plástico bolha, etiquetadas e registradas com as coordenadas geodésicas obtidas pelo GPS.

Posteriormente, as amostras foram encaminhadas para o Laboratório de Engenharia de Biosistemas (LEB), da USP – ESALQ, campus de Piracicaba (SP), no qual foram realizadas as análises de condutividade hidráulica (permeabilidade). Nesta análise, o laboratório utiliza da metodologia descrita por Klute (1965), com permeâmetro de carga constante (bureta de Mariotte, cilindro adicional, cilindro de ulhand, tela para suportar o solo e proveta com percola). No cálculo do valor da condutividade, foi utilizada a Lei de Darcy. Os resultados foram classificados de acordo com Lepsch et al. (1983), sendo: moderada para valores de 5-150mm de água percolada por hora; e lenta, de <5mm de água percolada por hora.

Os dados levantados em campo e no laboratório foram tabulados, classificando-se a textura das camadas de acordo com a proposta da *National Agriculture Statistics Service* (USDA, 1956), indicada pela EMBRAPA (1979) e utilizada por Lepsch et al. (1993).

A partir dos resultados tabulados, seguindo-se as orientações de Lepsch (1983, p.64-73), os solos foram classificados em três conjuntos: o primeiro indicativo da profundidade total do solo, sendo: (1) muito profundos ( $\geq 2\text{m}$ ); (2) profundos (1 a 2m); e (3) moderadamente profundos (0,5 a 1 metro). A seguir, os dois números se referem a textura da camada superficial e subsuperficial, respectivamente, sendo: (2) textura argilosa (com teor de argila entre 35 e 50%); (3) textura média (com teor de argila <35%, teor de areia maior que 15% e de silte < 50%); e (5) textura arenosa (com teor de argila < 15% e de areia > 70%). Os últimos dois números correspondem à permeabilidade da camada superficial e subsuperficial, respectivamente, sendo: (2) moderada (níveis de 5 a 150mm de água percolada por hora); e (3) lenta (< 5mm de água percolada por hora).

Para o mapeamento das informações, foram adicionados os pontos de coleta de solo; a esses foram adicionadas colunas, na tabela atributos, inserindo-se todas as informações levantadas em campo (profundidade, se subordinado ao hidromorfismo, cor, pedregosidade) e em laboratório (textura e permeabilidade da camada superficial e subsuperficial). Após a espacialização destas informações, avaliou-se o relevo de entorno

do ponto, considerando sua posição na topossequência e traçando os possíveis limites de cada conjunto de características pedológicas levantadas.

Para a confecção da carta, os solos foram agrupados pela profundidade, destacados em tons de marrom que variam do claro (mais profundos) para o escuro (mais rasos), diferenciando-os em quatro classes: solos muito rasos (0 a 0,25m); moderadamente profundos (0,50 até 1,00m); profundos (1,00 até 2,00m) e muitos profundos ( $\geq 2$ m); outra classe foi definida para aqueles subordinados ao hidromorfismo. As cores utilizadas para indicar a profundidade do solo partiram da ideia da capacidade de uso, assim, os solos de menor profundidade apresentaram cores mais intensas, no intuito de indicar maior limitação dos mesmos.

## 2.4 Cartografia retrospectiva

Para o mapeamento das feições geomorfológicas do ano de 1963, foram utilizadas as fotografias 5503, 5504, 5505, 6273, 6274, 6275, 6276 do aerolevanteamento realizado pelo Estado de São Paulo, em escala aproximada de 1: 25.000. Para o ano de 1979, foram usadas as fotografias FX91A-2857 e 2858, FX92-2871 e 2873 e FX93-2921 e 2922, do aerolevanteamento realizado pela empresa Terrafoto S.A – Atividades de Aerolevanteamento, em escala aproximada de 1: 25.000. Referentes ao ano de 1997, foram utilizadas as fotografias 07/5884, 07/5885 e 07/8856, do aerolevanteamento de Presidente Venceslau e áreas correlatas, em escala de voo aproximada de 1: 35.000. No mapeamento das feições geomorfológicas, estas fotografias foram trabalhadas em estereoscopia digital através da elaboração de anaglifos no *software StereoPhoto Maker*, seguindo orientações de Souza Oliveira (2012). Obtidos os pares estereoscópicos, o mapeamento foi realizado no *software ArcGis* utilizando de óculos 3D.

Acerca do ano de 2011, foram utilizadas as ortofotos SF\_22\_YB\_I\_2\_NE e SE, SF\_22\_YB\_II\_1\_NO e SO do levantamento realizado pela Empresa Paulista de Planejamento Metropolitano S.A (EMPLASA, 2010), com resolução de 0,45 m, enquanto para o ano de 2016, as imagens orbitais do satélite *Quickbird* de 2013, com resolução de 0,6 m. Estas informações foram reambuladas em trabalhos de campo, realizados em 2011, 2012, 2013, 2015 e 2016.

Embora haja discordância entre as escalas dos aerolevanteamentos e a selecionada nessa pesquisa, realizou-se a fotointerpretação com o máximo de zoom e detalhe possível,

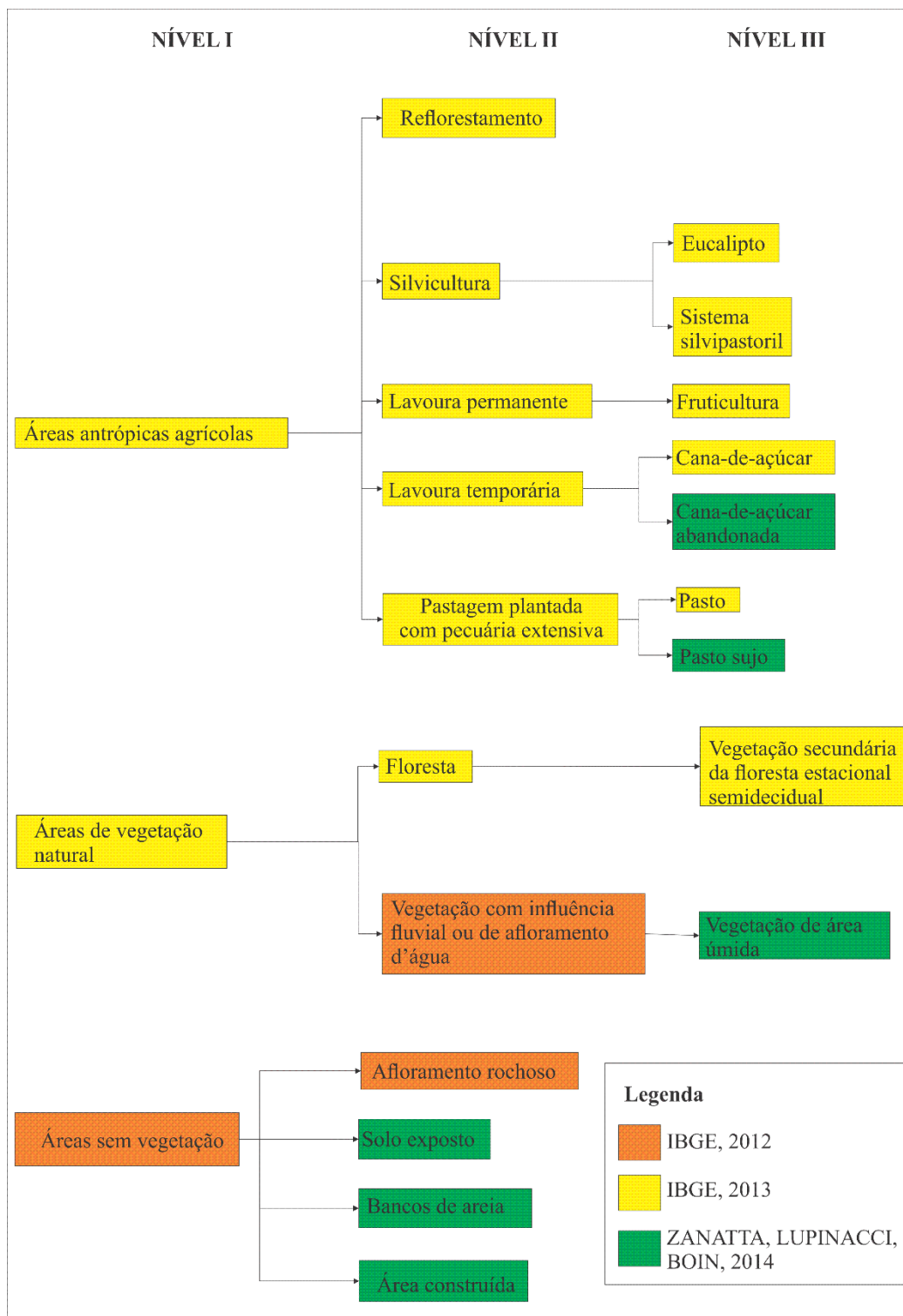
considerando-se, portanto, que as feições levantadas são passíveis de serem cartografadas e trabalhadas na escala da base cartográfica (1:10.000).

#### *2.4.1 Cartas de uso e cobertura superficial da terra*

A fim de avaliar o histórico de uso da terra, foram mapeados os anos de 1963, 1979, 1997, 2011 e 2016, utilizando das mesmas fotografias aéreas e imagem orbital apontadas no item 2.4.

Para melhor adequar o produto ao universo estudado, aos objetivos e à escala de trabalho da pesquisa, na elaboração destas cartas foram consideradas algumas definições e metodologias presentes no IBGE (2012) e IBGE (2013); outras classes foram criadas e definidas especificamente para este trabalho.

Seguindo as referidas orientações, para uma área predominantemente rural, criaram-se três níveis hierárquicos para melhor categorizar as classes identificadas (Figura 8).



























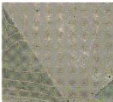

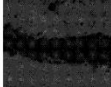
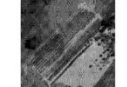



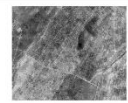
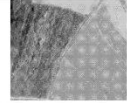
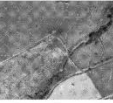
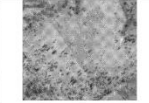
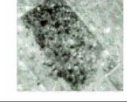
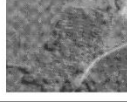
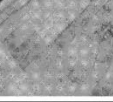
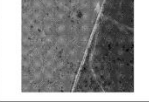
**Figura 8:** Esquema teórico de construção de uma nomenclatura da cobertura terrestre nas sub-bacias da alta bacia do ribeirão Areia Dourada, em escala 1: 10.000. Adaptado de Heymann (1994 apud IBGE, 2013, p.24).

Na interpretação da imagem orbital e das fotografias aéreas, as chaves de interpretação seguiram as indicações de Florenzano (2007), considerando: a tonalidade,

no caso das fotografias aéreas em preto e branco; cor, no caso das imagens coloridas; textura; tamanho; formas regulares e irregulares; padrão; e localização geográfica dos objetos detectados pelos sensores remotos.

O mapeamento foi realizado de modo manual, identificando-se e criando polígonos para cada cobertura.

As classes pertencentes às áreas antrópicas agrícolas foram identificadas até o nível II apenas nos anos de 1963, 1979 e 1997, por não ser possível identificar especificamente qual a espécie cultivada. As demais classes destes cenários, e de 2011 e 2016, foram identificadas até o nível III (Figura 9).

ÁREAS ANTRÓPICAS AGRÍCOLAS							
Classe	Reflorestamento	Silvicultura	Cana-de-açúcar abandonada	Cultura temporária	Fruticultura	Pasto	Pasto sujo
Legenda							
Fotografia em campo							
Chaves de interpretação	Textura rugosa ausência de padrão geométrico tons escuros	Textura pouco rugosa, quase uniforme padrão geométrico do cultivo tons escuros	Cobertura identificada em campo	Textura lisa padrão geométrico do cultivo tons claros	Textura rugosa padrão geométrico do cultivo formato circular das copas	Textura lisa tons de claro a escuro	Textura lisa e tons claros permeada por rugosidades em tons escuros
Quickbird, 2013 Resolução 0,6m			Cobertura não identificada				
EMPLASA, 2010 Resolução 0,45m			Cobertura não identificada				
IGC, 1997 Escala de voo 1: 35.000		Cobertura não identificada	Cobertura não identificada				
CESP, 1979 escala 1: 20.000	Cobertura não identificada		Cobertura não identificada		Cobertura não identificada		
São Paulo, 1963 Escala de voo 1: 25.000	Cobertura não identificada		Cobertura não identificada		Cobertura não identificada		

**Figura 9:** Identificação das áreas antrópicas agrícolas.

De acordo com IBGE (2013), entende-se por reflorestadas a “formação de maciços com espécies florestais nativas ou exóticas [...] abrange todas as áreas povoadas com essências florestais, independentemente do ambiente” (p. 29).

Para as áreas com reflorestamento, na interpretação das fotografias aéreas e da imagem orbital, a forma de reconhecer foi similar a da vegetação nativa: pela textura rugosa, devido à heterogeneidade, característica da combinação de espécies com distintos portes, pelos tons de verde escuro nas fotografias coloridas e próximos ao preto nas fotografias em preto e branco (Figura 9).

A silvicultura caracteriza-se pela “[...] implantação, trato e cultivo de povoamentos florestais, assegurando proteção, estruturando e conservando a floresta como fornecedora de matéria prima para indústria madeireira” (IBGE, 2013, p. 29). Esta classe foi dividida entre eucalipto e sistema silvipastoril, o qual “combina árvores com pastagem (animais)” (IBGE, 2013, p. 28).

A classe silvicultura foi identificada através da textura pouco rugosa, quase uniforme, e de cores mais intensas, sendo verde escuro na imagem orbital e tons de preto nas fotografias em preto e branco (Figura 9). Acerca dos anos de 2011 e 2016, em campo, foi possível averiguar que esta cobertura compreende plantações de eucalipto.

A lavoura permanente representa as culturas de ciclo longo, que permitem colheitas sucessivas, sem a necessidade do plantio anual (IBGE, 2013). Enquanto a lavoura temporária é caracterizada por “plantas de curta a média duração, geralmente com ciclo vegetativo inferior a um ano”, incluem-se a essas as lavouras semipermanentes, como a cana-de-açúcar (IBGE, 2013 p.27), identificadas nos anos de 2011 e 2016.

Na identificação destas coberturas na imagem orbital, as culturas permanentes, como as bananeiras, apresentam textura mais rugosa, com a forma circular das copas enfileiradas pelo tipo de cultivo, em tons de verde escuro nas imagens coloridas. Já as culturas temporárias apresentam textura menos rugosa que as culturas permanentes, com tons mais claros. A classe cana-de-açúcar abandonada foi registrada apenas através de pesquisa de campo, identificada devido ao abandono, pois as espécies vegetais apresentam tamanho superior ao do período de colheita e há vegetação de capoeira em meio à plantação (Figura 9).

As pastagens, predominantemente braquiárias, foram classificadas como plantadas e a pecuária do tipo extensiva, por representar um “sistema de criação em que o gado é criado solto” (IBGE, 2013, p. 28), fato verificado em campo. Nesta classe, ainda se distinguiu as áreas com pasto e pasto sujo. A primeira foi levantada pela textura lisa,

em tons que variam de claro para escuro, enquanto o pasto sujo diferenciado pela presença de manchas em tons mais escuros e textura rugosa em meio a textura lisa da pastagem, indicando o crescimento de outras espécies vegetais.




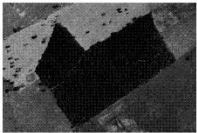
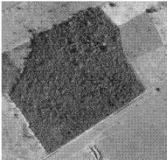
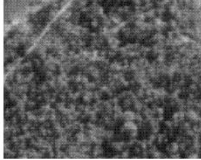



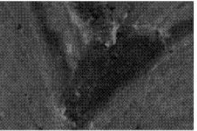
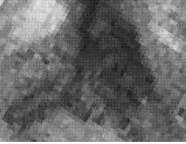
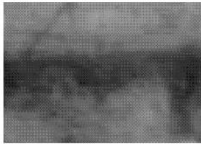
As áreas de vegetação natural foram reconhecidas até o nível III nos anos de 1979 e 2016 (Figura 10).

Nesta categoria, a vegetação natural do tipo florestal caracteriza-se por formação arbórea, incluindo-se a Floresta Estacional Semidecidual caracterizada pela “estrutura florestal com perda das folhas dos estratos superiores durante a estação desfavorável - seca e frio” (IBGE, 2013 p. 29). Para a definição do tipo de floresta na área estudada, foi utilizado o levantamento realizado por Ditt (2002).

Já as espécies pertencentes às vegetações com influência fluvial constituem as

[...] comunidades vegetais das planícies aluviais que refletem os efeitos das cheias dos rios nas épocas chuvosas, ou, então, das depressões alagáveis todos os anos. Nestes terrenos aluviais, conforme a quantidade de água empoçada e ainda o tempo que ela permaneça na área, as comunidades vegetais vão desde a pantanosa criptofítica (hidrófitos) até os terraços alagáveis temporariamente de terófitos, geófitos e caméfitos (IBGE, 2012 p. 139).

Ainda de acordo com o IBGE (2012), encontram-se nestes terrenos espécies herbáceas, arbóreas, arbustivas e graminoso. Para a área estudada, além das planícies e terraços fluviais, observa-se esta vegetação próxima às rupturas topográficas com afloramento d'água, mapeadas como vegetação de área úmida (Figura 10).

ÁREAS DE VEGETAÇÃO NATURAL									
Legenda	Classe	Fotografia em campo	Chave de interpretação	Imagem Orbital	Fotografias aéreas				
				Quickbird, 2013	EMPLASA, 2010	IGC, 1997	CESP, 1979	São Paulo, 1963	
				Resolução 0,6m	Resolução 0,45m	Escala de vôo 1: 35.000	escala 1: 20.000	Escala de vôo 1: 25.000	
Floresta	Estacional semidecidual		Textura rugosa tons escuros						
Vegetação com influência fluvial ou de afloramento d'água	Vegetação de área úmida		Textura rugosa tons claros e escuros, característicos de áreas alagadas						





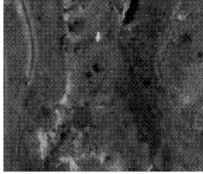

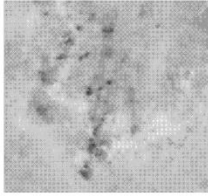





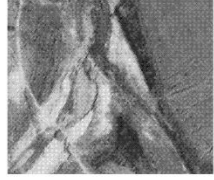
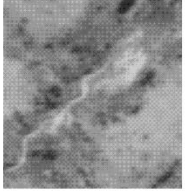




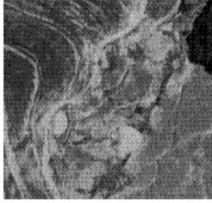
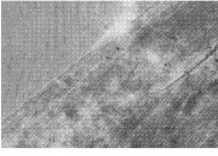
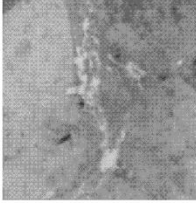





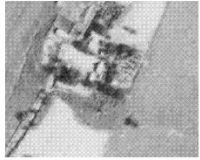
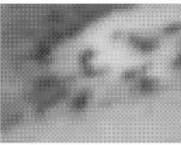
**Figura 10:** Identificação das áreas de vegetação natural.

As áreas sem vegetação foram reconhecidas até o nível dois em todos os anos mapeados (Figura 11).

Nesta categoria, o IBGE (2012) indica a classe afloramentos rochoso, definido como toda área que não apresenta nenhum tipo de vegetação, somente rocha. As demais classes foram criadas para caracterizar as especificidades identificadas na área estudada. Os bancos de areia representam as áreas de deposição fluvial, localizados essencialmente nas áreas de planície fluvial; já o solo exposto indica a presença de feições erosivas, obliteração, limite de alguns terraços agrícolas ou bacias de contenção secas, nas vertentes e áreas de topo (Figura 11).

Na identificação da classe afloramento rochoso, foi realizado um levantamento em campo, observando posteriormente o padrão desta cobertura superficial nas fotografias aéreas e nas imagens orbitais. A área de solo exposto foi identificada por tons de cinza claro nas fotografias em preto e branco e de tons em vermelho na imagem orbital. Já os bancos de areia apresentam-se em tons que variam de bege a branco dentro da planície (Figura 11).

A classe área construída incorpora as casas, estábulos e galpões construídos em meio rural. Para a sua identificação, a forma retangular, o tamanho e a cor foram as chaves utilizadas (Figura 11).

ÁREAS SEM VEGETAÇÃO								
Legenda	Classe	Fotografia em campo	Chaves de interpretação	Imagem Orbital	Fotografias aéreas			
				Quickbird, 2013	EMPLASA, 2010	IGC, 1997	CESP, 1979	São Paulo, 1963
				Resolução 0,6m	Resolução 0,45m	Escala de vôo 1: 35.000	escala 1: 20.000	Escala de vôo 1: 25.000
	Afloramento rochoso		Manchas de textura lisa e tons de branco a cinza claro					
	Bancos de areia		Manchas de textura lisa e tons de branco a cinza claro dentro das áreas de planície fluvial					
	Solo exposto		Manchas de textura lisa e tons de vermelho a branco e cinza claro					
	Área construída		Padrão geométrico característico de construções					

**Figura 11:** Identificação das áreas sem vegetação.

#### 2.4.2 *Cartas geomorfológicas*

De modo a melhor adequar a carta geomorfológica ao universo estudado e aos objetivos da pesquisa, assim como Simon (2010), foram utilizadas as propostas técnicas de Tricart (1965) com algumas adaptações de Verstappen e Zuidam (1975). No mapeamento, buscou-se maior destaque para as feições de relevo que indicam maior dinâmica erosiva desencadeada pelo escoamento das águas e as diversas alterações promovidas pela ação humana, que interferem na morfologia original e na rede de drenagem.

Seguindo as orientações de Tricart (1965), foram levantados os dados de: morfometria (como as curvas de nível, a rede de drenagem, colo topográfico e linha de cumeada suave); morfografia, (relativo à representação espacial e areal das formas de relevo) e morfogênese (apontando os processos que dão origem às formas, como: feições de origem denudativa, feições resultantes da ação das águas correntes e modelado antrópico). De Verstappen e Zuidam (1975) adotou-se a simbologia para identificar as formas de vertentes, por considerar que estes dados contribuem para melhor avaliar o escoamento superficial da água (Figura 12).

<b>Elementos</b>	<b>Denominação</b>		<b>Símbolo</b>	<b>Fonte</b>	
Interflúvio	Forma da vertente	Convexa		Verstappen e Zuidam (1975)	
		Côncava		Verstappen e Zuidam (1975)	
		Retilínea		Verstappen e Zuidam (1975)	
	Linha de cumeada suave			Tricart (1965)	
	Colo topográfico			Tricart (1965)	
	Feições de origem denudativa	Hídrica	Laminar		Adaptação de Verstappen e Zuidam (1975)
			Sulco		Tricart (1965)
			Ravina		Tricart (1965)
			Voçoroca		Tricart (1965)
		Gravitacional	Terracetes		Verstappen e Zuidam (1975)
Topografia	Curvas de nível com equidistância de 5m			Convenção cartográfica	
	Ponto cotado			Convenção cartográfica	
Ação das águas correntes	Feições de drenagem	Canal fluvial			Tricart (1965)
		Canal pluvial			Tricart (1965)
		Solapamento			Dibieso (2013)
	Forma de acumulação	Planície e terraço fluvial			Tricart (1965)
	Modelado de entalhe	Fundo de vale	Plano		Tricart (1965)
			Em "V"		Tricart (1965)
		Ruptura topográfica	Suave		Tricart (1965)
			Suave com afloramento de água		Adaptação de Tricart (1965)
			Abrupta		Tricart (1965)
			Abrupta com afloramento de água		Adaptação de Tricart (1965)
Modelado antrópico	Terraços agrícolas			Adaptação de Verstappen e Zuidam (1975)	
	Bacias de contenção			Zanatta, Cunha e Boín (2014)	
	Obliteração			Zanatta, Cunha e Boín (2014)	
	Canal de origem antrópica			Simon (2010)	
	Açudes			Convenção cartográfica	
	Rodovia			Convenção cartográfica	
	Estrada			Convenção cartográfica	

**Figura 12:** Símbolos da carta de geomorfologia.

A escolha das cores dos símbolos geomorfológicos visou a uma adaptação aos objetivos da pesquisa, destacando os processos erosivos, mapeados em vermelho. Definidos os critérios na escolha dos símbolos e das cores, esses foram gerados no *software* ArcGis, seguindo as orientações de Paschoal et al. (2010).

No mapeamento, distintas bases e técnicas de interpretação dos fenômenos geomorfológicos foram utilizadas para confecção das cartas de 1963, 1979, 1997, 2011 e 2016. As fotografias aéreas de 1963, 1979 e 1997 foram avaliadas em estereoscopia digital com anaglifos (SOUZA; OLIVEIRA, 2012), enquanto para 2011 e 2016, na identificação das feições nas imagens orbitais, foram utilizadas chaves de interpretação; posteriormente as informações mapeadas foram reambuladas em campo atualizando para 2016.

As formas de vertentes (côncava, convexa, retilínea e irregular), canais pluviais, linha de cumeada e colo topográfico foram identificados a partir da base cartográfica, pelo contorno das curvas de nível.

Dentre as formas de origem denudativa foram levantados: marcas que indicam erosão laminar; formas que indicam erosão linear em sulcos, ravinas e voçorocas; e processos gravitacionais, como os terracetes (Figura 13).






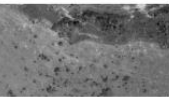
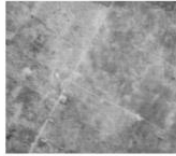




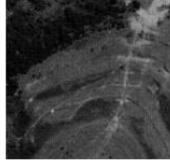

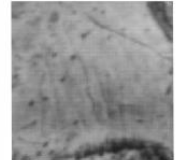
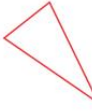




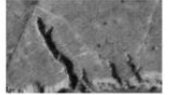
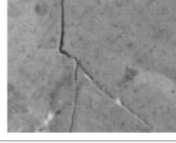


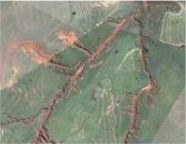
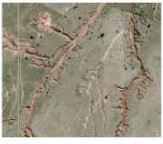
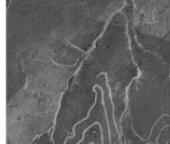
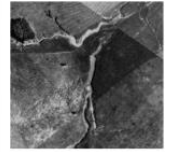



As formas que indicam erosão laminar, causada pelo escoamento superficial difuso, foram identificadas em campo pelos terrenos que apresentavam manchas de solo exposto. Esta mesma orientação foi utilizada na interpretação da imagem orbital e das fotografias aéreas: nas imagens coloridas, os terrenos foram identificados por tons de vermelho (solo exposto) em meio a tons de verde de claro a escuro (cobertura superficial); nas fotografias em preto e branco, como manchas claras em meio aos tons de cinza mais escuros (Figura 13).

Os sulcos caracterizam as pequenas incisões verticais, com aprofundamento de poucos centímetros, muitas vezes com caminhos indicados por solo exposto. Assemelham-se a um risco, nas imagens coloridas, de tons bem claros, próximos ao branco, quando em solo arenoso, ou tons avermelhados, indicativo de solo rico em Fe; já nas fotografias em preto e branco aparecem em cinza claro ou branco (Figura 13).

A ravina resulta da ampliação da erosão em sulco. Na imagem orbital e fotografias aéreas, foi diferenciada dos sulcos através da evolução no sentido horizontal e no aprofundamento, verificado através do sombreado dentro da forma erosiva (Figura 13).

A voçoroca representa forma erosiva esculpida pela ação da água em superfície e subsuperfície, aflorando o lençol freático. Nas fotografias aéreas e imagens orbitais, esta feição denudativa foi identificada a partir da tonalidade mais escura no talvegue, indicando umidade. Em campo, além da observação da presença de água corrente na base, também foram observados dutos, característicos de *piping* (Figura 13).

Os terracetes registram a ação gravitacional através do movimento coletivo do solo, fenômeno que ocorre em terrenos com declives mais fortes. Tais feições são possíveis de identificação apenas em campo (Figura 13).

FEIÇÕES DE ORIGEM DENUDATIVA							
Símbolo	Formas de relevo	Fotografia em campo	Imagem Orbital	Fotografias aéreas			
			Quickbird, 2013	EMPLASA, 2010	IGC, 1997	CESP, 1979	São Paulo, 1962
			Resolução 0,6m	Resolução 0,45m	Escala de voo 1: 25.000	Escala 1: 20.000	Escala de voo 1: 35.000
	Marcas que indicam erosão laminar						
	Sulco						
	Ravina						
	Voçoroca						
	Terracetes		Feição possível de identificação apenas no campo	Feição possível de identificação apenas no campo	Feição possível de identificação apenas no campo	Feição possível de identificação apenas no campo	Feição possível de identificação apenas no campo





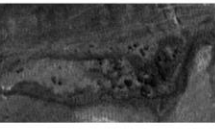
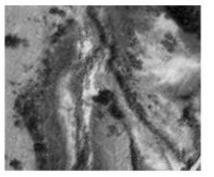
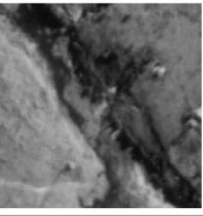




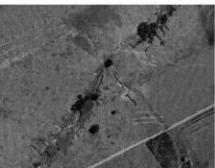
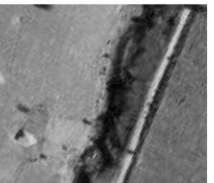
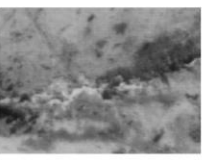




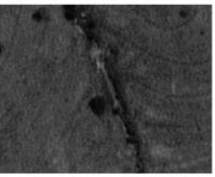
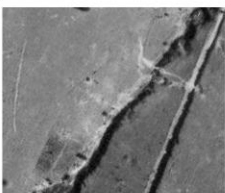
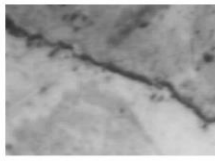




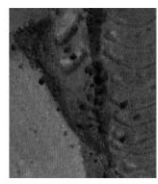
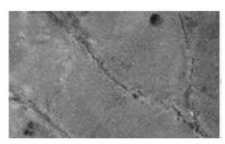
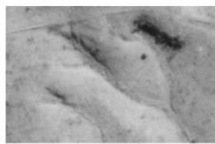
**Figura 13:** Identificação de feições denudativas.

Como feições fluviais foram encontradas: solapamento das margens; áreas de terraços e planície fluvial; fundos de vale plano e em “V” (Figura 14).

As áreas de planície fluvial caracterizam os terrenos planos com limite inferior no leito menor dos rios e superior na base da vertente; são áreas sujeitas a inundações periódicas em ocasiões de chuvas abundantes. Os terraços fluviais e antigas planícies alagam em casos de chuvas excepcionais, caracterizando-se por áreas planas com limite inferior na planície fluvial e superior na base da vertente. Devido à escala de trabalho, não foi possível representar estas feições de modo separado, por isso as informações foram agrupadas e mapeadas como “área de terraço e planície fluvial” (Figura 14).

Através dos anaglifos foi possível identificar as referidas feições nas fotografias de 1979, enquanto na imagem orbital, estas áreas foram levantadas a partir de indicativos de deposição do material carregado pelo rio, como bancos de areia e áreas úmidas com vegetação sob influência da ação fluvial. Estes dados foram reambulados em campo (Figura 14).

O solapamento das margens caracteriza-se pela ação da água corrente na remoção do material da planície e terraço fluvial ou da base da vertente, promovendo a queda do material sobrejacente. Estas feições, nas fotografias aéreas e imagem orbital, foram registradas através da presença de rugosidade dos terrenos ou da sequência de pequenas ravinas nas margens dos canais (Figura 14).

FEIÇÕES FLUVIAIS							
Símbolo	Formas de relevo	Fotografia em campo	Imagem Orbital Quickbird, 2013	Fotografias aéreas			
			Resolução 0,6m	EMPLASA, 2010 Resolução 0,45m	IGC, 1997 Escala de voo 1: 35.000	CESP, 1979 Escala 1: 20.000	São Paulo, 1963 Escala de voo 1: 25.000
	Área de terraço e planície fluvial						
	Solapamento das margens						
	Fundo de vale em "U"						
	Fundo de vale em "V"						

**Figura 14:** Identificação de feições fluviais em todos os anos mapeados.

Os fundos de vale em “V” caracterizaram os vales com as vertentes conectadas ao curso fluvial. Já os fundos de vale planos caracterizaram as áreas de planície cujas dimensões não eram passíveis de representação na escala utilizada neste trabalho (Figura 15).





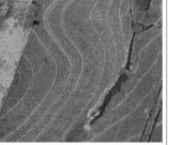
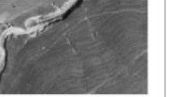


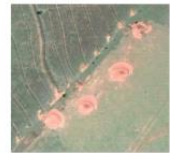

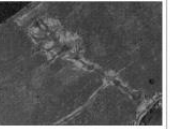
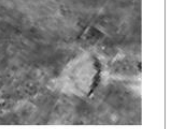








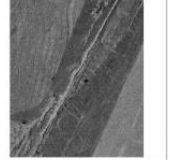





Consideradas dentro da categoria modelado de entalhe (TRICART, 1965), as rupturas topográficas identificadas nos anos de 1963, 1979 e 1997 foram delimitadas a partir da estereoscopia. Para o mapeamento acerca dos anos de 2011 e 2016, pela ausência de estereoscopia, estas feições foram identificadas a partir de mudanças na tonalidade, sendo os tons mais escuros indicativos da presença de umidade; estes dados foram reambulados em campo.

Como modelado antrópico foram identificados terraços agrícolas, bacias de contenção, obliteração e canal antropogênico (Figura 15).

Os terraços agrícolas foram identificados nas fotografias de 1979 e 1997 e imagens orbitais de 2010 e 2013 através da sequência de contornos em nível. As bacias de contenção foram identificadas por formas circulares em alguns pontos dos terraços agrícolas, no trajeto das feições em sulco ou nas margens de estradas rurais. A obliteração, caracterizada pelo soterramento das feições erosivas, foi levantada a partir do contorno similar ao de feições erosivas, mas com uma grande quantidade de solo recobrimo-as (Figura 15).

Apenas uma feição de canal antropogênico foi constatada, em uma antiga estrada rural atingida por erosão em voçoroca. Na identificação, na imagem orbital de 2013, observaram-se tons de marrom escuro no talvegue da erosão, indicativo de umidade ao longo da estrada; esta feição foi reambulada em campo.

Os açudes foram constatados a partir da presença de barragens nos cursos fluviais, seguidas de um reservatório de dimensões variadas ao longo da área.

MODELADO ANTRÓPICO							
Símbolo	Formas de relevo	Fotografia em campo	Imagem Orbital		Fotografias aéreas		
			Quickbird, 2013	EMPLASA, 2010	IGC, 1997	CESP, 1979	São Paulo, 1963
			Resolução 0,6m	Resolução 0,45m	Escala de voo 1: 25.000	Escala 1: 20.000	Escala de voo 1: 35.000
	Terraços agrícolas						Feição não constatada
	Bacias de contenção						Feição não constatada
	Obliteração				Feição não constatada	Feição não constatada	Feição não constatada
	Canal antropogênico					Feição não constatada	Feição não constatada
	Açude					Feição não constatada	Feição não constatada

**Figura 15:** Identificação do modelado antrópico nos anos mapeados.

### 2.4.3. Tratamento dos dados

Para análise das informações levantadas, optou-se por trabalhar os dados do mapeamento geomorfológico e de uso e cobertura superficial da terra de 1963, 1979, 1997, 2011 e 2016 através do Coeficiente de Correlação de Pearson ( $p$ ). Para tanto, os dados foram quantificados, sendo os de uso da terra trabalhados em porcentagem de área e os dados geomorfológicos avaliados de acordo com sua natureza espacial, a saber: marcas que indicam erosão laminar, voçoroca, terraços agrícolas e açudes em área (em ha); bacias de contenção, sulcos e ravinas em número de feições; estrada rural, canal fluvial com fundo de vale plano e canal antropogênico em extensão (em km).

Após a quantificação dos dados, executada no programa *Microsoft Excel*®, elaborou-se uma tabela: nas colunas, as informações de cada ano dos dados de uso da terra e geomorfologia (1963, 1979, 1997, 2011 e 2016), enquanto nas linhas a área, número ou extensão das classes temáticas em cada ano analisado. Os resultados da aplicação do Coeficiente de Pearson foram marcados com cores que variam de verde (intensidade de correlação positiva), vermelho (intensidade de correlação negativa) e branco (correlação nula).

Ao final, foi realizada a remoção dos dados que não apresentavam significância espacial, como por exemplo: as correlações entre informações de uso da terra, optando-se, ainda, pela exclusão das informações que abrangem áreas muito pequenas; como também foram discriminadas as informações que oscilam em faixas diferentes ao longo dos anos, analisadas de forma separada. À exemplo: muitas das formas erosivas em estágio avançado de desenvolvimento, ravinas e voçorocas, surgem em meio as pastagens, no entanto, nos anos posteriores, ocorrem mudanças na cobertura da terra, reduzindo a área de pasto. Desta forma, as pastagens, reduzidas em área no conjunto dos dados, têm correlação alterada em relação às formas erosivas, o que não condiz com o que foi constatado em campo. Para casos similares a esse, separou-se os anos iniciais quando surgem os processos erosivos, de modo a melhor destacar a interferência promovida pela ação humana na dinâmica erosiva.

## 2.5 Metodologia da geoecologia das paisagens adaptada à problemática erosiva da área

### 2.5.1 Carta de unidades físicas

A unidade física representa cartograficamente a individualização dos terrenos com combinação de características físicas semelhantes e, por conseguinte, setores que proporcionam respostas semelhantes quando de alterações no funcionamento do sistema. Como a metodologia apresentada por Rodriguez (et al., 2004) é muito ampla, para a área estudada, optou-se por trabalhar com as variáveis do meio físico apresentadas por Leal (1993), como os compartimentos de relevo, geologia e solos, substituindo a variável declividade pela energia do relevo, seguindo a proposta de Oliveira (2003).

Em um primeiro momento, com base nas curvas de nível, mapearam-se os compartimentos topográficos do relevo, identificando: áreas emissoras (topos), as quais garantem o fluxo de matéria e energia para o restante da área (RODRIGUEZ et al., 1995); áreas transmissoras (vertentes convexizadas, retilíneas, irregulares e côncavas), com função de garantir o traslado de matéria e energia para os níveis inferiores (RODRIGUEZ et al., 1995); e áreas coletoras (área de terraço e planície fluvial e fundo de voçoroca), as quais têm como função “coletar os fluxos de matéria e energia e transmitir concentrada e seletivamente esses mesmos fluxos por meio das correntes hídricas, no leito dos rios, correspondendo, a toda área de planície e terraço fluvial” (RODRIGUEZ et al., 1995 p. 97).

Para o mapeamento das unidades físicas, junto à carta de forma de relevo supramencionada, utilizou-se o esboço da litologia da área, da energia do relevo e das características pedológicas. A carta de unidades físicas constitui-se da síntese destas quatro variáveis.

Ao considerar a significativa problemática erosiva da área, fez-se uma adaptação da metodologia, de maneira a identificar e organizar as unidades físicas por grupos, variando de menor para maior predisposição à formação e desenvolvimento de processos erosivos lineares.

Para definir dentro de cada variável as classes de maior predisposição aos processos erosivos lineares, cruzaram-se as informações de feições erosivas lineares (sulco, ravina e voçoroca) dos anos de 1963, 1979, 1997, 2011 e 2016 com os dados de geologia, energia do relevo, compartimentos de relevo e características pedológicas.

Neste procedimento, foi necessária a transformação das formas erosivas em polígonos: para os sulcos, foi adicionado um *buffer* de 5cm em seu entorno para obter a área dessa forma; as ravinas, mapeadas com um triângulo, seguindo a metodologia de

Tricart (1965), foram remapeadas a partir do contorno da forma erosiva, considerando o fundo e o talude erosivo; as voçorocas já haviam sido mapeadas como polígonos nas cartas geomorfológicas.

Após estes ajustes, com a ferramenta *clip*, recortaram-se os polígonos das classes temáticas geologia, energia do relevo, compartimentos de relevo e características pedológicas a partir da área de cada forma erosiva, em cada ano mapeado, de maneira a obter a área de cada variável atingida pelas referidas feições erosivas. Este procedimento foi repetido 60 vezes de modo a compreender as três formas erosivas lineares (sulcos, ravinas e voçorocas) nos cinco anos e nas quatro classes temáticas mapeadas. Com este procedimento, obteve-se a área de cada variável a que se sobrepõem as formas erosivas.

Com os dados tabelados, para estabelecer uma relação de proporcionalidade entre o tamanho das variáveis e as áreas das formas erosivas dentro destas variáveis (Tabela 2), calculou-se a densidade normalizada.

**Tabela 2:** Área de cada classe e área ocupada pelas formas erosivas em cada classe de energia do relevo nos 5 anos mapeados.

Energia do relevo	Área (ha)	Sulco (ha)					Ravina (ha)					Voçoroca (ha)				
		1963	1979	1997	2011	2016	1963	1979	1997	2011	2016	1963	1979	1997	2011	2016
<b>Muito Fraca</b>	21,93	0,00	0,01	0,01	0,01	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,00	0,00	0,00
<b>Fraca</b>	153,06	0,01	0,04	0,07	0,14	0,15	0,15	0,16	0,19	0,21	0,211	0,000	0,000	0,00	0,01	0,01
<b>Média</b>	1139,09	0,23	0,54	0,71	0,91	1,13	0,77	2,98	1,71	3,55	3,337	0,009	0,388	0,24	0,34	0,33
<b>Medianamente Forte</b>	256,30	0,06	0,12	0,19	0,17	0,23	0,43	0,66	1,08	1,29	1,253	0,003	0,491	0,34	0,24	0,18
<b>Forte</b>	238,66	0,08	0,14	0,21	0,20	0,24	0,75	1,23	1,29	1,82	1,765	0,053	0,607	0,45	0,69	0,82
<b>Muito Forte</b>	306,54	0,19	0,22	0,25	0,19	0,24	2,85	3,49	8,86	7,18	6,915	0,365	4,825	9,19	8,342	8,76

Para tanto, dividiu-se a área de cada forma erosiva levantada nas variáveis das classes temáticas de geologia, energia do relevo, compartimentos de relevo e características pedológicas, pelo total da área desta mesma variável em toda área estudada. Em cada classe temática, todos os valores levantados das variáveis foram divididos por aquela de maior valor (Tabela 3), de modo a atribuir ao dado relação de proporcionalidade em um grau de intensidade de zero a um (Tabela 4). Repetiu-se o procedimento para os cinco anos mapeados.



Para transformar estes dados em peso e estabelecer a hierarquia dos setores de menor para maior predisposição, obteve-se a média a partir dos valores de densidade normalizada em cada variável das classes temáticas nos 5 anos, resultando em um único valor para cada variável em cada forma erosiva (Tabela 5).

**Tabela 5:** Média da densidade normalizada de cada forma erosiva em cada classe de energia do relevo dos 5 anos mapeados.

Energia do relevo	Média		
	Sulco	Ravina	Voçoroca
Muito Fraca	0,06	0,00	0,00
Fraca	0,55	0,06	0,00
Média	0,70	0,13	0,01
Medianamente Forte	0,75	0,22	0,03
Forte	0,92	0,33	0,12
Muito Forte	0,92	1,00	1,00

Para diferenciar os valores de sulcos, ravinas e voçorocas, de modo a quantificar estas formas erosivas pela intensidade do fenômeno, buscou-se estabelecer um peso relativo. Para tanto, comparou-se os dados de formas erosivas lineares com a área de terraço e planície fluvial, de 1963 e 2016, da sub-bacia W, mais afetada pelo processo de voçorocamento, e da sub-bacia S, que não apresenta voçoroca e com poucas ravinas, predominando sulcos, forma inicial do processo linear (Tabela 6). Entende-se que o aumento excessivo das áreas deposicionais, em escala de tempo histórico, constitui-se em reflexo das ações erosivas sobre as vertentes que fornecem o material a ser depositado nos fundos de vale.

**Tabela 6:** Área (ha) atingida por sulcos, ravinas e voçorocas e área de sedimentação (planície e terraço fluvial) das sub-bacias W e S nos anos de 1963 e 2016.

Ano	Sub-bacia W				Sub-bacia S		
	Voçoroca (ha)	Ravinas (ha)	Sulcos (ha)	Área de sedimentação (planície e terraço fluvial) (ha)	Ravinas (ha)	Sulcos (ha)	Área de sedimentação (planície e terraço fluvial) (ha)
1963	0,00	2,33	0,26	0,64	0,31	0,16	0,62
2016	7,91	7,00	0,51	3,52	1,30	0,51	1,40

Na sub-bacia W, observou-se de 1963 a 2016 um aumento de 5,5 vezes da área de terraço e planície fluvial, de deposição, estabelecendo este peso (5,5) para as formas de voçoroca. A sub-bacia S apresentou aumento de 2,25 vezes, sendo este valor para os

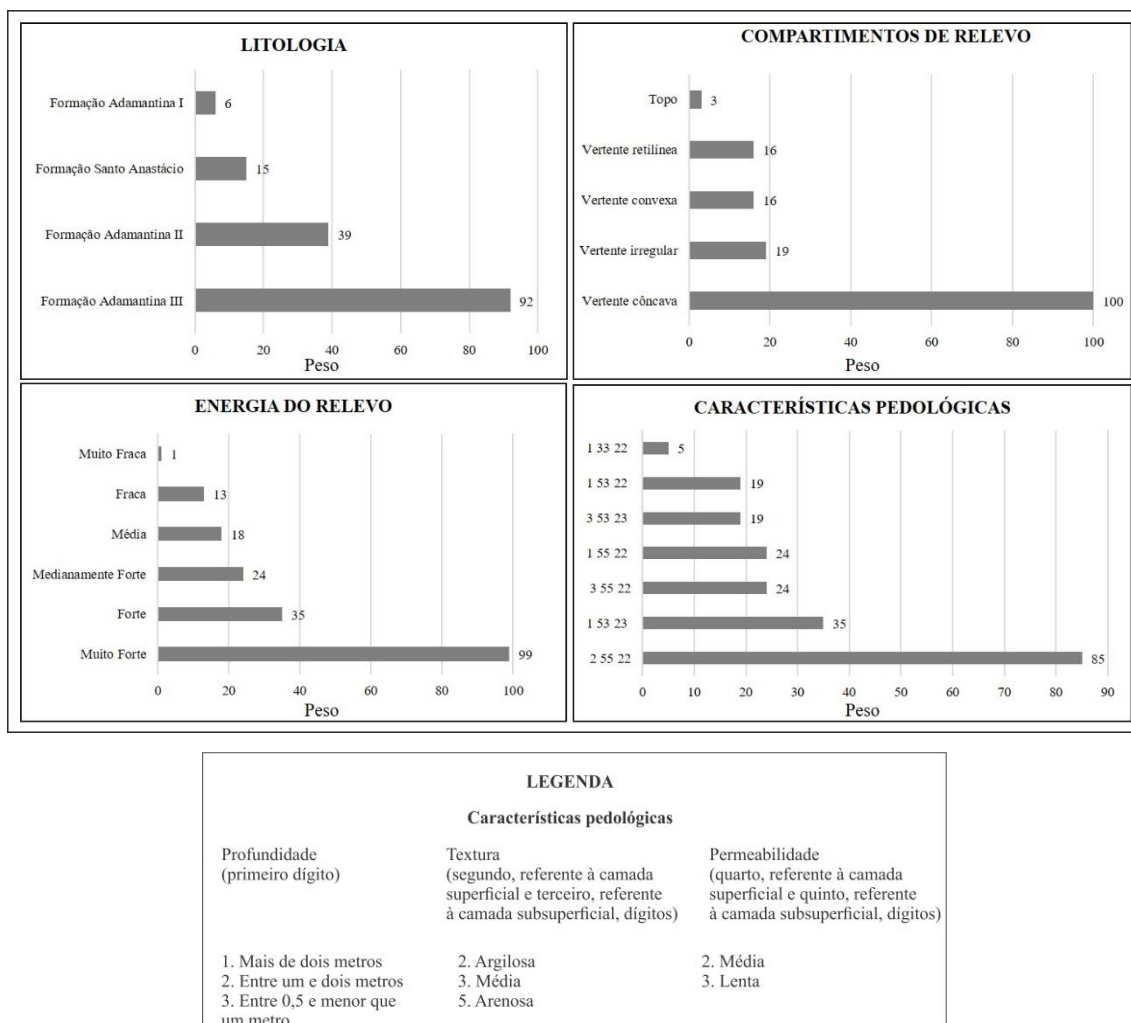
dados de sulco. Para as áreas afetadas por ravinas, utilizou-se o valor 3,87, intermediário entre 5,5 e 2,25.

Com estes pesos estabelecidos, junto à média da densidade normalizada de cada forma erosiva para cada classe temática das variáveis do meio físico, obteve-se a média ponderada. O resultado foi multiplicado por 100, estabelecendo um valor de 0 a 100 para cada variável a fim de adequar o valor numérico ao exigido pelo sistema (Tabela 7).

**Tabela 7:** Exemplo da média ponderada entre o peso das feições erosivas lineares (sulco, ravina e voçoroca) na média da densidade normalizada das classes temáticas de energia do relevo.

Energia do relevo	Média			Média Ponderada	Peso
	Sulco	Ravina	Voçoroca		
<b>Peso</b>	<b>2,25</b>	<b>3,87</b>	<b>5,5</b>		
<b>Muito Fraca</b>	0,06	0,00	0,00	0,01	1
<b>Fraca</b>	0,55	0,06	0,00	0,13	13
<b>Média</b>	0,70	0,13	0,01	0,18	18
<b>Medianamente Forte</b>	0,75	0,22	0,03	0,24	24
<b>Forte</b>	0,92	0,33	0,12	0,35	35
<b>Muito Forte</b>	0,92	1,00	1,00	0,99	99

Definiu-se, assim, o peso de 0 a 100 de cada classe temática das variáveis litologia, energia do relevo, compartimentos de relevo e características pedológicas (Figura 16).



**Figura 16:** Peso de 0 a 100 das variáveis das classes temáticas geologia, compartimentos de relevo, energia do relevo e características pedológicas.

Os valores exibidos na Figura 16 foram trabalhados como peso, adicionando-os às classes temáticas; cruzando as variáveis com a ferramenta *weighed overlay*. Para tanto, os polígonos das classes temáticas, em formato de arquivo vetorial (*shapefile*), foram transformados em formato *raster*.

Considerou-se a porcentagem de influência de cada variável de maneira igual, 25% para cada. Quanto às variáveis, no caso de solos subordinados ao hidromorfismo e Neossolo Litólico, foram adicionados os valores 100, uma vez que representam, no primeiro caso, risco à poluição dos recursos hídricos e setores sujeitos a inundações periódicas, no segundo caso, pela intensa ação morfogenética.

Para organizar as classes de unidades físicas, utilizou-se a classificação pelo *natural breaks*, resultando em nove unidades físicas: I) 4+14; II) 14+21; III) 21+29; IV) 29+34; V) 34+43; VI) 43+53; VII) 53+62; VIII) 62+74; e IX) 74+94. Cabe destacar que estes

números, que representam os valores das unidades físicas, foram gerados a partir da soma dos valores de cada classe e, portanto, são adimensionais. Ao avaliar estas unidades, observou-se que as classes VII, VIII e IX incidiam em concavidades com energia do relevo de forte a muito forte, variando pelas características pedológicas. Deste modo, entendeu-se que tais classes podem ser agrupadas em apenas uma, de 53+94.

Como as unidades físicas representam classes de predisposição aos processos erosivos lineares, as cores utilizadas no mapa variaram de tons de laranja a roxo de acordo com a intensidade desta predisposição.

### *2.5.2 Relação entre capacidade de uso e função socioeconômica*

Para identificar a compatibilidade entre o uso da terra e as características das unidades físicas, utilizaram-se dados das feições que indicam ação erosiva, mapeadas na carta geomorfológica de 2016, e dos setores com solo exposto, identificados por meio da carta de uso e cobertura superficial da terra de 2016. A estas informações, adicionaram-se as áreas com cana-de-açúcar queimada e em uso para pastagem extensiva, uma vez que a queima promove uma série de alterações na estrutura do solo que favorecem a ação erosiva, em uma situação a que ainda se soma o pastoreio sem os devidos cuidados.

Com estas informações, fez-se um polígono contornando as áreas afetadas, com o qual se recortou os polígonos de unidades físicas, de uso e cobertura superficial da terra de 2016. Com os resultados, obteve-se a área de cada classe temática de unidade física e de uso e cobertura superficial da terra em situação de incompatibilidade, uma vez que sobre estas circunstâncias, identificou-se a presença de formas erosivas em distintos estágios de desenvolvimento, indicando que os usos proporcionam alterações das formas preexistentes.

Entende-se que as situações supramencionadas para demarcar os polígonos das áreas incompatíveis encontram-se de acordo com a tabela apresentada por Mateo Rodrigues et al. (2004), uma vez que tais feições são indicativos da sequência no nível de degradação, de pouco degradada a muito degradada (Figura 17).

CLIMA Processo climabiogenético	Vegetação Climax	⇒	Desflorestamento, desaparecimento da vegetação natural	⇒	Cultivo incontrolado Aparecimento de pragas e enfermidades	⇒	Perda do umbral e capacidade produtiva e de potencial genético
RELEVO Morfogênese	Morfogênese atenuada	⇒	Maior escoamento Menor infiltração	⇒	Erosão hídrica e eólica	⇒	Desequilíbrio hidrológico, desertificação e outros processos
SOLO Pedogênese	Pedogênese ativa	⇒	Degradação físico- biológica	⇒	Perda de nutrientes	⇒	Salinização hidromórfica e outros processos
PAISAGEM Gênese e desenvolvimento da paisagem	Paisagem em estabilidade homeostática	⇒	Paisagem no primeiro estágio de alteração das relações homeostáticas. Ainda está quase intacto o potencial natural e a integridade. A estabilidade natural se modifica antropogenicamente	⇒	Paisagem instável à crítica que experimentou a perda parcial da estrutura espacial e funcional e da integridade que dá lugar à desestruturação (alteração) das relações homeostáticas	⇒	Paisagem esgotada em estado muito crítico que perdeu a estrutura espacial e funcional. Os mecanismos da estabilidade natural foram eliminados
SISTEMA AGRÍCOLA	Geossistema natural	⇒	Sistema agrícola adaptado. Produtividade alta ou baixa (em dependência do ingresso de energia externa)	⇒	Sistema agrícola de compromisso. Produtividade média a muito alta (em dependência do ingresso de energia externa)	⇒	Sistema agrícola desintegrado. Produtividade baixa ou muito baixa (inclusive em dependência de ingresso de energia externa)
NÍVEL DE DEGRADAÇÃO	Sem degradação	⇒	Pouco degradada	⇒	Degradada	⇒	Muito degradada



**Figura 17:** Sequência do processo de degradação dos geossistemas.

Fonte: Rodriguez et al., 2004 p.140.

Ainda, utilizando os polígonos das áreas legalmente protegidas, de Preservação Permanente e Reserva Legal, recortaram-se os polígonos supramencionados, obtendo o dado quantitativo da situação destas áreas: adequadas, quando uso e a cobertura superficial esta em conformidade com que estabelece a Lei N.º 12.651/12; e inadequadas, quando não se encontram em conformidade.

### 2.5.3 Carta de estado ambiental

Para confecção da carta de estado ambiental, seguiram-se os princípios apontados por Rodriguez, Silva e Cavalcanti (2004), em relação às categorias de estados funcionais da paisagem, definidos a partir do balanço do funcionamento e da estrutura. Para os autores, existem três estados, sendo:

- Homeostático: as entradas e saídas de energia, matéria e informação (EMI) estão equilibradas, as quais dão lugar a que a paisagem e suas propriedades existam sem distúrbios, mantendo-se a sua capacidade de auto-regulação;
- Instável: alteram-se as entradas e saídas de EMI, as quais provocam desvios no funcionamento e na estrutura da paisagem, aproximando-se do estado crítico;
- Crítico (ponto de inflexão): mudanças da estrutura do sistema, devido as perturbações que sobrepassam a capacidade de auto-regulação do sistema (RODRIGUEZ; SILVA; CAVALCANTI, 2004, p. 192-193).

Dias (2012) utilizou 5 classes distintas para identificar o estado ambiental dos municípios de Iguape, Cananéia e Ilha Comprida, no litoral S do estado de São Paulo, no intuito de elaborar o zoneamento para uso e ocupação das terras nestes municípios. O autor classificou os terrenos a partir da análise dos dados naturais, socioeconômicos e de uso e ocupação da terra, enquadrando-os nas seguintes classes de estado ambiental: 1) estável, em que não existem problemas ambientais e dispõe de influência antropogênica pequena; 2) medianamente estável (sustentável), com poucas mudanças na estrutura, com alguns problemas de intensidade leve a moderada; 3) instável (insustentável), com fortes mudanças espacial e funcional, em que a exploração dos recursos resulta no declínio da produtividade; 4) crítico, com perda parcial da estrutura espacial e funcional, em que o uso resulta em drástica redução do potencial de uso da terra; e 5) muito crítico, com alteração generalizada da estrutura espacial e funcional, em que o potencial inicial dos recursos foi completamente destruído.

Para a área estudada, utilizaram-se das cinco classes apresentadas por Dias (2012), fazendo adaptações à problemática referente à erosão linear, bem como aos procedimentos adotados para classificação dos terrenos em cada classe, de maneira a reduzir a subjetividade desse processo.

Como adaptação à problemática da área estudada, utilizaram-se os mesmos princípios da organização das unidades físicas, gerando os pesos do uso e cobertura superficial da terra através do histórico de uso e a localização das feições erosivas lineares.

No mapeamento de uso e cobertura superficial da terra dos 5 anos avaliados, utilizando as mesmas fotografias aéreas e imagens orbitais supramencionadas no mapeamento das feições erosivas, seguiram-se os procedimentos técnicos de identificação das coberturas por chaves de interpretação apontados por Florenzano (2007) e as legendas definidas pelo IBGE (2006).

Para tanto, os dados de uso da terra dos anos de 1963, 1979, 1997, 2011 e 2016 foram cruzados com os dados de feições erosivas em sulco, ravina e voçoroca. Por meio desse procedimento, foi possível identificar em cada classe de uso da terra a área ocupada pelas formas erosivas lineares ao longo dos anos mapeados (Tabela 8). Posteriormente, com os dados da Tabela 8, a área de cada forma erosiva em cada classe de uso e cobertura superficial da terra foi dividida pela da área total da respectiva classe de uso no respectivo ano (Tabela 9).

**Tabela 8:** Área (ha) de cada classe de uso e cobertura superficial da terra e área ocupada pelas formas erosivas em cada classe, nos 5 anos mapeados.

Uso e cobertura superficial da terra	1963				1979				1997				2011				2016			
	Área total	S	R	V	Área total	S	R	V	Área total	S	R	V	Área total	S	R	V	Área total	S	R	V
Cultura temporária	871,5	0,2	0,6	0,0	74,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	361,3	0,0	0,0	0,0	270,3	0,0	0,0	0,0
Pasto	553,1	0,3	3,6	0,4	1438,1	0,8	8,5	6,3	1886,5	1,6	11,6	6,5	1385,5	1,6	11,6	6,5	1515,5	2,0	11,3	7,1
Pasto Sujo	401,5	0,1	0,8	0,0	518,1	0,2	0,1	0,0	40,0	0,0	2,5	3,1	101,3	0,0	2,5	3,1	92,4	0,0	2,2	3,0
Vegetação de área úmida	12,7	0,0	0,0	0,0	12,5	0,0	0,0	0,0	18,9	0,0	0,0	0,0	32,0	0,0	0,0	0,0	28,5	0,0	0,0	0,0
Floresta Estacional Semidecidual	83,0	0,0	0,0	0,0	18,3	0,0	0,0	0,0	14,3	0,0	0,0	0,0	14,3	0,0	0,0	0,0	14,3	0,0	0,0	0,0
Eucalipto	178,6	0,0	0,0	0,0	20,1	0,0	0,0	0,0	1,6	0,0	0,0	0,0	45,8	0,0	0,0	0,0	82,9	0,0	0,0	0,0
Reflorestamento	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	12,8	0,0	0,1	0,0	24,4	0,0	0,1	0,0	21,2	0,0	0,0	0,0

**Legenda:** S – sulco; R –ravina; V – voçoroca.

**Tabela 9:** Resultado da divisão entre a área de cada classe temática de uso e cobertura superficial da terra ocupada por forma erosiva pela área total da mesma classe temática nos cinco anos mapeados.

Uso e cobertura superficial da terra	1963			1979			1997			2011			2016		
	S	R	V	S	R	V	S	R	V	S	R	V	S	R	V
Cultura temporária	0,0003	0,0007	0,0000	0,0003	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Pasto	0,0005	0,0064	0,0008	0,0006	0,0059	0,0044	0,0009	0,0061	0,0034	0,0012	0,0084	0,0047	0,0013	0,0074	0,0047
Pasto sujo	0,0001	0,0019	0,0000	0,0005	0,0001	0,0000	0,0006	0,0613	0,0780	0,0002	0,0242	0,0308	0,0004	0,0238	0,0329
Vegetação de área úmida	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0003	0,0000	0,0000	0,0002	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Floresta Estacional Semidecidual	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Eucalipto	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0012	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0003	0,0000	0,0002
Reflorestamento	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0004	0,0052	0,0023	0,0002	0,0027	0,0012	0,0000	0,0009	0,0000

**Legenda:** S – sulco; R –ravina; V – voçoroca.

A partir das informações contidas na Tabela 9, dividiram-se todos os resultados de cada coluna pelo maior valor desta mesma coluna, de maneira a gerar a proporcionalidade do dado em uma escala de zero a um, resultando na densidade normalizada (Tabela 10).

**Tabela 10:** Densidade normalizada da área ocupada pelas feições erosivas lineares em cada classe de uso e cobertura superficial da terra nos cinco anos mapeados.

Uso e cobertura superficial da terra	1963			1979			1997			2011			2016		
	S	R	V	S	R	V	S	R	V	S	R	V	S	R	V
Cultura temporária	0,55	0,11	0,00	0,47	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
Pasto	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	0,69	0,10	0,04	1,00	0,35	0,15	<b>1,00</b>	0,31	0,14
Pasto sujo	0,26	0,30	0,00	0,83	0,02	0,00	0,51	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	0,21	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	0,32	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>
Vegetação de área úmida	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,26	0,00	0,00	0,16	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00
Floresta Estacional Semidecidual	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Eucalipto	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	<b>1,00</b>	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,24	0,00	0,01
Reflorestamento	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,32	0,09	0,03	0,18	0,11	0,04	0,04	0,04	0,00

**Legenda:** S – sulco; R –ravina; V – voçoroca.

Com os dados em densidade normalizada, obteve-se a média dos cinco anos mapeados. Junto a este dado, utilizaram-se os pesos das feições erosivas lineares anteriormente apresentados nos procedimentos para elaboração da carta de unidades físicas, gerando a média ponderada, a qual, multiplicada por 100, resultou no peso de cada classe temática de uso e cobertura superficial da terra (Tabela 11).

**Tabela 11:** Média da densidade normalizada dos cinco anos mapeados, peso das feições erosivas, média ponderada e peso de cada forma erosiva em cada classe temática de uso e cobertura superficial da terra.

Feições erosivas	Sulco	Ravina	Voçoroca	Média Ponderada	Peso
Peso	2,2	3,87	5,5		
Uso e cobertura superficial da terra	Média				
Cultura temporária	0,26	0,03	0,00	0,06	6
Pasto	0,94	0,55	0,47	0,59	59
Pasto Sujo	0,43	0,66	0,60	0,59	59
Vegetação de área úmida	0,09	0,00	0,00	0,02	2
Vegetação nativa	0,08	0,00	0,00	0,02	2
Eucalipto	0,26	0,00	0,00	0,05	5
Reflorestamento	0,11	0,05	0,01	0,04	4

Com base nos pesos de cada classe temática de uso e cobertura superficial da terra (Tabela 11), utilizou-se a ferramenta *weighted overlay*, e adicionando-se em formato *raster*, o mapeamento de uso e cobertura superficial da terra de 2016 e o mapeamento de unidades físicas. A esses foram atribuídos pesos de maneira não agrupada, como consta nas classes temáticas, usando do resultado bruto na geração dos dados. Cabe destacar que os pesos das classes temáticas de uso e cobertura superficial da terra, assim como das unidades físicas, foram gerados a partir da soma dos valores de cada classe e, portanto, são adimensionais.

Como resultado, utilizando dos intervalos do *Natural Breaks* e sobrepondo a estes as formas erosivas de 2016, os terrenos foram classificados como estado estável: de 5+21; medianamente estável: de 21+28, instável de: 28+43, crítico de: 43+53 e muito crítico de: 53+79, sendo:

- Estável: terrenos em que a estrutura original foi mantida, onde não se encontram formas erosivas lineares. Nesta classe, as unidades físicas I e II e os usos e coberturas superficiais presentes não alteram esta predisposição;

- Medianamente estável: terrenos em que a estrutura original foi mantida, no entanto, diferente da anterior, incidem sobre unidades físicas III, IV, V, VI e VII, de maior predisposição aos processos erosivos lineares. Nesta classe, considera-se que os usos e coberturas superficiais presentes reduzem o efeito erosivo;
- Instável: terrenos onde se encontram sulcos erosivos, que indicam alterações funcionais. Nesta classe, o uso e cobertura superficial da terra potencializa o efeito erosivo, de maneira a estabelecer condições favoráveis ao desenvolvimento de sulcos erosivos;
- Crítico: terrenos com mudança parcial da estrutura espacial e funcional, onde, além de sulcos erosivos, encontram-se ravinas, ou as coberturas superficiais presentes potencializam o desenvolvimento de ravinas em unidades físicas III, IV e V
- Muito crítico: terrenos com alteração generalizada da estrutura espacial, nos quais se localizam as voçorocas, ou situações em que o uso e cobertura superficial potencializam o desenvolvimento desta forma erosiva em unidades físicas V, VI e VII.

Entende-se que os estados estável e medianamente estável se enquadram no que Rodriguez, Silva e Cavalcanti (2004) denominaram de homeostático, uma vez que, mesmo alterada a cobertura superficial, manteve-se a capacidade de autorregularão. A diferença entre estes estados é que o medianamente estável situa-se sobre unidades físicas de significativa predisposição aos processos erosivos lineares, sobretudo em concavidades de vertentes. Nos terrenos em estado instável, a presença de sulcos erosivos ou usos e coberturas superficiais em unidades físicas que sugerem, pelo histórico, a tendência significativa ao desenvolvimento de processos erosivos lineares, indicam que ocorreram ou há forte tendência aos desvios no funcionamento e ruptura da paisagem. Dentro do que os mencionados autores consideram como crítico, dividiu-se em crítico e muito crítico, seguindo a proposta de Dias (2012). Na área estudada, entendeu-se que há uma diferença entre os terrenos atingidos por sulcos, que indicam um nível de alteração da estrutura do sistema, e por voçorocas e ravinas, que indicam outro nível, mais avançado, e que podem resultar na destruição completa da vertente.

#### 2.5.4 Mapeamento e análise das áreas legalmente protegidas: Áreas de Preservação Permanente e Reserva Legal (Lei N° 12.651/12)

Os limites das Áreas de Preservação Permanente e de Reserva Legal foram obtidos junto ao Cadastro Ambiental Rural (CAR) Federal. Estes limites, adquiridos em formato vetorial (*shapefile*), foram adicionados ao banco de dados desta pesquisa. Para estas áreas, buscaram-se na Lei N.º 12.651/12 as condições de cobertura superficial exigidas e o grau de restrição ao uso destes terrenos.

Dos polígonos obtidos do CAR Federal, notou-se que aqueles de Reserva Legal sobrepunham os das Áreas de Preservação Permanente. De acordo com o Artigo 12 da referida Lei, “Todo imóvel deve manter área com cobertura de vegetação nativa, a título de Reserva Legal, sem prejuízo da aplicação das normas sobre as Áreas de Preservação Permanente” (BRASIL, 2012, Cap. IV. Art.12 – grifo nosso). Deste modo, gerou-se um novo polígono para as áreas de Reserva Legal, contornando os polígonos de Áreas de Preservação Permanente.

Para as Áreas de Preservação Permanente (APP), a referida Lei considera como

[...] área protegida, coberta ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade, facilitar o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas (BRASIL, 2012, §2, Art. 3º, Inciso II).

Sobre o regime de proteção destas áreas

[...] tendo ocorrido supressão de vegetação nativa situada em Área de Preservação Permanente, o proprietário da área, possuidor ou ocupante a qualquer título é obrigado a promover a recomposição da vegetação, ressalvados os usos autorizados previstos nesta Lei. (BRASIL, 2012, Capítulo II, Seção II, Art. 7º, §1º).

A referida Lei estabelece que se permite “[...] o acesso de pessoas e animais às Áreas de Preservação Permanente para obtenção de água e para realização de atividades de baixo impacto ambiental” (BRASIL, 2012, §4º, Art. 9º).

Para o caso da Reserva Legal, essa Lei define como

[...] área delimitada no interior de uma propriedade ou posse rural [...] com função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem a estabilidade geológica e a biodiversidade, facilitar ou auxiliar a conservação e reabilitação dos processos ecológicos e promover a conservação da biodiversidade, bem como abrigo e a proteção de fauna silvestre e da flora nativa. (BRASIL, 2012, §2, Art. 3º, Inciso III.)

A despeito das restrições e das condições das áreas de Reserva Legal,

Art.22. O manejo florestal sustentável da vegetação da Reserva Legal com propósito comercial depende de autorização do órgão competente e deverá atender as seguintes diretrizes e orientações.

- I. não descaracterizar a cobertura vegetal e não prejudicar a conservação da vegetação nativa da área;
- II. assegurar a manutenção da diversidade das espécies;
- III. conduzir manejo de espécies exóticas com a adoção de medidas que favoreçam a regeneração de espécies nativas. (BRASIL, 2012, Seção II, Capítulo IV)

Assim, durante os trabalhos de campo, buscou-se conferir nas áreas delimitadas como de Preservação Permanente e Reserva Legal, se as condições existentes se encontraram em conformidade com o que é estabelecido na Lei 12.651/12. Na proposta da metodologia da geoecologia da paisagem, avaliam-se as áreas legalmente protegidas junto da relação entre capacidade de uso e o uso atual (2016).

## **2.6 Metodologia do sistema de capacidade de uso das terras**

Para a elaboração da capacidade de uso das terras, de acordo com a proposta de Lepsch et al. (1983), foram necessários os dados de limite das propriedades, solos, declividade e formas erosivas.

Com os mapeamentos de características pedológicas e declividade, utilizou-se a ferramenta *Intersect* para cruzar as referidas informações. Ao resultado foram adicionados os dados de feições erosivas da carta geomorfológica de 2016.

Para definir as subclasses, foram realizadas algumas adaptações quanto às características do solo e interpretações da geomorfologia, objetivando adequar a pesquisa e a área estudada (Tabela 12).

**Tabela 12:** Características identificadas na área estudada e adaptações para definição das subclasses.

Limitação pela erosão presente ou risco de erosão (e)		Limitação por excesso de água (a)	
Lepsch et al. (1983)	Adaptação	Lepsch et al. (1983)	Adaptação
Mudança textural abrupta	Mudança de permeabilidade de moderada (2) para lenta (3)	Lençol freático elevado	Afloramento de água
Erosão em sulco raso e profundo	Considerou-se “erosão em sulco raso” como sulco e “erosão em sulco profundo” como ravina	Risco de inundação	Área de terraço e planície fluvial e talvegue da voçoroca

Para os dados de sulcos e ravinas, aferiu-se a frequência desses, sendo: ocasionais, quando distanciados mais de 30 metros; frequentes, quando distanciados menos de 30 metros e ocupando área inferior a 75%; e muito frequentes quando a distância entre as formas erosivas for inferior a 30 metros, mas ocupando área superior a 75%. A área considerada para o cálculo foi a do polígono resultante do cruzamento entre as características dos solos e declividade, registrando-se sulcos e ravinas.

Em seguida, determinaram-se, através da presença ou não de subclasse e da natureza da limitação, as classes:

- I. Declives A, B ou C que não apresentaram qualquer restrição ao uso do solo por risco ou presença de erosão, limitação do solo ou por excesso de água;
- II. Declive A e B quando houve presença de qualquer subclasse;
- III. Declive C; sulcos frequentes; declives B com solos de permeabilidade lenta na camada de subsuperfície;
- IV. Declive D; sulcos muito frequentes; ravinas ocasionais;
- VI. Declive C ou D em solos com permeabilidade lenta na camada de subsuperfície; sulcos muito frequentes; ravinas frequentes;
- VII. Declive E; ravinas muito frequentes; solos moderadamente profundos com perfil de textura arenosa;
- VIII. Declive F; solos muito rasos; solos em área de terraço e planície fluvial e solos subordinados ao hidromorfismo; voçoroca.

Com o resultado, no *feature class* gerado, foi criada uma coluna, sendo que, de acordo com a combinação, os terrenos foram classificados na classe e subclasse em que se enquadravam.

Para confecção da carta, na tabela de atributos, criaram-se duas colunas denominadas Classe e Subclasse. Com o uso da ferramenta *dissolve*, foram gerados dois *feature class*, um composto da classe e outro apenas da subclasse. No primeiro, foram mapeadas as classes com as cores indicadas por Lepsch et al. (1983, p. 21-22). No segundo, os limites das subclasses foram cartografados como linhas pontilhadas, adicionando o tipo de limitação (“a” e/ou “e” e/ou “s”) sobre cada polígono.

As informações de classe e subclasse mapeadas foram levantadas de forma quantitativa em porcentagem.

### **CAPÍTULO III – RESULTADOS E DISCUSSÕES**

Neste capítulo, são apresentados os resultados da pesquisa, dividido em quatro tópicos. O primeiro (3.1) evidencia a caracterização da área, avaliando conjuntamente o resultado dos mapeamentos de morfometria do relevo, compartimentos de relevo, esboço da litologia e características pedológicas, analisados junto com outras bibliografias da bacia do Paraná, do Planalto Ocidental Paulista e da bacia do Rio Santo Anastácio. Também neste tópico apresenta-se a análise histórica da ocupação do Oeste Paulista e do Pontal do Paranapanema, comparando-se com dados primários de uso e cobertura superficial da terra de 1963, 1979, 1997, 2011 e 2016 da área estudada.

Em um segundo momento, apresentam-se os resultados das metodologias aplicadas. Inicia-se pela análise da antropogeomorfologia e da cartografia retrospectiva (3.2), em que se registraram as mudanças no relevo em um período de 53 anos com base nas cartas geomorfológicas e de uso e cobertura superficial da terra dos cinco anos analisados. Nesta análise, as variáveis mapeadas foram quantificadas; a este dado, aplicou-se o Coeficiente de Correlação de Pearson.

Posteriormente, avaliou-se a metodologia da geocologia da paisagem (3.3), com adaptações na confecção da carta de unidades físicas, as quais foram organizadas de maneira hierárquica, indicando de I a VII a predisposição aos processos erosivos lineares. Nesta análise, com as do uso das feições erosivas e do solo exposto, foi estabelecida a relação de compatibilidade/incompatibilidade entre as unidades e o uso atual da terra. Também se identificou o estado ambiental dos terrenos, em que, cruzando as informações de unidades físicas com uso e cobertura superficial da terra de 2016 e feições erosivas lineares da carta geomorfológica de 2016, classificando-se o nível de estabilidade e instabilidade desses. Por fim, avaliou-se a situação das áreas legalmente protegidas, de Preservação Permanente e de Reserva Legal.

Na sequência, discutem-se os resultados da metodologia do sistema de capacidade de uso (3.4) buscando comparar tais dados com aqueles obtidos a partir da aplicação das metodologias anteriores, isto é, da cartografia geomorfológica retrospectiva e das unidades físicas identificadas a partir de sua predisposição aos processos erosivos lineares. Assim, fez-se uma análise crítica dos resultados, de modo a identificar as questões importantes que são desconsideradas e as situações em que a metodologia de capacidade de uso apresenta alternativas viáveis à possibilidade de uso da terra na área estudada.

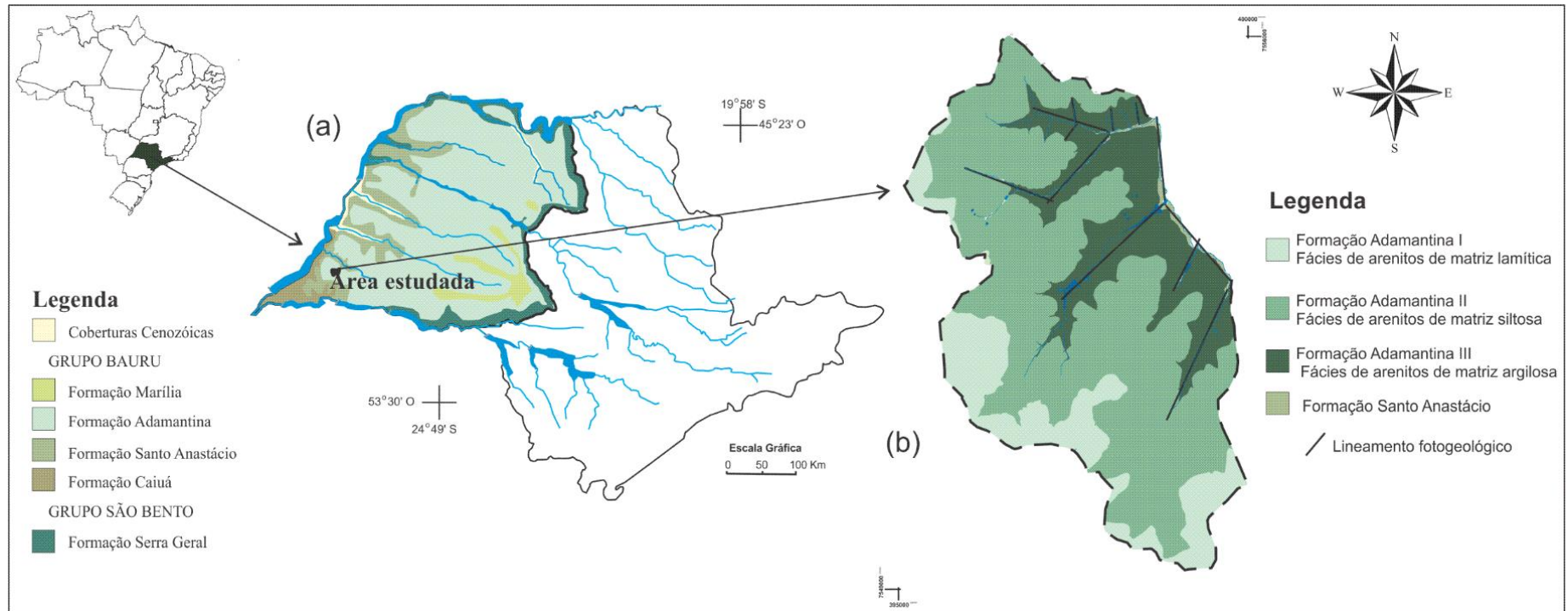
### **3.1 As sub-bacias no ribeirão Areia Dourada, o contexto físico natural e a ação humana**

As sub-bacias do ribeirão Areia Dourada encontram-se na Bacia Sedimentar do Paraná, na Província Geomorfológica do Planalto Ocidental Paulista, cujo substrato rochoso é composto exclusivamente de rochas areníticas do Grupo Bauru, caracterizadas pela deposição das últimas formações sedimentares fluviais e lacustrinas do Cretáceo superior, que se assentam sobre rochas vulcânicas da Formação Serra Geral (AB'SÁBER, 1954; ALMEIDA, 1964; IPT, 1981).

Nesta região, há um controle sedimentar da Bacia do Paraná, em que, salvo o rio Parnaíba do Sul, as principais drenagens no estado de São Paulo adentram o Planalto Ocidental como afluentes da margem esquerda do Rio Paraná. De acordo com Ab'Sáber (1954, p. 6), este centripetismo na direção da drenagem “[...] deriva da disposição periclinal das estruturas regionais (AB'SABER, 1954; ALMEIDA, 1949) e da superimposição hidrográfica generalizada que se processou em toda bacia, depois da deposição das últimas formações sedimentares”.

No Planalto Ocidental Paulista, os principais rios são consequentes e alinhados às estruturas regionais, como o alinhamento Guapiara e Tietê, que estabelece um paralelismo entre os rios Tietê, Aguapeí, Peixe e Santo Anastácio, mais acentuado conforme a proximidade do rio Paraná (BOIN, 2000).

Destas bacias, a do rio São José dos Dourados, Aguapeí, Peixe e Santo Anastácio nascem inteiramente dentro do Planalto Ocidental, sobre Formações Areníticas do Grupo Bauru. Nas proximidades das Cuestas Basálticas, a cabeceira e os divisores das bacias do rio Aguapeí e Peixe encontram-se sobre a Formação Marília e, conforme interioriza, sobre a Formação Adamantina, onde se encontram as bacias do rio São José Dourados e Santo Anastácio. A Formação Adamantina ocorre em vasta extensão, ocupando a maior parte do Planalto Ocidental (Figura 18).



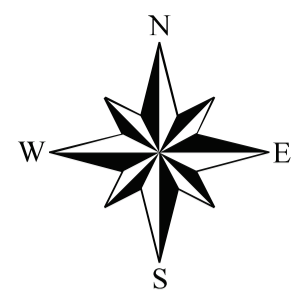
Na bacia do rio Santo Anastácio, na qual se insere a área estudada, inteiramente sobre rochas areníticas da Formação Adamantina e Santo Anastácio,

Santoni e Morales (2006) chamam a atenção para o forte controle estrutural de segmentos de drenagem, bem como de alinhamento de morros e de confluências de cursos d'água, até mesmo na borda da bacia. Esta feição assemelha-se aos “degraus” da compartimentação de Stein (1999), e são provocados por falhas, que promovem o abatimento do bloco central, onde se encaixa o curso do principal rio da bacia. (GUEDES et. al, 2009, p. 349)

Na área estudada, as sub-bacias do ribeirão Areia Dourada, o traçado do canal principal e dos tributários apresentam influência dos lineamentos Tachaquara, ou Presidente Prudente, na direção NW - SE, que define o traçado da rede de drenagem na sub-bacia N, enquanto nos lineamentos sentido SW - NE se encaixam os cursos principais das demais sub-bacias e o tributário à SW da sub-bacia N, estabelecendo um paralelismo entre esses (Figura 19).

# ESBOÇO DA LITOLOGIA DAS SUB-BACIAS DO RIBEIRÃO AREIA DOURADA, MARABÁ PAULISTA (SP)

400000  
7556000



### CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

- Canal fluvial
- Açude
- Curvas de nível (5 metros)
- Limite da área estudada
- Ponto cotado

### UNIDADES LITOESTATIGRÁFICAS

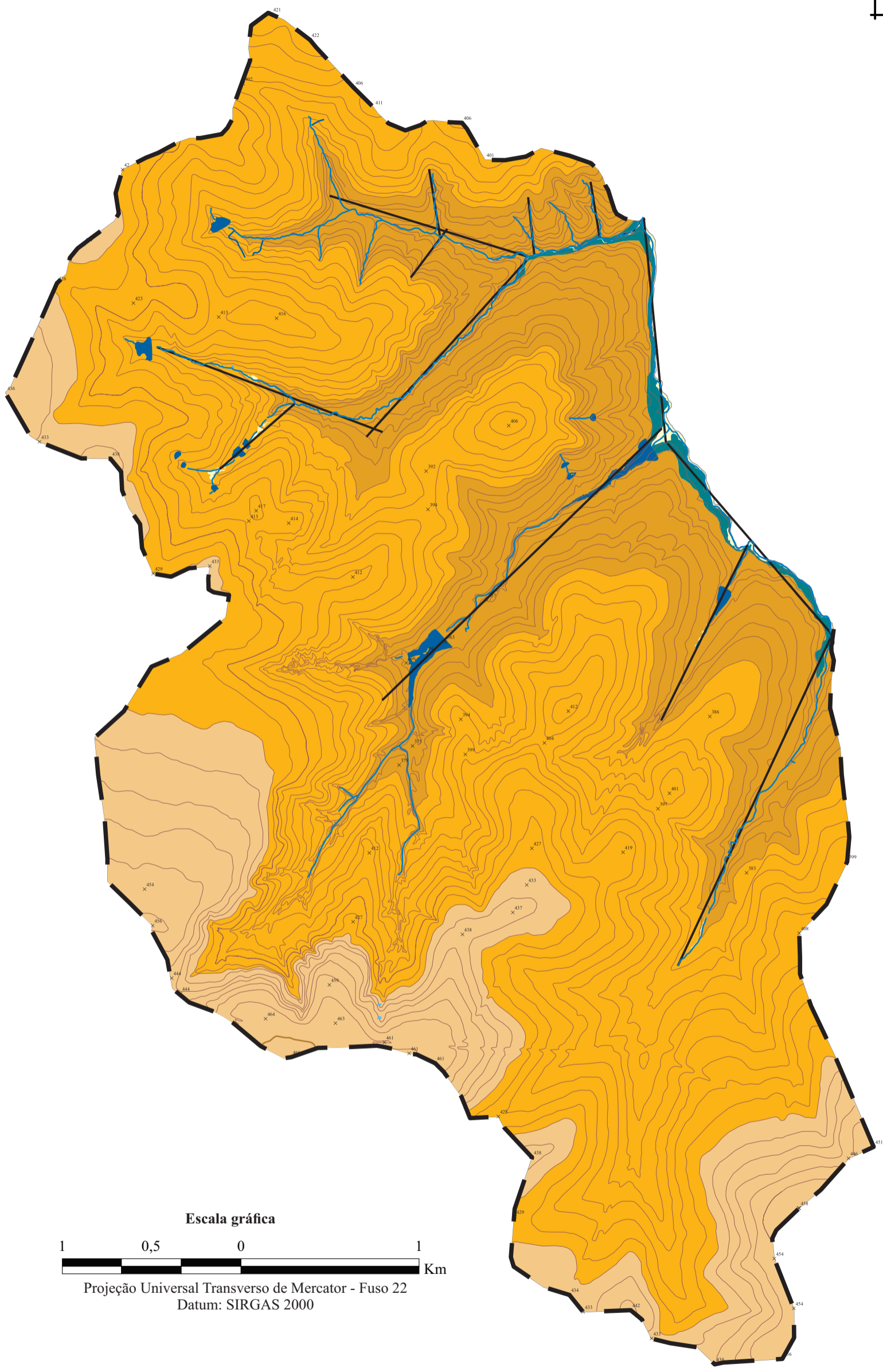
Cenozóico	Sedimentos aluvionares
Mesozóico <i>Grupo Bauru</i>	Formação Adamantina I, arenitos de matriz lamítica
	Formação Adamantina II, arenitos de matriz siltosa
	Formação Adamantina III, arenitos de matriz silto-argilosa
	Formação Santo Anastácio

### CONVENÇÕES

- Lineamento Fotogeológico

### DESCRIÇÃO DAS UNIDADES

<b>Cenozóico</b>	
Sedimentos aluvionares (Qa) Aluviões dispostos em planícies e terraços fluviais: constituição variada, areno argilosa, com coberturas arenosas recentes.	
<b>Mesozóico</b>	
<i>Grupo Bauru</i>	Formação Santo Anastácio (Ksa) - Arenitos finos com porcentagem variada de grãos médios, subarcoseanos, maciços, seleção regular a ruim, dispostos plano-paralelamente em bancos espessos. Ocasionalis estratificações cruzadas tênue e de grande porte. Presença frequente de orfícios de dissolução de nódulos carbonáticos e coloração vermelha e roxa características.
	Formação Adamantina (Ka) - Arenitos finos a muito finos, siltitos arenosos, arenitos e argilitos e, mais na base da undiade, arenitos finos a m'édios, dispostos em bancos e camadas alternadas, quartzosos, frequentemente com feldspatos e cimento carbonático, matriz siltosa e argilosa, seleção boa a regular, maciços ou com estratificação plano-paralela e subordinadas estratificações cruzadas internas de cores rosa, cinza e marrom.



**Escala gráfica**

1      0,5      0      1      Km

Projeção Universal Transverso de Mercator - Fuso 22  
Datum: SIRGAS 2000

7549000  
395000

**Elaboração:** ZANATTA, F. A. S.  
**Orientação:** LUPINACCI, C. M.; BOIN, M. N.  
**Colaborador:** RODRIGUES, J. O. N.  
**Fonte:**  
 Elaborado pelo autor com base em:  
 ALMEIDA, F. F. M. Os fundamentos geológicos do relevo paulista. *Boletim IGC*, São Paulo, v.31, p.169-263, 1964. GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO. Secretaria de Economia. *Plano cartográfico do estado de São Paulo*. Folhas: 057/109; 057/20; 058/19;  
 STEIN, D. P. *Avaliação da degradação do meio físico. Bacia do Rio Santo Anastácio. Oeste Paulista*. 197p. Tese (Doutoramento em Geociências e Meio Ambiente) - Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1999.  
 Algumas informações da carta geomorfológica de 2016 (área de terraço e planície fluvial), desenvolvida nesta pesquisa.  
**Apoio:** **FAPESP**  
 Processo: nº 2015 / 00875-2

**Figura 19:** Esboço da litologia das sub-bacias do ribeirão Areia Dourada, Marabá Paulista (SP)

A área apresenta como substrato rochoso três distintas Formações, seguindo níveis topográficos em que se verifica a influência da litologia nas características do relevo.

A Formação Adamantina predomina na área, apresentando três fácies que demarcam no relevo possíveis diferenças de resistência e permeabilidade do substrato rochoso. Um primeiro nível, fácies I, encontra-se entre 430-465m, com material possivelmente menos resistente e mais permeável, perfazendo 16,62% nos divisores a oeste, no limite da área estudada. Neste nível, os declives variam de  $\leq 2$  (A) e 2-5% (B) (Figura 20).

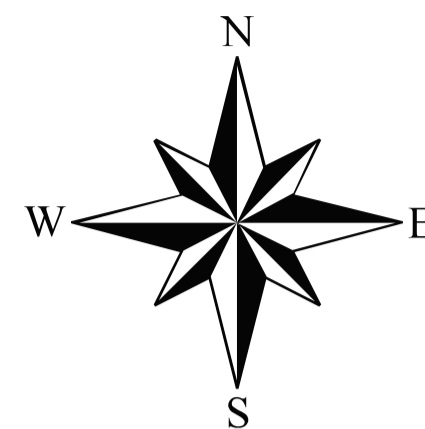
Entre 380-430m, encontra-se a fácies II, de material de menor permeabilidade do que a fácies I, sustenta um segundo nível de topos e vertentes convexizadas (Figura 21). Esta fácies da Formação Adamantina abrange maior porcentagem da área estudada (60,46%), onde os declives são predominantemente de 5-10% (C).

A fácies III, localizada entre 335-380m, apresenta material menos permeável e mais resistente, onde se desenvolve praticamente toda rede de drenagem da área estudada. Nesta fácies, na transição com a anterior, registraram-se rupturas topográficas com afloramentos de água, entre 380 e 370m de altitude, por toda sub-bacia N e baixa bacia da sub-bacia W. Sobre esta Formação, que compreende 21,82% de toda área, prevalecem declives de 10-15% (D), com segmentos de vertente com declives de 15-47% (E) a jusante das rupturas topográficas abruptas.

A Formação Santo Anastácio encontra-se entre 320-335m. Abrange 16,4% da área e localiza-se na foz dos tributários do ribeirão Areia Dourada e por toda margem deste canal. Esta Formação é composta predominantemente de arenitos finos em bancos espessos (ALMEIDA, 1964; STEIN, 1993), onde os declives se encontram entre 10-15% (D). Outra Formação identificada na área representa os sedimentos aluvionares, compreendendo as áreas de deposição representadas pelos terraços e planícies fluviais, que ocupam 0,32% das sub-bacias.

# CARTA DE DECLIVIDADE DAS SUBBACIAS DO RIBEIRÃO AREIA DOURADA MARABÁ PAULISTA (SP)

400000  
7556000

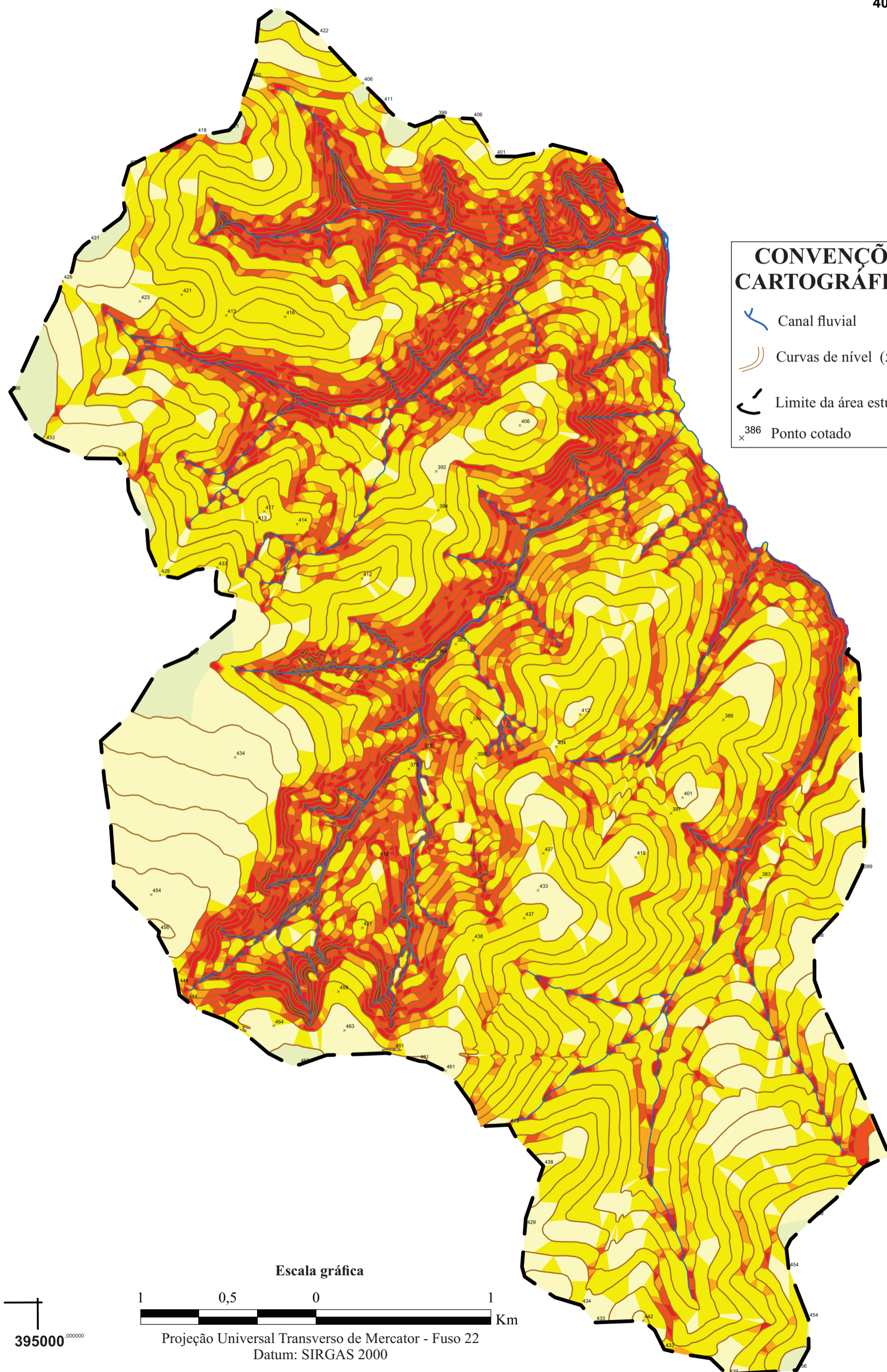


**CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS**

- Canal fluvial
- Curvas de nível (5 metros)
- Limite da área estudada
- Ponto cotado

**LEGENDA**  
Classes de declividade

- < 2%
- 2 - 5%
- 5 - 10%
- 10 - 12%
- 12 - 15%
- 15 - 30%
- 30 - 47%
- > 47%



7549000  
395000

**Escala gráfica**

1 0,5 0 1 Km

Projeção Universal Transverso de Mercator - Fuso 22  
Datum: SIRGAS 2000

Elaboração: ZANATTA, F. A. S.  
Orientação: LUPINACCI, C. M.; BOIN, M. N.

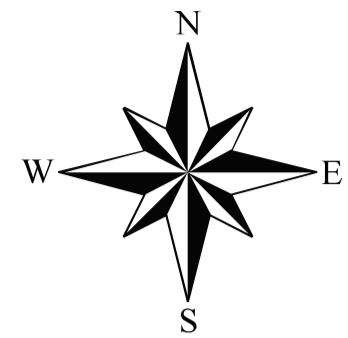
**Fonte:**  
Elaborada pelo autor com base em:  
GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO. Secretaria de Economia e Planejamento. Plano Cartográfico do Estado de São Paulo. Folhas: 057/019; 057/20; 058/19; 058/020. Carta Topográfica. Escala: 1: 10.000, equidistância entre as curvas de nível de 5 metros, Projeção UTM, 2000.

Apoio: FAPESP  
Processo: nº 2015 / 00875-2

Figura 20: Carta de declividade das sub-bacias do ribeirão Areia Dourada, Marabá Paulista (SP).

# CARTA DE COMPARTIMENTOS DO RELEVO DAS SUB-BACIAS DO RIBEIRÃO AREIA DOURADA, MARABÁ PAULISTA (SP)

400000  
7556000

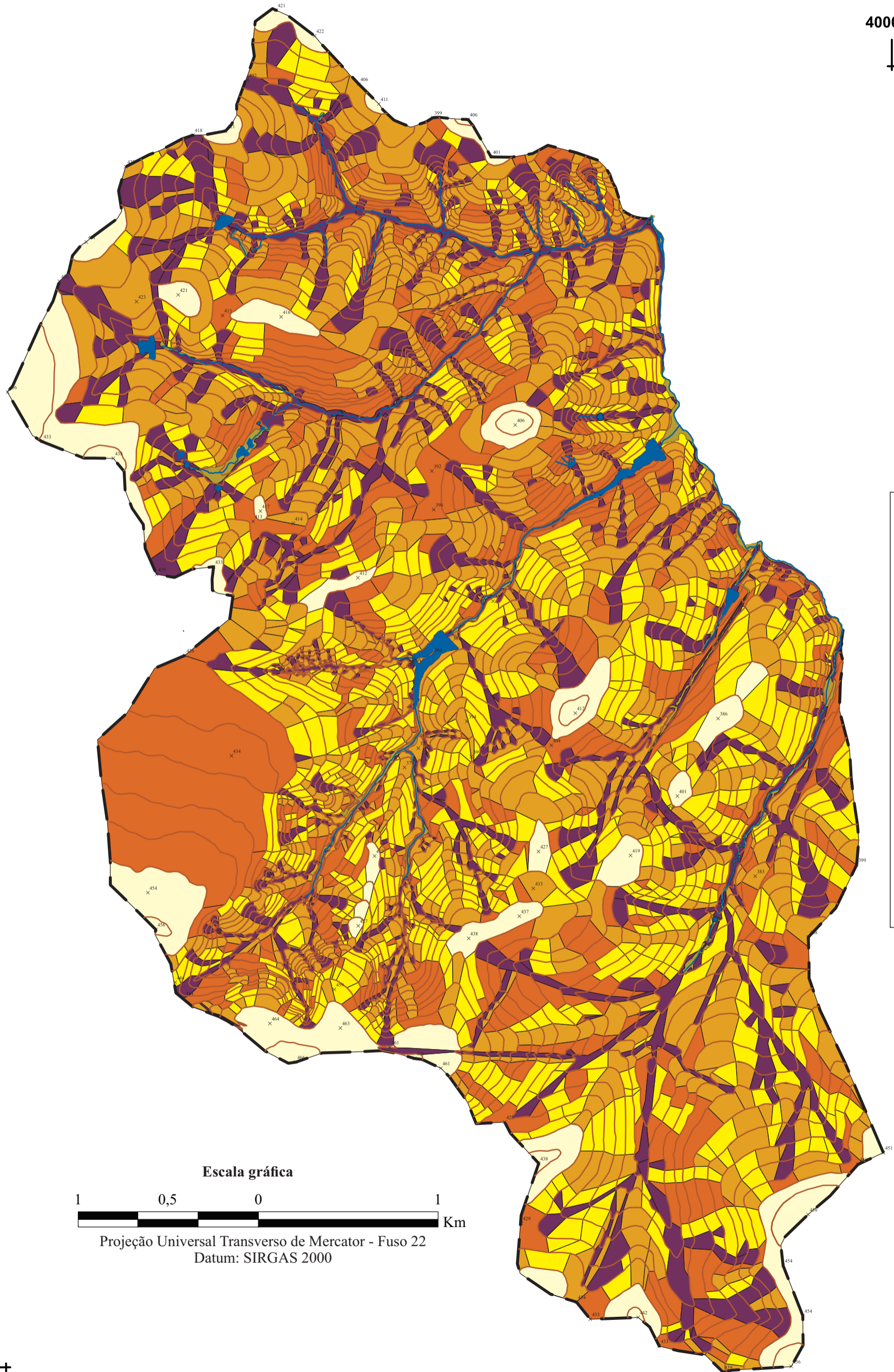


**CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS**

- Canal fluvial
- Açude
- Curvas de nível (5 metros)
- Limite da área estudada
- Ponto cotado

**LEGENDA**

- Área emissora - topo
- Área transmissora - vertente retilínea
- Área transmissora - vertente convexa
- Área transmissora - vertente irregular
- Área transmissora - vertente côncava
- Área coletora - planície e terraço fluvial



**Escala gráfica**

1 0,5 0 1 Km

Projeção Universal Transverso de Mercator - Fuso 22  
Datum: SIRGAS 2000

7549000  
395000

**Elaboração:** ZANATTA, F. A. S.  
**Orientação:** LUPINACCI, C. M.; BOIN, M. N.

**Fonte:**  
Elaborada pelo autor com base em:  
GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO. Secretaria de Economia e Planejamento. **Plano cartográfico do estado de São Paulo.** Folhas: 057/019; 057/20; 058/19; 058/020. Carta Topográfica. Escala: 1: 10.000, equidistância entre as curvas de nível de 5 metros, Projeção UTM, 2000.

**Apoio:** **FAPESP**  
Processo: nº 2015 / 00875-2

Figura 21: Carta de compartimentos do relevo das sub-bacias do ribeirão Areia Dourada, Marabá Paulista (SP)

Toda rede de drenagem das sub-bacias encontra-se subordinada tanto aos lineamentos, onde se encaixam as principais drenagens das sub-bacias, quanto pelas características do substrato rochoso, com quase totalidade dos canais fluviais se desenvolvendo sobre a fácies III, de maior resistência e menor permeabilidade. O maior desenvolvimento da rede de drenagem também se encontra relacionado aos afloramentos de água nas rupturas topográficas, os quais abastecem os afluentes dos canais principais das sub-bacias N e W. As sub-bacias SE e S apresentam apenas o canal principal, que é perene. Esta maior porosidade das Fácies I e II proporcionam, ainda, que a quase totalidade das concavidades (11,72%) de toda área estudada, onde predominam declives de 15-47% e  $\geq 47\%$ , abriguem canais pluviais.

Estas características hidrológicas determinam, no geral, um relevo com predomínio da baixa dissecação vertical (Figura 22) e horizontal (Figura 23); assim, 60,26% da área encontra-se dominada por classes de dissecação de 10-20m e  $\leq 10$ m e 81% com dissecação horizontal entre 160-320m e  $\geq 320$ m.

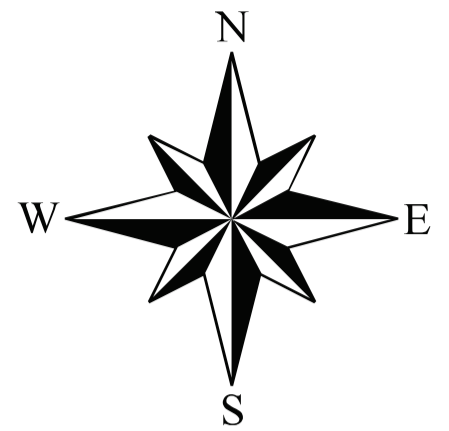
As exceções, onde predominam classes de dissecação horizontal e vertical de maior intensidade, ocorrem nas sub-bacias N e W, mais afetadas pelos lineamentos e pelas rupturas topográficas abruptas, sobretudo com afloramento de água que proporcionam maior desenvolvimento da drenagem e, por conseguinte, maior dissecação do relevo.

Esta maior movimentação do relevo, devido às características do substrato rochoso e da maior interferência dos lineamentos na rede de drenagem, reflete na energia do relevo das sub-bacias, onde se verifica predominantemente sobre a Formação Adamantina III, a jusante das rupturas, sobretudo das sub-bacias W e N, concentração das energias de medianamente forte a muito forte (Figura 24).





No geral, predominam terrenos de energia média em 53,84% da área, com os terrenos de energia muito forte e forte compreendendo aproximadamente 26% de toda superfície estudada. Em comparativo aos dados de geologia, verifica-se que os terrenos de maior energia do relevo encontram-se predominantemente sobre a Formação Adamantina III. Nas sub-bacias N e W, as maiores energias também se registram em áreas de topo, sujeitos a processos gravitacionais, e nas concavidades, devido ao maior declive nestes compartimentos de relevo.

# CARTA DE DISSECAÇÃO VERTICAL DAS SUB-BACIAS DO RIBEIRÃO AREIA DOURADA, MARABÁ PAULISTA (SP)

400000  
7556000









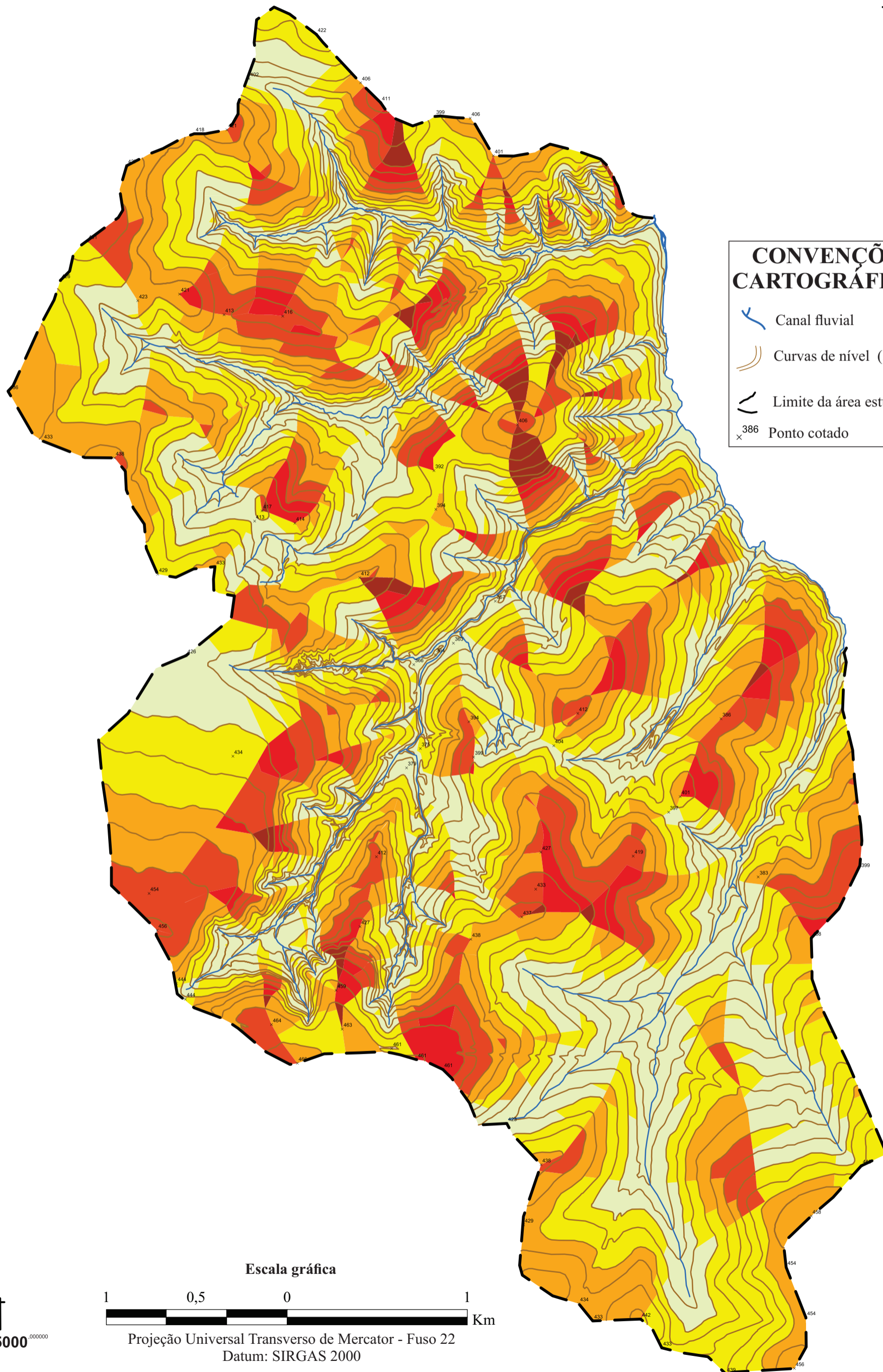
## CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

-  Canal fluvial
-  Curvas de nível (5 metros)
-  Limite da área estudada
-  Ponto cotado

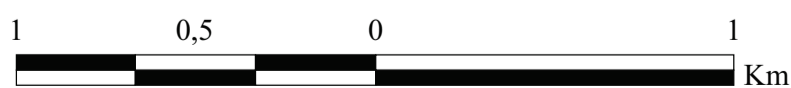
## LEGENDA

### Classes de dissecação vertical

-  < 10m
-  10 - 20 m
-  20 - 30 m
-  30 - 40 m
-  40 - 50 m
-  ≥ 50 m



Escala gráfica



Projeção Universal Transverso de Mercator - Fuso 22  
Datum: SIRGAS 2000

7549000  
395000

Elaboração: ZANATTA, F. A. S.  
Orientação: LUPINACCI, C. M.; BOIN, M. N.

Fonte:

Elaborada pelo autor com base em:

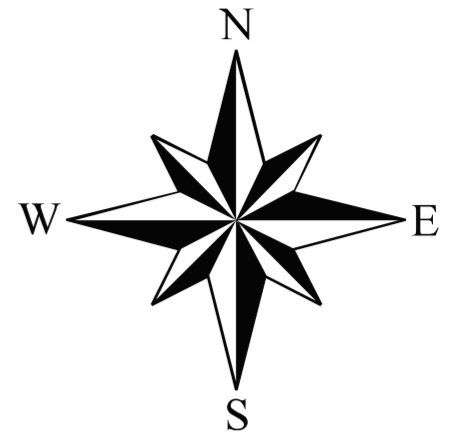
GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO. Secretaria de Economia e Planejamento. Plano Cartográfico do Estado de São Paulo. Folhas: 057/019; 057/20; 058/19; 058/020. Carta Topográfica. Escala: 1: 10.000, equidistância entre as curvas de nível de 5 metros, Projeção UTM, 2000.

Apoio:  FAPESP  
Processo: nº 2015 / 00875-2

Figura 22: Carta de dissecação vertical das sub-bacias do ribeirão Areia Dourada, Marabá Paulista (SP).

# CARTA DE DISSECAÇÃO HORIZONTAL DAS SUB-BACIAS DO RIBEIRÃO AREIA DOURADA, MARABÁ PAULISTA (SP)

400000  
7556000

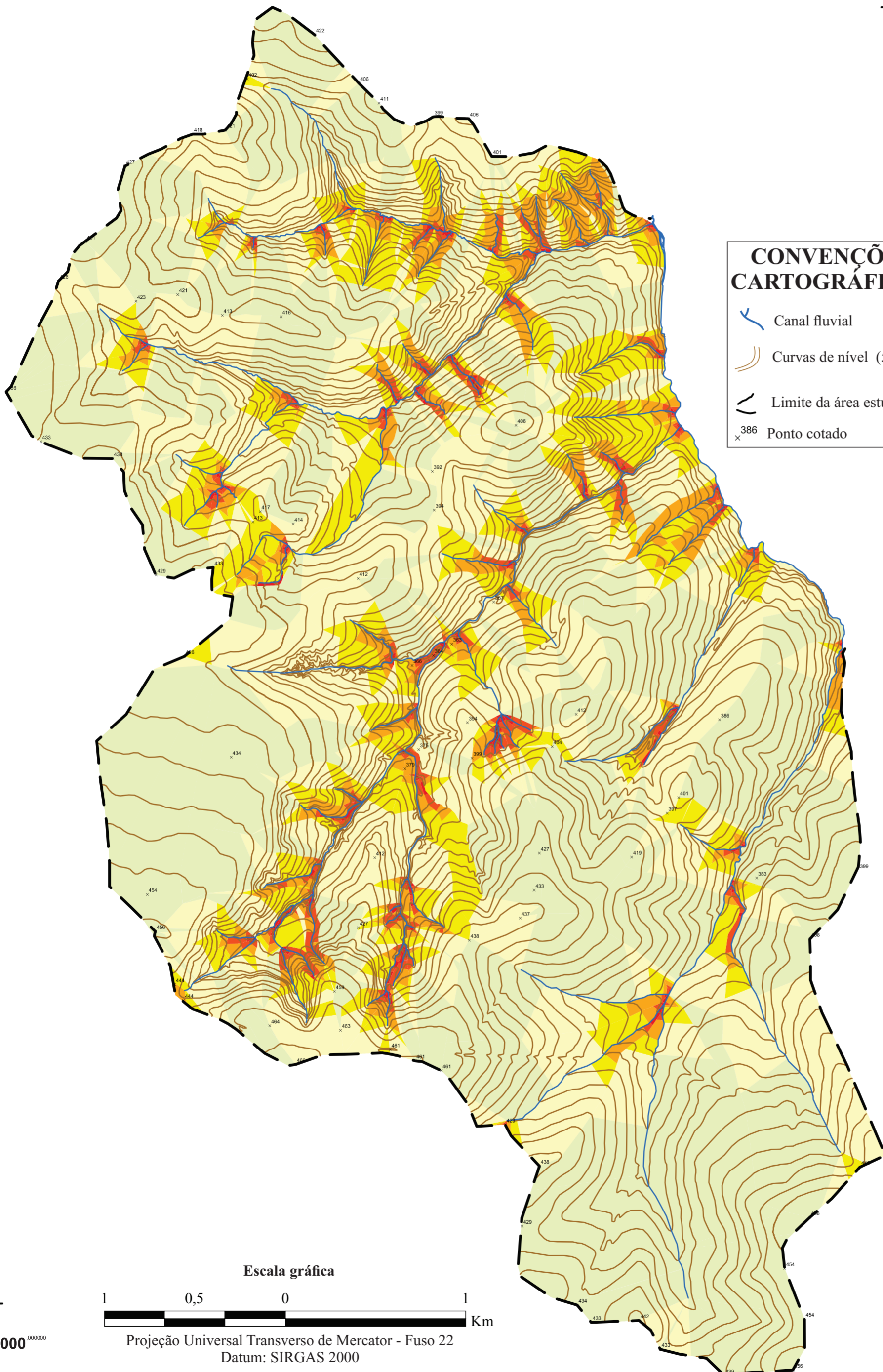


**CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS**

- Canal fluvial
- Curvas de nível (5 metros)
- Limite da área estudada
- Ponto cotado

**LEGENDA**  
**Classes de dissecação horizontal**

- ≥ 320 m
- 160 - 320 m
- 80 - 160 m
- 40 - 80 m
- 20 - 40 m
- 10 - 20 m
- < 10 m



7549000  
395000

**Escala gráfica**

1 0,5 0 1 Km

Projeção Universal Transverso de Mercator - Fuso 22  
Datum: SIRGAS 2000

Elaboração: ZANATTA, F. A. S.  
Orientação: LUPINACCI, C. M.; BOIN, M. N.

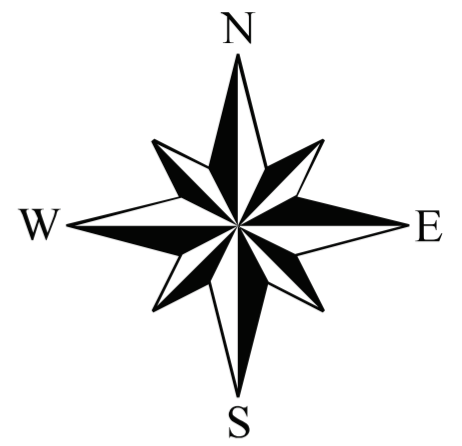
Fonte:  
Elaborada pelo autor com base em:  
GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO. Secretaria de Economia e Planejamento. Plano Cartográfico do Estado de São Paulo. Folhas: 057/019; 057/20; 058/19; 058/020. Carta Topográfica. Escala: 1: 10.000, equidistância entre as curvas de nível de 5 metros, Projeção UTM, 2000.

Apoio: FAPESP  
Processo: nº 2015 / 00875-2

Figura 23: Carta de dissecação horizontal das sub-bacias do ribeirão Areia Dourada, Marabá Paulista (SP).

# CARTA DE ENERGIA DO RELEVO DAS SUB-BACIAS DO RIBEIRÃO AREIA DOURADA, MARABÁ PAULISTA (SP)

400000  
7556000



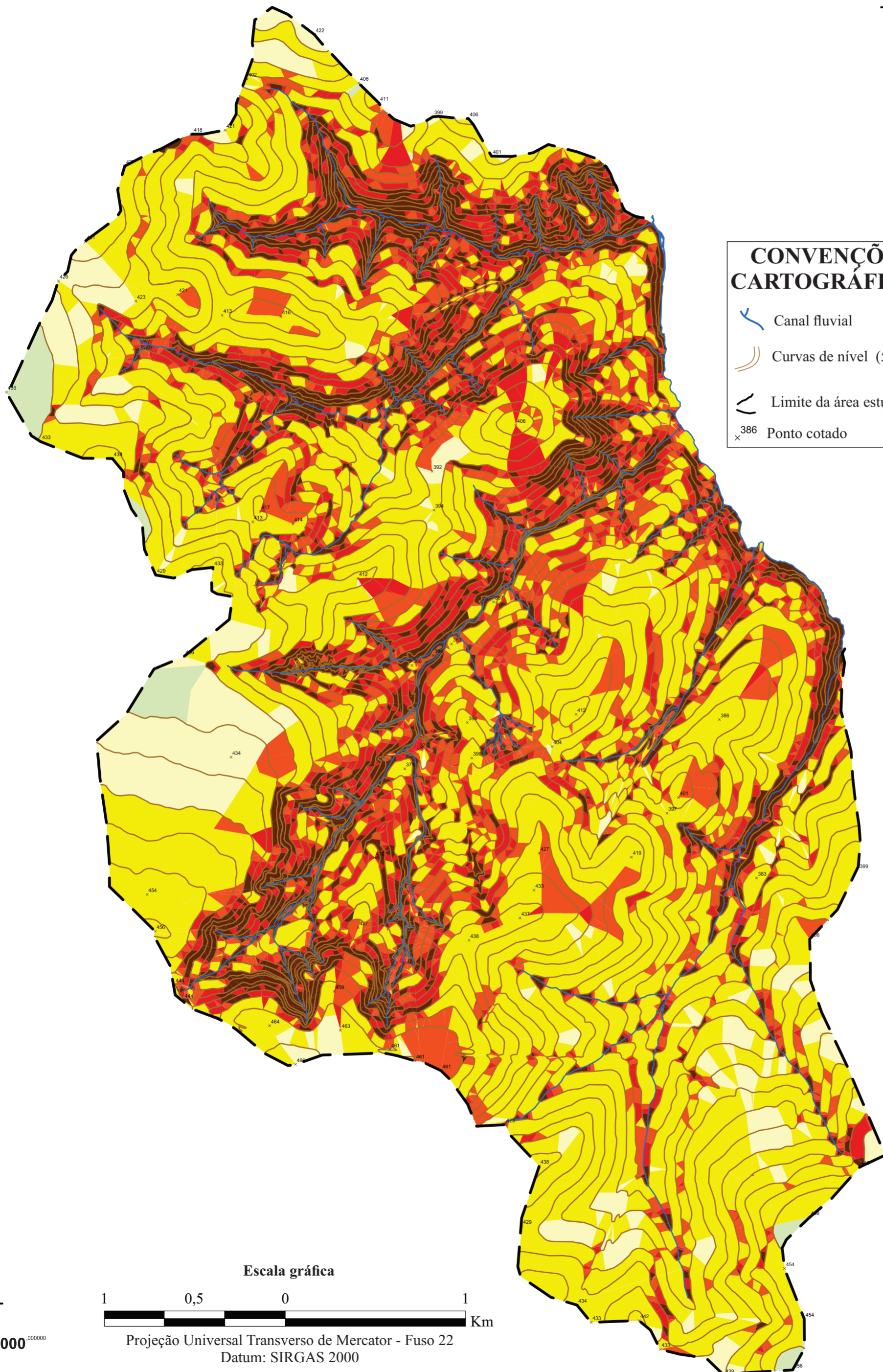
**CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS**

- Canal fluvial
- Curvas de nível (5 metros)
- Limite da área estudada
- Ponto cotado

**LEGENDA**

**Classes de energia do relevo**

- Muito Fraca
- Fraca
- Média
- Medianamente Forte
- Forte
- Muito Forte



7549000  
395000

**Escala gráfica**

1 0,5 0 1 Km

Projeção Universal Transverso de Mercator - Fuso 22  
Datum: SIRGAS 2000

Elaboração: ZANATTA, F. A. S.  
Orientação: LUPINACCI, C. M.; BOIN, M. N.

**Fonte:**  
Elaborada pelo autor com base em:  
GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO. Secretaria de Economia e Planejamento. Plano Cartográfico do Estado de São Paulo. Folhas: 057/019; 057/20; 058/19; 058/020. Carta Topográfica. Escala: 1: 10.000, equidistância entre as curvas de nível de 5 metros, Projeção UTM, 2000.

Cartas de declividade, dissecação vertical e horizontal desenvolvidas nesta pesquisa.

Apoio: **FAPESP**  
Processo: nº 2015 / 00875-2

Figura 24: Carta de dissecação horizontal das sub-bacias do ribeirão Areia Dourada, Marabá Paulista (SP).

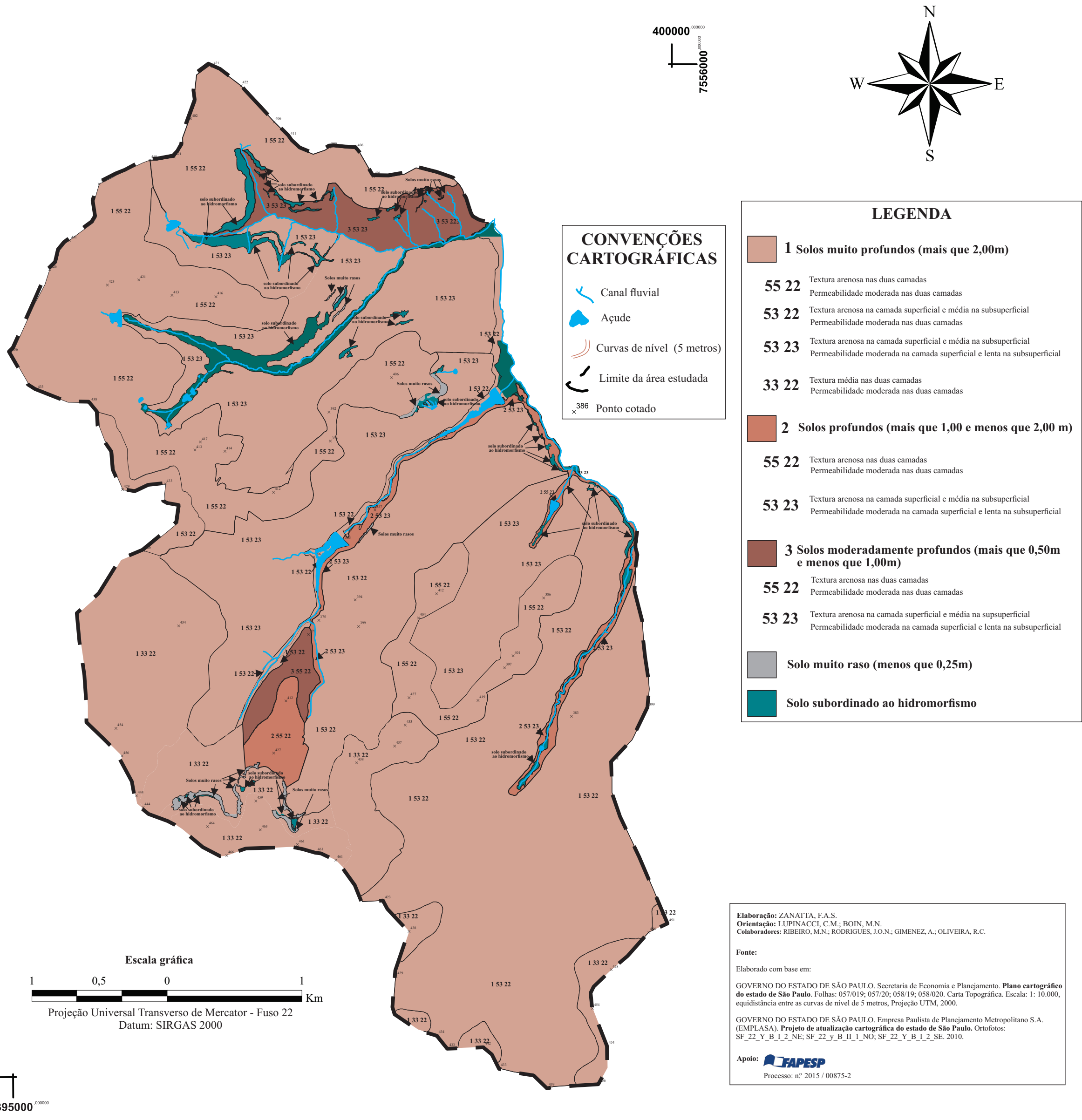
A disposição das características pedológicas na área estudada também apresenta forte relação com a litologia e a morfometria do relevo. Nos topos, sobre a Formação Adamantina I, com os menores declives, incidem os solos mais desenvolvidos, com profundidade superior a 2m, perfil com textura média (33) e permeabilidade moderada (22) (Figura 25).

Nos topos das sub-bacias N e SE sobre a Formação Adamantina II, os solos são muito profundos (>2,00m) e de perfil arenoso. Sobre esta Formação, ainda, nas vertentes de energia predominantemente média da sub-bacia S, assim como em vertentes da sub-bacia W, desenvolvem-se solos muito profundos (>2,00m), com mudança textural de arenosa para média e permeabilidade moderada em todo perfil. A exceção ocorre no interflúvio entre os canais na alta bacia da sub-bacia W, em que, nos terrenos mais elevados, o solo apresenta profundidade entre 1-2m (2), enquanto a jusante, na baixa vertente, a profundidade se reduz para 0,5-1m (3).

Sobre a fácies III da Formação Adamantina, nas vertentes W da sub-bacia W e todas as vertentes da sub-bacia N, onde o relevo é mais movimentado por rupturas topográficas, com declives acentuados e energia do relevo variando de medianamente forte a muito forte, os solos apresentam mudança de permeabilidade de moderada (2), na camada superficial, para lenta (3), na camada de subsuperfície. Esta característica pedológica também se registra na sub-bacia SE, onde praticamente toda vertente incide sobre a referida fácies da Formação. Na sub-bacia N, as vertentes ao N apresentam solos com textura e permeabilidade idênticas às mencionadas, mas com profundidade de 0,5-1,0m (3).

De modo geral, sobre a Formação Adamantina III, o relevo é mais movimentado. A maior resistência do substrato rochoso determina maior tendência à atuação do escoamento de superfície e vertentes com declives mais acentuados. Nestes setores, a rede de drenagem é mais desenvolvida, alimentada pelos afloramentos de água nas rupturas topográficas. Nas vertentes, os solos apresentam mudança textural de arenosa para média e permeabilidade, de moderada para lenta. Nos terrenos sobre a Formação Adamantina II, os topos apresentam solos com perfil de textura arenosa, enquanto nas vertentes, de declives entre 2-5% e de 5-10%, extensas e convexizadas, ocorre mudança textural de arenosa para média. Em ambas as situações, a permeabilidade é moderada. Nesta fácies, mas sobretudo na Formação Adamantina I, nos topos amplos e planos, há maior tendência à infiltração de água e processos de subsuperfície.

# CARTA DE CARACTERÍSTICAS PEDOLÓGICAS DAS SUB-BACIAS DO RIBEIRÃO AREIA DOURADA, MARABÁ PAULISTA (SP)



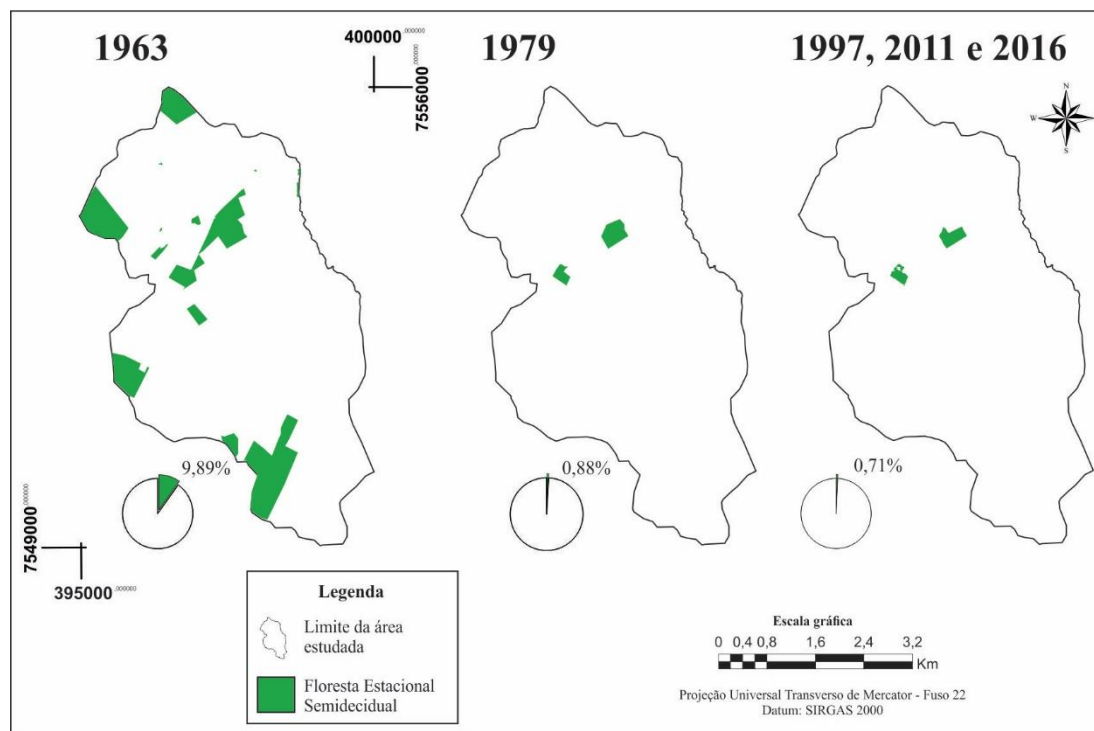
**Figura 25:** Carta de características pedológicas das sub-bacias do ribeirão Areia Dourada, Marabá Paulista (SP).

Sobre estas condições geológicas de alta friabilidade dos materiais, Boin (2000), estudando as chuvas e erosões no oeste Paulista, avaliou o impacto das chuvas através dos dados de precipitações no período de 1967 a 1996. Nesta análise, o autor constatou maiores valores de erosividade durante a primavera e verão, que variaram de 1500 a 3500 MJ.mm.h<sup>-1</sup>.ha<sup>-1</sup>, diminuindo para intervalos de 500 a 1000 MJ.mm.h<sup>-1</sup>.ha<sup>-1</sup> durante o outono e inverno. O autor, ao cruzar as unidades climáticas com a erodibilidade do solo, mapeou a região onde se encontra a bacia do ribeirão Areia Dourada com risco pluvial à erosão muito forte

Revestindo os solos predominantemente arenosos da região, a cobertura nativa é do tipo Floresta Estacional Semidecidual, com algumas áreas apresentando vegetação de cerradão (DITT, 2000). Esta mata nativa, na região do oeste Paulista, foi sendo substituída por cultura agrícolas no ritmo da construção da Ferrovia Alta Sorocabana e avanço de grileiros e latifundiários na região, impulsionados pela expansão da cafeicultura no estado de São Paulo, em processo iniciado no final do século XIX, chegando às margens do Rio Paraná na metade do século XX (MOMBEIG, 1989; FERRARI LEITE 1998).

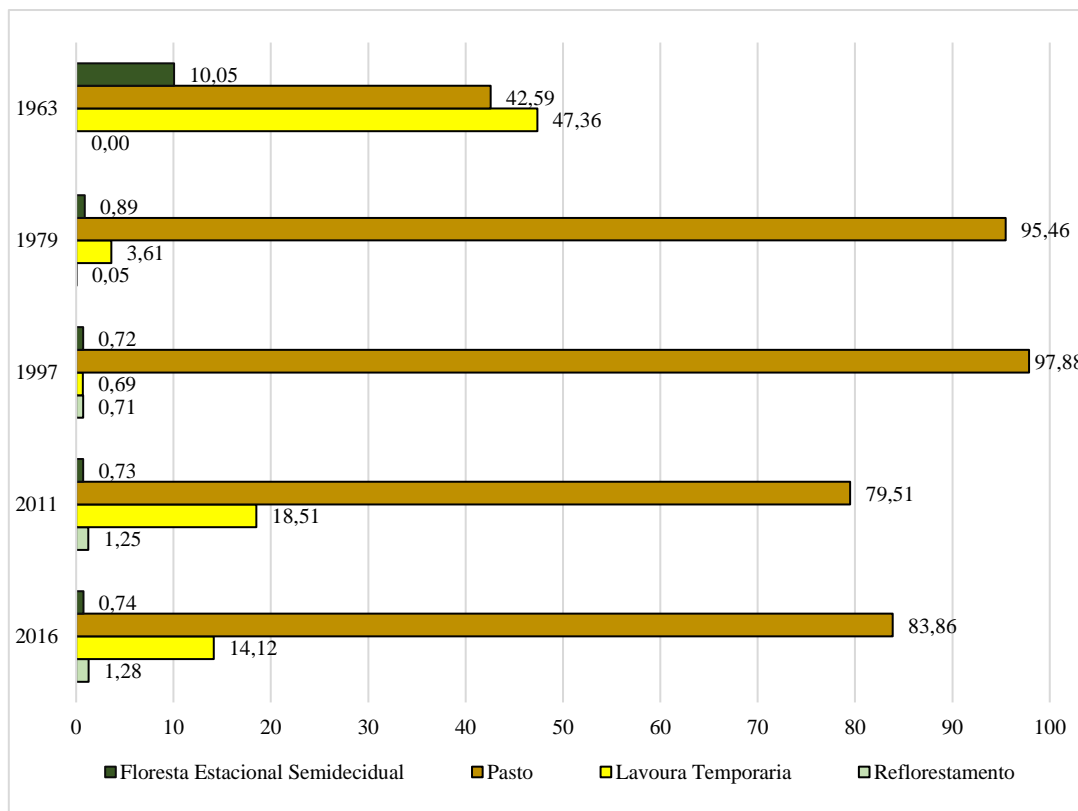
Monbeig (1989), ao relatar o avanço dos pioneiros e fazendeiros no sentido W Paulista, em relação aos solos, o resumiu como uma devastação sem freios. Para Ferrari Leite (1993), o processo de ocupação do Pontal do Paranapanema desrespeitou a lei, a comunidade e, sobretudo, a ecologia regional, último reduto das matas tropicais do Planalto Paulista. O autor destaca que este processo ocorreu através das articulações entre políticos, latifundiários e grileiros, com desmatamento intenso da área, substituindo as matas nativas por cultivos de café, passando para pastagens e, mais recentemente, pastagens e cana-de-açúcar (GUEDES et al., 2009).

Na área estudada, as sub-bacias do ribeirão Areia Dourada, os dados de uso e cobertura superficial da terra dos anos de 1963, 1979, 1997, 2011 e 2016 demonstraram seguir o roteiro supramencionado. Em 1963, a derrubada das matas já havia reduzido a menos de 10% a cobertura por Floresta Estacional Semidecidual nas sub-bacias do ribeirão Areia Dourada, diminuindo para 0,88% em 1979 e para 0,77% em 1997, porcentagem que se mantém até 2016 (Figura 26).



**Figura 26:** Área recoberta por Floresta Estacional Semidecidual nos anos de 1963, 1979, 2011 e 2016.

Em 1963, a área apresentava 47% da superfície com coberturas de lavouras temporárias, sendo o único período de maior predomínio das culturas na área. No ano de 1979, com a expansão da pecuária na região, houve um aumento expressivo das áreas de pasto, que passaram a ocupar 95,46% (Figura 27).



**Figura 27:** Uso e cobertura superficial da terra nos anos de 1963, 1979, 1997, 2011 e 2016 das sub-bacias do ribeirão Areia Dourada, Marabá Paulista.

No ano de 1997, verificou-se outro aumento das áreas de pasto, que passaram a ocupar 97,88% de toda área. A partir de 2011, com o avanço das empresas sucroalcooleiras na região, munidas de incentivos, provenientes sobretudo do Governo Federal, a partir do programa Proálcool, a cana-de-açúcar passou a ocupar 18,51% das terras por meio de arrendamentos. Em 2016, com a redução da influência destas empresas na região, a cana-de-açúcar reduziu a área para 14,12%. Boa parte dessas foram verificadas durante trabalhos de campo, constatando-se a presença de cana-de-açúcar queimada e gado pastando. Trabalhadores das fazendas relataram que o término dos arrendamentos ocorreu antes do período da safra e, com o enfraquecimento da atividade sucroalcooleira na região, restou como alternativa o fogo e o gado.

No período avaliado, percebe-se que a presença de pasto sempre se manteve acima de 40%, com domínio expressivo a partir de 1979, retomando as áreas de cana-de-açúcar em 2016, indicativo de que o pasto sempre foi um meio seguro de investimento e geração de renda, diferentemente das culturas temporárias, devido à erosão do solo que aumenta os custos de cultivo, apresentam dificuldades de se estabelecerem.

Ao considerar as características físicas da área e a substituição quase por completa das matas nativa por atividades agropecuárias, aplicaram-se três metodologias distintas buscando seu entendimento, a saber: 3.2) antropogeomorfologia, visando compreender a influência das variáveis antrópicas nas alterações do relevo ao longo de 53 anos; 3.3) geocologia da paisagem, a fim de levantar as unidades físicas de menor para maior predisposição aos processos erosivos lineares e comparar tais dados com as áreas legalmente protegidas (Áreas de Preservação Permanente e Reserva Legal) e o estado ambiental da área estudada; e 3.4) sistema de capacidade de uso, buscando identificar a aptidão agrícola dos terrenos.

### **3.2 A antropogeomorfologia e a cartografia geomorfológica retrospectiva: análise da problemática erosiva das sub-bacias do ribeirão Areia Dourada, Marabá Paulista (SP)**

Como já mencionado anteriormente, a área estudada é representativa do contexto de desmatamento que caracterizou a ocupação do oeste Paulista e do Pontal do Paranapanema, com a redução da Floresta Estacional Semidecidual, que em 1963 recobria menos de 10% da área, para 0,71% em 2016. Esta mudança abrupta da cobertura superficial e do uso da terra, vinculada às práticas agropecuárias, estabeleceram ao ambiente, sobretudo aos solos, funções distintas daquelas exercidas pelas matas nativas, resultando em uma nova dinâmica dos processos atuantes e que modelam o relevo da área.

Para identificar a influência do uso da terra nas mudanças das feições geomorfológicas, fez-se a análise qualitativa e quantitativa dos mapeamentos de uso e cobertura superficial da terra e de geomorfologia dos anos de 1963 (Figuras 28 e 2+9), 1979 (Figuras 30 e 31), 1997 (Figuras 32 e 33), 2011 (Figuras 34 e 35) e 2016 (Figuras 36 e 37).

# CARTA DE USO E COBERTURA SUPERFICIAL DA TERRA DAS SUB-BACIAS DO RIBEIRÃO AREIA DOURADA, MARABÁ PAULISTA (SP), 1963

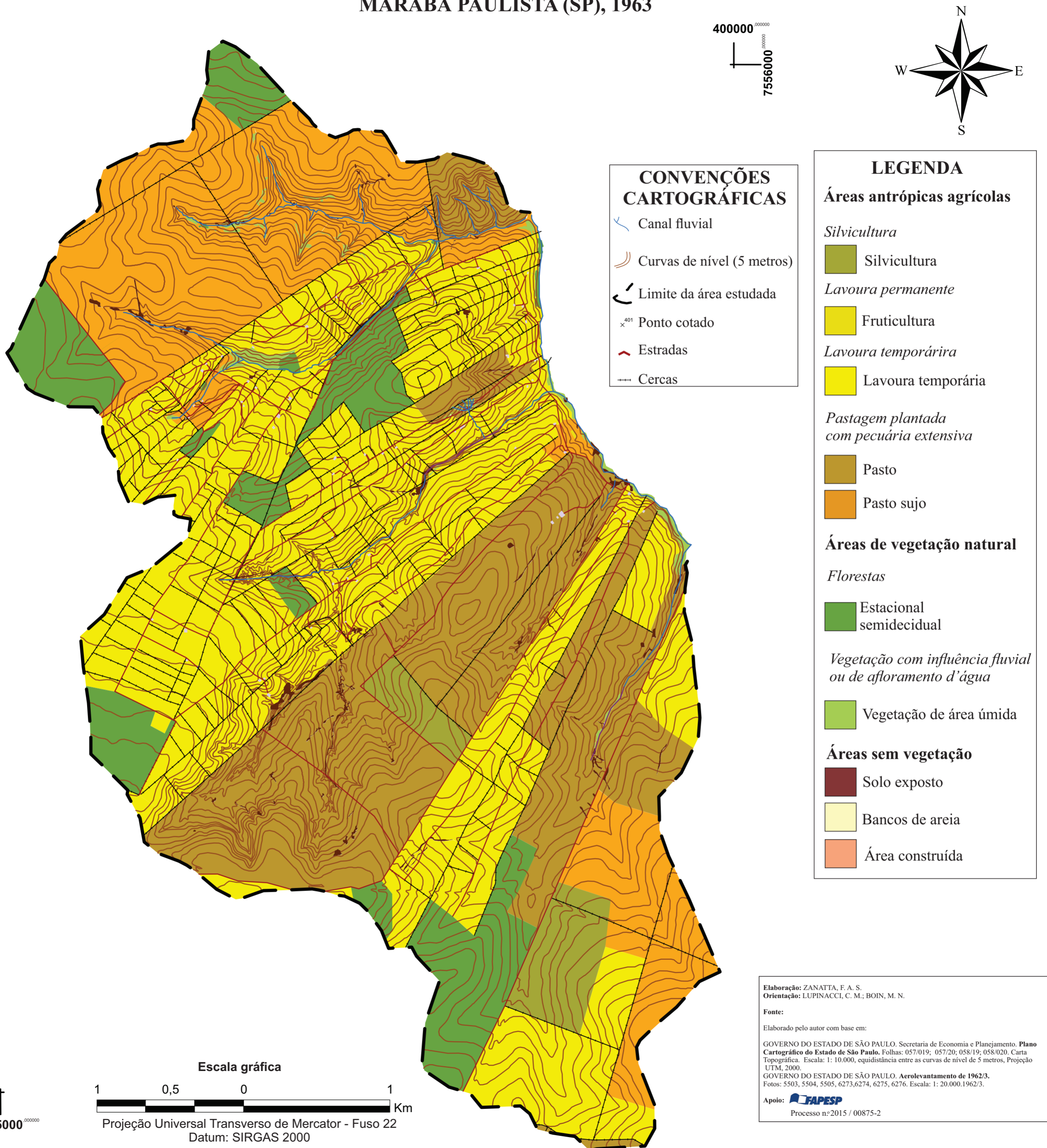
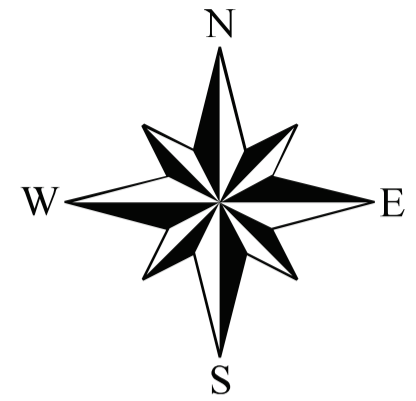


Figura 28: Carta de uso e cobertura superficial da terra das sub-bacias do ribeirão Areia Dourada, Marabá Paulista (SP), 1963.

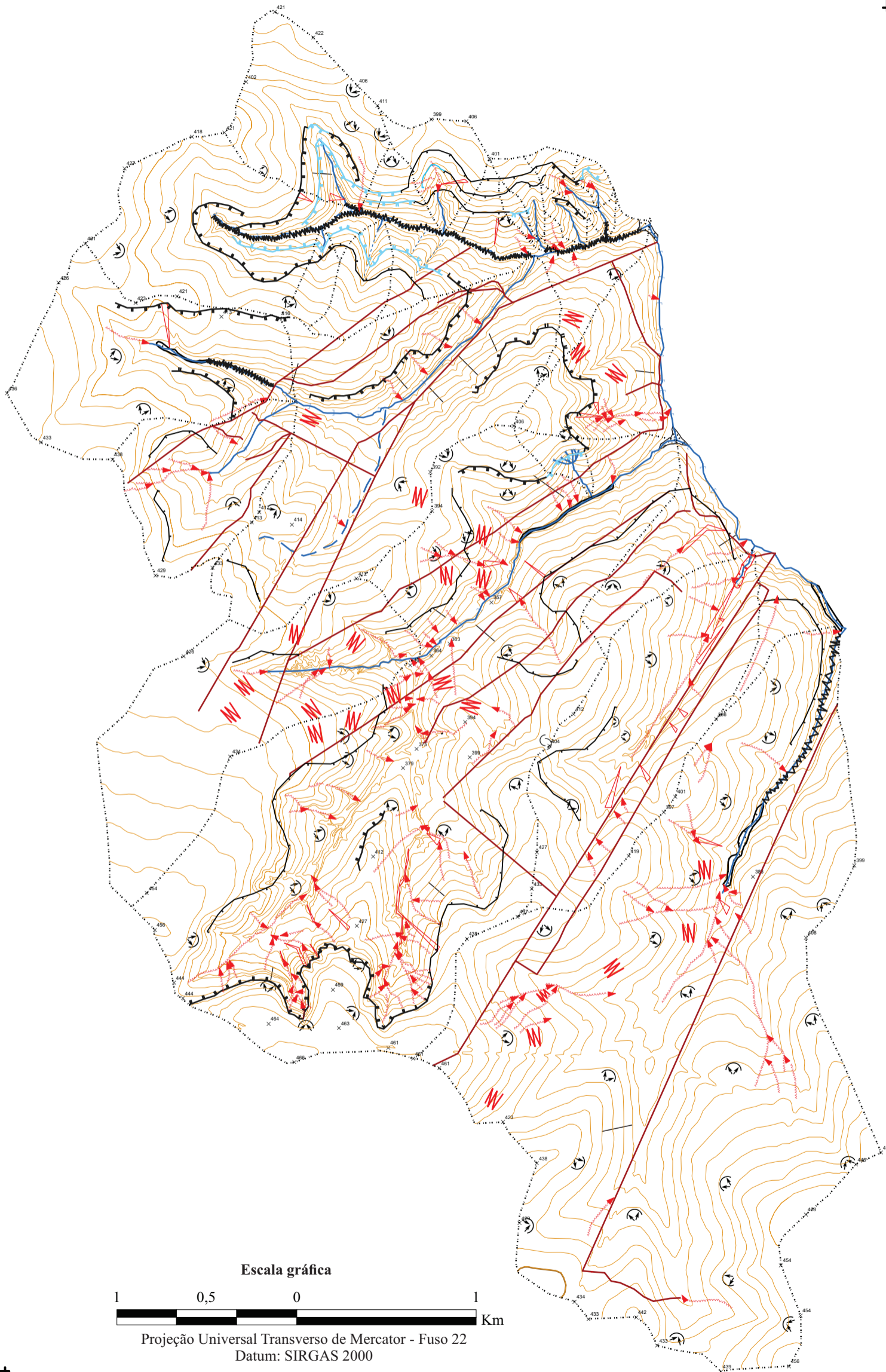
# CARTA GEOMORFOLÓGICA DAS SUB-BACIAS DO RIBEIRÃO AREIA DOURADA, MARABÁ PAULISTA (SP), 1963

400000  
7556000

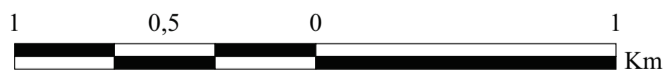


LEGENDA

Elementos	Denominação		Símbolo	
Formas da vertente	Convexa			
	Côncava			
	Retilínea			
Divisor de águas				
Colo topográfico				
Interflúvio	Feições de origem denudativa	Sulco		
		Ravina		
		Voçoroca		
	Marcas que indicam erosão laminar			
Topografia	Curvas de nível com equidistância de 5m			
	Ponto cotado			
Feições de drenagem	Canal fluvial			
	Canal pluvial			
	Solapamento			
Forma de acumulação	Planície e terraço fluvial			
Ação das águas correntes	Fundo de vale	Plano		
		Em "V"		
	Modelado de entalhe	Ruptura topográfica	Suave	
			Suave com afloramento de água	
			Abrupta	
			Abrupta com afloramento de água	
Modelado antrópico	Estrada			



Escala gráfica



Projeção Universal Transverso de Mercator - Fuso 22  
Datum: SIRGAS 2000

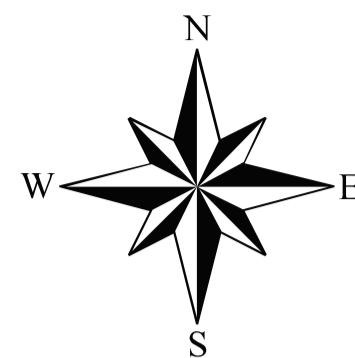
7549000  
395000

Elaboração: ZANATTA, F. A. S.  
Orientação: LUPINACCI, C. M.; BOIN, M. N.  
Fonte:  
Elaborada pelo autor com base em:  
GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO. Secretaria de Economia e Planejamento. **Plano Cartográfico do Estado de São Paulo**. Folhas: 057/019; 057/20; 058/19; 058/020. Carta Topográfica. Escala: 1: 10.000, equidistância entre as curvas de nível de 5 metros, Projeção UTM, 2000.  
GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Aerolevanteamento de 1962/3**. Fotos: 5503, 5504, 5505, 6273, 6274, 6275, 6276. Escala: 1: 20.000.1962/3.  
Apoio: FAPESP  
Processo nº 2015 / 00875-2

Figura 29: Carta geomorfológica das sub-bacias do ribeirão Areia Dourada, Marabá Paulista (SP), 1963.

# CARTA DE USO E COBERTURA SUPERFICIAL DA TERRA DAS SUB-BACIAS DO RIBEIRÃO AREIA DOURADA, MARABÁ PAULISTA (SP), 1979

400000  
7556000



## CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

- Canal fluvial
- Curvas de nível (5 metros)
- Limite da área estudada
- Ponto cotado
- Estradas
- Cercas

## LEGENDA

### Áreas antrópicas agrícolas

#### Silvicultura

Eucalipto

#### Lavoura permanente

Fruticultura

#### Lavoura temporária

Lavoura temporária

#### Pastagem plantada com pecuária extensiva

Pasto

Pasto sujo

### Áreas de vegetação natural

#### Florestas

Estacional semidecidual

#### Vegetação com influência fluvial ou de afloramento d'água

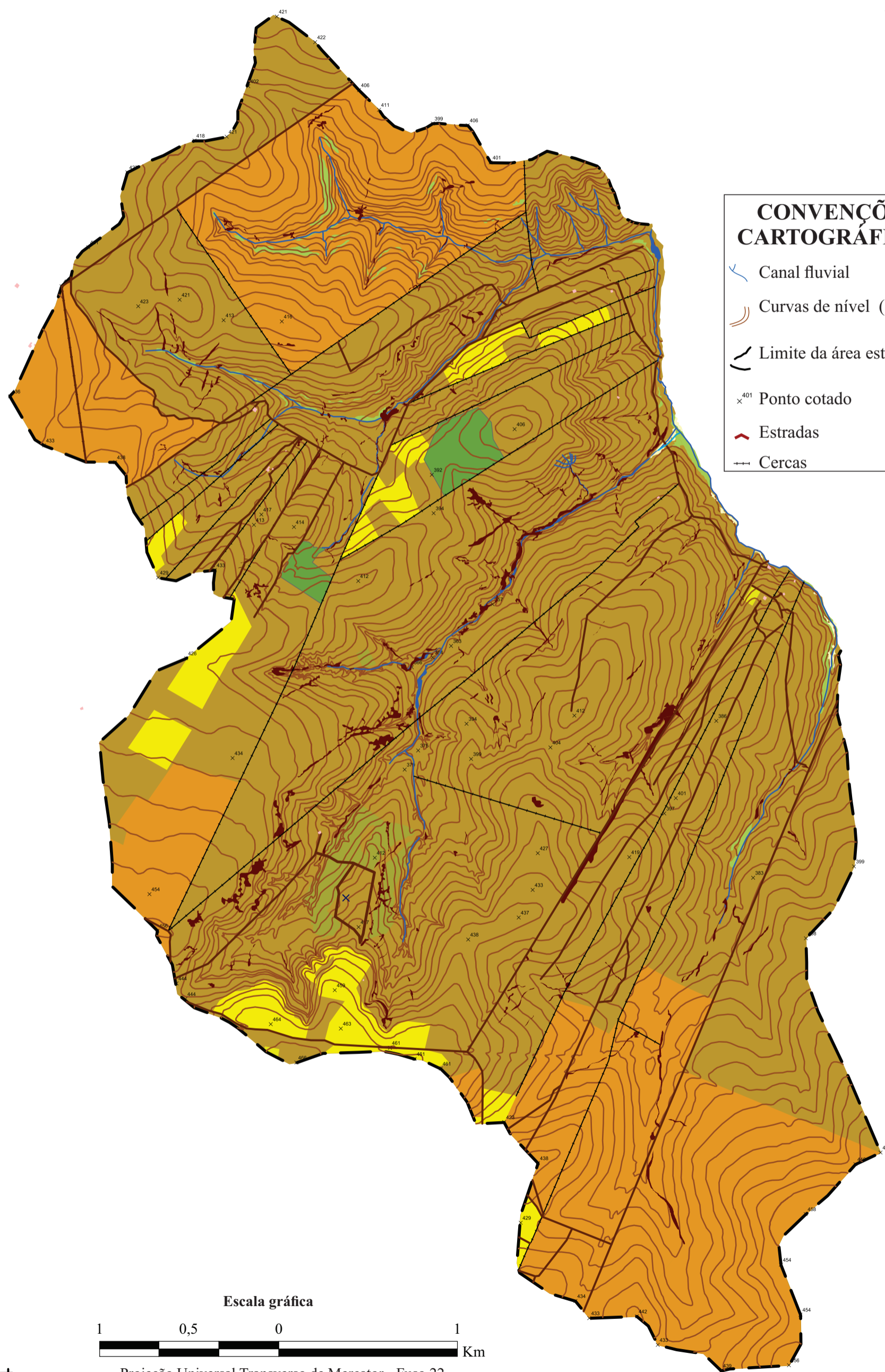
Vegetação de área úmida

### Áreas sem vegetação

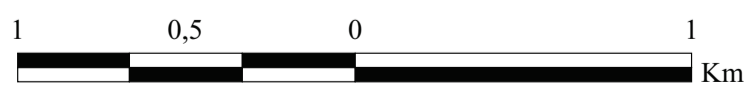
Solo exposto

Bancos de areia

Área construída



## Escala gráfica



Projeção Universal Transverso de Mercator - Fuso 22  
Datum: SIRGAS 2000

7549000  
395000

Elaboração: ZANATTA, F. A. S.  
Orientação: LUPINACCI, C. M.; BOIN, M. N.

#### Fonte:

Elaborada pelo autor com base em:

GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO. Secretaria de Economia e Planejamento. Plano cartográfico do estado de São Paulo. Folhas: 057/019; 057/20; 058/19; 058/020. Carta Topográfica. Escala: 1: 10.000, equidistância entre as curvas de nível de 5 metros. Projeção UTM, 2000. TERRA FOTO S.A. - Atividades de Aerolevantamento. Fotos: FX91A-2857 e 2858, FX92-2871 e 2873 e FX93-2921 e 2922. Escala aproximada de 1: 25.000. 1978/9.

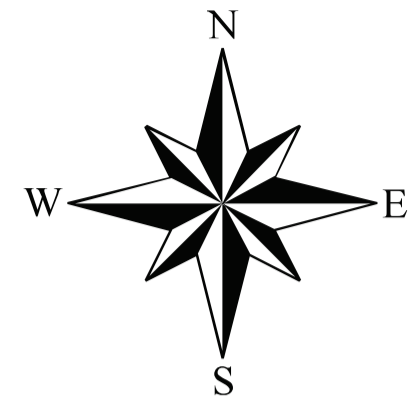
Apoio: FAPESP

Processo nº2015 / 00875-2

Figura 30: Carta de uso e cobertura superficial da terra das sub-bacias do ribeirão Areia Dourada, Marabá Paulista (SP), 1979;

# CARTA GEOMORFOLÓGICA DAS SUB-BACIAS DO RIBEIRÃO AREIA DOURADA, MARABÁ PAULISTA (SP), 1979

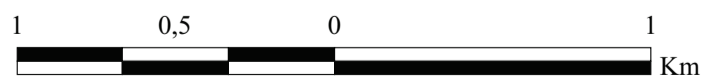
400000  
7556000



## LEGENDA

Elementos	Denominação		Símbolo	
Formas da vertente	Convexa			
	Côncava			
	Retilínea			
Divisor de águas				
Colo topográfico				
Interflúvio	Feições de origem denudativa	Sulco		
		Ravina		
		Voçoroca		
		Marcas que indicam erosão laminar		
Topografia	Curvas de nível com equidistância de 5m			
	Ponto cotado			
Ação das águas correntes	Feições de drenagem	Canal fluvial		
		Canal pluvial		
		Solapamento		
	Forma de acumulação	Planície e terraço fluvial		
	Modelado de entalhe	Fundo de vale	Plano	
			Em "V"	
Ruptura topográfica		Suave		
		Suave com afloramento de água		
		Abrupta		
Abrupta com afloramento de água				
Modelado antrópico	Terraços agrícolas			
	Bacias de contenção			
	Estrada			

## Escala gráfica



Projeção Universal Transverso de Mercator - Fuso 22  
Datum: SIRGAS 2000

7549000

395000

Elaboração: ZANATTA, F. A. S.  
Orientação: LUPINACCI, C. M.; BOIN, M. N.

### Fonte:

Elaborada pelo autor com base em:

GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO. Secretaria de Economia. **Plano cartográfico do estado de São Paulo**. Folhas: 057/109; 057/20; 058/19; 058/20. Carta Topográfica. Escala: 1: 10.000, 2000.  
TERRAFOTO S.A. - Atividades de Aerolevantamento. Fotos: FX91A-2857 e 2858, FX92-2871 e 2873 e FX93-2921 e 2922. Escala aproximada de 1: 25.000. 1978/9.

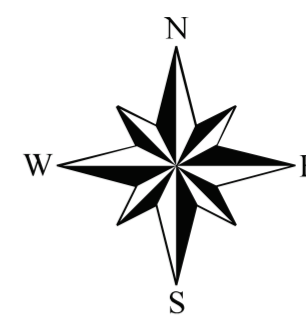
Apoio:

Processo n.º 2015 / 00875-2

Figura 31: Carta Geomorfológica das sub-bacias do ribeirão Areia Dourada, Marabá Paulista (SP), 1979

# CARTA DE USO E COBERTURA SUPERFICIAL DA TERRA DAS SUB-BACIAS DO RIBEIRÃO AREIA DOURADA, MARABÁ PAULISTA (SP), 1997

400000  
7556000



## CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

- Canal fluvial
- Curvas de nível (5 metros)
- Limite da área estudada
- Ponto cotado
- Estradas
- Cercas

## LEGENDA

### Áreas antrópicas agrícolas

#### Reflorestamento

- Reflorestamento

#### Silvicultura

- Eucalipto

#### Lavoura permanente

- Fruticultura

#### Lavoura temporária

- Lavoura temporária

#### Pastagem plantada com pecuária extensiva

- Pasto

- Pasto sujo

### Áreas de vegetação natural

#### Florestas

- Estacional semidecidual

#### Vegetação com influência fluvial ou de afloramento d'água

- Vegetação de área úmida

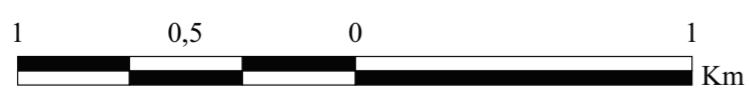
### Áreas sem vegetação

- Solo exposto

- Bancos de areia

- Área construída

## Escala gráfica



Projeção Universal Transverso de Mercator - Fuso 22  
Datum: SIRGAS 2000

7549000  
395000

Elaboração: ZANATTA, F. A. S.  
Orientação: LUPINACCI, C. M.; BOIN, M. N.

#### Fonte:

Elaborada pelo autor com base em:

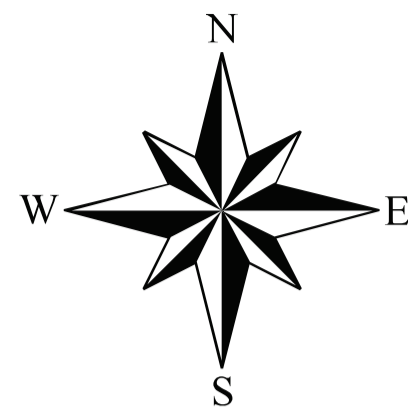
GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO. Secretaria de Economia e Planejamento. Plano cartográfico do estado de São Paulo. Folhas: 057/019; 057/20; 058/19; 058/020. Carta Topográfica. Escala: 1:10.000, equidistância entre as curvas de nível de 5 metros, Projeção UTM, 2000.  
GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO. Instituto Geográfico e Cartográfico. Aerolevanteamento de Presidente Venceslau e áreas correlatas (1997). Fotos: 07/5884, 07/5885 e 07/8856. Escala: 1:35.000, 1997.

Apoio: FAPESP  
Processo nº2015 / 00875-2

Figura 32: Carta de uso e cobertura superficial da terra das sub-bacias do ribeirão Areia Dourada, Marabá Paulista (SP), 1997.

# CARTA GEOMORFOLÓGICA DAS SUB-BACIAS DO RIBEIRÃO AREIA DOURADA, MARABÁ PAULISTA (SP), 1997

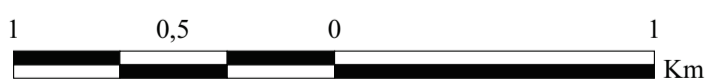
400000  
7556000



## LEGENDA

Elementos	Denominação		Símbolo
Interflúvio	Formas da vertente	Convexa	
		Côncava	
		Retilínea	
	Divisor de águas		
	Colo topográfico		
Feições de origem denudativa	Sulco	Sulco	
		Ravina	
		Voçoroca	
		Marcas que indicam erosão laminar	
Topografia	Curvas de nível com equidistância de 5m		
	Ponto cotado		
Feições de drenagem	Canal fluvial	Canal fluvial	
		Canal pluvial	
		Solapamento	
	Forma de acumulação	Planície e terraço fluvial	
		Fundo de vale	Plano
	Em "V"		
Modelado de entalhe	Ruptura topográfica	Suave	
		Suave com afloramento de água	
		Abrupta	
		Abrupta com afloramento de água	
Modelado antrópico	Canal antropogênico		
	Terraços agrícolas		
	Bacias de contenção		
	Açudes		
	Estrada		
	Rodovia		

## Escala gráfica



Projeção Universal Transverso de Mercator - Fuso 22  
Datum: SIRGAS 2000

7549000  
395000

Elaboração: ZANATTA, F. A. S.  
Orientação: LUPINACCI, C. M.; BOIN, M. N.

### Fonte:

Elaborado pelo autor com base em:

GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO. Secretaria de Economia e Planejamento.  
Plano cartográfico do estado de São Paulo. Folhas: 057/019; 057/20; 058/19; 058/020.  
Carta Topográfica. Escala: 1: 10.000, equidistância entre as curvas de nível de 5 metros,  
Projeção UTM, 2000.  
GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO. Instituto Geográfico e Cartográfico.  
Aerolevantamento de Presidente Venceslau e áreas correlatas (1997). Fotos: 07/5884. 07/5885 e  
07/8856. Escala: 1:35.000. 1997.

Apoio:

Processo nº 2015 / 00875-2

Figura 33: Carta Geomorfológica das sub-bacias do ribeirão Areia Dourada, Marabá Paulista (SP), 1997.

# CARTA DE USO E COBERTURA SUPERFICIAL DA TERRA DAS SUB-BACIAS DO RIBEIRÃO AREIA DOURADA, MARABÁ PAULISTA (SP), 2011

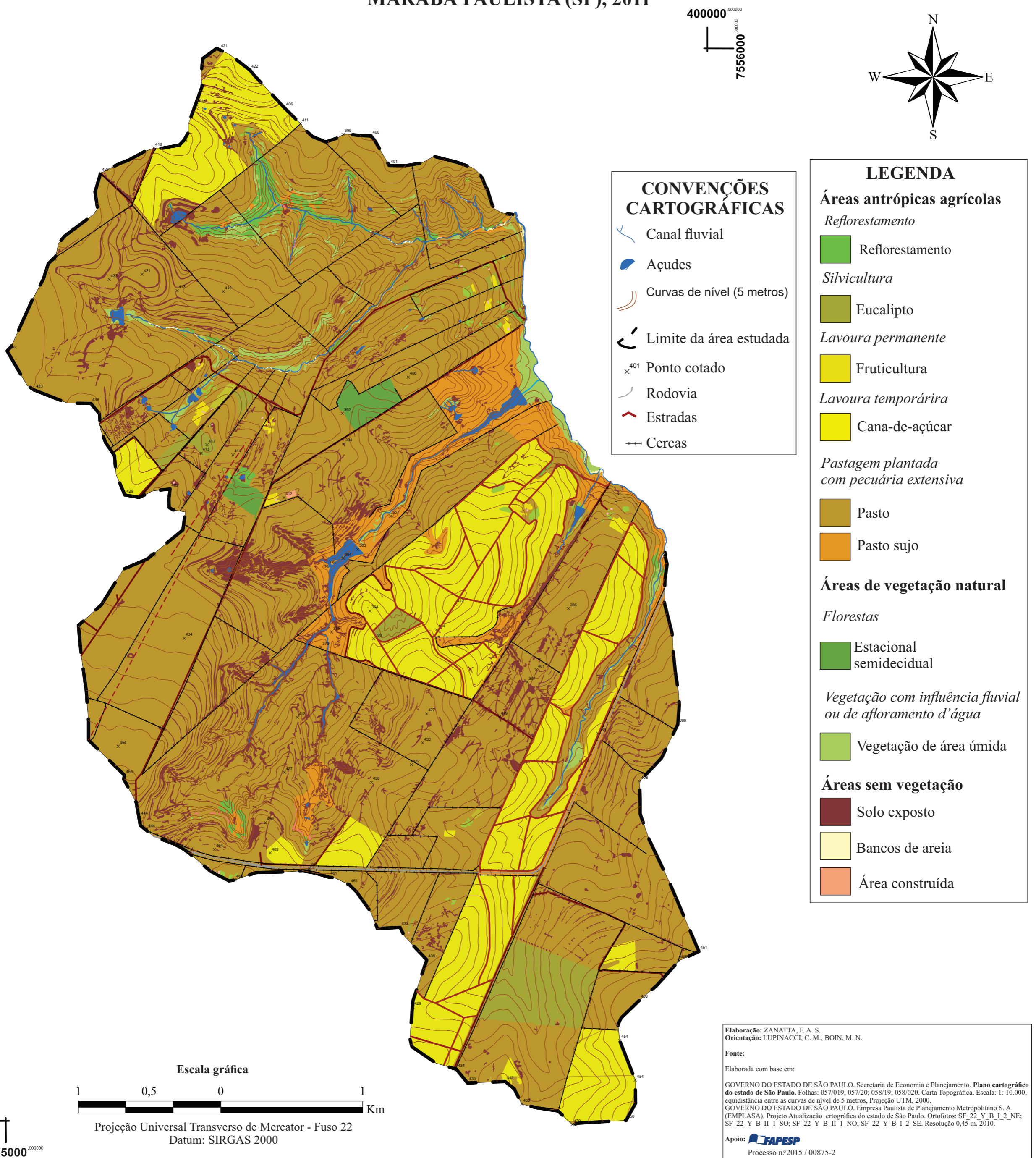
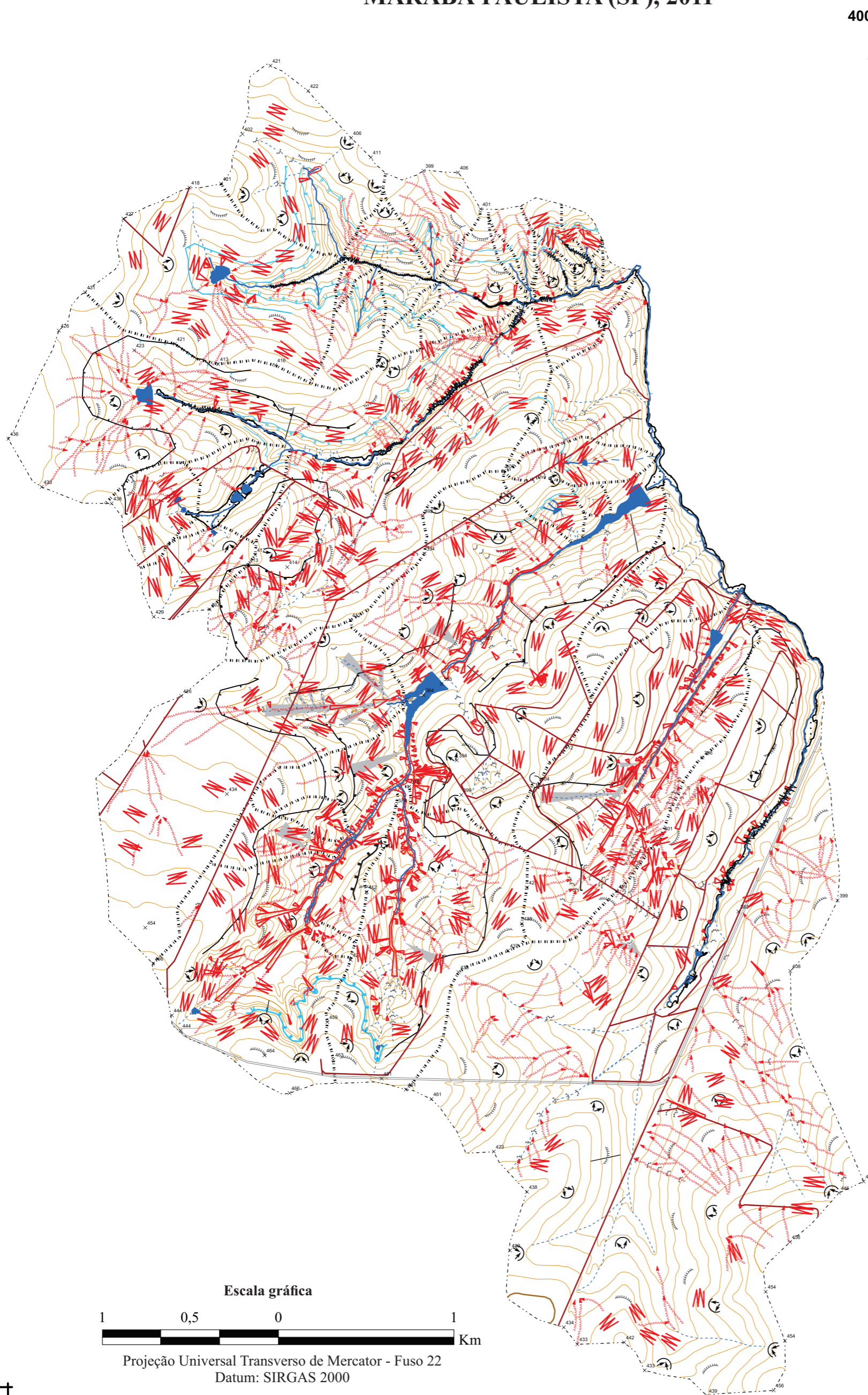
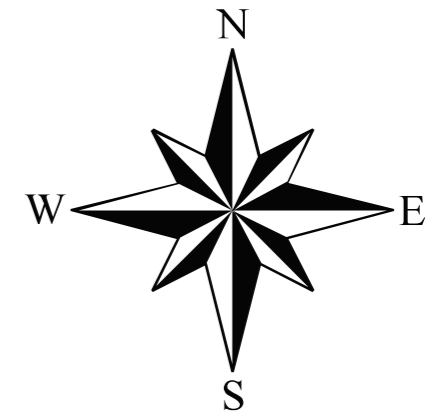


Figura 34: Carta de uso e cobertura superficial da terra das sub-bacias do ribeirão Areia Dourada, Marabá Paulista (SP), 2011.

# CARTA GEOMORFOLÓGICA DAS SUB-BACIAS DO RIBEIRÃO AREIA DOURADA, MARABÁ PAULISTA (SP), 2011



400000  
7556000



## LEGENDA

Elementos	Denominação		Símbolo	
Formas da vertente	Convexa			
	Côncava			
	Retilínea			
Divisor de águas				
Colo topográfico				
Interflúvio	Feições de origem denudativa	Sulco		
		Ravina		
		Voçoroca		
		Marcas que indicam erosão laminar		
Topografia	Curvas de nível com equidistância de 5m			
	Ponto cotado			
Feições de drenagem	Canal fluvial			
	Canal pluvial			
	Solapamento			
Forma de acumulação	Planície e terraço fluvial			
Ação das águas correntes	Fundo de vale	Plano		
		Em "V"		
	Modelado de entalhe	Ruptura topográfica	Suave	
			Suave com afloramento de água	
			Abrupta	
			Abrupta com afloramento de água	
Modelado antrópico	Canal antropogênico			
	Terraços agrícolas			
	Bacias de contenção			
	Açudes			
	Estrada			
	Rodovia			

### Escala gráfica



Projeção Universal Transverso de Mercator - Fuso 22  
Datum: SIRGAS 2000

Elaboração: ZANATTA, F. A. S.  
Orientação: LUPINACCI, C. M.; BOIN, M. N.

#### Fonte:

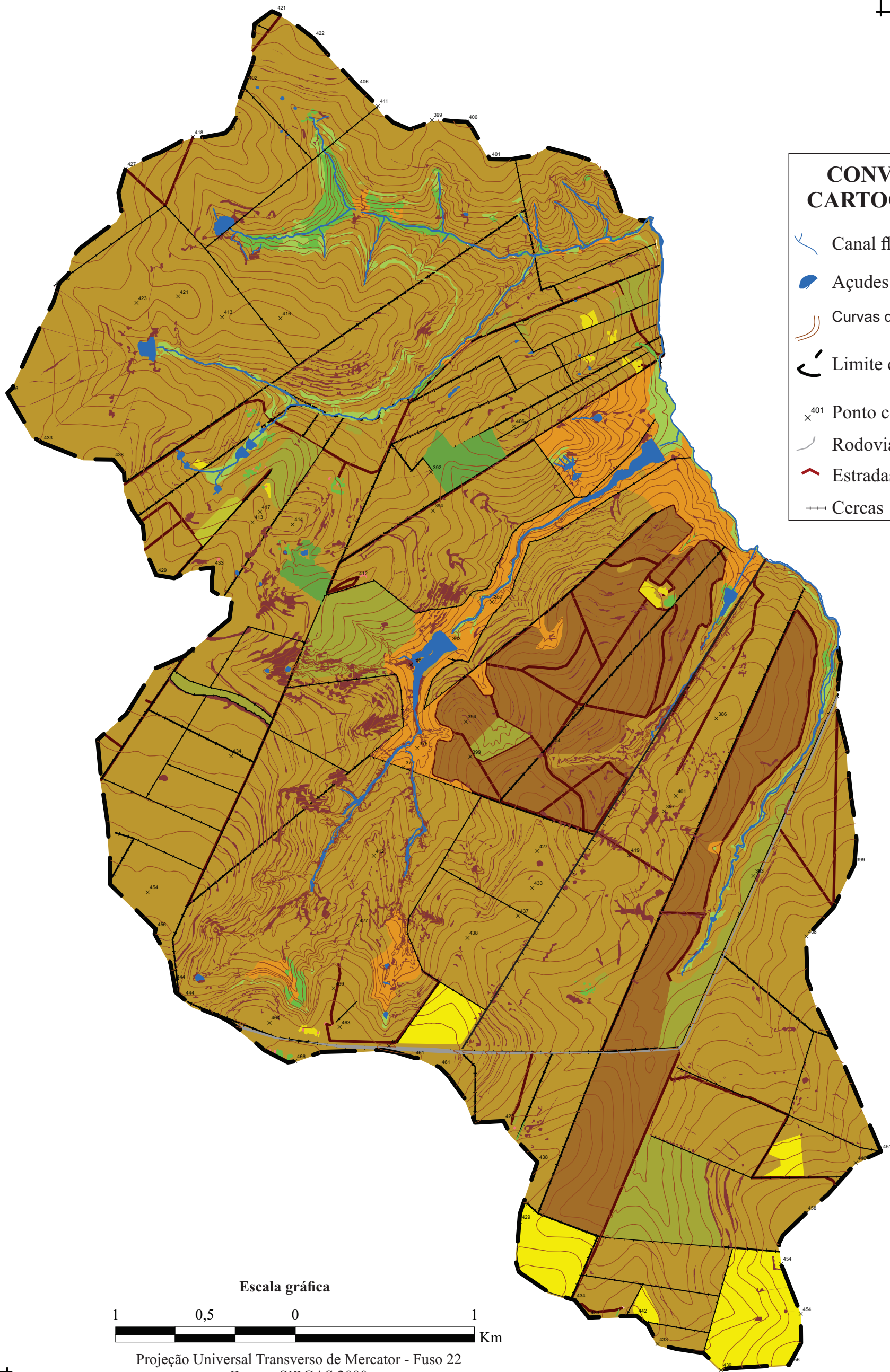
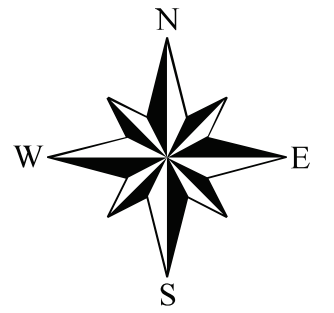
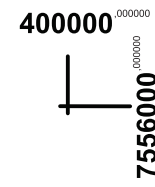
Elaborada pelo autor com base em:

GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO. Secretaria de Economia e Planejamento. **Plano cartográfico do estado de São Paulo**. Folhas: 057/019; 057/20; 058/19; 058/020. Carta Topográfica. Escala: 1: 10.000, equidistância entre as curvas de nível de 5 metros, Projeção UTM, 2000.  
GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO. Empresa Paulista de Planejamento Metropolitano S. A. (EMPLASA). Projeto Atualização cartográfica do estado de São Paulo. Ortofotos: SF\_22\_Y\_B\_I\_2\_NE; SF\_22\_Y\_B\_II\_1\_SO; SF\_22\_Y\_B\_II\_1\_NO; SF\_22\_Y\_B\_I\_2\_SE. Resolução 0,45 m. 2010.

Apoio: FAPESP  
Processo n: 2015 / 00875-2

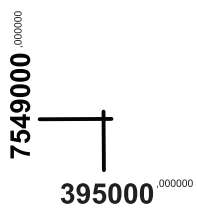
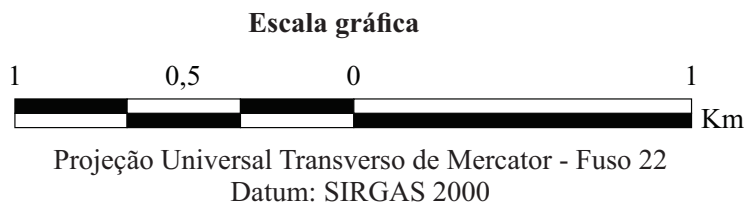
Figura 35: Carta geomorfológica das sub-bacias do ribeirão Areia Dourada, Marabá Paulista (SP), 2011.

# CARTA DE USO E COBERTURA SUPERFICIAL DA TERRA DAS SUB-BACIAS DO RIBEIRÃO AREIA DOURADA, MARABÁ PAULISTA (SP), 2016



- ### CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS
- Canal fluvial
  - Açudes
  - Curvas de nível (5 metros)
  - Limite da área estudada
  - Ponto cotado
  - Rodovia
  - Estradas
  - Cercas

- ### LEGENDA
- Áreas antrópicas agrícolas**
- Reflorestamento*
- Reflorestamento
- Silvicultura*
- Eucalipto
- Lavoura permanente*
- Fruticultura
- Lavoura temporária*
- Cana-de-açúcar
  - Cana-de-açúcar abandonada
- Pastagem plantada com pecuária extensiva*
- Pasto
  - Pasto sujo
- Áreas de vegetação natural**
- Florestas*
- Estacional semidecidual
- Vegetação com influência fluvial ou de afloramento d'água*
- Vegetação de área úmida
- Áreas sem vegetação**
- Solo exposto
  - Bancos de areia
  - Área construída



Elaboração: ZANATTA, F. A. S.  
Orientação: LUPINACCI, C. M.; BOIN, M. N.

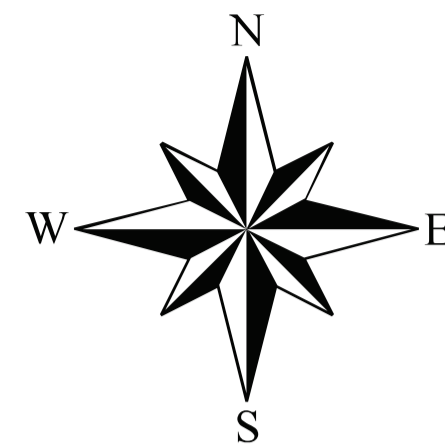
Fonte:  
Elaborado pelo autor com base em:  
GOOGLE EARTH. 2015. *Imagens de satélite Quickbird*, 2013. Resolução: 0,6 m. 2013.  
GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO. Secretaria de Economia e Planejamento. **Plano Cartográfico do Estado de São Paulo**. Folhas: 057/019; 057/20; 058/19; 058/020. Carta Topográfica. Escala: 1: 10.000, equidistância entre as curvas de nível de 5 metros, Projeção UTM, 2000.

Apoio: **FAPESP**  
Processo: nº 2015 / 00875-2

Figura 36: Carta de uso e cobertura superficial da terra das sub-bacias do ribeirão Areia Dourada, Marabá Paulista (SP), 2016.

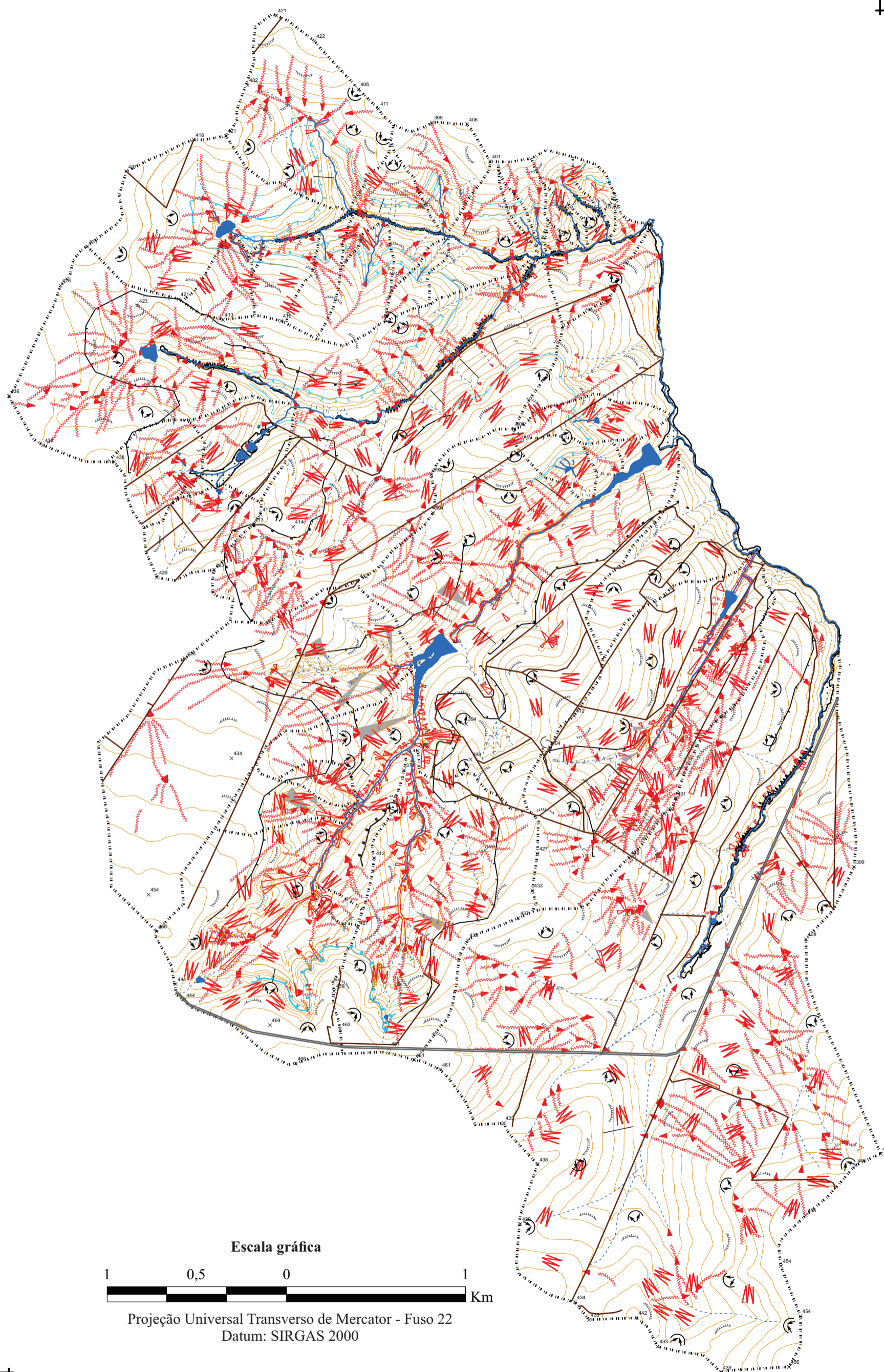
# CARTA GEOMORFOLÓGICA DAS SUB-BACIAS DO RIBEIRÃO AREIA DOURADA, MARABÁ PAULISTA (SP), 2016

400000  
7556000



## LEGENDA

Elementos	Denominação	Símbolo	
Formas da vertente	Convexa		
	Côncava		
	Retilínea		
Divisor de águas			
Colo topográfico			
Interflúvio	Sulco		
	Ravina		
	Voçoroca		
	Marcas que indicam erosão laminar		
	Terracete		
Topografia	Curvas de nível com equidistância de 5m		
	Ponto cotado		
Feições de drenagem	Canal fluvial		
	Canal pluvial		
	Solapamento		
Forma de acumulação	Planície e terraço fluvial		
	Fundo de vale	Plano	
Em "V"			
Modelado de entalhe	Ruptura topográfica	Suave	
		Suave com afloramento de água	
		Abrupta	
		Abrupta com afloramento de água	
Modelado antrópico	Terraços agrícolas		
	Bacias de contenção		
	Obliteração		
	Açudes		
	Estrada		
	Rodovia		



### Escala gráfica



Projeção Universal Transverso de Mercator - Fuso 22  
Datum: SIRGAS 2000

7549000

395000

Elaboração: ZANATTA, F. A. S.  
Orientação: LUPINACCI, C. M.; BOIN, M. N.

Fonte:

Elaborada pelo autor com base em:

GOOGLE EARTH. 2015. *Imagens de satélite Quickbird*, 2013. Resolução: 0,6 m. 2013.  
GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO. Secretaria de Economia e Planejamento. **Plano Cartográfico do Estado de São Paulo**. Folhas: 057/019; 057/20; 058/19; 058/020. Carta Topográfica. Escala: 1: 10.000, equidistância entre as curvas de nível de 5 metros, Projeção UTM, 2000.

Apoio: FAPESP

Processo n.º 2015 / 00875-2

Figura 37: Carta geomorfológica das sub-bacias do ribeirão Areia Dourada, Marabá Paulista (SP), 2016.

Em 1963, as coberturas superficiais que substituíram a Floresta Estacional Semidecidual dividindo-se entre lavouras temporárias (46,62%), pasto (23,41%) e pasto sujo (18,47%). No período seguinte, 1979, a área de lavoura temporária diminuiu para 3,63%, com predomínio de pasto (69,09%) e pasto sujo (24,84%). Em 1997, o pasto passou ocupar 94,78% de toda área estudada (Quadro 1).

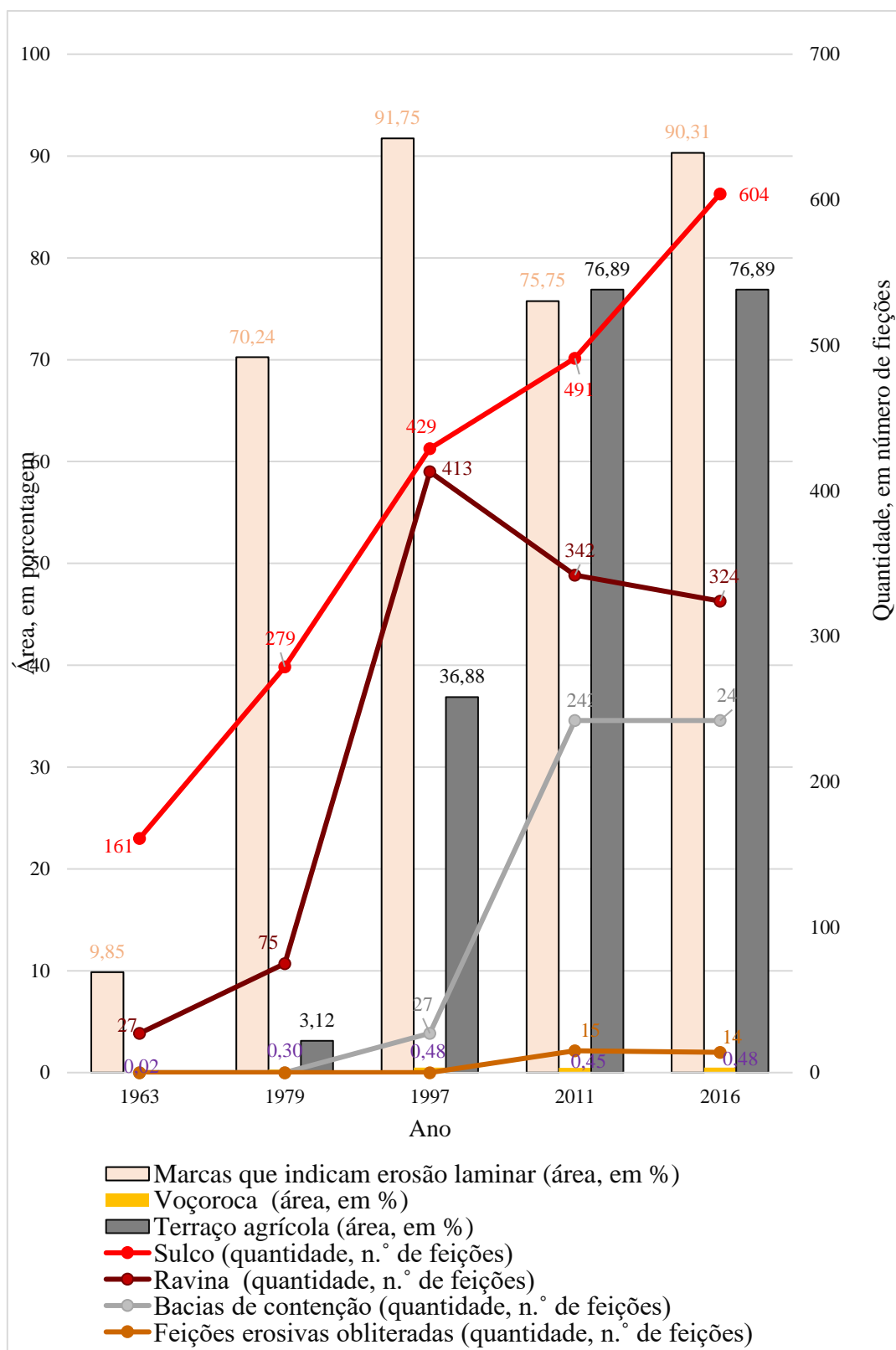
**Quadro 1:** Uso e cobertura superficial da terra (área, em %) em todos os anos mapeados.

<b>Uso e cobertura superficial da terra</b>	<b>1963</b>	<b>1979</b>	<b>1997</b>	<b>2011</b>	<b>2016</b>
Floresta Estacional Semidecidual	9,89	0,88	0,71	0,72	0,70
Reflorestamento	0,00	0,00	0,70	1,23	1,20
Vegetação de área úmida	0,70	0,60	0,94	1,61	1,57
Lavoura temporária	46,62	3,63	0,80	18,32	13,45
Silvicultura	0,91	0,96	0,08	0,11	4,24
Pasto	23,41	69,09	94,78	72,92	74,30
Pasto sujo	18,47	24,84	1,99	5,09	4,54

Rodrigues et al. (2006) esclarecem que este avanço das pastagens entre as décadas de 1970 e 1990 ocorreu também em boa parte da região do Pontal do Paranapanema, como resultado do empobrecimento do solo pelo uso intenso e erosão, o que aumentou o preço do cultivo e tornou a agricultura inviável para os pequenos agricultores, os quais venderam suas terras para grandes pecuaristas. Junto a este processo, de acordo com Francisco (2011), considerando a necessidade de conter o escoamento superficial das águas pluviais e os processos erosivos, iniciou-se o uso de práticas conservacionistas, com a construção de terraços agrícolas.

Posteriormente, no ano de 2011, a área de pasto foi reduzida, aumentando o cultivo da cana-de-açúcar, em consequência do avanço das empresas sucroalcooleiras na região por arrendamento de terras. Esta lavoura temporária passou a ocupar 18,23% dos terrenos em 2011, diminuindo para 13,43% em 2016, devido ao término dos contratos de arrendamento, segundo relatos obtidos em campo, com a retomada das atividades de pastagem e silvicultura.

As coberturas que substituíram a Floresta Estacional Semidecidual ao longo dos 5 anos foram acompanhadas por um expressivo e crescente aumento das formas erosivas em número (sulcos e ravinas) e área atingida (marcas que indicam erosão laminar e voçoroca) acerca dos 53 anos analisados, mesmo quando acompanhadas de técnicas conservacionistas, a partir de 1979, as quais não atenuaram a ação erosiva na área nos anos seguintes ao emprego das mesmas (Figura 38).



**Figura 38:** Feições erosivas e técnicas conservacionistas e de contenção dos processos erosivos em todos os anos mapeados.

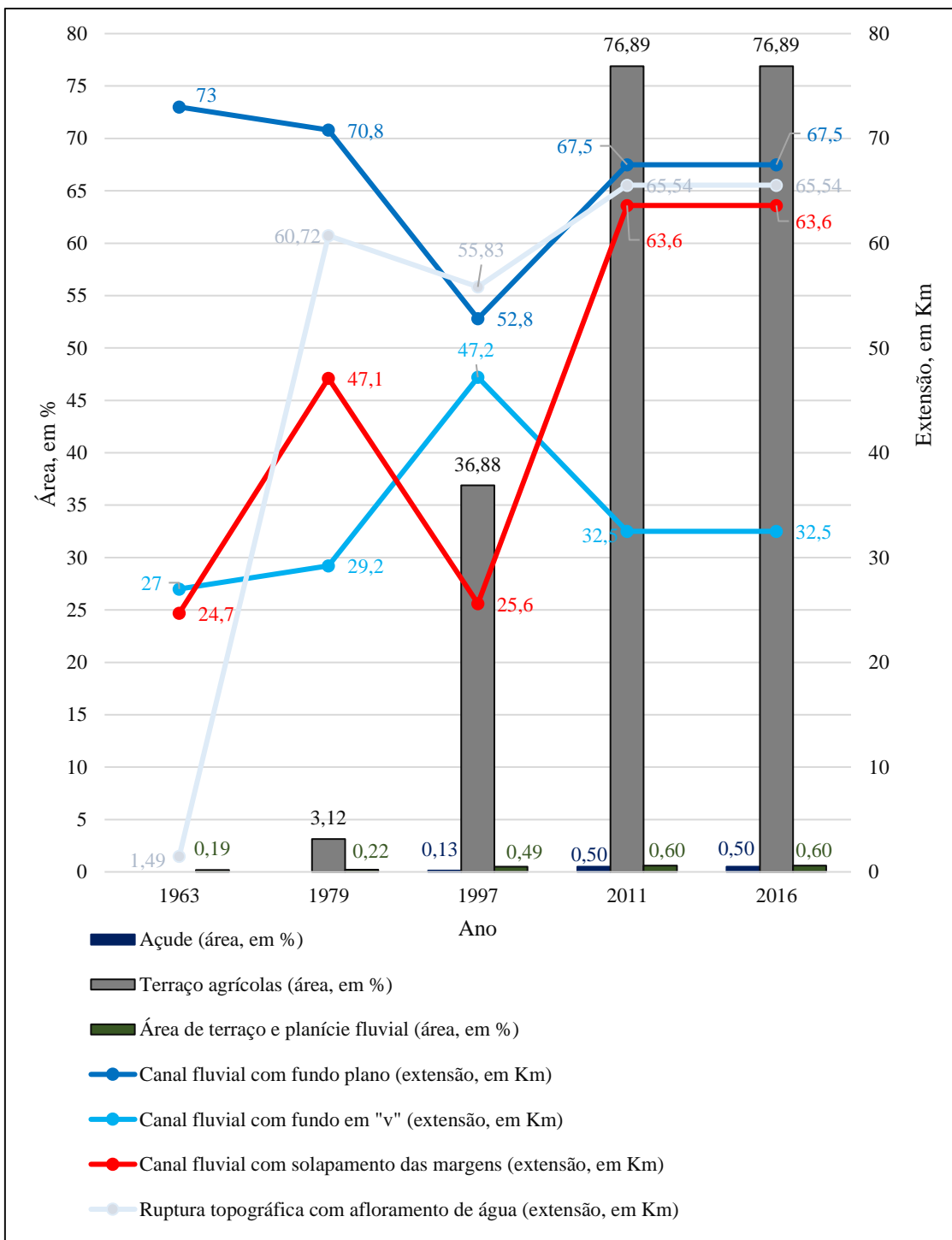
Stein, Ponçano e Saad (2003) constataram na bacia do rio Santo Anastácio esta mesma relação entre as técnicas conservacionistas e os processos erosivos. De acordo com os autores, a maior infiltração de água proporcionada pelos terraços agrícolas aumenta as recargas do lençol freático, anteriormente existentes quando sob as matas nativas. No entanto, em terrenos já fragilizados e pouco protegidos pelo uso contínuo e intenso das terras, essa ação das águas contribui para o desenvolvimento dos fenômenos erosivos.

Concomitante ao emprego de terraços agrícolas e a ampliação das formas erosivas, verificou-se também aumento na extensão dos afloramentos de água que ocorrem nas rupturas topográficas abruptas, bem como mudanças expressivas nos fundos de vale das sub-bacias, sobretudo a partir de 1997 com aumento das feições erosivas e dos terraços agrícolas. Neste ano, em comparação aos anteriores, 1963 e 1979, houve um aumento das áreas de terraços e planície fluvial, devido ao assoreamento dos canais. Em outros setores, ocorre também aumento dos fundos de vale em “v”, indicando dinamização da incisão fluvial, provavelmente provocada pelo abastecimento superior de água em função da maior dinâmica dos afloramentos nas rupturas topográficas (Figura 39).

De 1997 a 2011 ocorreu redução dos fundos de vale em “v” e aumento dos canais com fundo plano e da área de terraço e planície fluvial (Figura 39), indicativo do constante assoreamento dos cursos fluviais pela intensa atividade erosiva nas vertentes (Figura 38). Notou-se também no período a maior quantidade de canais fluviais com solapamento das margens, atingindo 63,60% do total em 2011, o que destaca o reajuste constante dos fundos de vale à quantidade de água e sedimentos vindos das vertentes.

De 2011 até 2016, num intervalo de cinco anos, não se constatou alterações das feições fluviais. Esta constatação pode ter maior relação com o tempo reduzido do que com uma estabilidade proporcionada pelo aumento dos terraços agrícolas no período, uma vez que há aumento expressivo dos processos de vertentes, que proporcionam em maior quantidade de água e sedimentos transportados aos fundos de vale.

No intuito de avaliar conjuntamente a influência de todas as classes de uso e cobertura superficial da terra e de feições geomorfológicas nas mudanças supramencionadas, aplicou-se o Coeficiente de Correlação de Person (Quadro 2).



**Figura 39:** Terraços agrícolas, afloramentos de água e feições vinculadas aos cursos fluviais nos anos mapeados.

**Quadro 2:** Coeficiente de Correlação de Pearson (CCP) entre variáveis de uso da terra e geomorfologia em todos os anos mapeados.

	FES	RF	VAU	LT	SC	P	PS	ATPF	FVP	FVV	CSM	ML	S	R	V	RTA	RTA-AF	CA	A	BC	TA	FO		
ATPF																								
FVP																								
FVV																								
CSM																								
ML																								
S																								
R																								
V																								
RTA																								
RTA-AF																								
CA																								
A																								
BC																								
TA																								
FO																								

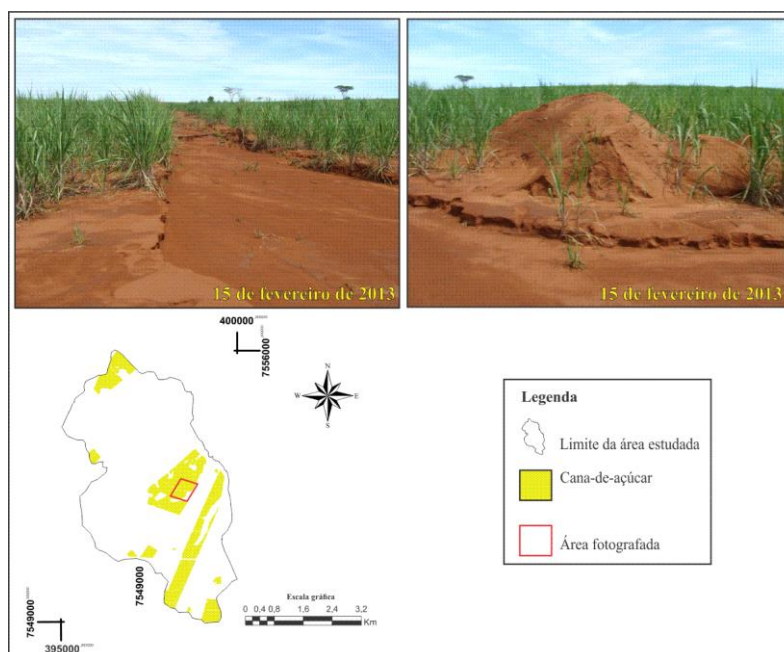
Legenda		
Intensidade da correlação	Positiva	Negativa
Perfeita	1,0	1,0
Muito forte	0,9	0,9
Forte	0,8+0,6	0,8+0,6
Moderada	0,3+0,5	0,3+0,5
Fraca	0,1+0,2	0,1+0,2
Nula		

**Legenda:** Floresta Estacional Semidecidual (FES); reflorestamento (RF); vegetação de área úmida (VAU); lavoura temporária (LT); silvicultura (SC); pasto (P); pasto sujo (PS); área de terraço e planície fluvial (ATPF); fundo de vale plano (FVP); fundo de vale em “v” (FVV); canal com solapamento das margens (CSM); marcas que indicam erosão laminar (ML); sulco (S); ravina (R); voçoroca (V); ruptura topográfica abrupta (RTA); ruptura topográfica abrupta com afloramento de água (RTA-A); canal antropogênico (CA); açude (A); bacias de contenção (BC) e terraços agrícolas (TA); feições erosivas obliteradas (FO).

A Floresta Estacional Semidecidual, reduzida ao longo do período analisado, apresentou correlação negativa com as formas erosivas, sendo a correlação perfeita com as marcas que indicam erosão laminar, muito forte com o voçorocamento e forte com sulcos e ravinas, de maneira a registrar que as coberturas que as substituíram ao longo do período analisado, mesmo quando acompanhadas de técnicas conservacionistas, contribuíram significativamente na formação e desenvolvimento das centenas de formas erosivas mapeadas.

O pasto, cobertura predominante na área estudada, apresentou perfeita correlação positiva com as marcas que indicam erosão laminar, forte positiva com sulcos, moderada positiva com as ravinas e muito forte positiva com as voçorocas.

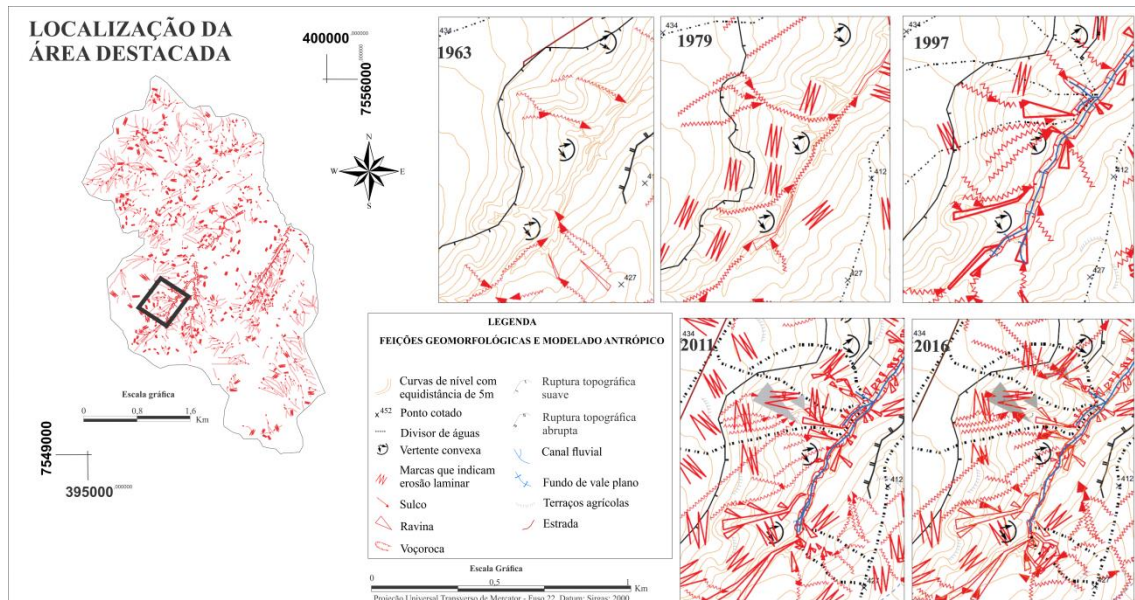
Com as lavouras temporárias a correlação foi negativa, sendo forte com a voçoroca e muito forte com as marcas que indicam erosão laminar. Em campo, registraram-se marcas que indicaram ação erosiva laminar e a formação de sulcos em áreas de cana-de-açúcar. Estas feições não foram mapeadas ou se desenvolveram para feições erosivas mais avançadas do processo erosivo (ravinas e voçorocas), devido às correções constantes dos terraços agrícolas (Figura 40).



**Figura 40:** Marcas de erosão laminar e sulcos em solos sob cana-de-açúcar (2011). Fotografias após evento chuvoso.

Nas sub-bacias do ribeirão Areia Dourada, constatou-se, ainda, que o desenvolvimento dos processos erosivos ocorre de maneira conjunta, de modo que as feições erosivas apresentaram correlação positiva entre si: as marcas que indicam erosão

laminar tiveram forte correlação com sulcos e ravinas e perfeita correlação com as voçorocas. Os sulcos apresentaram correlação muito forte com ravinas e voçorocas, enquanto as ravinas, correlação forte com as voçorocas. Estas correlações indicam que a evolução de uma forma erosiva se encontra interligada aos demais processos que ocorrem na mesma sub-bacia (Figura 41).



**Figura 41:** Evolução das formas erosivas na sub-bacia W, atingida por voçorocamento a partir de 1997.

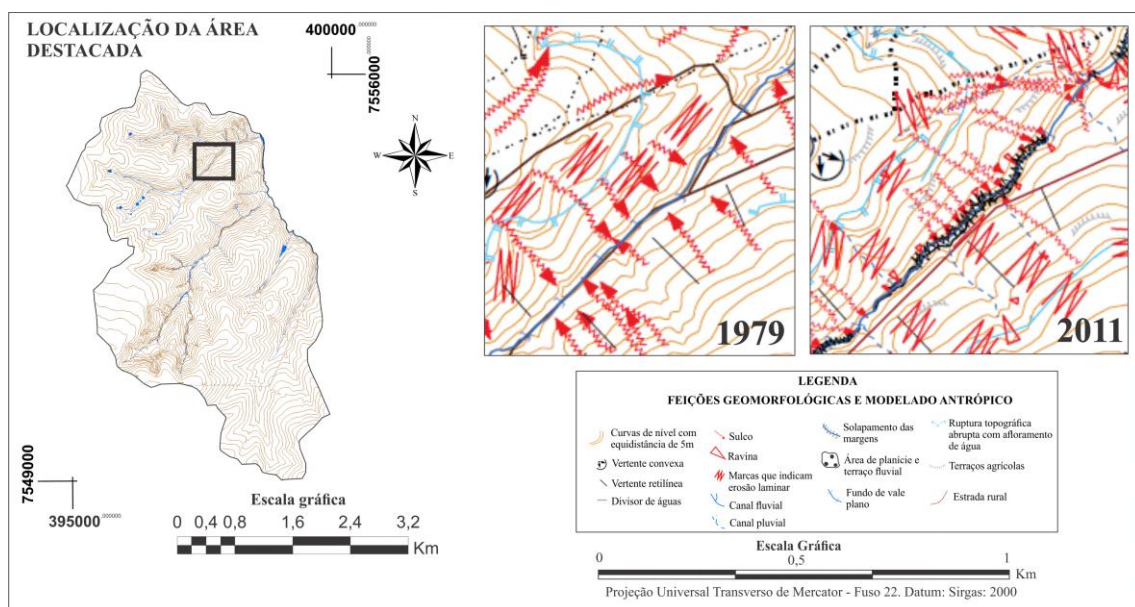
Como exemplificado na Figura 41, as formas erosivas encontram-se conectadas. No ano de 1963, diversos sulcos direcionavam-se para a concavidade. Nesta concavidade, registrou-se a formação de ravinamento em 1979, aumentando o número de sulcos e marcas que indicam erosão laminar nas demais vertentes. No ano de 1997, a antiga ravina desenvolveu-se para voçoroca e outras ravinas surgiram em suas margens, nas quais convergiram sulcos dos setores mais elevados. Nos anos de 2011 e 2016, esta dinâmica se intensifica com as ravinas evoluindo para montante e dezenas surgindo nas baixas vertentes, com um maior número de sulcos e marcas que indicam erosão laminar.

Em relação às técnicas conservacionistas, a correlação apontou para a baixa eficiência dos terraços e bacias de contenção na conservação dos solos, uma vez que apresentam correlação positiva com todas as formas erosivas: muito forte com os sulcos, perfeita com as ravinas e forte com as voçorocas.

O pisoteio excessivo do gado proporcionou a formação de crostas na superfície do solo, gerando caminhos preferenciais para escoamento de água pluvial os quais evoluíram para sulcos e ravinas. Os terraços agrícolas e as bacias de contenção

contribuíram com o aumento dos afloramentos de água nas rupturas topográficas abruptas, enquanto apresentaram-se ineficientes em áreas de pastos e pouco eficientes nas áreas de cana-de-açúcar.

Constatou-se que as mudanças nos fundos de vale estão também relacionadas aos processos nas vertentes e às técnicas conservacionistas, como verificado na Figura 41. As formas erosivas apresentaram correlação negativa com os fundos de vale em “v” e positiva de muito forte à perfeita com as áreas de terraço e planície fluvial. Os processos erosivos nas vertentes aumentam o fluxo de água e sedimentos para os fundos de vale, de modo a ampliarem as áreas de terraço e planície fluvial, gerando correlação positiva, reduzindo aqueles em “v”, dando origem à correlação negativa (Figura 42).

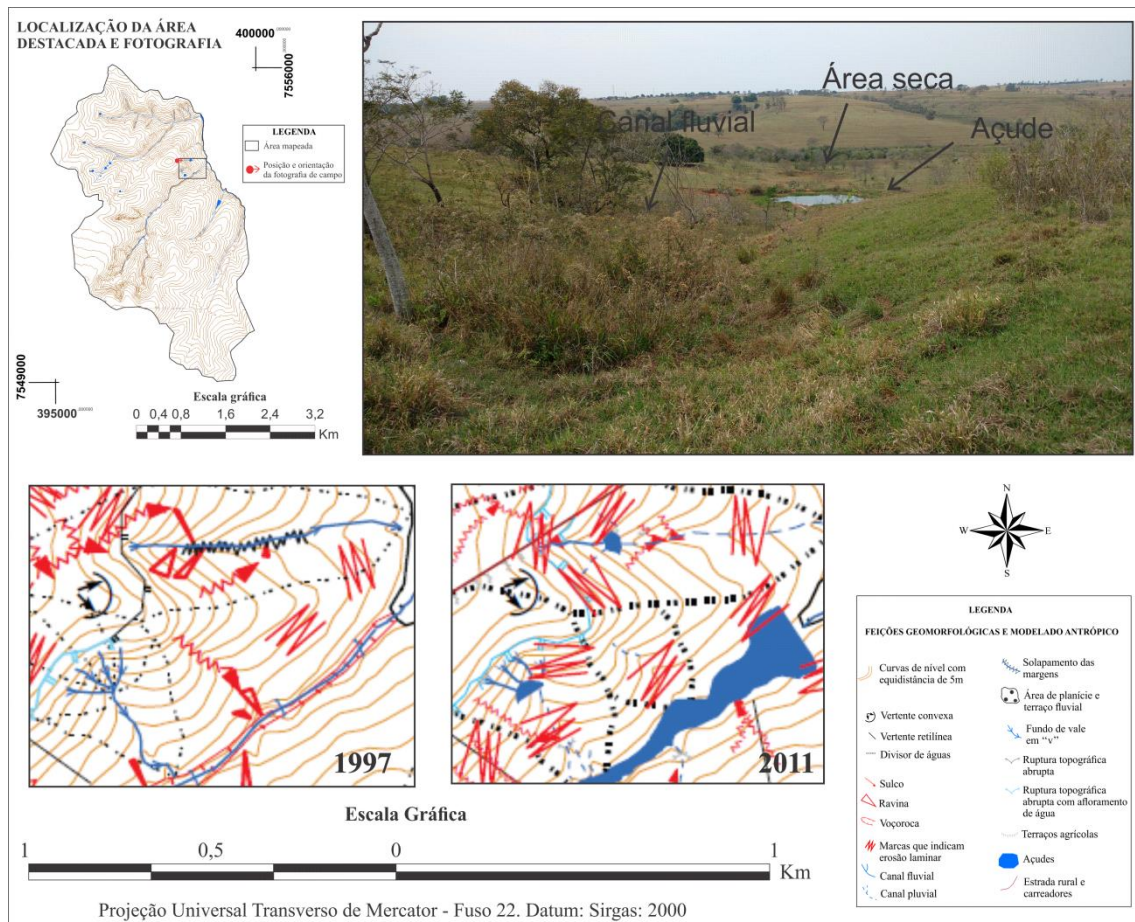


**Figura 42:** Evolução dos processos erosivos nas vertentes com conseqüente solapamento das margens e formação de áreas de terraço e planície fluvial em canal de fundo plano de 1979 para 2011.

Como destacado na Figura 43, o aumento das feições erosivas entre 1979 e 2011 gerou maior sedimentação dos fundos de vale, ampliando a área de deposição. Neste período, também se verificou que esta sedimentação excessiva criou alterações no curso do canal principal, com a presença de solapamento das margens. Este processo, ao atingir a base da vertente, desencadeou o colapso da baixa vertente, onde surgiram dezenas de pequenas ravinas que tendem a erosão remontante. Esta relação foi também apontada por Stein, Ponçano e Saad (2003), em estudo realizado na bacia do rio Santo Anastácio e do ribeirão Areia Dourada.

Os afloramentos, quando verificados juntos aos mapeamentos geomorfológicos, sobretudo de 1979 para 1997, proporcionaram a formação de pequenos canais fluviais

com fundo de vale em “v” na sub-bacia N e na baixa sub-bacia W. Estes canais, em 2011, tiveram seu comprimento reduzido pela construção de açudes, que limitaram o fluxo até a montante da barragem, não verificando escoamento a jusante (Figura 43).

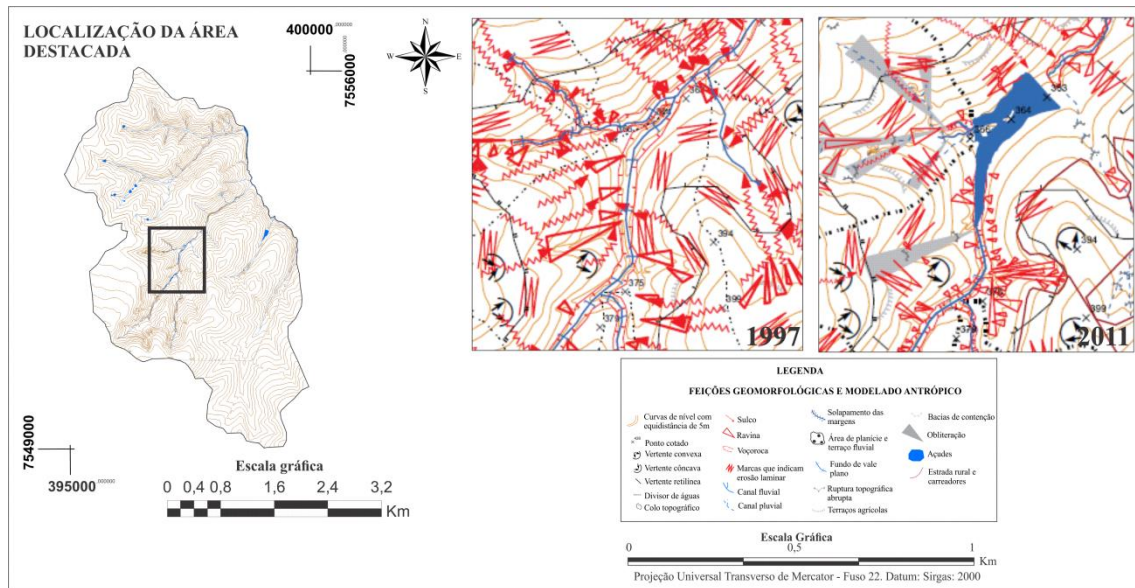


**Figura 43:** Tributários do canal principal antes, em 1997, e após, em 2011 e 2016, o barramento do canal para formação de açude.

Constatou-se, portanto, que a correlação negativa entre as rupturas topográficas abruptas com afloramento de água e os fundos de vale em “v” não se sustenta quando avaliada espacialmente nos mapeamentos e em campo, uma vez que as técnicas conservacionistas e os açudes apresentaram-se como variáveis de maior interferência nos fundos de vale. O aumento da infiltração de água proporcionada pelas técnicas conservacionistas e o barramento dos cursos d’água transformaram os canais com fundo em “v” em pluviais, como exemplificado na figura 44.

No caso da bacia com maior processo de voçorocamento (Figura 44), a subbacia W, verificou-se que após a formação de um açude com o barramento do fluxo de água, obliterações e bacias de contenção, de 1997 a 2011, ocorreram modificações na dinâmica erosiva, alterando a localização e desenvolvimento das ravinas em relação aos anos

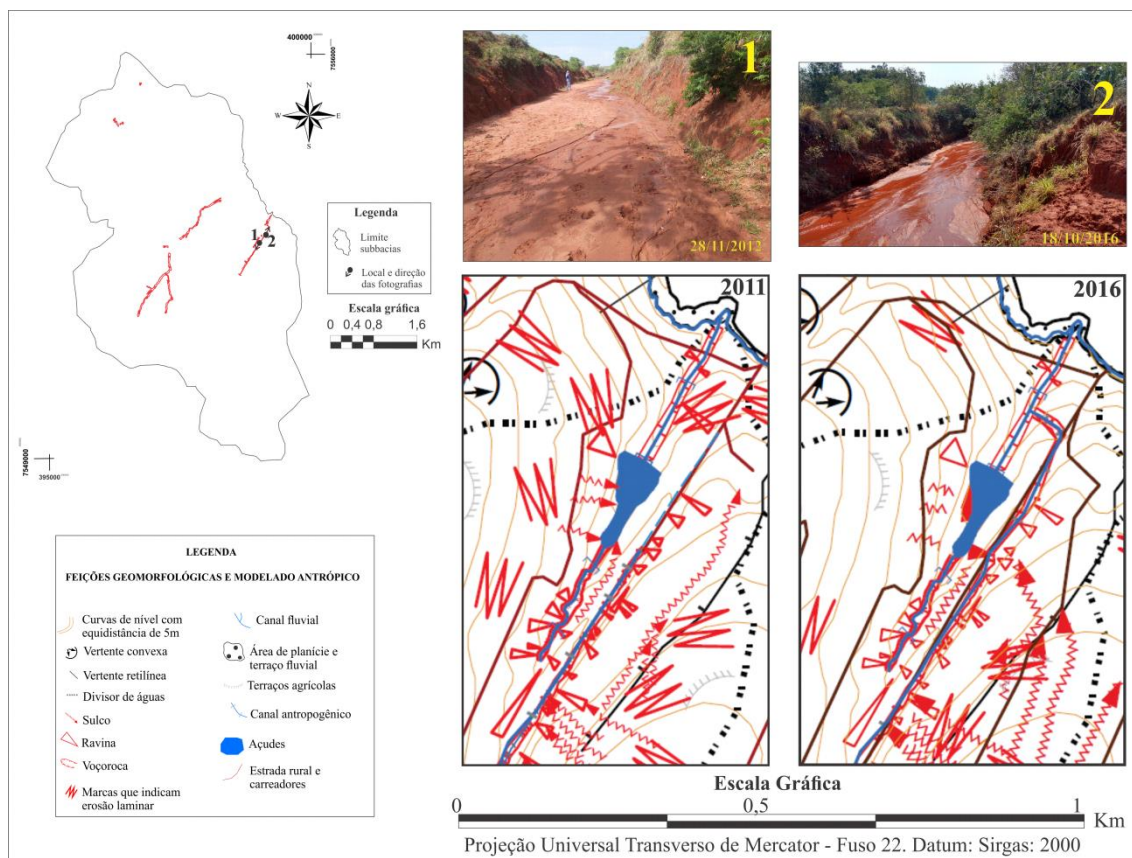
anteriores, de modo a registrar o desenvolvimento de dezenas dessas a partir da baixa vertente.



**Figura 44:** Mudanças no padrão da formação e desenvolvimento de ravinas após a barragem do fluxo de água da voçoroca de 1997 para 2011.

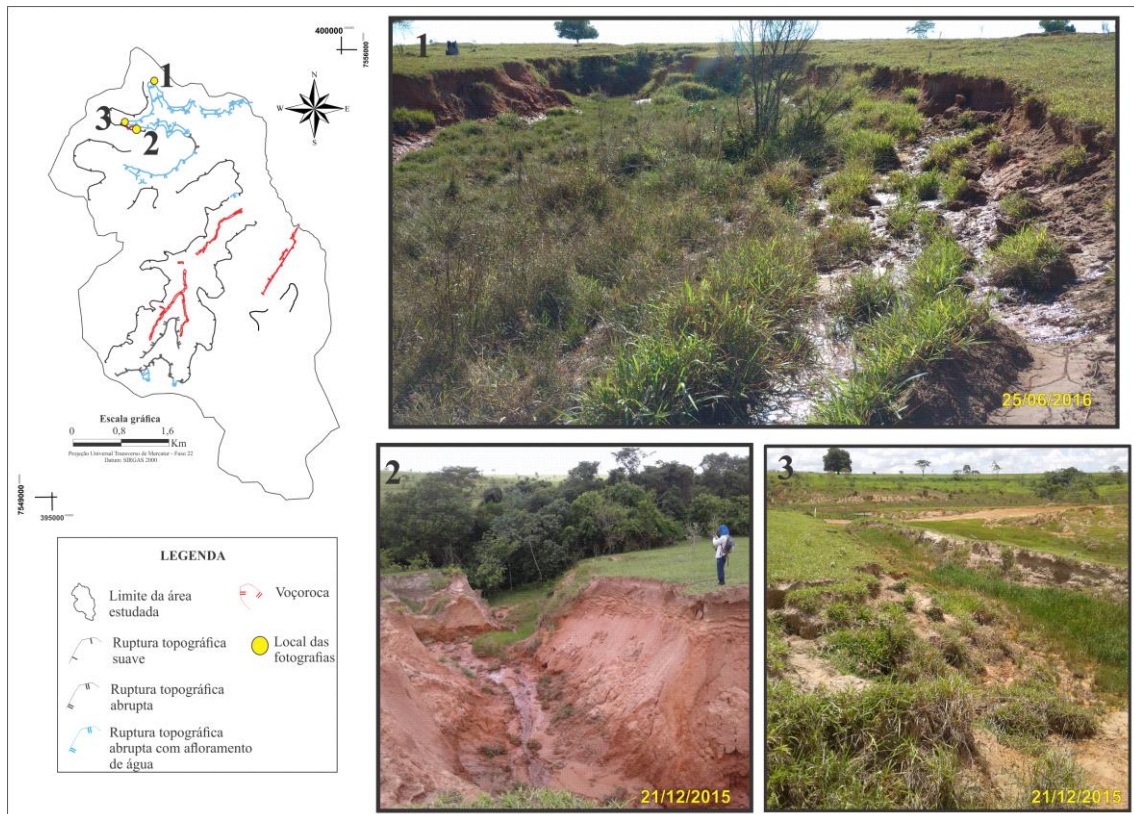
Destaca-se na Figura 44, que sobre as feições obliteradas, no ano de 2011, desenvolvem-se ravinas e sulcos, situação verificada na intensidade de correlação positiva entre esta técnica e as formas erosivas.

Na sub-bacia SE (Figura 45), atingida por uma voçoroca que escoo pela estrada rural, verificou-se que de 2011 para 2016 houve aumento do fluxo de água na base da voçoroca. Até 2011, o fluxo constante de água na base da erosão restringia-se ao médio curso da sub-bacia, sendo absorvido pelo solo, enquanto em 2016, o escoamento superficial passou atingir o canal fluvial, também atingido por processo de voçorocamento a jusante da barragem. Este aumento do fluxo de água na base da erosão se deve a maior infiltração de água proporcionada pelas bacias de contenção e terraços agrícolas.



**Figura 45:** Influência dos terraços agrícolas no fluxo de água no canal antropogênico resultado do processo de voçorocamento que atinge a estrada rural de 2011 para 2016.

No setor mais ao N da área estudada (Figura 46), os terraços agrícolas proporcionaram volume maior de afloramento de água nas rupturas topográficas abruptas e em setores de pastoreio excessivo dos terrenos. Nestas circunstâncias de uso excessivo e maior fluxo de água nas rupturas, registrou-se o desenvolvimento de uma voçoroca no ano de 2011 e, posteriormente, outras duas em 2016.



**Figura 46:** Desenvolvimento de voçorocas a jusante de rupturas topográficas com afloramento de água em área de pasto em 2015.

Deste modo, constatou-se que o uso intenso em praticamente todas as vertentes prognostica a tendência ao aumento dos fenômenos erosivos e continuada perda de solo, mesmo quando se faz o uso de distintas técnicas conservacionistas. Também foi possível registrar os processos erosivos de vertentes em sistema de retroalimentação com aqueles que ocorrem nos fundos de vale.

Os dados demonstraram que as técnicas conservacionistas, como terraços agrícolas e bacias de contenção, que proporcionam maior infiltração de água, merecem questionamentos de sua eficiência quando sobre geologias da Formação Adamantina em uso para pastagem ou coberturas que ofertam pouca proteção aos solos, como a cana-de-açúcar. Nestas condições, atenta-se para a conexão entre os distintos estágios do fenômeno erosivo linear, dos topos aos fundos de vale, com aumento das áreas de sedimentação, sendo esse o sistema operacional sobre as condições antropizadas.

### **3.3 A geoecologia das sub-bacias do ribeirão Areia Dourada na perspectiva dos processos erosivos lineares**

A partir da aplicação da metodologia da geoecologia, foram produzidos os mapas de unidades físicas, produtos da combinação das variáveis do meio físico; levantada a relação entre a capacidade de uso e a função socioeconômica, identificando-se os terrenos que abrangem formas que indicam ação erosiva; elaborada a carta de estado ambiental, resultado da combinação da carta de unidades físicas com a carta de uso e cobertura superficial da terra de 2016; assim como avaliada a situação geoecológica das áreas legalmente protegidas. Neste tópico, avalia-se a proposta de geoecologia pela ordem mencionada: 1) cartas de unidades físicas; 2) relação entre a capacidade de uso e função socioeconômica; 3) carta de estado ambiental; 4) situação das áreas legalmente protegidas.

Na carta de unidades físicas, registrou-se espacialmente a influência da litologia na predisposição dos terrenos, de maneira que as três fácies da Formação Adamantina se destacaram, aumentando a predisposição da fácies I, onde se encontra a unidade física I, para fácies II, em que incide a unidade física II, e para a fácies III, onde predominam as unidades físicas III, IV e V (Figura 47).

# CARTA DE UNIDADES FÍSICAS DAS SUB-BACIAS DO RIBEIRÃO AREIA DOURADA, MARABÁ PAULISTA (SP)

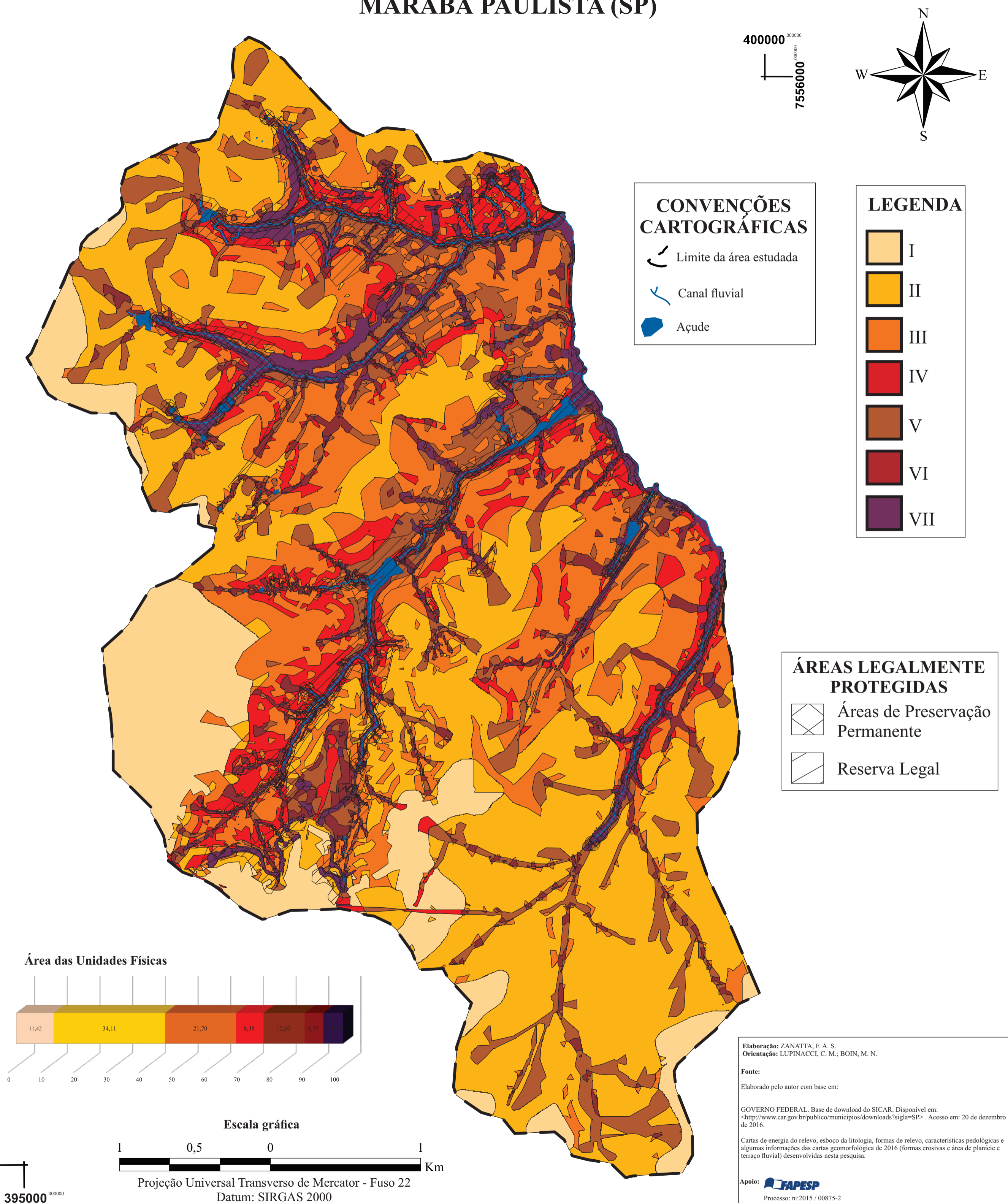


Figura 47: Carta de unidades físicas das sub-bacias do ribeirão Areia Dourada, Marabá Paulista (SP)

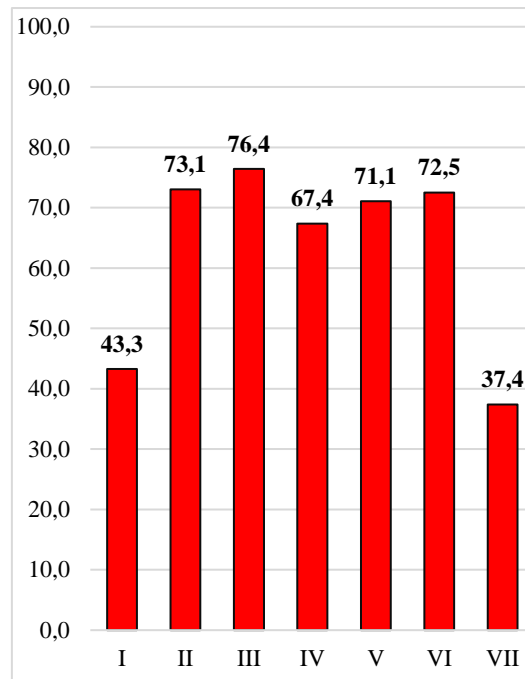
A unidade I, que abrange 11,42% das sub-bacias (Figura 48), foi definida em função dos terrenos apresentarem as litologias da Formação Adamantina I, perfazendo os terrenos de maior elevação da área estudada, nos topos, de declives  $\leq 2\%$  e 2-5% e com solos profundos, de permeabilidade moderada em todo perfil, sendo definida como unidade I, pois se compreende que estas características indicam menor predisposição aos processos erosivos lineares.

Sobre a Formação Adamantina II, que demarca os topos dos interflúvios entre as sub-bacias e as vertentes mais extensas, retilíneas e convexizadas, foi identificada a unidade física II. Esta unidade abarca maior porcentagem em toda área estudada, compreendendo 34,11% da superfície (Figura 48).

Ainda, na fácies II da Formação Adamantina, definiu-se a presença da unidade III nas vertentes das sub-bacias SE e N e nas vertentes a W da sub-bacia W, devido aos solos apresentarem permeabilidade lenta na camada de subsuperfície. Ainda sobre esta litologia, na alta bacia da sub-bacia W, verificaram-se unidades V e VI em solos profundos (1,00-2,00m) e declives 10-15%.

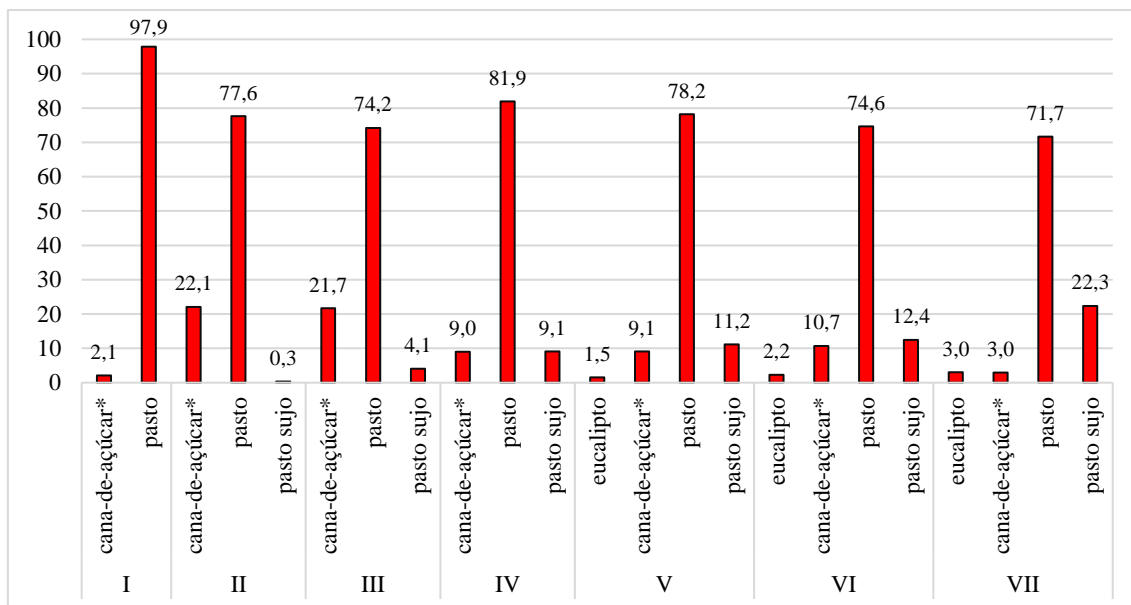
Os terrenos sobre a Formação Adamantina III apresentaram maior variação das unidades físicas. Embora predomine visualmente a unidade III nesta fácies, ainda se destacam espacialmente as unidades IV e V. Quando se registram solos com mudanças de permeabilidade de moderada para lenta sobre esta litologia, estes terrenos foram definidos como unidades IV e V, sendo VI e VII quando nas concavidades e nos setores com rupturas topográficas abruptas com afloramento de água, sobretudo na sub-bacia N.

Ao avaliar estas unidades físicas junto às feições erosivas lineares da carta geomorfológica de 2016 (Figura 37), constatou-se que, na maioria das unidades físicas, predominam usos e coberturas superficiais incompatíveis com as características físicas, resultando em situações de modificação no funcionamento e/ou na estrutura da paisagem (Figura 48).



**Figura 48:** Área, em porcentagem, das unidades físicas com uso incompatível.

A Figura 49 demonstra que em todas unidades físicas foram quantificadas significativas porcentagens de usos incompatíveis, que derivaram na presença de feições erosivas. Apenas as unidades I e VII exibiram maior porcentagem de áreas compatíveis. Na primeira, devido a menor predisposição aos processos erosivos lineares reduzirem o impacto do uso e cobertura superficial, com exceção do pasto (Figura 49), enquanto na unidade VII, por ocorrerem sobre terrenos muito declivosos ou com solos subordinados ao hidromorfismo, predominando setores de reflorestamento e eucalipto ou com vegetação de área úmida, respectivamente, compatíveis com estas unidades.



**Figura 49:** Total, em porcentagem, das áreas com uso e cobertura superficial incompatível em cada classe de unidade física nas sub-bacias do ribeirão Areia Dourada, Marabá Paulista (SP).

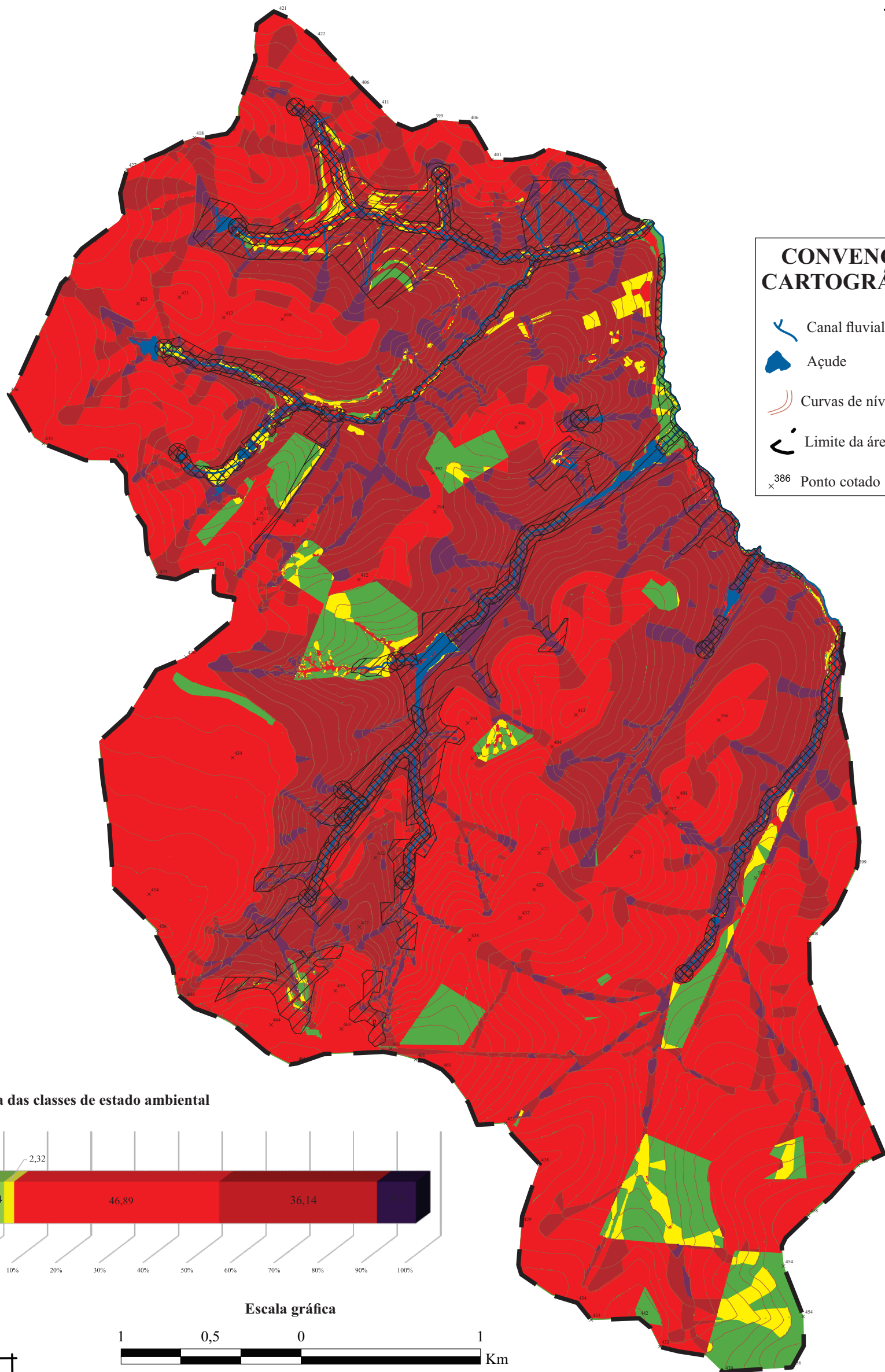
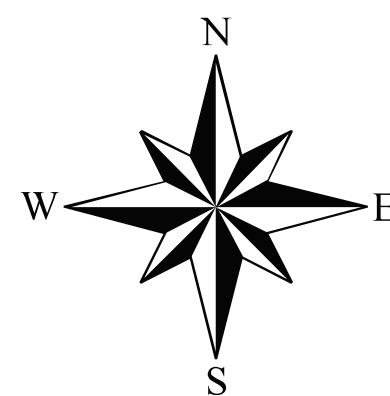
\*Áreas em que a cana-de-açúcar encontra-se queimada e em uso para pastoreio.

Das áreas com uso incompatível, o pasto apresentou-se como catalisador em todas as unidades físicas, de modo que das áreas incompatíveis na Unidade I, de menor predisposição aos processos erosivos, 97,9% ocorreram com uso para pasto, sendo este uso e cobertura superficial acima de 71% nas demais unidades (Figura 36). Os terrenos com eucalipto incompatível, nas unidades V, VI e VII, incidiram nas vertentes a W da média sub-bacia W, cuja cobertura recobre ravinas obliteradas, onde se registraram manchas de solo exposto.

As condições físicas e antrópicas supramencionadas proporcionaram no predomínio dos estados ambientais de instável ao crítico, com poucos terrenos em estado estável (5,34%) com coberturas adequadas em unidades I e II, e medianamente estável (2,16%) com usos compatíveis em unidades de maior predisposição aos processos lineares (V, VI e VII) (Figura 50).

# CARTA DE ESTADO AMBIENTAL DAS SUB-BACIAS DO RIBEIRÃO AREIA DOURADA, MARABÁ PAULISTA (SP)

400000  
7556000



**CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS**

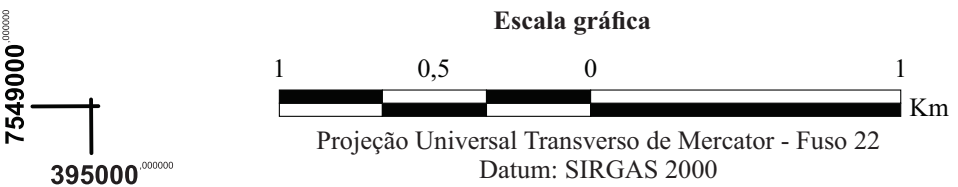
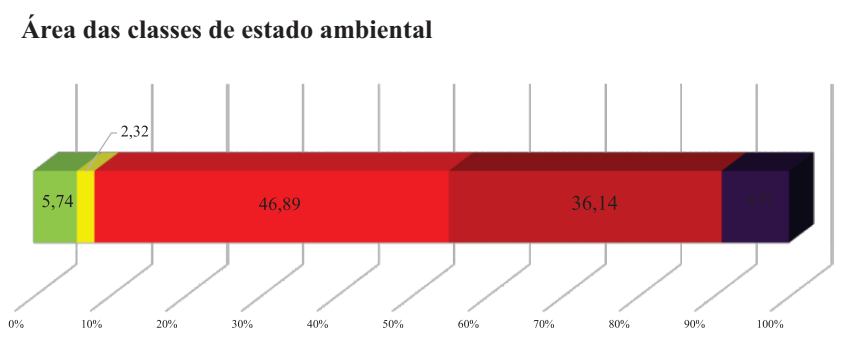
- Canal fluvial
- Açude
- Curvas de nível (5 metros)
- Limite da área estudada
- Ponto cotado

**LEGENDA**

- Estável
- Medianamente estável
- Instável
- Crítico
- Muito crítico

**ÁREAS LEGALMENTE PROTEGIDAS**

- Áreas de Preservação Permanente
- Reserva Legal



Elaboração: ZANATTA, F.A.S.  
Orientação: LUPINACCI, C.M.; BOIN, M.N.  
Fonte:  
Elaborada com base em:  
Cartas de unidades físicas e de uso e cobertura superficial da terra do ano de 2016 desenvolvidas nesta pesquisa.  
Apoio: FAPESP  
Processo: nº 2015 / 00875-2

**Figura 50:** Carta de Estado Ambiental das sub-bacias do ribeirão Areia Dourada, Marabá Paulista (SP)

Em considerável porcentagem da área estudada, (43,59%) o estado instável representa os terrenos com combinações de características físicas, uso e cobertura superficial que resultaram historicamente no desenvolvimento de sulcos erosivos, os quais proporcionam alterações no funcionamento da paisagem. Enquanto o estado crítico (40,64%), e muito crítico (8,27%), ocorreram sobre combinações das unidades físicas de maior potencialidade erosiva com usos e coberturas superficiais da terra agressivos, sobretudo o pasto, dando origem a formação e desenvolvimento de ravinas e voçorocas, feições que indicam modificações tanto no funcionamento como na estrutura da paisagem.

Na carta de estado ambiental (Figura 510, quando comparada ao esboço de litologia (Figura 19), da declividade (Figura 20) dos compartimentos de relevo (Figura 21), visualizou-se a influência do substrato rochoso e das concavidades, bem como da incompatibilidade do pastoreio extensivo e intenso dos terrenos. Esta classe de uso e cobertura superficial da terra generaliza os estados instável das unidades I a II, sobre as fácies I e II da Formação Adamantina, e o estado crítico, em unidades III, IV e V, na fácies III da referida formação geológica. Quando o pasto se encontra sobre concavidades e declives mais acentuados, têm-se situações de estado crítico, sobre a fácies II da Formação Adamantina, e muito crítico, sobre a fácies III.

Os terrenos em estado estável foram definidos quando recobertos pela Floresta Estacional Semidecidual sobre qualquer unidade física, na unidade física I com cana-de-açúcar e nas unidades I, II e III com eucalipto, reflorestamento e fruticultura. O estado medianamente estável incide sobre as vertentes declivosas ou concavidades, em unidades V, VI e VII, com reflorestamento, eucalipto e Floresta Estacional Semidecidual, ou cana-de-açúcar quando sobre a unidade V na sub-bacia S.

Em relação às áreas legalmente protegidas, que compreendem 8% de toda área estudada como Reserva Legal e 3% como Área de Preservação Permanente, ao avaliar suas funções descritas na Lei N.º 12.651/12 e a demarcação estabelecida, em relação às características geológicas da área estudada, registraram-se situações que sugerem que a referida Lei é significativamente descontextualizada no que se propõe.

Mesmo com a maior porcentagem das áreas legalmente protegidas sobre as unidades físicas de maior predisposição aos processos erosivos lineares (Quadro 3), constatou-se que 70,18% da unidade física VII e 72,05% da unidade física VI se encontram sem qualquer proteção legal. Ou seja, em relação à proteção do solo, dos recursos hídricos e à estabilidade geológica (Art.3º, Inciso II), as áreas legalmente

protegidas, sobretudo as Áreas de Preservação Permanente, mais restritivas do que as de Reserva Legal, não contemplam de forma significativa o que se propõe na Lei nas sub-bacias do ribeirão Areia Dourada.

**Quadro 3:** Porcentagem das unidades como Área de Preservação Permanente e Reserva Legal. Sub-bacias do ribeirão Areia Dourada, Marabá Paulista (SP).

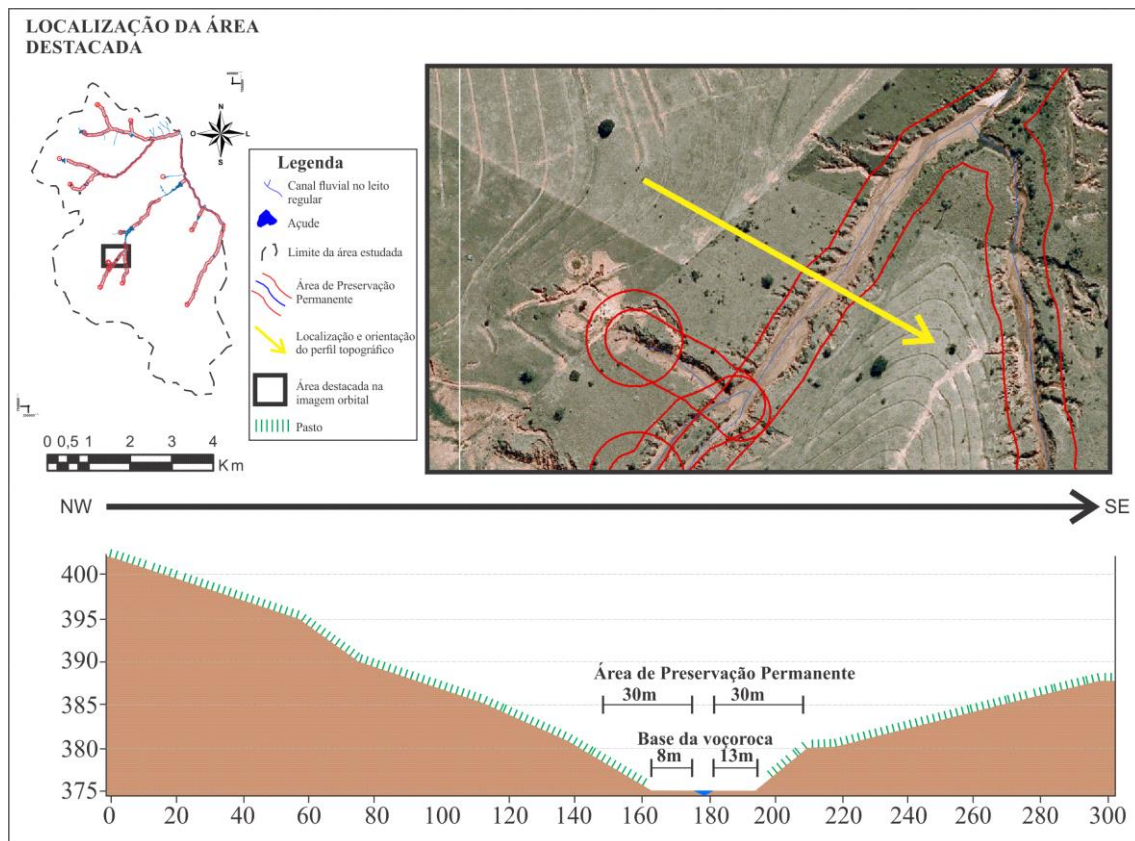
<b>Unidade Física</b>	<b>% como Área de Preservação Permanente</b>	<b>% como Reserva Legal</b>
II	0,23	0,04
III	1,08	1,60
IV	3,37	18,15
V	2,29	11,49
VI	8,25	19,70
VII	11,66	18,16

Ainda, de acordo com a literatura, Silva (2003), em revisão sobre a estimativa da largura que a APP deve compreender para cumprir as funções estabelecidas na Lei N° 12.651/12, atenta que o início de sua demarcação deve ocorrer na vertente e não no leito regular, ou leito vazante, como estabelece a legislação vigente. O autor, utilizando os trabalhos de Mander et al. (1997), de Reid & Hilton (1998) e da *Connecticut River Joint Comissions* (CRJC, 1998), identificou como largura mínima, em cada margem: 1) de 10 a 15m para estabilidade do talude; 2) de 15 a 30m para habitat de peixes; 3) de 30 a 45m para remoção de nutrientes e controle de sedimento; 4) de 60m para controle de enchentes; 5) de 90m como habitat de vida silvestre.

Quanto à metragem das Áreas de Preservação Permanente, em comparativo às apresentadas por Silva (2003), o raio de 50m nas nascentes possibilitam a estabilidade do talude, condições favoráveis ao habitat dos peixes e na remoção de nutrientes e controle de sedimentos, deixando de realizar o controle de enchentes e tornando inviável a vida silvestre. Enquanto nos canais fluviais, quando com 10m, não cumprem qualquer função, e quando com 30m, como nos demais canais fluviais da área estudada, satisfaz apenas a questão da estabilidade do talude e do habitat dos peixes.

Ainda, ao verificar a cobertura superficial da terra nas Áreas de Preservação Permanente, constatou-se a presença de vegetação de área úmida em 14%. Este dado demonstra que quando as Áreas de Preservação Permanente são medidas a partir do leito regular (Art.4º, Inciso I), passam a ocorrer dentro das áreas de terraço e planície fluvial ou na base das voçorocas (Figura 51), quando deveriam ser demarcadas a partir do leito

maior, com início na vertente para cumprir efetivamente as funções descritas por Silva (2003) e estabelecidas pela Lei 12.651/12.



**Figura 51:** Área de Preservação Permanente com 30m demarcados a partir do leito regular de canal fluvial com voçorocamento. Sub-bacia W.

Como demonstrado da Figura 53, a demarcação a partir do leito regular do canal com voçorocamento evidenciou que dos 60m da Área de Preservação Permanente, 21m ocorram diretamente sobre a base da voçoroca, reduzindo de maneira significativa a já baixa eficiência da referida Lei na proteção e preservação dos recursos naturais, no caso ilustrado, para 22m na margem W e 17m na margem E do canal fluvial.

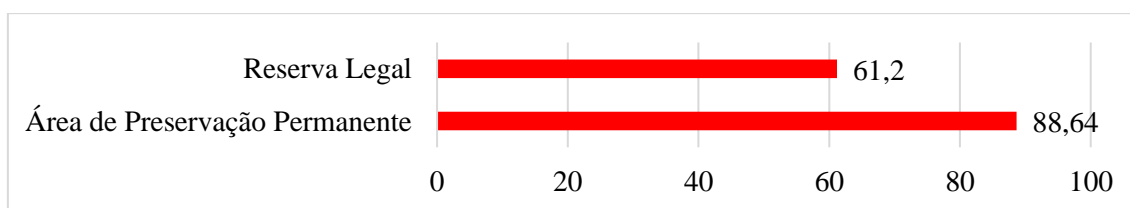
Verificaram-se também canais fluviais na sub-bacia N e nascentes da sub-bacia W sem a devida demarcação com Área de Preservação Permanente, e que as condições estabelecidas para o entorno dos reservatórios artificiais ou barramentos (Art.4º, Inciso III) proporcionam a ausência de preservação ou proteção das áreas marginais a todos os açudes da área estudada.

Na demarcação das áreas como de Reserva Legal, de acordo com o texto legal (Lei N.º12.651/12, Art. 14), deve-se levar em consideração:

- III– a formação de corredores ecológicos com outra Reserva Legal, com Área de Preservação Permanente, com Unidade de Conservação ou outra legalmente protegida;
- IV– as áreas de maior importância para a conservação da biodiversidade;
- V – áreas de maior fragilidade ambiental.

Na área estudada, constatou-se que as áreas de Reserva Legal se encontram restritas às sub-bacias W e N e conectadas apenas com alguns setores das Áreas de Preservação Permanente. Mesmo nestas duas sub-bacias, onde se encontram os únicos fragmentos de Floresta Estacional Semidecidual, não se constatou a ligação desses com as de Reserva Legal, assim como não há conexão entre as áreas de Reserva Legal ou entre as sub-bacias, contradizendo a própria definição de Reserva Legal, como definido no Art.3º, Inciso III. Ou seja, as áreas legalmente protegidas encontram-se isoladas dentro das sub-bacias, distantes, inclusive, das matas nativas existentes, bem como deixando desprotegidos terrenos de maior predisposição aos processos erosivos lineares, além de comprometer a existência e permanência da funa.

Destas áreas legalmente protegidas, mesmo no rigor de uma Lei que se demonstra cientificamente muito questionável, 61,20% das áreas de Reserva Legal e 88,64% das Áreas de Preservação Permanente encontram-se com usos inadequados ao que estabelece o Código Florestal (Lei Federal 12.651/12) (Figura 52); apenas as coberturas com reflorestamento foram consideradas como adequadas nas Áreas de Preservação Permanente, enquanto na Reserva Legal considerou-se também a vegetação de área úmida como adequada.



**Figura 52:** Porcentagem das áreas legalmente protegidas com usos e coberturas superficiais inadequados à Lei Nº 12651/12 das sub-bacias do ribeirão Areia Dourada, Marabá Paulista (SP).

Sobre estas circunstâncias, das áreas de Reserva Legal e das Áreas de Preservação Permanente, apenas 3,88% e 1,99% encontraram-se em estado estável, e 4,45% e 7,25%, em estado medianamente estável, respectivamente. Em sua maioria, nas áreas legalmente protegidas incidem os estados crítico, em 57,26% da Reserva Legal, e muito crítico, em 41,62% das Áreas de Preservação Permanente (Tabela 13).

**Tabela 13:** Estado ambiental das áreas legalmente protegidas das sub-bacias do ribeirão Areia Dourada, Marabá Paulista (SP).

Áreas Legalmente Protegidas	Estado Ambiental (área em %)				
	Estável	Medianamente estável	Instável	Crítico	Muito crítico
Reserva Legal	3,88	4,45	13,87	57,26	20,54
APP	1,99	7,25	19,40	29,75	41,62

No contexto geral da área estudada, a metodologia adaptada da geocologia da paisagem destacou que as vertentes côncavas, de característica concentradora do fluxo de água, são catalisadoras de processos erosivos lineares, as quais foram definidas com unidades físicas V, VI e VII, de maior predisposição a tais processos. As fácies da Formação Adamantina demarcam, dos terrenos de maior para menor altitude, o domínio de unidades físicas I, seguida da unidade II, na sequência de unidades III, IV e V, indicando que o aumento da resistência e a diminuição da permeabilidade do substrato rochoso a jusante proporcionou em maior predisposição das unidades à formação e desenvolvimento de processos erosivos lineares.

Os dados também demonstraram que o pastoreio excessivo generaliza nas unidades físicas o estado ambiental instável, crítico e muito crítico, sendo em sua totalidade incompatível com qualquer unidade mapeada.

O cultivo de cana-de-açúcar apresentou compatibilidade com o estado ambiental estável e medianamente estável, apenas quando sobre unidades físicas I, nos topos com solos profundos de permeabilidade moderada em ambas as camadas, em declives  $\leq 2\%$  e de 2-5%; enquanto o eucalipto, o reflorestamento e a Floresta Estacional Semidecidual proporcionaram os estados estável nas unidades I e II, e medianamente estável sobre unidades físicas V, VI e VII.

Nos terrenos recobertos por cana-de-açúcar, as correções constantes dos terraços agrícolas mascararam a erosão generalizada nos períodos chuvosos, reduzindo o peso desta cobertura, tornando-a adequada em distintas unidades físicas. Este dado decorre da metodologia proposta para estabelecer o peso a partir da presença das feições erosivas, nem sempre possíveis de serem mapeadas quando constantemente corrigidas, como no caso das áreas cultivadas com cana-de-açúcar. Esta situação sugere que para esta cobertura existe a necessidade de outra forma de avaliação de seu peso; tal situação demonstra uma limitação da metodologia.

Os terrenos demarcados como legalmente protegidos resguardam área muito menor do que efetivamente deveriam, deixando a maioria da superfície das unidades VI

e VII, de maior predisposição ao desenvolvimento de processos erosivos lineares em ravinas e voçorocas, desguarnecidas. Ainda, verificaram-se nestas áreas usos e coberturas superficiais que proporcionaram, em sua maioria, estados ambientais crítico e muito crítico. Deste modo, a análise destacou que a Lei 12.651/12 aplicada na área estudada apresentou-se ineficiente em seus princípios de preservação e proteção dos recursos naturais e de baixa eficiência no controle da cobertura superficial presente, de maneira a predominar situações de inadequação.

### 3.4 Análise da metodologia do Sistema de Capacidade de Uso na área estudada

De acordo com os resultados obtidos com a metodologia do Sistema de Capacidade de Uso, nas sub-bacias do ribeirão Areia Dourada, constatou-se que 96,76% da área apresenta risco de erosão ou erosão presente; ainda, em 1,61% tem-se terrenos com excesso de água e em 21,27% com limitações relativas ao solo (Quadro 4).

**Quadro 4:** Área em porcentagem da natureza das limitações da capacidade de uso das terras.

<b>Natureza das limitações</b>	<b>Área (%)</b>
-	1,76
Excesso de água (a)	1,20
Erosão presente e/ou risco de erosão (e)	73,88
Relativas ao solo (s)	0,27
Erosão presente e/ou risco de erosão (e) e excesso de água (a)	1,61
Erosão presente e/ou risco de erosão (e) e relativas ao solo (s)	21,27

Os poucos terrenos enquadrados no Grupo A, com capacidade de uso I, somente 0,83% (Figura 53) da superfície, não apresentam qualquer tipo de restrição. Esses localizam-se em alguns setores dos topos nas sub-bacias W e S utilizados como pastagem, onde não há qualquer fator limitante identificado pelas variáveis analisadas (características pedológicas, declividade e feições erosivas), com declives A ( $\leq 2\%$ ) (Figura 53); de acordo com Lepesch et al. (1983), os terrenos da classe I são próprios para culturas anuais climaticamente adaptadas, sem problemas especiais de conservação.

# CAPACIDADE DE USO DAS TERRAS NAS PROPRIEDADES LOCALIZADAS NAS SUB-BACIAS DO RIBEIRÃO AREIA DOURADA, MARABÁ PAULISTA (SP), 2016

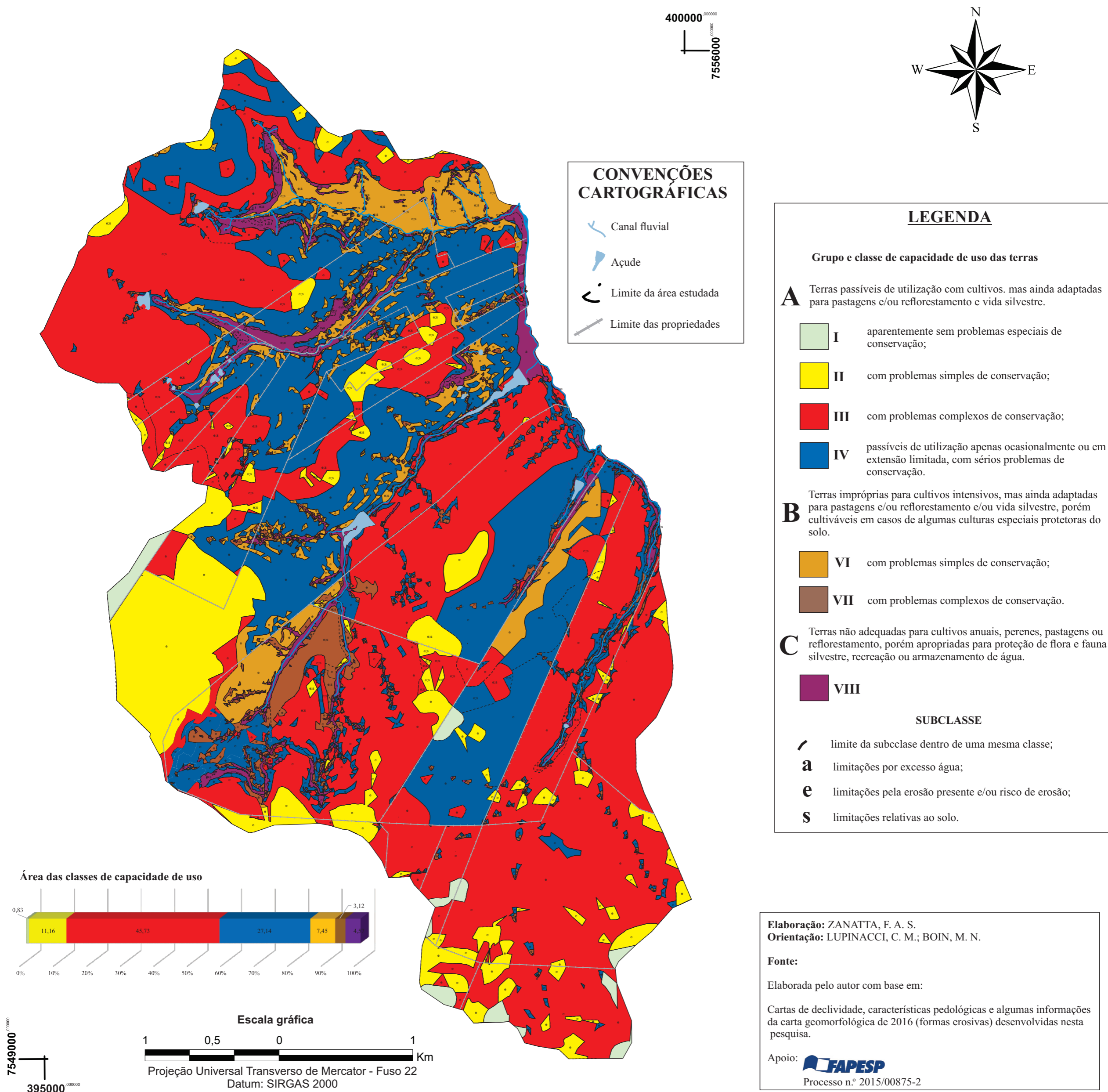


Figura 53: Carta de capacidade de uso das sub-bacias do ribeirão Areia Dourada, Marabá Paulista (SP).

Ao todo, o grupo A, de terras passíveis para utilização com cultivos, compreende 84,46% das sub-bacias do ribeirão Areia Dourada, compreendendo, além da classe I, as classes II, III e IV. Desta hierarquia, os terrenos designados por Algarismos maiores apresentam menor capacidade de uso.

A classe II, presente em 11,16% das sub-bacias, localiza-se nas áreas de topo e em alguns setores das vertentes convexas, quando em declive B (2-5%); este declive, segundo Lepsch et al. (1983), pode proporcionar a formação de enxurradas e erosão, o que estabelece esta classe com risco moderado à erosão. Em alguns setores, com uso para pastagem nas sub-bacias W e S, desenvolvem-se sulcos ocasionais (distanciados em mais de 30 m entre si).

A classe III compreendeu a maior área nas sub-bacias estudadas, abrangendo 45,73% do total. Foram definidas em função de declive C (5-12%) e/ou com erosão em sulcos frequentes (distanciados em mais de 30m entre si, ocupando uma área inferior a 75%), ou nos declives B (2-5%) em solos com permeabilidade lenta na camada de subsuperfície. Para Lepsch et al (1983), estas áreas são próprias para culturas temporárias adaptadas ao clima, mas apresentam risco severo de erosão.

A classe IV caracteriza-se pelo risco severo de erosão quando o uso se faz por culturas anuais. Os terrenos foram classificados pelo declive D (10-15%), com sulcos muito frequentes (menos de 30m entre si, ocupando mais de 75% da área), ravinas ocasionais (mais de 30m de distância entre si), como também quando da permeabilidade lenta na camada de subsuperfície em declives C (5-10%). Esta classe ocorreu sobre 27,14% da área, localizando-se nas baixas vertentes e concavidades da sub-bacia S e nas vertentes com solos com permeabilidade lenta na camada de subsuperfície nas sub-bacias SE, W e N.

O grupo B, de terras impróprias para cultivo, adaptadas à pastagem ou reflorestamento, compreendeu 10,57% da área estudada, distribuída entre as classes VI, com problemas simples de conservação, e VII, com problemas complexos de conservação.

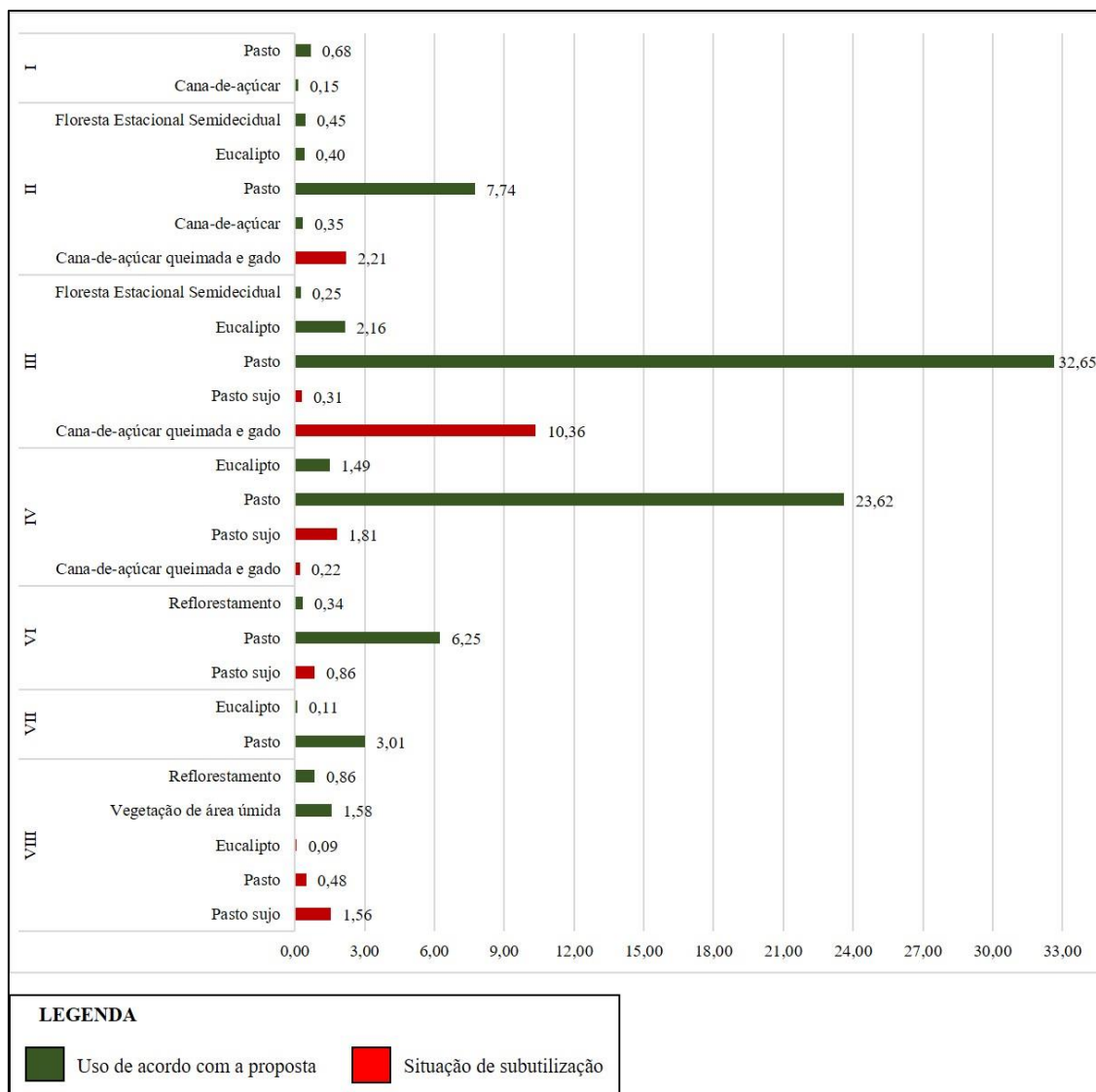
A classe VI incidiu em 7,45% de toda área, na qual admite-se a presença de ravinas frequentes (mais de 30m de distância entre si) (LEPSCH et al., 1983), situações que ocorreram nas vertentes a W da alta sub-bacia W, e na sub-bacia SE, na baixa vertente a E. A classe VI também caracterizou terrenos cuja restrição deriva das características pedológicas e/ou do declive, como as vertentes ao N da sub-bacia N, em solos

moderadamente profundos (0,50 a 1,00m) e de permeabilidade lenta na camada de subsuperfície, em declive D (10+15%).

A classe VII abarcou 3,12% dos terrenos em situações de ravinas muito frequentes (menos de 30m de distância entre si, ocupando 75% da área). Esta classe incidiu no interflúvio situado na alta sub-bacia W, em solos pouco profundos (0,5 a 1,00m) e de maneira bem fragmentada e dispersa em alguns setores de concavidades com declive E (15+47%).

De toda área, 4,57% encontraram-se no grupo C, compondo a classe VIII, com capacidade para proteção da fauna e flora silvestre, recreação ou armazenamento de água. Esta classe ocorreu com maior intensidade nas sub-bacias N e W, de relevo mais movimentado pelas rupturas topográficas e/ou com afloramentos de água e pela presença de voçorocas. Nas outras bacias, S e SE, de relevo menos movimentado, encontram-se restritas a alguns setores das concavidades e nos fundos de vale, quando se registram planícies e terraços fluviais ou, no caso da sub-bacia SE, no talude erosivo e na base da voçoroca.

De acordo com a metodologia proposta, embora se desconsiderem aqui as medidas conservacionistas e técnicas necessárias para cada tipo de uso da terra em cada classe, apenas 17,81% da área estudada apresentaram coberturas que indicam a sobre utilização dos terrenos; de modo que 82,19% encontram-se com coberturas que representaram subutilização (Figura 54).

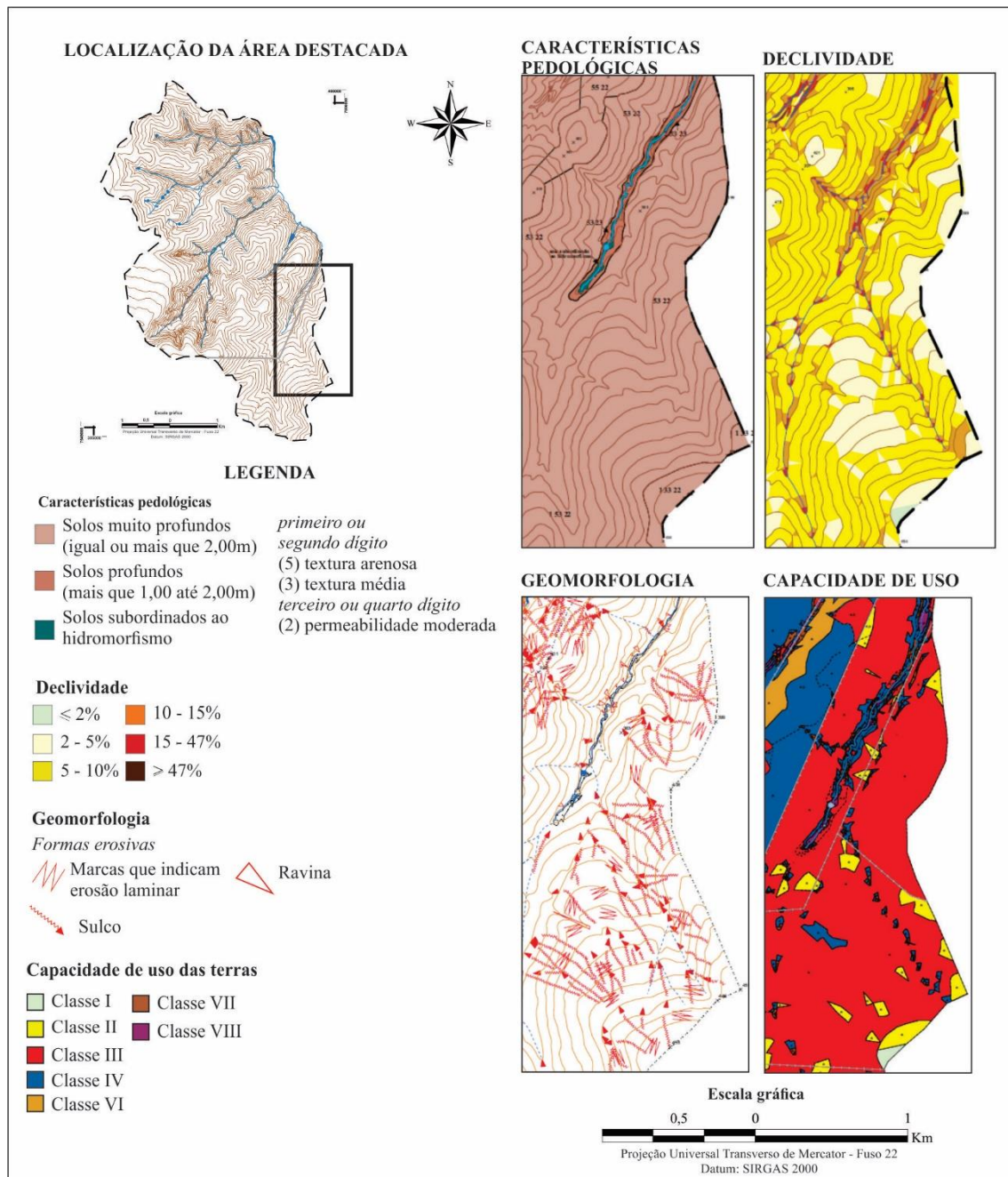


**Figura 54:** Classes de capacidade de uso da terra e uso e cobertura superficial da terra. Área em %.

O pasto sujo e a cana-de-açúcar queimada e com gado foram consideradas, de acordo com a metodologia, coberturas com subutilização da capacidade em todas as classes que se fazem presentes, uma vez que o pasto sujo indica a ausência de manejo, enquanto o segundo, além da ausência de manejo, pode proporcionar uma série de danos à estrutura do solo, como também incinerar toda a vida ali presente.

O pasto, cobertura de maior abrangência na área estudada (74,43%), apresentou apenas 0,48% em situações de sobre utilização em terrenos da classe VIII. No entanto, comparando a carta de capacidade com as características físicas e do uso da terra, os sulcos ocorreram em praticamente toda a área com uso para pastagem, mesmo naquelas onde se tem a presença de terraços agrícolas, assim como nas vertentes convexas em solos

profundos, de camada superficial arenosa, seguida de média, em declives de 2-10%, ou seja, teoricamente de baixa predisposição à formação e desenvolvimento de processos erosivos lineares (Figura 55).

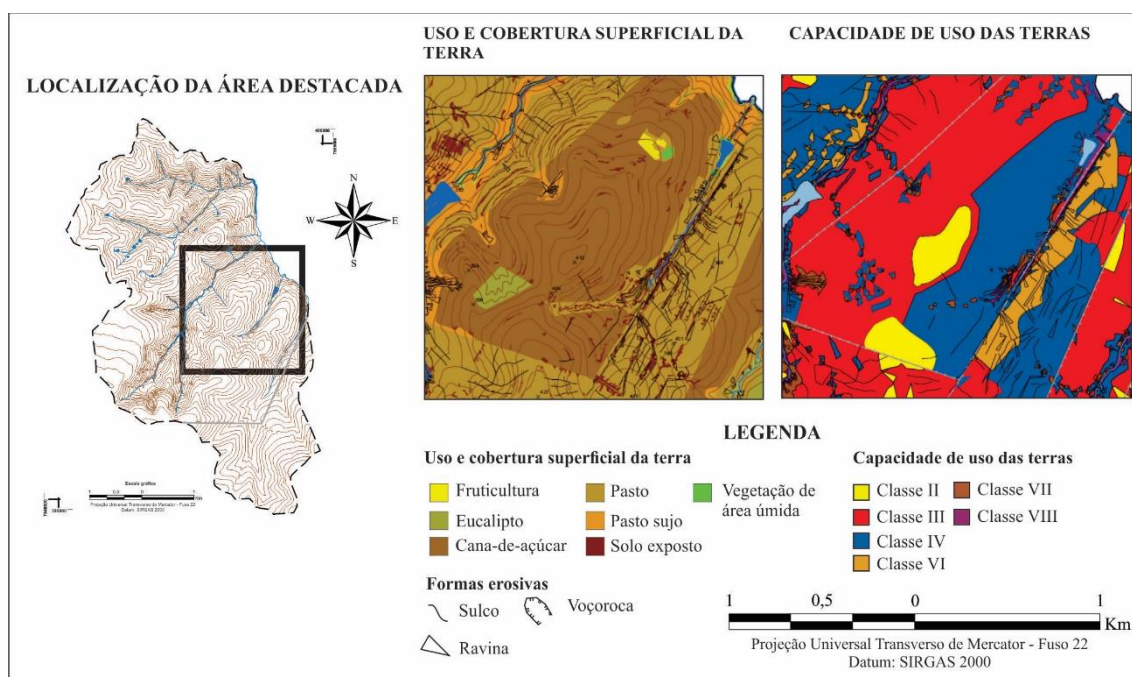


**Figura 55:** Sulcos erosivos no setor S da área estudada.

Na área destacada na Figura 58, as características pedológicas e o declive definem a presença da classe II em alguns setores das vertentes. No entanto, o uso dos terrenos para pastagem promoveu o surgimento de sulcos muito frequentes (menos de 30m de distância entre si, ocupando área superior ou igual a 75%), reduzindo a capacidade de uso

destes terrenos para classe III. Assim, entende-se que estas áreas se encontram em situação de uso inadequado, tendendo a perda progressiva de sua capacidade de uso, enquanto a metodologia indica situação de subutilização.

Quando ocorreu o uso para cultivo de cana-de-açúcar na classe III, como na sub-bacia W, constatou-se a presença de manchas de solo exposto em meio à área cultivada com terraços agrícolas, indicativo de que esta cultura, pela baixa proteção aos solos (Figura 56), não é adaptada às vertentes com solos predominantemente arenosos submetidos à erosividade das chuvas, características da área estudada, sobretudo na primavera e verão, como apontado por Boin (2000).



**Figura 56:** Formas erosivas em área de cultivo de cana-de-açúcar, sub-bacias SE e W.

Na classe IV, verificou-se significativa ocorrência de sulcos erosivos no uso para pastagem com terraços agrícolas, com presença de ravinas ocasionais (Figura 55). No uso do cultivo de cana-de-açúcar, mapearam-se manchas de solo exposto e desenvolvimento de sulcos direcionados à concavidade que se conecta a voçoroca (Figura 56).

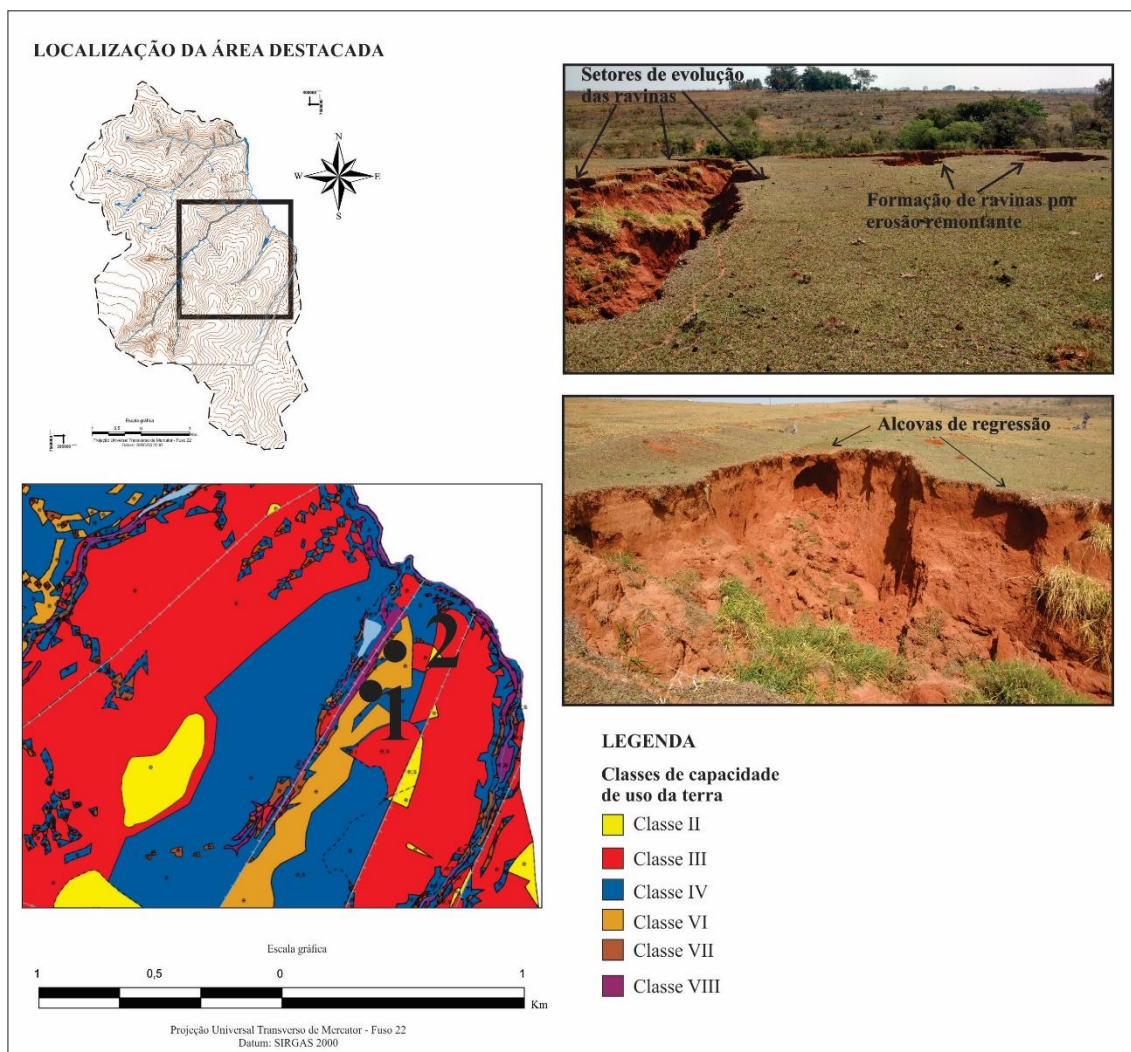
A classe VI compreende 7,45% de toda área, na qual admite-se a presença de ravinas frequentes (mais de 30m de distância entre si) (LEPSCH et al., 1983), situações que ocorrem nas vertentes a W da alta sub-bacia W, e na sub-bacia SE, na baixa vertente a E. Em ambos os casos, a presença de ravinas frequentes deriva da atividade erosiva do voçorocamento no fundo de vale, que dinamiza estas vertentes com ravinas por processos de erosão remontante. Nestes setores, os fenômenos erosivos se desenvolvem com

contribuições do pisoteio excessivo do gado, que compacta a camada superficial e direciona o fluxo de água de superfície para as ravinas (Figura 59).

Nas vertentes a W, sobre a mesma classe de capacidade de uso III, com cana-de-açúcar, constatou-se menor dinâmica dos processos em relação aos terrenos utilizados para pastagem, registrando presença de sulcos e manchas de solo exposto. Tais dados indicam que este uso tende a reduzir a sua capacidade, sendo inadequado para as classes II e III.

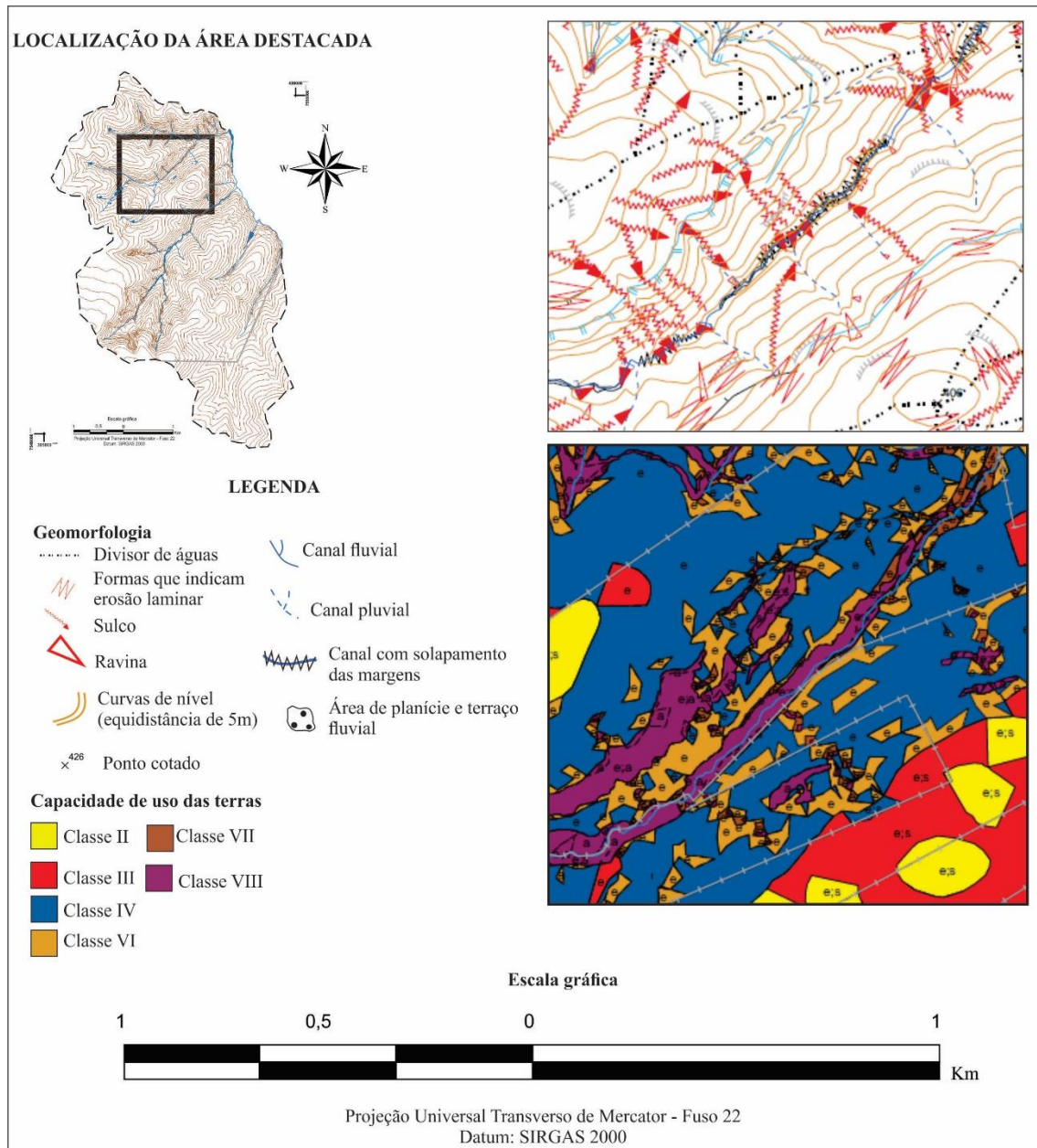
Mesmo com menor quantidade de feições erosivas nas áreas de cana-de-açúcar, em relação à pastagem, destacadas na figura 10, a presença destas formas indicou que esta cobertura não exerce a proteção adequada aos solos predominantemente arenosos submetidos, sobretudo na primavera e verão, à erosividade das chuvas que variaram de 1500 a 3500 MJ.mm.h<sup>-1</sup>.ha<sup>-1</sup> na área estudada (BOIN, 2000), período de safra e plantio da cana-de-açúcar.

Outros terrenos na classe VI, devido à presença de ravinas frequentes, encontraram-se nas baixas vertentes da sub-bacia N. Neste setor, o aumento do fluxo de água e sedimentos das vertentes para o fundo de vale proporcionou alterações na calha fluvial, de maneira a promover o solapamento das margens, observado *in loco*, e colapso da baixa vertente, de onde surgem diversas pequenas ravinas que tendem a erosão remontante (Figura 57). Estes terrenos também se encontraram sob pastagem, a qual reduziu a capacidade de uso da terra, sendo, portanto, inadequada nestas situações.



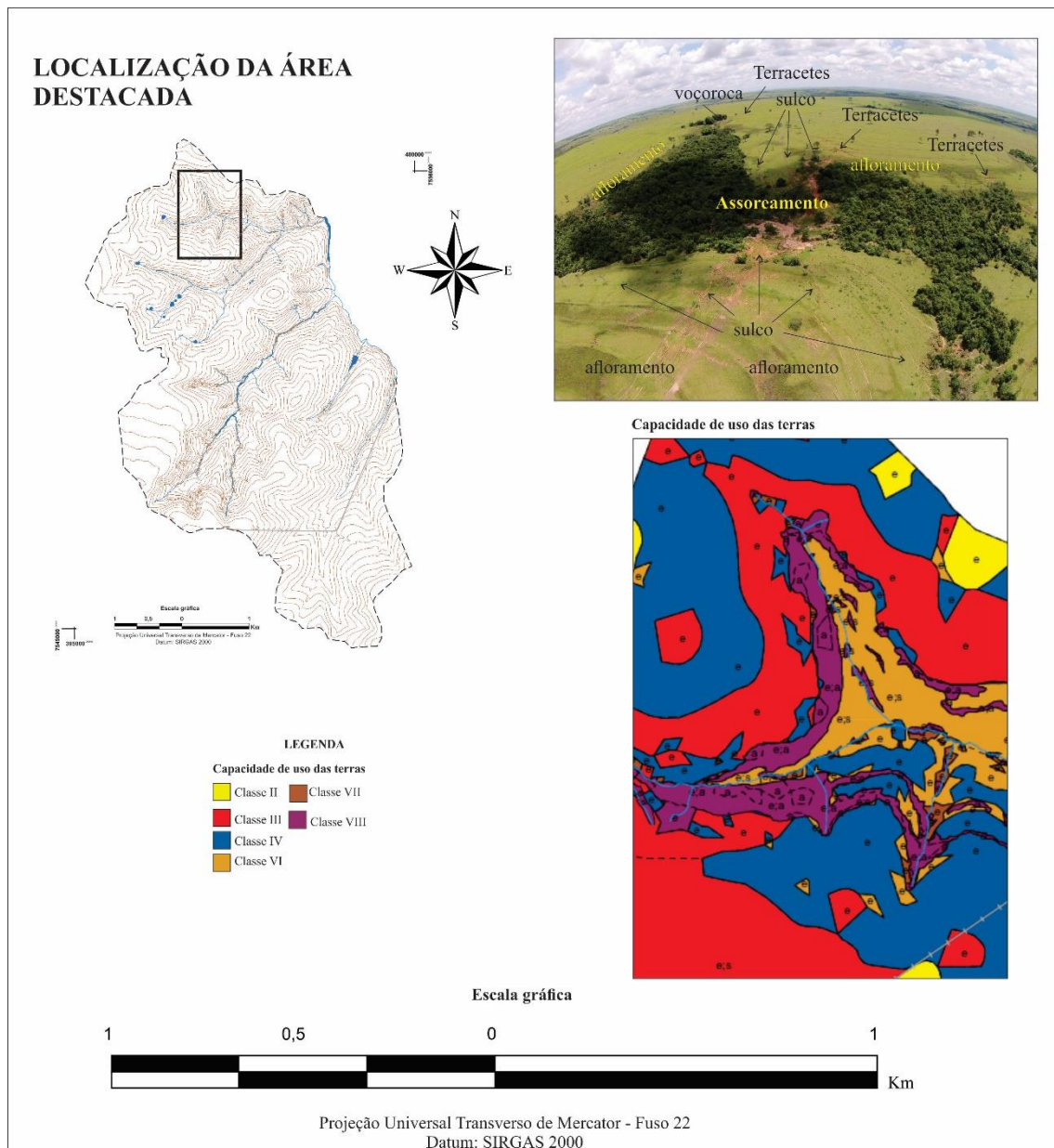
**Figura 57:** Desenvolvimento de ravinas em terrenos de classe VI com uso para pastagem, a montante de voçorocamento.

Outra área da classe VI associada à presença de ravinas frequentes encontra-se nas baixas vertentes da sub-bacia N. Neste setor, o aumento do fluxo de água e sedimentos das vertentes para o fundo de vale causou alterações na calha fluvial, promovendo o solapamento das margens e colapso da baixa vertente, de onde surgem diversas pequenas ravinas que tendem a erosão remontante (Figura 58).



**Figura 58:** Relações entre os sistemas vertente e fundo de vales, solapamento das margens e formação de ravinações na baixa vertente.

A classe VI também compreende terrenos cuja restrição deriva das características pedológicas e/ou do declive, como as vertentes ao N da sub-bacia N, devido aos solos moderadamente profundos (0,50 a 1,00m), com permeabilidade lenta na camada de subsuperfície em declive D (12-30%). Nestes terrenos, o uso para pastagem, nas proximidades dos solos subordinados ao hidromorfismo nos afloramentos de água, proporcionou o desencadeamento de distintos processos erosivos lineares e gravitacionais, formando sulcos, voçoroca e terracetes (Figura 59).



**Figura 59:** Formação de sulcos, terracetes e voçorocas em terrenos da classe VI sob uso para pastagem, com terraços agrícolas.

Nota-se na Figura 62, que mesmo com os terrenos da baixa vertente na classe VI e recobertas por reflorestamento, por toda média e alta vertente, quando há uso para pastagem com terraços agrícolas, desenvolve-se intensa atividade erosiva nas proximidades das rupturas topográficas com afloramentos de água.

A classe VII compreende 3,12% dos terrenos, ocorrendo em situações de ravinas muito frequentes (menos de 30m de distância entre si, ocupando 75% da área), como nas baixas vertentes e concavidades próximas aos fundos de vale, atingidos por voçorocamento na alta sub-bacia W. Nesta mesma bacia, esta classe incide no interflúvio

dos canais fluviais também na alta sub-bacia W, em solos pouco profundos (0,5 a 1,00m). Esta classe ocorre também em outras situações, de maneira bem fragmentada e dispersa, em alguns setores das concavidades com declive E (30-47%).

De toda área, 4,57% encontram-se no grupo C, compondo a classe VIII, com capacidade para proteção da fauna e flora silvestre, recreação ou armazenamento de água. Esta classe ocorre com maior intensidade nas sub-bacias N e W, de relevo mais movimentado pelas rupturas topográficas, pelos afloramentos de água e pela presença de voçorocas. Nas outras bacias, S e SE, de relevo menos movimentado, encontram-se restritas a alguns setores das concavidades e nos fundos de vale, quando em área de planície e terraço fluvial ou, no caso da sub-bacia SE, no talude e na base da voçoroca.

A análise da metodologia aplicada nas sub-bacias do ribeirão Areia Dourada demonstrou que a localização das classes limitadas aos fatores locais resulta na exclusão das áreas de transições entre as classes de menor para as de maior hierarquia. De acordo com Barros (2006), a importância destes setores de transição é reconhecida pela literatura desde os ecótonos trabalhados por Clements (1905). Outras denominações como bordas, quando no caso de áreas antropizadas (LOVEJOY et al., 1986), faixas de transição, fronteiras ou zonas de transição são utilizadas para estes terrenos.

Entende-se, portanto, que as condições dos terrenos do entorno de setores de maior predisposição a degradação possuem relação direta com a qualidade destas áreas, do mesmo modo que a degradação desses terrenos afeta todo o seu entorno, como exemplificado nos terrenos atingidos por voçorocamento, nas baixas vertentes próximas aos canais com solapamento das margens e no entorno das rupturas topográficas com afloramento de água.

No caso das sub-bacias atingidas por processos de voçorocamento, quando analisada a dinâmica erosiva destas áreas, Zanatta, Lupinacci e Boin (2017a; 2017b) verificaram que, ao longo dos anos, os sulcos, ravinas e voçorocas desenvolveram-se de maneira conjunta, de modo que o aumento de um proporcionou a evolução do outro. Ou seja, os terrenos em classes do grupo A, como aqueles com declive 2-5% nos topos atingidos por sulcos encontram-se diretamente relacionados aos terrenos em classes do grupo B e C atingidos por ravinas e voçorocas, em declive 15-47%, nas vertentes côncavas e fundos de vale.

Deste modo, entende-se que além das faixas de transição, ainda existe o fator forma de relevo, com as concavidades indutoras de processos lineares, e, no caso de bacias atingidas por processos de voçorocamento, a análise deve partir de toda bacia de

contribuição, excedendo os limites das propriedades, de modo a avaliar as formas erosivas em conjunto, e não de maneira segmentada, como propõe a metodologia.

Na questão da leitura cartográfica do produto final, a carta de capacidade de uso das terras, seguindo as orientações de Lepsch et al. (1983) no uso das cores, apresenta certos equívocos que podem promover a leitura distorcida do mapa. Ao utilizar o tom vermelho na classe de capacidade de uso III, indica, em uma primeira leitura visual, que nestes terrenos a problemática é superior a da classe IV, em azul, e da classe VI, em laranja, o que não condiz com o dado representado. Desta forma, entende-se que o uso da rosa cromática, em que as cores mais fortes indicam a maior intensidade do fenômeno mapeado possibilitaria uma leitura mais eficiente da carta.

No demais, a estrutura proposta por Lepsch (et al., 1983), com a organização por classes de capacidade de uso, foi considerada adequada, sendo utilizada para a elaboração da metodologia proposta por esta pesquisa.

## **CAPÍTULO IV - PROPOSTAS METODOLÓGICAS PARA DEFINIR O USO ADEQUADO DAS TERRAS EM ÁREA RURAL DEGRADADA**

### **4.1 A construção das propostas ideal e viável**

Para elaborar a proposta que se constitui no objetivo desta pesquisa, realizou-se em um primeiro momento a análise dos resultados das três metodologias adaptadas e aplicadas: cartografia geomorfológica retrospectiva; Geoecologia das Paisagens e Sistema de Capacidade de Uso (Quadro 5).

Nesta análise, foram destacados os pontos positivos e negativos de cada metodologia para o entendimento da dinâmica erosiva da área estudada, considerando sua perspectiva histórica, suas variáveis e classes temáticas que apresentaram menor ou maior potencial a formação e desenvolvimento dos processos erosivos e as possibilidades de uso da terra neste ambiente rural e degradado. Deste modo, buscou-se avaliar estas metodologias, procurando identificar aspectos que poderiam complementar a orientação de um uso adequado das terras, visando subsidiar uma ampla adaptação da proposta de Lepsch et al. (1983).

**Quadro 5:** Pontos positivos, negativos e adaptações das metodologias do sistema de capacidade de uso, geoecologia da paisagem e cartografia geomorfológica retrospectiva.

Metodologias	Pontos positivos para a área estudada	Pontos negativos para a área estudada	Adaptações
<b>Sistema de capacidade de uso</b>	Considera combinação de variadas técnicas conservacionistas de acordo com as características dos terrenos para estabelecer o uso permitido.	Muito permissiva para uma situação de área rural e degradada, com baixa restrição ao uso e poucas áreas caracterizadas como possíveis apenas de abrigar mata nativa e fauna silvestre.	Recorte espacial de bacia hidrográfica
	Considerada capacidade de uso para pastagem, como avaliação da quantidade de cabeças/ha e técnicas conservacionistas.	Não avalia variáveis do meio físico definidoras da maior dinâmica erosiva, como litologia/tectônica e compartimentos de relevo	
		Focada na propriedade privada, desconsidera a conexão entre os processos erosivos em distintos estágios de desenvolvimento. Trabalha localmente com formas erosivas. Não avalia efeito de borda.	
<b>Princípios da metodologia da geoecologia da paisagem (adaptada à dinâmica erosiva)</b>	Possibilita o trabalho com diversidade de variáveis	Aborda, de maneira muito sucinta, questões do efeito de borda, de entorno, de modo a não apresentar uma proposta para se trabalhar com esta questão cartograficamente.	Uso de dados quantitativos, a partir do histórico erosivo da área, para gerar os pesos das variáveis físicas e antrópicas, os quais foram utilizados para a elaboração das cartas de unidades físicas e unidades ambientais.
	Avalia conjuntamente dados físicos e antrópicos	Aspecto qualitativo da metodologia.	
<b>Cartografia retrospectiva</b>	Identificação de relações de vizinhança e do efeito de borda. No caso da área estudada: mecanismos de retroalimentação entre processos fluviais e de vertentes; e que processos erosivos evoluem de maneira conjunta nos distintos níveis topográficos.	Considera apenas as variáveis relevo e uso, dentro de um tempo histórico, de modo a não abordar os materiais e a gênese.	Análise quantitativa dos dados. Neste caso, a partir do Coeficiente de Correlação de Pearson.
	Identificação das consequências da ação humana sobre o relevo		

Para classificar o uso adequado dos terrenos, a proposta de Lepsch (et al., 1983), limitou-se a considerar o estágio de evolução (sulcos profundos ou muito profundos e voçoroca) e a proximidade entre as formas erosivas (ocasionais, frequentes ou muito frequentes) como definidores da capacidade de uso, assim como avaliar a erosão por propriedade privada.

Na proposta da cartografia geomorfológica retrospectiva, em estudo por bacia hidrográfica, nas áreas atingidas por processo de voçorocamento, constatou-se a relação de efeito de borda, por erosão remontante, na bacia de captação direcionada à voçoroca. Nestas áreas, a voçoroca, localizada nos fundos de vale se integra às ravinas na baixa e média vertente, as quais direcionam os sulcos formados na alta vertente e topo, de maneira que o desenvolvimento de uma forma erosiva se faz mediante o desenvolvimento das demais, sendo a problemática sistêmica e de maior complexidade.

Enquanto a proposta adaptada da Geoecologia da Paisagem, ao considerar o histórico erosivo para estabelecer o peso das variáveis trabalhadas, permitiu levantar os terrenos mais sujeitos ao desenvolvimento dos processos erosivos, indicando classes temáticas não trabalhadas na proposta de Lepsch (et al., 1983), que apresentaram significativa relação com a problemática erosiva, como os compartimentos de relevo, a energia do relevo e a litologia.

Assim, a análise comparativa possibilitou identificar aspectos complementares das metodologias a partir dos quais foram elaboradas duas propostas metodológicas.

A primeira, que se considera ideal para avaliar as possibilidades de uso em um ambiente rural e degradado, utiliza a combinação dos elementos: litologia; compartimentos de relevo; características pedológicas (profundidade, textura e permeabilidade); formas erosivas em ravinas e voçorocas (2016); efeito de borda das feições erosivas na bacia de captação de áreas atingidas por processo de voçorocamento; energia do relevo; e Áreas de Preservação Permanente. No entanto, entendendo que tal metodologia é de difícil e complexa aplicação, em função das técnicas cartográficas envolvidas e conhecimentos especializados em geomorfologia e geologia, equipamentos para levantamento em campo, custos de análise das amostras de solo em laboratório, construiu-se uma segunda proposta, mais viável, usando as variáveis: declividade; textura e profundidade dos solos; feições erosivas em voçoroca e ravina; bacia de captação direcionada à voçoroca; e Áreas de Preservação Permanente,

Na metodologia ideal, constatou-se a importância das variáveis: forma de relevo, sobretudo pelo potencial de concentração do fluxo de água nas concavidades,

catalisadoras dos processos erosivos lineares (Quadro 6); litologia, uma vez que a Formação Adamantina III, de maior fragilidade, apresentou discordância erosiva em relação às demais, de modo a concentrar maior média de ravinas e voçorocas (Quadro 7); e energia do relevo, identificando uma correlação significativa entre o aumento da energia e da intensidade do fenômeno erosivo (Quadro 8).

**Quadro 6:** Média da densidade normalizada das formas erosivas dos anos de 1963, 1979, 1997, 2011 e 2016 sobre as classes de compartimentos de relevo, sub-bacias do ribeirão Areia Dourada, Marabá Paulista (SP).

<b>Compartimentos de relevo</b>	<b>Área total (%)</b>	<b>Sulco</b>	<b>Ravina</b>	<b>Voçoroca</b>
<b>Topo</b>	8,13	0,07	0,00	0,00
<b>Vertente retilínea</b>	23,62	0,54	0,16	0,01
<b>Vertente convexa</b>	33,08	0,53	0,17	0,04
<b>Vertente irregular</b>	22,75	0,49	0,16	0,10
<b>Vertente côncava</b>	11,72	1,00	1,00	1,00

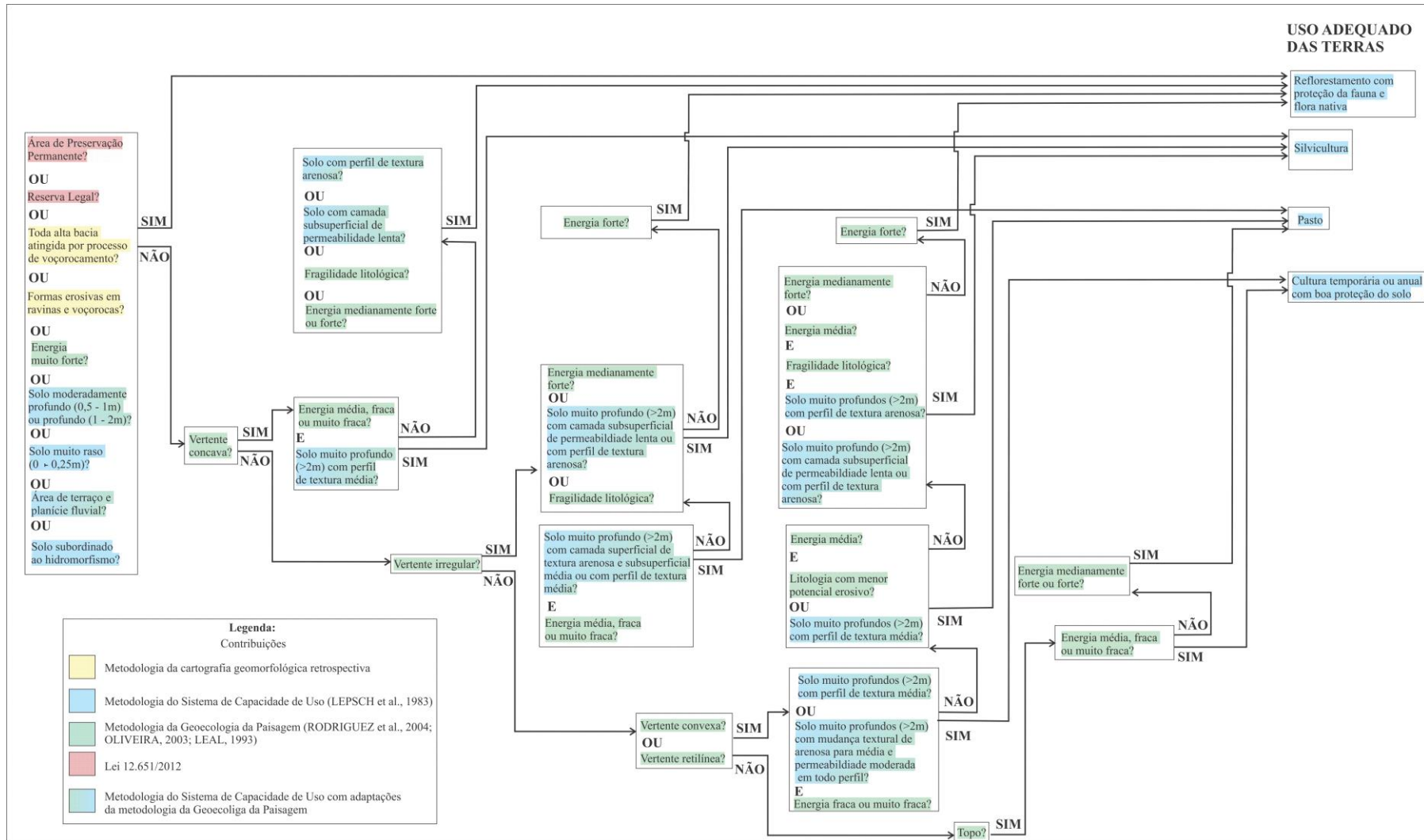
**Quadro 7:** Média da densidade normalizada das formas erosivas dos anos de 1963, 1979, 1997, 2011 e 2016 sobre as classes de litologia, sub-bacias do ribeirão Areia Dourada, Marabá Paulista (SP).

<b>Litologias</b>	<b>Área total (%)</b>	<b>Sulco</b>	<b>Ravina</b>	<b>Voçoroca</b>
<b>Formação Santo Anastácio</b>	0,76	0,07	0,07	0,23
<b>Formação Adamantina I</b>	5,65	0,31	0,02	0,00
<b>Formação Adamantina II</b>	60,92	0,97	0,55	0,04
<b>Formação Adamantina III</b>	32,00	0,74	1,00	0,93

**Quadro 8:** Média da densidade normalizada das formas erosivas dos anos de 1963, 1979, 1997, 2011 e 2016 sobre as classes de energia do relevo, sub-bacias do ribeirão Areia Dourada, Marabá Paulista (SP).

<b>Energia do relevo</b>	<b>Área total (%)</b>	<b>Sulco</b>	<b>Ravina</b>	<b>Voçoroca</b>
<b>Muito fraca</b>	1,04	0,06	0,00	0,00
<b>Fraca</b>	7,23	0,55	0,06	0,00
<b>Média</b>	53,84	0,70	0,13	0,01
<b>Medianamente forte</b>	12,12	0,75	0,22	0,03
<b>Forte</b>	11,28	0,92	0,33	0,12
<b>Muito forte</b>	14,49	0,92	1,00	1,00

A partir de tais apontamentos, reformulando a proposta de Lepsch et al. (1983), foi elaborada uma árvore de decisão (Figura 60), organizada e hierarquizada de maneira a indicar as combinações entre os elementos que deflagram maior ou menor restrição ao uso da terra, ou seja, a escala de restrição foi estabelecida pelo aumento de intensidade de uso.



**Figura 60:** Árvore de decisão para identificar o uso adequado das terras em área rural degradada, proposta metodológica ideal.

Na construção da árvore de decisão, utilizou-se a organização por classes e suas respectivas possibilidades de uso de acordo com a proposta por Lepsch (et al., 1983). No entanto, apresentando da maior para a menor restrição ao uso:

- Classe I: compreende os terrenos que devem ser reflorestados, destinados a proteção da fauna e flora silvestre, seja por força da Lei 12.651/12; pelo excesso de água; pela presença de formas erosivas ou tendência significativa à formação e desenvolvimento de processos erosivos.

Sobre as Áreas de Preservação Permanente, a Lei 12651/12 estabelece que essas devem estar recobertas por vegetação nativa, devidamente preservada (Art. 7º) e, quando houve supressão da vegetação, há obrigatoriedade de recomposição da vegetação pelo responsável: proprietário, possuidor ou ocupante (Art.7º, §1º);

Nos terrenos com solos profundos (1+2m), constatou-se significativa atividade erosiva, no qual se encontra concentração máxima de voçorocas (Quadro 9), enquanto nos solos pouco profundos (0,5+1m), em que se registra maior atividade morfogenética pela menor espessura do solo, levantou-se, na metodologia da cartografia geomorfológica retrospectiva, presença tanto de processos lineares como gravitacionais (Figura 47). Deste modo, consideraram-se ambas as características pedológicas como definidoras de maior restrição ao uso.

**Quadro 9:** Média da densidade normalizada das formas erosivas dos anos de 1963, 1979, 1997, 2011 e 2016 sobre as características pedológicas, sub-bacias do ribeirão Areia Dourada, Marabá Paulista (SP).

<b>Características pedológicas</b>	<b>Área total (%)</b>	<b>Sulco</b>	<b>Ravina</b>	<b>Voçoroca</b>
<b>13322</b>	11,76	0,24	0,00	0,00
<b>15322</b>	31,7	0,59	0,2	0,01
<b>15323</b>	25,27	0,87	0,5	0,05
<b>15522</b>	22,81	0,7	0,09	0,16
<b>25522</b>	2,41	0,47	0,85	1,00
<b>35323</b>	2,36	0,77	0,13	0,00
<b>35522</b>	0,76	0,47	0,43	0,00

**Legenda:** Primeiro dígito: (1) solos muito profundos (>2m); (2) solos profundos (1+2m); e (3) solos pouco profundos (0,5+1m). Segundo e terceiro dígito: (5) textura arenosa; e (3) textura média. Quarto e quinto dígito: (2) permeabilidade moderada; (3) permeabilidade lenta.

Nos terrenos com solos subordinados ao hidromorfismo e áreas de terraço e planície fluvial, seguiram-se as orientações estabelecidas por Lepsch et al (1983, p.32-33):

O excesso de água é prejudicial à maioria das plantas, por expulsar o ar do sistema poroso, restringindo a respiração das raízes e dificultando o desenvolvimento da planta. Também a assimilação de nutrientes é prejudicada pela deficiência de oxigênio devido ao encharcamento do solo [...] pode haver excesso de água na superfície por inundação ou submersão natural do solo, como ocorre nas baixadas próximas a cursos d'água, comumente em solos hidromórficos. O excesso de água também pode ocorrer por impedimentos de drenagem interna, em qualquer posição topográfica, pela presença de camadas relativamente impermeáveis próximas à da superfície.

As áreas de terraços e planície fluvial consistem em terrenos sujeitos a inundações, seja por eventos excepcionais, em que se atingem os terraços, ou sazonais, nas planícies.

Nos terrenos com energia do relevo muito forte constatou-se a maior média de concentração de formas erosivas, sendo máxima em ravinas e voçorocas (Quadro 9). Esta concentração destaca a problemática da energia muito forte, o que sugere como único uso possível o reflorestamento e proteção à fauna e flora silvestre.

Nas feições erosivas em ravinas e voçorocas, em situações que os demais elementos avaliados indiquem menor potencial para desenvolvimento destas formas erosivas, a ação direta sobre a forma erosiva e os cuidados devidos com os terrenos do entorno são suficientes para resolução da problemática. No entanto, no caso da bacia de captação direcionada à voçoroca, devido ao efeito de borda integrar todas as formas erosivas, evoluindo por erosão remontante, considera-se que esta área deve ser destinada ao reflorestamento e a proteção da fauna e flora silvestre.

Nestas situações supramencionadas, constatou-se que a combinação com outras classes temáticas com menor concentração de formas erosivas não ameniza a problemática verificada.

As demais situações destinadas ao reflorestamento e a proteção de fauna e flora silvestre derivaram da combinação de variáveis. Nas vertentes convexas, retilíneas e irregulares com energia forte, uma vez que sobre esta energia constatou-se expressiva concentração de formas erosivas (Quando 9). Nas concavidades, que se formam sobre terrenos de maior fragilidade e tendem a concentrar o fluxo de água, identificou-se a maior concentração de todas as formas erosivas e, portanto, quando combinada a variáveis que apresentaram significativa potencialidade ao desenvolvimento de ravinas e/ou voçorocas, entende-se a necessidade de reflorestamento da área. Tais situações

ocorrem em energia forte ou medianamente forte, ou solos de perfil arenoso ou com mudança de permeabilidade moderada para lenta ou ainda em litologias de maior fragilidade.

- Classe II abarca os terrenos que carecem de espécies de porte arbóreo, que conferem maior proteção ao solo, de modo a suportar a silvicultura.

Estas áreas compreendem boa parte das vertentes irregulares, pela dificuldade de reconhecer a forma de circulação do fluxo de água e por apresentar a segunda maior concentração de voçoroca dentre os compartimentos de relevo (Quadro 6). Deste modo, entende-se que nas vertentes irregulares, quando combinadas a outras variáveis de maior concentração de formas erosivas, como litologia de maior fragilidade (Quadro 7), energia medianamente forte (Quadro 8), solos profundos e de perfil arenoso ou com mudança de permeabilidade de moderada para lenta (Quadro 9), carecem de uma vegetação de porte arbóreo, como a silvicultura, para sua melhor conservação.

Nesta classe ainda se encontram as concavidades, quando combinadas à energia de média a muito fraca e solos profundos com perfil de textura média. Apenas sobre estas características identificou-se a possibilidade de uso das concavidades, uma vez que a baixa concentração de formas erosivas sobre estas variáveis ameniza o efeito erosivo das concavidades, possibilitando o uso agrícola com espécies de porte arbóreo.

Nas vertentes convexas ou retilíneas, esta classe ocorre quando combinadas à energia medianamente forte ou à energia média junto a solos com perfil arenoso ou com mudança de permeabilidade de moderada para lenta e sobre litologias de maior fragilidade.

- Classe III compreende os terrenos que suportam espécies herbáceas, como as pastagens.

Nesta classe, encontram-se as vertentes irregulares quando combinadas a energias de média a muito fraca (Quadro 9) e solos muito profundos com mudança textural de arenosa para média e permeabilidade moderada em todo perfil, ou solos muito profundos com perfil de textura média (Quadro 10). Tais situações amenizam o efeito erosivo sobre as vertentes irregulares, fato comprovado por apresentarem concentração de voçoroca de 0 a 0,01 e de ravinas de 0 a 0,2.

As vertentes convexas ou retilíneas, que apresentam reconhecida direção do fluxo de água, permitem suportar espécies herbáceas, mesmo quando associadas a classes temáticas de maior predisposição, como solos muito profundos de perfil de textura arenosa ou com mudanças de permeabilidade de moderada para lenta, sobre litologias de maior fragilidade, combinadas a energias de média a muito fraca. Esta classe também incide nos topos quando de energias de forte a medianamente forte, uma vez que a maior energia nestes terrenos resulta da maior dissecação vertical. Esta variável permite avaliar a potencialidade dos processos gravitacionais, os quais não são significativos na dinâmica geomorfológica da área estudada.

Destaca-se que, embora o pasto tenha se apresentado como catalisador dos processos erosivos na área estudada, as gramíneas conferem significativa proteção ao solo, recobrando-o de maneira homogênea e também contribuindo na melhora de sua estrutura (BERTONI; LOMBARDI NETO, 1990, p.20), todavia, o superpastoreio, ao compactar a camada superficial, induz a formação e o desenvolvimento dos processos erosivos de modo que se faz necessário considerar a capacidade de carga destes terrenos.

- Classe IV: compreende as áreas de menor restrição, onde se permite maior intensidade do uso. Estes terrenos suportam cultivos agrícolas anuais ou temporários.

A classe IV se restringe a terrenos muito específicos, onde a concentração das feições erosivas ou a tendência à evolução do processo foram muito baixas para sulcos e nulas para ravinas e voçorocas, como em vertentes convexas ou retilíneas com energia do relevo de fraca a muito fraca e solos com mudança textural de arenosa para média ou perfil de textura média, assim como nos topos, com energia média, fraca ou muito fraca, independente das características pedológicas.

Para o mapeamento das classes de uso adequado da terra em área rural degradada, no Programa ArcMap, através da ferramenta *Intersect*, cruzaram-se os dados de características pedológicas, energia do relevo, compartimentos de relevo, litologias, Áreas de Preservação Permanente, formas erosivas e bacia de captação direcionada à voçoroca. Com o *feature class* gerado com o cruzamento das informações mencionadas, criou-se uma nova coluna na tabela de atributos. Em um primeiro momento, analisando as informações de acordo com a Figura 64, classificaram-se os terrenos da classe I, uma vez que, em suma, um único elemento o caracteriza como de maior restrição.

Posteriormente, selecionando pela forma de relevo, observando as combinações presentes, organizaram-se as demais classes.

A aplicação da referida metodologia demanda um universo amplo de dados e de conhecimentos especializados, como: 1) o mapeamento dos compartimentos de relevo, que exige um conhecimento geomorfológico na identificação dos topos, fundos de vale e na diferenciação das vertentes nas isoípsas; 2) no levantamento das litologias, que demandam conhecimento das características das formações estudadas e suas influências no relevo e identificação destas diferenças nas isoípsas, fotografias aéreas e no campo; 3) na elaboração das cartas de morfometria do relevo, que carecem de conhecimentos específicos da geomorfologia, do *software* ArcMap e de considerável tempo para elaboração das quatro cartas, mesmo utilizando o procedimento automático; e 4) o reconhecimento da permeabilidade dos solos, sendo que para levantamento em campo foi necessário o martelo Ulhand e cilindros de coleta, e em laboratório, investimentos significativos e equipamentos para identificação da condutividade hidráulica.

Diante destas questões, foi elaborada uma segunda proposta, mais viável, removendo parte dos elementos supramencionados. Nesta nova proposta, utilizaram-se apenas os elementos declividade, características pedológicas de profundidade e textura da camada superficial e subsuperficial, Áreas de Preservação Permanente, bacia de captação direcionada à voçoroca e formas erosivas em ravinas e voçorocas.

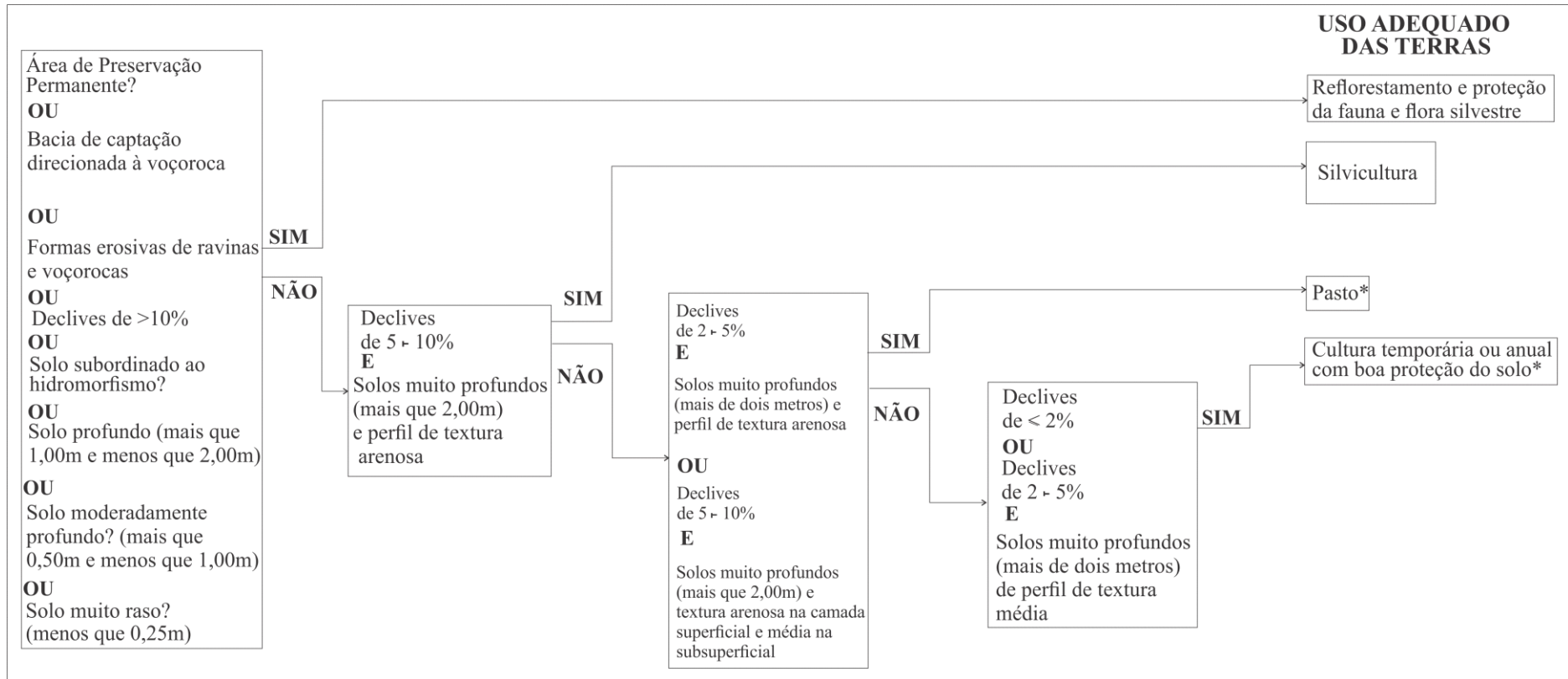
A remoção do dado de permeabilidade criou uma problemática quanto ao solo com mudança textural de arenosa (5) para média (3), uma vez que não permitiu distinguir diretamente as situações mais problemáticas, quando ocorre permeabilidade lenta em subsuperfície, ou menos, quando o perfil apresenta permeabilidade moderada (Quadro 9). Na ausência do dado de permeabilidade, verificou-se que esta mudança ocorre, sobretudo, nos terrenos com declives superiores a 10%.

Portanto, de modo a compreender os terrenos mais problemáticos da área estudada com menor quantidade de variáveis trabalhadas, optou-se por incluir os terrenos com declives de 10+15%, 15+47% e  $\geq 47\%$  como de maior restrição ao uso, uma vez que apresentam os maiores valores na média das ravinas e voçorocas (Quadro 10). Entende-se também que 10% representa uma margem de segurança, uma vez que o declive limite para uso de maquinário agrícola encontra-se hoje em 12 a 15%.

**Quadro 10:** Média da densidade normalizada das formas erosivas dos anos de 1963, 1979, 1997, 2011 e 2016 sobre as classes de declividade, sub-bacias do ribeirão Areia Dourada, Marabá Paulista (SP).

<b>Declividade (%)</b>	<b>Sulco</b>	<b>Ravina</b>	<b>Voçoroca</b>
$\leq 2$	0,13	0,00	0,00
<b>2-5</b>	0,47	0,01	0,00
<b>5-10</b>	0,87	0,07	0,01
<b>10-15</b>	0,83	0,25	0,08
<b>15-47</b>	0,68	0,54	0,30
$\geq 47$	0,69	1,00	1,00

Os levantamentos supramencionados e a avaliação conjunta dos dados, comparando-se com a proposta ideal para obter um resultado aproximado, resultaram na elaboração de uma segunda árvore de decisão (Figura 61).



**Figura 61:** Árvore de decisão para identificar o uso adequado das terras - proposta metodológica viável.

Nesta proposta, a classe I, em que o uso possível consiste apenas no reflorestamento e proteção da fauna e flora silvestre, apresentou oito elementos como definidores de maior restrição, independente da combinação com as demais variáveis. Destes elementos, sete foram idênticos à proposta ideal: Áreas de Preservação Permanente; solos profundos, pouco profundos, rasos e subordinados ao hidromorfismo; bacia de captação direcionada à voçoroca; formas em ravinas e voçorocas. A diferença ocorre em função do declive, considerando como definidor os terrenos com declives >10%.

A classe II compreendeu as áreas que admitem espécies de porte arbóreo, como a silvicultura. Nesta situação, encontram-se os terrenos com declives de 5-10% e solos muito profundos de perfil de textura arenosa por apresentarem maior concentração de ravinas dentre os solos muito profundos (Quadro 10), e, portanto, carecerem de maior proteção do solo.

A classe III, em que se admitem espécies herbáceas, como as gramíneas para pastagem, compreendeu os terrenos com declives de 2-5%, associado a qualquer característica pedológica, uma vez que neste declive não se constatou presença de voçoroca e registrou-se concentração muito baixa de ravinas (Quadro 11). Nesta classe, encontram-se também os terrenos com declives de 5-10% combinado a solos com mudança de textura de arenosa para média ou perfil de textura média, de menor concentração das formas erosivas.

A classe IV, de menor restrição e onde se admitem culturas anuais ou temporárias, restringiu-se aos declives  $\leq 2\%$  ou de 2-5% combinado a solos muito profundos com perfil de textura média, uma vez que esta textura reduz para zero a concentração de ravinas (Quadro 11).

Para o mapeamento das classes de uso adequado da terra em área rural degradada, foram utilizados os mesmos procedimentos descritos na proposta ideal, cruzando os dados necessários com a ferramenta *Intersect* e, em uma nova coluna, ao identificar a combinação dos elementos, adicionou-se a classe à qual pertence o terreno, de acordo com o exposto na Figura 63.

Sobre esta proposta, entende-se que houve uma maior facilidade de aplicação, uma vez que os procedimentos adotados foram de menor complexidade e de mais fácil elaboração, com menor dependência de conhecimentos específicos da geomorfologia e geologia, sendo necessários somente aqueles imprescindíveis para se avaliar uma área rural degradada, como a diferenciação das formas erosivas e a identificação do declive

dos terrenos. Quanto ao levantamento dos solos, há necessidade do uso de um trado para identificar a profundidade e coleta de materiais em subsuperfície, além de análises mais simplificadas, como da textura, realizada em laboratório, sendo esta técnica mais comum e de mais fácil acesso que o levantamento da permeabilidade por condutividade hidráulica.

A proposta ideal, trabalhosa e especializada, foi necessária para subsidiar a proposta viável. Esta, embora mais simplificada que a outra, ainda deve ser ajustada e pode incorporar novos parâmetros a partir dos resultados de sua aplicação em outras áreas.

Sobre as metodologias, convém destacar que as áreas de Reserva Legal, mesmo possuindo os limites das mesmas para a área estudada, não foram incluídas na árvore de decisão e, portanto, nos mapeamentos por dois motivos: consiste em um dado de difícil acesso e a localização da Reserva Legal, de acordo com a lei 12.651 (BRASIL, 2012) pode ocorrer em qualquer setor, independente das características físicas da área determinarem maior ou menor predisposição ao desenvolvimento dos processos erosivos. Deste modo optou-se apenas pelo uso das Áreas de Preservação Permanente, em que sua delimitação e localização são definidas de forma precisa pela referida Lei. No entanto, compreende-se que as áreas de Reserva Legal devem ser manejadas conforme a proposta para os terrenos a classe I, para reflorestamento e proteção da fauna e flora silvestre.

Na confecção da carta, utilizaram-se princípios do sistema semaforico, indicados na proposta da Geoecologia da Paisagem, de modo que os terrenos de maior restrição são identificados pela cor mais intensa, vermelho, variando até o verde, que identifica os de menor restrição.

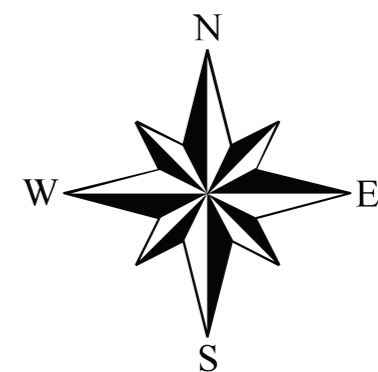
## **4.2 Análise dos resultados**

Neste tópico, apresentam-se os mapeamentos derivados das propostas ideal e viável, avaliando-se quantitativamente as concordâncias e discordâncias entre as classes de uso adequado das terras e, no cruzamento dos mapeamentos, do grau de diferença das classes entre as propostas. De modo a aferir as propostas em relação a outras situações, sobrepuseram-se aos mapeamentos mencionados as formas erosivas de 2016 e, por último, foram comparados os resultados ao mapeamento do Sistema de Capacidade de Uso das Terras.







Nos mapas das metodologias ideal (Figura 62) e viável (Figura 63) verificaram-se que os terrenos, sobretudo das sub-bacias N, W e SE, mais problemáticos em relação à quantidade e desenvolvimento das feições erosivas, encontraram-se, em sua maior parte, dentro da classe I, própria para reflorestamento e proteção da fauna e flora silvestre; enquanto a sub-bacia S, de menor problemática, apresenta maior área nas classes II e III.

USO ADEQUADO DAS TERRAS EM ÁREA RURAL DEGRADADA, PROPOSTA IDEAL,  
SUB-BACIAS DO RIBEIRÃO AREIA DOURADA,  
MARABÁ PAULISTA (SP)

400000  
7556000







CONVENÇÕES  
CARTOGRÁFICAS

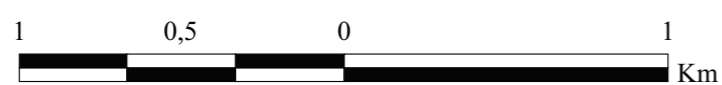
-  Canal fluvial
-  Açude
-  Curvas de nível (5 metros)
-  Limite da área estudada
-  Ponto cotado
-  Limite das propriedades

LEGENDA

Classes de uso adequado das terras  
em área rural degradada

-  **Classe I**  
Terras apropriadas para reflorestamento e proteção da fauna e flora silvestre e não adequadas para cultivos anuais ou perenes, pecuária ou silvicultura.
-  **Classe II**  
Terras apropriadas à culturas de porte arbóreo para silvicultura ou reflorestamento e proteção da fauna e flora silvestre e não adequadas para cultivos anuais, perenes ou pecuária.
-  **Classe III**  
Terras apropriadas à espécies herbáceas para pecuária, culturas de porte arbóreo para silvicultura ou reflorestamento e proteção da fauna e flora silvestre e não adequadas para cultivos anuais ou perenes.
-  **Classe IV**  
Terras apropriadas para cultivos anuais ou perenes, espécies herbáceas para pecuária, culturas de porte arbóreo para silvicultura ou reflorestamento e proteção da fauna e flora silvestre.

Escala gráfica



Projeção Universal Transverso de Mercator - Fuso 22  
Datum: SIRGAS 2000

7549000  
395000

Elaboração: ZANATTA, F. A. S.  
Orientação: LUPINACCI, C. M.; BOIN, M. N.

Fonte:

Elaborado pelo autor com base em:

GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO. Secretaria de Economia e Planejamento. **Plano cartográfico do estado de São Paulo**. Folhas: 057/019; 057/20; 058/19; 058/20. Carta Topográfica. Escala: 1: 10.000, equidistância entre as curvas de nível de 5 metros, Projeção UTM, 2000.

Cartas de energia do relevo, esboço da litologia, formas de relevo, características pedológicas e algumas informações das cartas geomorfológica de 2016 (formas erosivas e área de planície e terraço fluvial) e de unidades físicas (Áreas de Preservação Permanente) desenvolvidas nesta pesquisa.

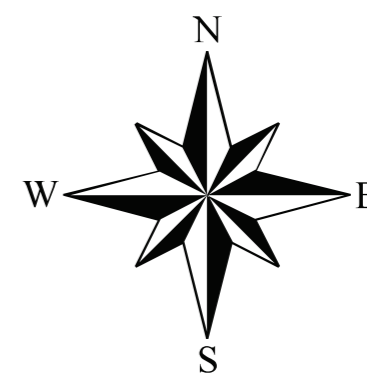
Apoio: 

Processo: nº 2015 / 00875-2







Figura 62: Carta de uso adequado das terras em área rural degradada, proposta ideal, sub-bacias do ribeirão Areia Dourada, Marabá Paulista (SP).

**USO ADEQUADO DAS TERRAS EM ÁREA RURAL DEGRADADA, PROPOSTA VIÁVEL,  
SUB-BACIAS DO RIBEIRÃO AREIA DOURADA,  
MARABÁ PAULISTA (SP)**

400000  
7556000



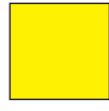



**CONVENÇÕES  
CARTOGRÁFICAS**

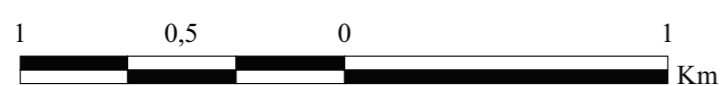
-  Canal fluvial
-  Açude
-  Curvas de nível (5 metros)
-  Limite da área estudada
-  Ponto cotado
-  Limite das propriedades

**LEGENDA**

**Classes de uso adequado das terras  
em área rural degrada**

-  **Classe I**  
Terras apropriadas para reflorestamento e proteção da fauna e flora silvestre e não adequadas para cultivos anuais ou perenes, pecuária ou silvicultura.
-  **Classe II**  
Terras apropriadas à culturas de porte arbóreo para silvicultura ou reflorestamento e proteção da fauna e flora silvestre e não adequadas para cultivos anuais, perenes ou pecuária.
-  **Classe III**  
Terras apropriadas à espécies herbáceas para pecuária, culturas de porte arbóreo para silvicultura ou reflorestamento e proteção da fauna e flora silvestre e não adequadas para cultivos anuais ou perenes.
-  **Classe IV**  
Terras apropriadas para cultivos anuais ou perenes, espécies herbáceas para pecuária, culturas de porte arbóreo para silvicultura ou reflorestamento e proteção da fauna e flora silvestre.

**Escala gráfica**



Projeção Universal Transverso de Mercator - Fuso 22  
Datum: SIRGAS 2000

7549000  
395000

Elaboração: ZANATTA, F. A. S.  
Orientação: LUPINACCI, C. M.; BOIN, M. N.

**Fonte:**

Elaborado pela autor com base em:

GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO. Secretaria de Economia e Planejamento. **Plano cartográfico do estado de São Paulo**. Folhas: 057/019; 057/20; 058/19; 058/020. Carta Topográfica. Escala: 1: 10.000, equidistância entre as curvas de nível de 5 metros, Projeção UTM, 2000.

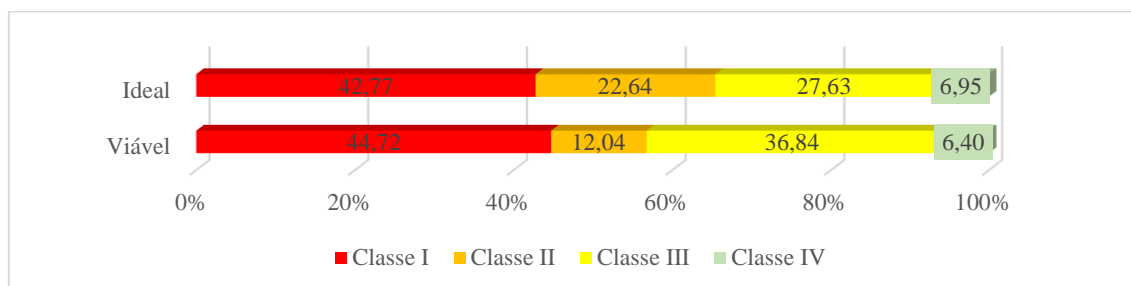
Carta de declividade e algumas informações das cartas de características pedológicas (profundidade, textura e solos subordinados ao hidromorfismo), geomorfológica de 2016 (formas erosivas e área de planície e terraço fluvial) e de unidades físicas (Áreas de Preservação Permanente) desenvolvidas nesta pesquisa.

Apoio: 

Processo: nº 2015 / 00875-2

**Figura 63:** Carta de uso adequado das terras em área rural degradada, proposta viável, sub-bacias do ribeirão Areia Dourada, Marabá Paulista (SP).

Quantitativamente, registrou-se baixa diferença entre as classes de uso adequado da terra. A proposta viável, em relação à ideal, apresentou 1,95% a mais de terrenos na classe I e 0,55% a menos na classe IV (Figura 64). As diferenças mais significativas ocorreram entre as classes II e III, de maneira que a proposta viável, em relação à ideal, apresentou redução de 10,6% da área da classe II, com aumento da classe III em 9,21% (Figura 64).



**Figura 64:** Área (%) das classes de uso adequado da terra em área rural degradada, metodologia ideal e viável, sub-bacias do ribeirão Areia Dourada, Marabá Paulista (SP).

Na sobreposição das cartas de uso adequado de ambas as propostas (Figura 65 e Figura 66), levantou-se que 62,42% da área estudada apresentou a mesma classe de uso adequado das terras (Quadro 11). A não concordância entre os mapeamentos da proposta ideal para a viável ocorreu na ordem de mudança de apenas um grau (+1 ou -1), como, por exemplo da classe III para a classe II, enquanto alterações mais expressivas, de grau dois e três, positivo ou negativo, foram pouco representativas quantitativamente, ocorrendo em 6,42% da área, sendo o grau -3 em apenas 0,04% (Quadro 11).

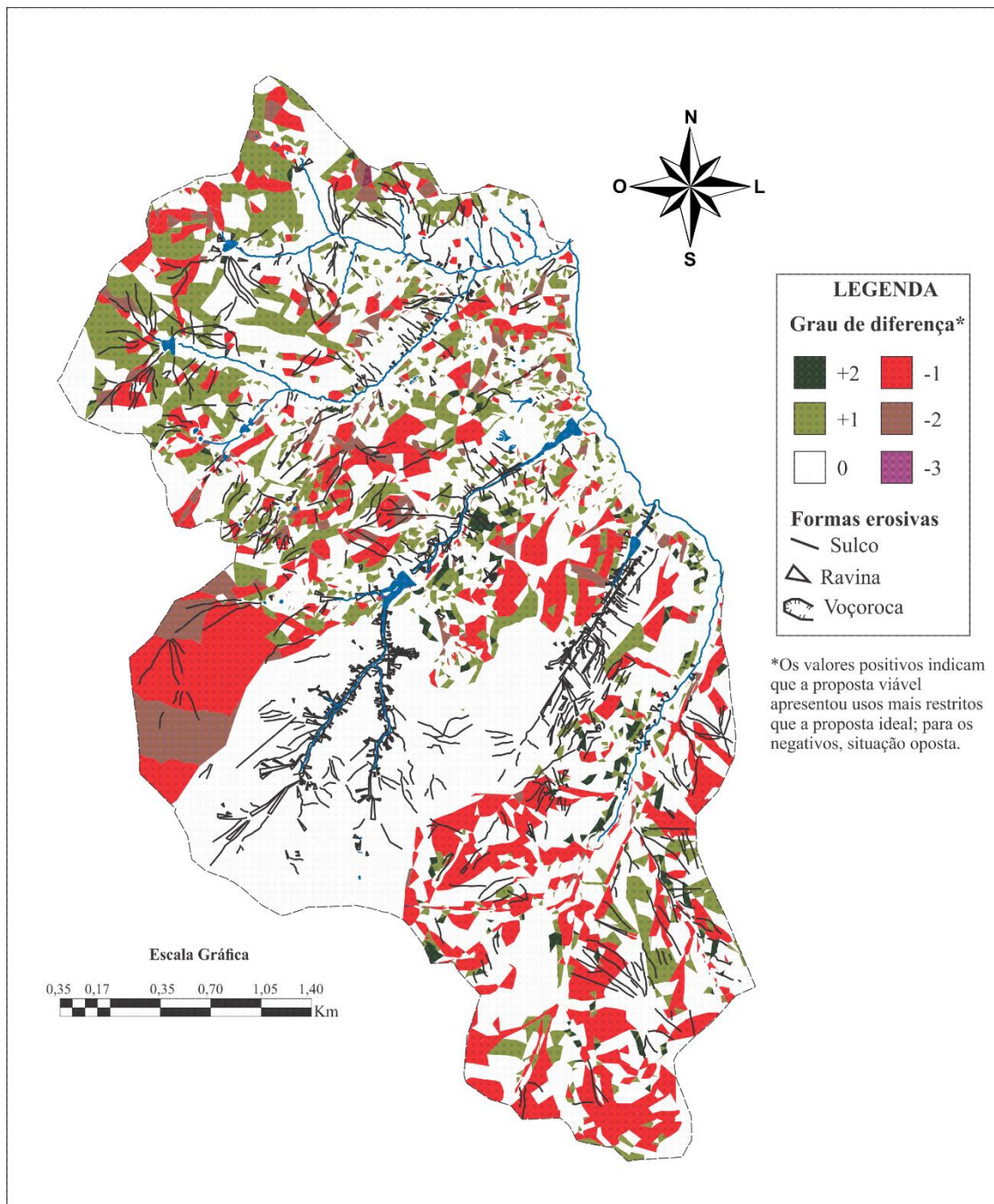
**Quadro 11:** Diferenças das metodologias ideal para a viável, sub-bacia do ribeirão Areia Dourada, Marabá Paulista (SP).

Grau de diferença*	Área (%)
+2	2,47
+1	15,16
0	62,42
-1	16,01
-2	3,91
-3	0,04

\*Os valores positivos indicam que a proposta viável apresentou uso mais restritivo, que visa proteger melhor o solo, que a proposta ideal; para os negativos, situação oposta.

A diferença de grau -3 ocorreu ao N da sub-bacia N, em área de topo (Figura 68), em que na proposta ideal encontrou-se na classe I, devido à energia do relevo, enquanto

na viável na classe IV. Comparando o grau de diferença entre os mapeamentos, registra-se que os setores mais problemáticos da bacia não apresentaram discordância (Figura 65).



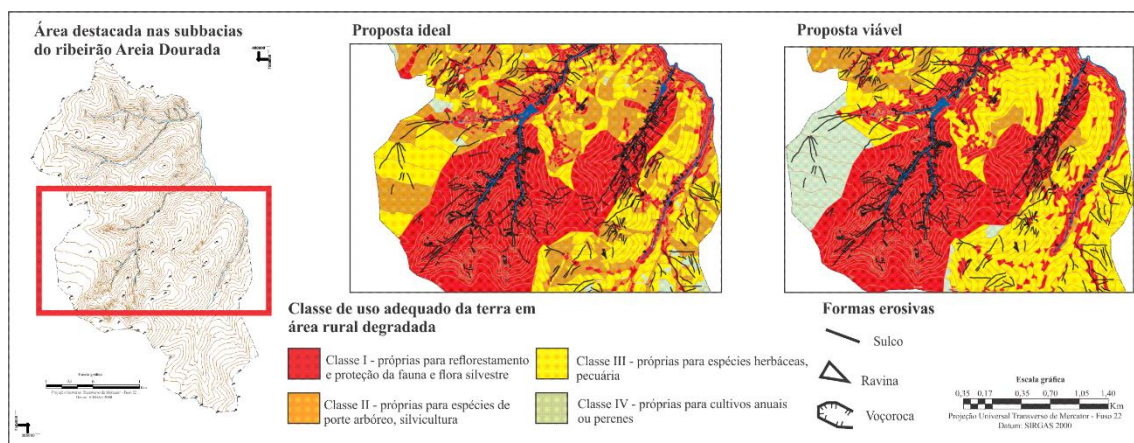
**Figura 65:** Grau de diferença das classes de uso adequado das terras da metodologia ideal para a viável. Sub-bacias do ribeirão Areia Dourada, Marabá Paulista (SP).

As diferenças mais significativas ocorreram na sub-bacia S, principalmente as negativas de grau um. Nesta sub-bacia, no comparativo com as demais da área estudada, as características físicas deflagram baixo potencial à formação e desenvolvimento de processos erosivos, onde não se encontrou processo de voçorocamento ou significativa

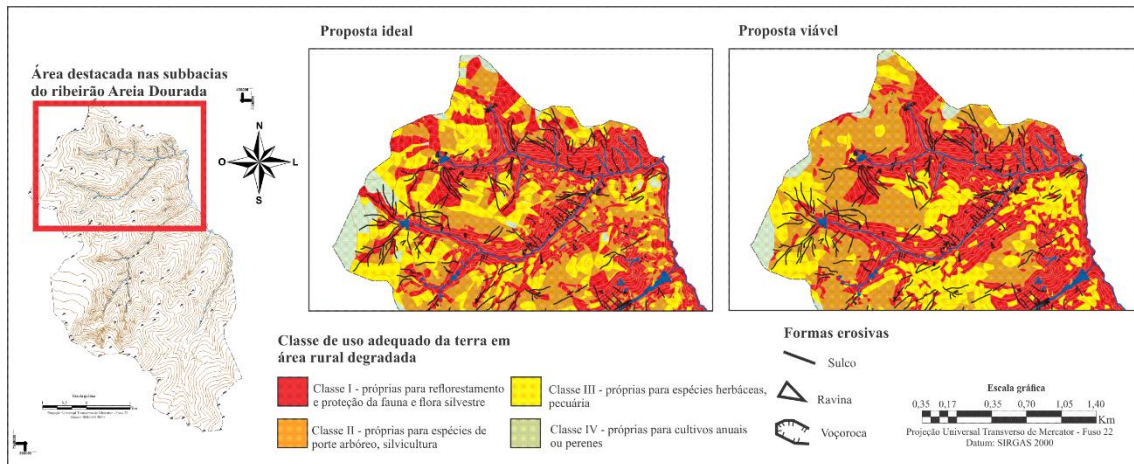
concentração de formas erosivas em ravina, de modo a considerar-se que tal mudança não representa um problema. Ainda, na baixa vertente, setor de maior potencial erosivo, a proposta viável apresentou-se mais restritiva, com as diferenças sendo positivas em grau um e dois (Figura 65).

Na proposta ideal, verificou-se que a classe IV ocorreu preferencialmente sobre áreas de topos, nas vertentes retilíneas e convexas com energia fraca e muito fraca e solos de textura média (Figura 62). Já na proposta viável, em que se avaliou principalmente o baixo declive, a classe IV ficou restrita às maiores altitudes, próximos ao limite da área estudada (Figura 63). No entanto, a maior contradição na espacialização da classe IV ocorreu a W da sub-bacia W, onde esta extensa área com baixo declive ficou caracterizada, na proposta viável, com classe IV, enquanto na proposta ideal, pela combinação entre energia do relevo, devido à dissecação vertical, e de vertente irregular, esta mesma área variou entre a classe II e III, resultando em uma diferença de grau -1 e -2 (Figura 65).

Os terrenos mais problemáticos da bacia estudada, quando cruzados os mapeamentos das propostas ideal e viável com as feições erosivas, encontraram-se na classe I, de maior restrição em ambas as metodologias (Figura 66 e Figura 67). Nas figuras, os terrenos com maior número de feições erosivas, sobretudo de ravinhas e voçorocas, encontraram-se na classe I devido, principalmente, ao efeito de borda das formas erosivas na área de captação direcionada à voçoroca.



**Figura 66:** Mapeamentos das propostas ideal e viável e as feições erosivas (2016) na sub-bacia S, SE e W.



**Figura 67:** Mapeamentos das propostas ideal e viável e as feições erosivas (2016) na sub-bacia N.

Nos demais casos, na ausência de processo de voçorocamento, as ravinas incidem próximas aos fundos de vale, nas concavidades e em terrenos com energia muito forte ou forte, pela proposta ideal, ou terrenos com declive superior a 10%, na proposta viável. O entorno destes setores que apresentaram características propícias ao desenvolvimento de tais feições, em ambas as metodologias, encontrou-se também sobre a classe I.

Na Figura 66, com destaque a sub-bacia S, algumas ravinas ocorreram em terrenos cujo entorno se encontra sobre a classe II ou III. Entende-se que nestas áreas o que proporcionou o desenvolvimento destas feições foi o uso inadequado e contínuo, uma vez que as características físicas apontaram para o baixo potencial à formação e desenvolvimento de tais processos. Assim, a ação direta sobre a feição e o uso adequado dos terrenos de entorno devem potencialmente reduzir o efeito erosivo.

Ao avaliar os mapeamentos produzidos pelas metodologias sugeridas, constatou-se uma significativa diferença em relação à proposta de Lepsch (et. al, 1983), a qual se apresentou pouco restritiva para uma área rural e degradada como a estudada nesta pesquisa. Na referida proposta, apenas 4,57% da área encontraram-se na classe de maior restrição (Figura 53), que representou uma área 10 vezes menor que a proposta ideal e viável. Na proposta de Lepsch (et al., 1983), a maior parte da área estudada foi classificada como própria para cultivos temporários ou anuais, ocupando 84,87% de toda área estudada - os autores ainda diferenciam este grupo em quatro distintas classes, aumentando a restrição a tais cultivos e a quantidade de técnicas conservacionistas necessárias - enquanto nas propostas apresentadas nesta pesquisa, esta classe, em que as espécies cultivadas oferecem menor proteção aos solos, ocupou uma área 14 vezes menor.

Nos mapas das propostas ideal e viável identificaram-se os setores potenciais para formação e desenvolvimento dos processos erosivos lineares, aumentando a restrição ao uso da terra pelo histórico erosivo, bem como, utilizando este histórico para entender os mecanismos pelos quais a erosão se faz, ao identificar o efeito de borda das formas erosivas nas bacias de captação direcionadas à voçoroca. A partir de tais considerações, as metodologias apresentaram-se muito mais restritivas que a proposta por Lepsch (et al., 1983), a qual tem como fundamento o maior uso agrícola possível, enquanto nesta pesquisa visou-se a maior proteção possível dos terrenos.

Um comparativo entre as metodologias propostas possibilitou constatar que a viável apresentou maior área destinada ao reflorestamento e proteção da fauna e flora silvestre que a ideal, diferenciando-se também nas demais classes, de modo a apresentar menor variação espacial das áreas para um tipo característico de cultivo em que apenas uma classe ocupa uma área mais contínua da bacia estudada. Já a proposta ideal, que se mostrou de difícil aplicabilidade, ainda, pelo maior número de variáveis utilizadas, proporcionando maior fragmentação da área entre as classes de uso adequado, o que, possivelmente, pode criar dificuldades para seu uso prático.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente pesquisa se assentou na ideia de que, para um ambiente rural e degradado, a proposição do uso da terra deve partir dos processos erosivos, do entendimento da dinâmica de tais processos, dos mecanismos pelos quais as formas erosivas evoluem, da influência antrópica e dos setores com maior tendência à formação e desenvolvimento da erosão.

Para identificar a dinâmica erosiva em um ambiente rural e degradado, utilizaram-se duas distintas metodologias: da cartografia geomorfológica retrospectiva, que possibilitou identificar os mecanismos pelos quais a erosão evoluiu ao longo de 53 anos; e a adaptação da metodologia da geoecologia da paisagem, em que se levantou, através do histórico erosivo, o grau de influência das variáveis na formação e desenvolvimento de tais processos. Por fim, buscando uma orientação mais específica para definir o uso adequado das terras, uma vez que existe uma lacuna na geografia a respeito desta definição em específico, aplicou-se a proposta de Lepsch (et. al, 1983), do Sistema de Capacidade de Uso.

A partir da aplicação e análise das três metodologias supramencionadas, identificou-se que essas não contemplam as questões necessárias para se atingir os objetivos desta pesquisa, contudo apresentaram aspectos complementares que auxiliaram a avaliação de cenários rurais e degradados, os quais foram utilizados para a estruturação da metodologia criada. Ainda, para se chegar a esta conclusão, foi necessária a adaptação das três metodologias para o universo estudado.

A metodologia da cartografia geomorfológica retrospectiva possibilitou identificar o efeito de borda das formas erosivas na bacia de captação direcionada à voçoroca e a ineficiência das técnicas conservacionistas tradicionais, em que se registraram situações de efeito oposto ao desejado, com aumento de todas as formas erosivas após o uso de terraços agrícolas e bacias de contenção – cabe destacar que tais constatações representam um possível indicativo, que ainda carecem de experimentos de campo para sua comprovação. Sobre o efeito de borda, cabe ressaltar a dificuldade de encontrar pesquisas que trabalhem com a temática, sobretudo as que tratam da erosão do solo, sendo, portanto, a contribuição desta metodologia fundamental para este trabalho. A geoecologia da paisagem, por abranger amplo número de variáveis do meio físico, aliada às adaptações feitas nesta pesquisa, contribuiu ao identificar aquelas com maior e menor tendência à formação e desenvolvimento dos processos erosivos, indicando as

combinações por onde a erosão preferencialmente evolui. Enquanto a metodologia do Sistema de Capacidade de Uso proporcionou uma visão agrônômica sobre a possibilidade de uso da terra.

Com o significativo volume de informações levantadas através dos trabalhos de campo, mapeamentos e análises feitas nesta pesquisa, foi possível atingir o objetivo proposto.

Em um primeiro momento, estruturou-se uma proposta considerada ideal. Através das observações e do volume de informações geradas, agruparam-se aquelas mais representativas em uma árvore de decisão, a qual visou facilitar a leitura sobre a metodologia proposta. No entanto, o volume significativo de informações resultou na elaboração de uma metodologia muito trabalhosa, com altos custos de equipamentos e análises laboratoriais, com a necessidade de uma visão especializada e uma elevada demanda de tempo para sua preparação. Embora considerada ideal, tal proposta se apresentou de difícil aplicação, o que praticamente compromete as possibilidades de reaplicação da mesma, em pesquisas em outros ambientes, por proprietários ou órgãos públicos competentes à temática trabalhada.

Através desta constatação, buscou-se a elaboração de uma segunda proposta, a qual foi denominada como viável. Nessa, elencaram-se os elementos de mais fácil e rápida elaboração, com menor custo em equipamento e análises para os levantamentos necessários. Utilizou-se da estrutura da árvore de decisão e, considerando os resultados obtidos com a proposta ideal, foram selecionadas variáveis que proporcionassem resultados semelhantes, organizando-se as classes de uso adequado das terras.

No comparativo entre as metodologias elaboradas nesta pesquisa, destaca-se que, embora ausentes variáveis que se mostraram significativas no entendimento da dinâmica erosiva da área estudada, como litologia, formas e energia do relevo, conseguiu-se atingir resultados adequados com a proposta viável. Nessa, os terrenos com maior concentração de formas erosivas também foram enquadrados na classe I, de reflorestamento e proteção de fauna e flora silvestre.

O menor uso de variáveis na proposta viável proporcionou em menor variação da classe de uso adequado da terra, isto é, maior continuidade espacial nos usos sugeridos, o que se demonstrou mais significativo para o uso prático, considerando o universo estudado e as práticas agrícolas estabelecidas. Diferentemente disso, a proposta ideal fragmentou em demasia a área estudada entre as classes de uso adequado.

As propostas elaboradas nesta pesquisa permitiram trabalhar com elementos, sobretudo a proposta viável, que possibilitam tentativas de replicar em outros ambientes rurais e degradados, em outros contextos geológicos e geomorfológicos. Cabe destacar ainda que se construiu uma estrutura, de modo que a validação final da pesquisa depende de futuras aplicações da metodologia proposta em outros cenários com problemas erosivos, contudo com características diferenciadas do meio físico.

## REFERÊNCIAS

AB’SÁBER, A. N.A Geomorfologia do estado de São Paulo IN: CONSELHO NACIONAL DE GEOGRAFIA (Brasil) (org.). **Aspectos geográficos da Terra Bandeirantes**. Rio de Janeiro, IBGE, 1954

AGOSTINHO, M.B. **Reconhecimento geológico (Formação Santo Anastácio e Adamantina) e apelobiológico (*mesoeucrocodylia baurusuchidae* e *sphgesbauridade*) na região Noroeste do estado de São Paulo**. Dissertação (Mestrado em Geologia Regional). Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro (SP), 2009. 155f.

ALMEIDA, F. F. M. Os fundamentos geológicos do relevo paulista. **Boletim IGC**, São Paulo, v.31, p.169-263, 1964.

BARROS, F. A. **Efeito de borda em fragmentos de floresta montana, Nova Friburgo – RJ**. Dissertação (Mestrado em Ciência Ambiental). Universidade Federal Fluminense, Niterói (RJ). 2006. 100f.

BARRETO, M. J.; THOMAZ Jr., A. O cenário do agronegócio canavieiro na região do Pontal do Paranapanema. **Anais... XIX Encontro Nacional de Geografia Agrária**.v.1, n.1, 2012, p.1-19.

BASTOS, A. S.; MANIESI, V.; GOMES, F. B. Vulnerabilidade natural à erosão no sudoeste da Amazônia associada aos seus modos de ocupação – o caso do entorno da terra indígena Uru Eu Wau Wau. **Revista Brasileira de Geomorfologia**. v.16, nº 2, p.271-282, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v16i2.386>

BERTONI, J; LOM BARDI-NETO, F. **Conservação do solo**. São Paulo: Ícone, 1990.

BOIN, M. N. **Chuvvas e erosão no Oeste Paulista**: uma análise climatológica aplicada. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente), Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2000. 264p.

BOIN, M. N.; GOMES, F. L.; CREPALDI, V. J. DIBIESO, E. P. Formas de ocorrência do aquífero Adamantina e suas implicações na ocupação do solo na cidade de Pres. Prudente/SP. In: II SEMANA DE GEOGRAFIA, 2000. **Anais...** Presidente Prudente: FCT. 2000. p.?

BRASIL, **Lei nº 6766, de 19 de dezembro de 1979**. Dispões sobre o Parcelamento do Solo Urbano e dá outras Providências. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/L6766.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L6766.htm)>. Acesso em: 6 abril 2015.

BRASIL, Constituição (1988). **Constituição da República Federativa do Brasil**: promulgada em 5 de outubro de 1988: atualizada até a Emenda Constitucional nº91 de 18/02/2016. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/constituicao/constituicaocompilado.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicaocompilado.htm)> . Acesso em 20 mai. 2017.

BRASIL, **Lei nº 6938, de 31 de agosto de 1981**. Dispõe sobre a Política Nacional de Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Disponível em: < [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/16938.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/16938.htm)>. Acesso em: 8 nov. 2016.

BRASIL, **Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012**. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. [2012]. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2011-2014/2012/lei/112651.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112651.htm)>. Acesso em: 8 nov. 2016.

CABECAUER, T.; HOFIERKA, J. The consequences of land cover changes on soil erosion distribution in Slovakia. **Geomorphology** (98), p.187-198, 2008.

CARVALHO, W. A. (coord.). **Levantamento semidetalhado dos solos da bacia do rio Santo Anastácio-SP**. Presidente Prudente, São Paulo: FCT- UNESP, 1997. v.1 e v.2.

CUNHA, C. M. L. **A cartografia do relevo no contexto da gestão ambiental**. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 128f., 2001.

CUNHA, C. M. L.; MENDES, I. A.; SANCHEZ, M. C. A cartografia das perdas de solo por erosão e a propriedade rural: a busca de uma unidade espacial de mapeamento. **Geografia**, Rio Claro, vol. 24(2), p.21-35, 1999.

DE BIASI, M. A carta clinográfica: os métodos de representação e sua confecção. **Revista do Departamento de Geografia**, Universidade de São Paulo (USP), v.6, 1992, p.45-60.

DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA (DAEE); INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. **Controle de erosão: bases conceituais e técnicas; diretrizes para o planejamento urbano e regional; orientações para o controle de boçorocas urbanas**. São Paulo: DAEE/IPT, 1989.

DIAS, R. L. **Zoneamento Geoambiental da região do litoral sul do estado de São Paulo como subsídio ao uso e ocupação das terras: um estudo de caso dos municípios de Iguape, Ilha Comprida e Cananéia**. Dissertação (Mestrado em Geografia, análise ambiental e dinâmica territorial). Universidade Estadual de Campinas. 2012. 201f.

DIBIESO, E. P. **Planejamento ambiental e gestão dos recursos hídricos: estudo aplicado à bacia hidrográfica do manancial do alto curso do rio Santo Anastácio – São Paulo/Brasil**. Tese (Doutorado em Geografia). Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2012. 231f.

DITT, E. H. **Fragmentos florestais no Pontal do Paranapanema**. São Paulo: IPÊ, 2002.

FENDRICH, R.; OBLADEN, N. L.; AISSÉ, M. M.; GARCÍAS, C. M. **Drenagem e controle da erosão urbana**. 4ª edição. Curitiba: Champagnat, 1997.

FERNANDES, L.A. **Estratigrafia e evolução geológica da parte oriental da Bacia Bauru (Ks, Brasil)**. 1998. Tese (Doutorado em Geologia Sedimentar) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998. 216p.

FERNANDES, L. A.; COIMBA, A. M. O Grupo Caiuá (Ks): Revisão estratigráfica e contexto deposicional. **Revista Brasileira de Geociências**. vol., 24 (3), p. 164-176, 1994.

FERRARI LEITE, J. **A ocupação do Pontal do Paranapanema**. São Paulo: 1999.

FERREIRA, M. V.; TINÓS, T. M.; PINTON, L. G.; CUNHA, C. M. L. A dissecação horizontal como parâmetro morfométrico para avaliação do relevo: proposta de técnica digital automática. **Revista Brasileira de Geomorfologia**. V.15, nº 4, p. 585- 600, 2014.

FERREIRA, M. V.; TINOS, T. M.; PINTON, L. G.; CUNHA, C. N. L. A cartografia de dissecação vertical para avaliação do relevo: proposta de técnica automática. **Revista Brasileira de Cartografia** (Impresso), 2015.

*FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). Status of the World's Soil Resources*. Roma: *Food and Agriculture Organization Nations*, 2015.

FLORENZANO, T. G. **Iniciação em sensoriamento remoto**. São Paulo: Oficina de Textos, 2017.

FOOKES, P. G.; LEE, E. M.; GRIFFITHS, J. S. **Engineering geomorphology: theory and practice**. Dunbeath: Whittles Publishing, 2007.

GARCÍA-RUIZ, J. M.; NADAL-ROMERO, E.; LANA-RENAULT, N.; BEGUERÍA, S. Erosion in Mediterranean Landscapes: Changes and future challenges. **Geomorphology**. v.198, p. 20-36, 2013.

GOVERNO FEDERAL. Base de download do SICAR. Disponível em: <<http://www.car.gov.br/publico/municipios/downloads?sigla=SP>> . Acesso em: 20 de dezembro de 2016.

GUEDES, I. C.; ETCHEBEHERE, M. L. C.; MORALES, N.; STEVAUX, J. C.; SANTONI, G. C. Análise morfotectônica da bacia do rio Santo Anastácio, SP, através de parâmetros fluvio-morfométricos e de registros paleossísmicos. **Geociências**, v.28, n.4, p.247-362, 2009.

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

GUERRA, A.J.T.; GONÇALVES, L.F.H. LOPES, P.B.M. Evolução histórico-geográfica da ocupação desordenada e movimentos de massa no Município de Petrópolis, nas últimas décadas. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v.8, n.1, 2007.

GUERRA, A.T. **Dicionário Geológico-Geomorfológico**. 1ª edição. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1954.

GUERRA, A. T. **Dicionário Geológico-Geomorfológico**. 2ª edição. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1966.

GUERRA, A. T. **Dicionário Geológico-Geomorfológico**. 3ª edição. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1969.

GUERRA, A. T.; **Dicionário Geológico-Geomorfológico**. 4ª edição. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1975.

GUERRA, A. T.; GUERRA, A.J.T. **Dicionário Geológico-Geomorfológico**. 5ª edição. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1997.

GUERRA, A. T.; GUERRA, A.J.T. **Dicionário Geológico-Geomorfológico**. 8ª edição. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2010.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Manual técnico de vegetação brasileira**. 2ª edição. Rio de Janeiro, IBGE: 2012.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Manual Técnico de Uso da Terra**. 3ª edição. Rio de Janeiro: IBGE, 2006.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS (IPT); DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA (DAEE). **Controle de erosão**: bases conceituais e técnicas; diretrizes para o planejamento urbano e regional; orientações para o controle de boçorocas urbanas. São Paulo: DAEE/IPT, 1981.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (IPT, 1994). **Orientações para controle de erosão na bacia do Rio Santo Anastácio – 3ª fase**, IPT. Relatório, N°32.257, 1994, [s.n.].

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS (IPT, 2012). **Cadastramento de pontos de erosão e inundação no estado de São Paulo, Relatório Técnico N° 131.057-205**, [s.n.].

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS (IPT), 2015. **Cadastro de erosões e inundações**. Disponível em: <[http://www.ipt.br/noticias\\_interna.php?id\\_noticia=928](http://www.ipt.br/noticias_interna.php?id_noticia=928)>. Acesso em: 09 de fevereiro de 2017.

JORGE, M.C.O.; GUERRA, A.J.T. Erosão dos solos e movimentos de massa – recuperação de áreas degradadas com técnicas de bioengenharia e prevenção de acidentes. In: GUERRA, A.J.T.; JORGE, M.C.O. (org.). **Processos erosivos e recuperação de áreas degradadas**. São Paulo: Oficina de textos, 2014. 192p.

KARMAN, I. Ciclo da água: água subterrânea e sua ação geológica. In: TEIXEIRA, W.; TOLEDO, M. C. M.; FAIRCHILD, T. R.; TAIOLI, F (org.). **Decifrando a Terra**. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 2008. 557p.

LAL, R. **Soil erosion in the tropics**: principles and management. New York: McGraw-Hill, 1990.

LEPSCH, I. F.; BELINAZZI Jr., D.; ESPINDOLA, C. R. **Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação das terras no sistema de capacidade de uso.** 4ª aproximação. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciências do Solo, 1983.

LESSCHEN, J. P.; CAMMERAAT, L. H.; NIEMAN, T. Erosion and terrace failure due to agricultural land abandonment in a semi-arid environment. **Earth Surface Processes and Landforms.** v.33, p. 1574-1584, 2008.

MARÇAL, M. S.; GUERRA, A.J.T. Indicadores Ambientais Relevantes para a Análise da Suscetibilidade à Erosão dos Solos em Açailândia (MA). **Revista Brasileira de Geomorfologia,** v.4, n.2, p.01-16, 2003.

MARKER, M.; ANGELI, L.; BOTTAI, L.; COSTANTINI, R.; FERRARI, R.; INNOCENTI, L.; SICILIANO, G. Assessment of land degradation susceptibility by scenario analysis: A case study in Southern Tuscany, Italy. **Geomorphology.** (93), p. 120-129, 2008.

MATA, C. L.; CARVALHO JR, O. A.; CARVALHO, A.P.F.; GOMES, R.A.T.; MARTINS, E.S.; GUIMARÃES, R.F. Avaliação multitemporal da susceptibilidade erosiva da bacia do rio Urucuia (MG) por meio da equação universal de perda de solo. **Revista Brasileira de Geomorfologia,** v.8, n.2, 2007.

MENDES, I. A. **A dinâmica erosiva do escoamento pluvial na bacia do Córrego Lafon – Araçatuba – SP.** 1993. 171 f. Tese (Doutorado em Geografia Física). Faculdade de Filosofia Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993.

MONBEIG, P. **Pioneiros e Fazendeiros de São Paulo.** São Paulo: HUCITEC, 1984.

NEGREIROS, A. B.; COLEHO NETTO, A. L. Reabilitação funcional de clareira de deslizamento em encosta íngreme no domínio da floresta atlântica, Rio de Janeiro (RJ). **Revista Brasileira de Geomorfologia.** v.10, n.1, p.85-93, 2009.

OLIVEIRA, R. C. **Zoneamento ambiental como subsídios para o planejamento de uso e ocupação do solo no Município de Corumbataí (SP).** 149p. Tese (Doutoramento em Geociências e Meio Ambiente) – Universidade Estadual Paulista. Rio Claro, 2003.

OLIVEIRA, M. A. T. Processos erosivos e preservação de áreas de risco de erosão por voçoroca. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M. (Org.). **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações.** 8ª edição. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2012.

PAISANI, J. C. Gênese de Lamelas (“estruturas de dissipação”) Associadas à Evolução de Paleosolos em Rampa Arenosa, Praia Mole (Ilha de Santa Catarina)/ SC, Brasil: subsídios para uma interpretação paleogeomorfológica. **Revista Brasileira de Geomorfologia.** v.5, n.1, p.29-42, 2004.

PASCHOAL, L. G.; CONCEIÇÃO, F. T.; CUNHA, C. M. L. Utilização do ArcGis 9.3 na elaboração de simbologias para mapeamentos geomorfológicos: uma aplicação na área

do complexo argileiro de Santa Getrudes/SP. In: VIII SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA. **Anais...** Recife: UGB, 2010. p.1-14.

PEREZ-FILHO, A.; QUARESMA, C. C. Ação antrópica sobre as escalas temporais dos fenômenos geomorfológicos. **Revista Brasileira de Geomorfologia**. v.12, n °3, p. 83-90, 2011.

QUARESMA, C. C. **Reativação da rede de drenagem e processos erosivos na bacia do rio Santo Anastácio – SP/BRASIL**: contribuições à geomorfologia antrópica e ao entendimento das organizações espaciais. Tese (Doutorado em Geografia), Universidade Estadual de Campinas.

RODRIGUES, J. O. N.; PERUSI, M. C.; PETERLINI, G. H. C.; TIEZZI, R. O.; PISANI, R. J.; SANTANA, E. L. R. Variações texturais dos Latossolos Vermelhos do assentamento rural Antonio Conselheiro – Mirante do Paranapanema (SP). **Geografia em Atos**, n.6, v.1, Presidente Prudente, 2006.

RODRIGUEZ, J. M. M; MAURO, C. A.; RUSSO, I. L.; SILVA, C. M. S.; BOVO, R.; ARCURI, M. E. P.; MARINHO, V. L. F. Análise da paisagem como base para uma estratégia de organização geoambiental: Corumbataí (SP). **Revista GEOGRAFIA**, Rio Claro, vol. 20 (1), p. 81-129 1995.

RODRIGUEZ, J. M. M; SILVA, E. V.; CAVALCANTI, A. P. B. **Geoecologia das paisagens**: uma visão geossistêmica da análise ambiental. Fortaleza (CE): Editora UFC, 2004. 222 p.

RODRIGUEZ, J. M.; SILVA, E. V.; CAVALCANTI, A. O. B. **Geoecologia das paisagens**: uma visão geossistêmica da análise ambiental. Fortaleza: Editora UFC, 2004.

SALOMÃO, F. X. T. Controle e prevenção dos processos erosivos. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M. (Org.). **Erosão e conservação dos solos**: conceitos, temas e aplicações. 8ª edição. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2012.

SANTOS, R. D.; SANTOS, H. G.; KER, J. C.; ANJOS, L; H. C.; SHIMIZU, S. H. **Manual de descrição e coleta de solo em campo**. 7ª edição. Viçosa (MG) Sociedade Brasileira de Ciências do Solo, 2015. 100 p.

SANTOS, R. F. **Planejamento Ambiental**: teoria e prática. São Paulo: Oficina de textos, 2004. 184p.

SILVA, R.V. Estimativa de faixa vegetativa para zona ripária: uma revisão. In: **I Seminário de Hidrologia Florestal: zonas ripárias**. 2003, Anais... Alfredo Wagner (SC): PPGEA/UFSC, 2003, p.74-86.

SIMON, A. L. H. **A dinâmica de uso da terra e sua interferência na morfologia da bacia do Arroio Santa Bárbara – Pelotas (RS)**. Dissertação (Mestrado em Geografia – Organização do espaço) Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 185f., 2007.

SOIL SURVEY STAFF. **Soil Survey Manual**. USDA: Soil Conservation Service, Agricultural Handbook. Nº 18, U. S. Gov. Print: Office, Wahsington, D. C. 1993 .

SOUZA, T. A.; REGINA, C. O. Avaliação da potencialidade de imagens tridimensionais em meio digital para o mapeamento geomorfológico. **REVISTA GEONORTEN**. Edição especial, v.2, n.4, 2012, p.1348-1355.

STEIN, D. P. **Avaliação da degradação do meio físico. Bacia do rio Santo Anastácio. Oeste Paulista**. 197p; Tese (Doutoramento em Geociências e Meio Ambiente), Universidade Estadual Paulista. São Paulo, 1999.

STEIN, D. P.; PONÇANO, W. L.; SAAD, A. R. Erosão na bacia do Rio Santo Anastácio, Oeste do estado de São Paulo, Brasil. **Revista Geociências**. v.22, n.2, p.143-161, 2003.

SPIRIDONOV, A. I. **Principios de la metodologia de las investigaciones de campo y el mapeo geomorfológico**. Havana: Universidad de la Habana, 1981. Vol.3, 650p.

TOLEDO, M. C. M.; FAIRCHILD; T. R.; TAIOLI, F. (Org.). **Decifrando a terra**. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 2008.

SUDO, H.; GODOY, M. C. T. F.; FREIRE, O. O processo erosivo na bacia do rio Santo Anastácio. *In*: 3º Encontro Nacional de Estudos sobre Meio Ambiente, 1991. Londrina, PR, Brasil. **Anais...** Londrina: ENESMA, 1991. p. 1-13.

TRICART, J. **Principes et méthodes de la géomorphologie**. Paris: Masson, 1965, 496p.

UCHA, J. M.; VILAS BOAS, G.S.; HADLICH, G.M. O uso do radar de penetração no solos na investigação de processos de transformação pedogeomorfológica. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v.11, n.1, p.85-96, 2010.

VERSTAPEN, H. T.; ZUIDAM, R. A. System of geomorphological survey. Netherlands, **Manual ITC Textbook**, Vol. VII, Chapter VII, 1975.

ZANATTA, F. A. S. **Diagnóstico visando planejamento ambiental da alta bacia do ribeirão Areia Dourada, Marabá Paulista (SP)**. Dissertação (Mestrado em Geografia - Organização do Espaço). Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2013. 140f.

## APÊNDICE 1 – Programação da *python* para elaboração da carta de energia do relevo

- Para o campo *Pre-logic Script Code*:

```
def Energia(Dec, ClassesDV, Classe_Dis):
    if Dec=="Classe 8" or Dec=="Classe 7" or Dec=="Classe 6" or Classe_Dis=="Classe 1":
        return "Muito Forte"
    if Dec=="Classe 5" or Classe_Dis=="Classe 2" or ClassesDV=="Classe 6":
        return " Forte"
    if Dec=="Classe 4" or Classe_Dis=="Classe 3" or ClassesDV=="Classe 5":
        return " Medianamente forte"
    if Dec=="Classe 3" or Classe_Dis=="Classe 4" or Classe_Dis=="Classe 5" or Dec=="Classe 2" and ClassesDV=="Classe 3" or ClassesDV=="Classe 4":
        return " Media"
    if Dec=="Classe 2" or Classe_Dis=="Classe 6" or ClassesDV=="Classe 2":
        return " Fraca"
    if Dec=="Classe 1" or Classe_Dis=="Classe 7" or Classe_Dis=="Classe 8" or Classe_Dis=="Classe 9" or ClassesDV=="Classe 1":
        return " Muito Fraca"
```

- Para o s campo “Energia=”:

Energia(!Dec!, !ClassesDV!, !Classe\_Dis!)

Onde:

1. Energia: nome da coluna que conterà as informações resultantes do cruzamento das demais colunas
2. Dec: nome da coluna que contem as informações de declividade
3. ClassesDV: nome da coluna que contem as informações de dissecação vertical
4. Classes\_Disc: nome da coluna que contém as informações de dissecação horizontal