

SANDRA LESSA DA SILVA FERREIRA

**ANÁLISE MULTITEMPORAL DA EROSÃO NAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DOS
RIOS SÃO JOÃO, IPORÃ E DO PRADO, ALTÔNIA - PR, DECORRENTE DA
DINÂMICA AGROPASTORIL**

Tese apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Geografia, Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Geografia – Área de Concentração: Paisagem e Análise ambiental.

Orientadora: Prof^ª. Dra. Chisato Oka-Fiori

CURITIBA

2012

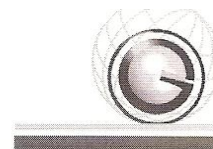
Ferreira, Sandra Lessa da Silva

Análise multitemporal da erosão nas bacias hidrográficas dos rios São João, Iporã e do Prado, Altônia - PR, decorrente da dinâmica agropastoril / Sandra Lessa da Silva Ferreira. – Curitiba, 2012.
145 f. : il., tab., graf.

Tese (doutorado) – Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências da Terra, Curso de Pós-Graduação em Geografia.
Orientadora: Chisato Oka-Fiori

1. Bacias hidrográficas. 2. Erosão. 3. Solo - Uso. I. Oka-Fiori, Chisato.
II. Título.

CDD 551.483



PARECER

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Curso de Pós-Graduação em Geografia reuniram-se para a argüição da Tese de Doutorado, apresentada pela candidata **SANDRA LESSA DA SILVA FERREIRA** intitulada “**ANÁLISE MULTITEMPORAL DA EROÇÃO NAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DOS RIOS SÃO JOÃO, IPORÃ E DO PRADO, ALTÔNIA – PR, DECORRENTE DA DINÂMICA AGROPASTORIL**” para obtenção do grau de Doutora em Geografia, do Setor de Ciências da Terra, da Universidade Federal do Paraná Área de Concentração **Espaço, Sociedade e Ambiente**, Linha de Pesquisa **Paisagem e Análise Ambiental**.

Após haver analisado o referido trabalho e argüido o candidato, são de parecer pela APROVAÇÃO da Tese.

Curitiba, 27 de abril de 2012.

Nome e assinatura da Banca Examinadora:

Profª. Drª. Chisato Oka Fiori – Orientadora

Profª. Drª. Ambrosina Helena Ferreira Gontijo-Pascutti – UFRJ

Profª Dra. Clarice de Farian Lemos - UTFPR

Prof. Dr. Eduardo Salamuni - UFPR

Prof. Dr. Claudinei Taborda da Silveira - UFPR

Ao meu esposo Oziel.

Aos meus filhos Gustavo, Leonardo e Julia.

Aos meus pais Manoel e Albanice.

Pelo apoio incondicional em cada momento da minha vida,
por todas as conquistas,

dedico.

AGRADECIMENTOS

À Deus, pela vida e cuidado constante, refúgio sempre presente em cada momento e fonte inesgotável de bênçãos.

À minha família, pela generosidade e carinho transmitido em gestos e palavras.

Ao amigo Luís Roberto Halama pelo apoio e compreensão sempre que necessário.

À professora Dra. Chisato Oka-Fiori, pela orientação e exemplo de admiração, pelos conhecimentos e competência, uma amiga inestimável.

Ao Professor Dr. Alberto Pio Fiori por permitir a utilização de equipamentos e espaço físico do Departamento de Geologia durante a pesquisa.

Ao professor Dr. Naldy Emerson Canali, pelas informações preciosas na construção desta pesquisa.

Ao professor Dr. Claudinei Taborda da Silveira pela oportunidade de estágio e conselhos sempre oportunos.

Ao professor Dr. Eduardo Salamuni pela generosidade e orientações preciosas.

À professora Dra. Ambrosina Helena Ferreira Gontijo-Pascutti pelos conselhos e enriquecimento científico na presente pesquisa.

À professora Dra. Clarice de Farian Lemos pelas correções e sugestões, especialmente na produção dos cálculos.

Aos Professores Dr. Irani dos Santos e Dr. Leonardo José Cordeiro Santos, pelo auxílio em situações de dúvidas e pelo empréstimo de material bibliográfico.

Aos professores do departamento de Geografia da UFPR pelas aulas e informações sempre esclarecedoras.

Ao secretário Luiz Carlos Zem pela gentileza e profissionalismo nas questões administrativas.

À Simone Kozciak, pela dedicação técnica e amizade em cada fase desta pesquisa.

À amiga de pós-graduação Camila Cunico pela colaboração e companheirismo compartilhados durante o curso.

Ao meu irmão José Carlos da Silva Neto e ao amigo Alan Edginton que participaram diretamente no apoio da tradução do resumo e demais artigos produzidos no período de pesquisa.

Ao Programa de Apoio aos Planos de reestruturação e Expansão das universidades Federais (REUNI) pela bolsa de estudos no período de novembro/2010 a março/2012.

Aos órgãos públicos que forneceram dados e suporte técnico para a presente pesquisa:

- Prefeitura Municipal de Altônia: Prefeito Pedro Nunes da Mata, Áurea Paladini do Vale, Valéria Aparecida Piovezan dos Santos, José Antônio Barbosa e Antônio Carlos Vechi.
- MINEROPAR: Oscar Salazar Júnior, Maria Elizabeth Eastwood Vaine.
- SUDERHSA (Águas do Paraná): Antonio Marcos Ferreira e Edson Nagashima
- PARANACIDADE: Cristiano José Zacliffevicz
- ITCG: Mariane Luiz Parberi.

Agradeço.

Seis anos semearás o teu campo, e seis anos podarás a tua vinha, e colherás os seus frutos. Porém, no sétimo ano, haverá sábado de descanso solene para a terra, um sábado ao Senhor; não semearás o teu campo e nem podarás a tua vinha. O que nascer de si mesmo na tua seara não segarás e as uvas da tua vinha não podada não colherás; ano de descanso solene será para a terra

RESUMO

A partir do século XX, principalmente nas últimas décadas, a pesquisa científica buscou de forma mais concreta a compreensão dos diversos fatores responsáveis pela degradação ambiental. A bacia hidrográfica entendida como sistema é considerada como referência espacial. O objetivo do presente estudo consiste em realizar uma investigação multitemporal do processo de perda de solo nas bacias hidrográficas dos rios São João, Iporã e do Prado localizadas no município de Altônia/PR – Brasil, com um enfoque especial na relação dos diferentes usos do solo local na dinâmica da erosão laminar, por meio da aplicação da Equação Universal de Perdas de Solo – EUPS. Na análise do uso do solo, foi utilizada a integração de técnicas de Sistema de Informação Geográfica – SIG, sensoriamento remoto e trabalho em campo. Por meio da aplicação de geotecnologias, neste estudo são utilizados fotografias aéreas de 1963 e imagens fornecidas pelo satélite Landsat 5 para os anos de 1985 e 2010. Na análise quantitativa da erosão laminar, o modelo matemático utilizado foi a Equação Universal de Perdas de Solos – EUPS, pois proporciona a comparação necessária entre os fatores R, K, L, S, C e P, obtidos por meio de cálculos específicos e/ou consultas bibliográficas. A aplicação de técnicas modernas de cartografia contribui para uma análise diversificada e detalhada dos fatores naturais e antrópicos que influenciam na erosão hídrica. A pesquisa destaca o acelerado desmatamento entre 1963 – 1985, o sensível aumento de áreas florestais entre 1985 - 2010 e a transição de áreas de culturas permanentes para pastagens e culturas temporárias. Os resultados obtidos na análise multitemporal de perdas de solo confirmam a importância da ampliação de áreas florestais, assim como a necessidade de medidas administrativas eficientes no controle à erosão do solo.

Palavras-chave: bacia hidrográfica, uso do solo, erosão laminar, EUPS

ABSTRACT

At the end of the twentieth century, particularly the last decades, researchers have sought a more concrete understanding of the diverse factors responsible for the degradation of the environment. The watershed is understood as a system, with spatial reference. The objective of the present study is to carry out a multi-temporal analysis of the soil erosion processes of the watersheds of São João, Iporã and of the Prado rivers, situated in the municipality of Altônia/PR – Brazil, focusing on how the different soil usage relates to the dynamics of laminar erosion by applying the universal equation of soil loss – EUPS. In the analysis of land usage, integrated information from the technical Geographic Information System - GIS, remote sensing and field work was utilized. By applying techniques of Remote Sensing and Geographic Information Systems – SIG - this study utilizes aerial photographs from 1963 and images provided by the LandSat 5 satellite for the years 1985 and 2010. The application of USLE is limited to the study of laminar erosion, passing through specific stages starting by organizing the basic maps, then subdividing them into themes, until the final work of producing the map of the soil's susceptibility to laminar erosion. The proposed calculation shows the factors R, K, L, S, C and P, obtained by means of specific calculations and / or bibliographic references. The application of modern cartographic techniques contributed to a detailed and diversified analysis of the natural and man-made factors that influence the watershed erosion. The research highlights the accelerated deforestation rate between 1963 -1985; the appreciable increase of riparian areas between 1985 – 2010, and the transition of areas of permanent crops to temporary crops and for grazing. The results gained through the multi-temporal analysis of soil loss confirm the importance of increasing the forest areas as well as the necessity of efficient measurements to control the soil erosion.

Keywords: watershed - land use - Sheet Erosion - USLE

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|-----|
| Figura 1 – Bacias hidrográficas do estado do Paraná..... | 22 |
| Figura 2 – Localização da área de estudo no contexto geomorfológico das bacias hidrográficas dos rios São João Iporã e do Prado | 23 |
| Figura 3 – Detalhe da classificação de uso do solo (classes: cultura e pastagem)..... | 38 |
| Figura 4 - Detalhe da classificação de uso do solo (classes: campestre e florestas)..... | 39 |
| Figura 5 – Imagem esquemática da metade de uma encosta do vale, ilustrando processos de erosão do solo segundo Horton..... | 69 |
| Figura 6 – Carta geológica da área de estudo | 87 |
| Figura 7 – Fotografia de aspectos do relevo predominante no município de Altônia. | 89 |
| Figura 8 – Carta de solos da área de estudo | 91 |
| Figura 9 – Fotografia de cultura de café no médio curso da bacia do rio São João..... | 94 |
| Figura 10 – Fotografia de cultura de milho na bacia do rio São João | 94 |
| Figura 11 – Fotografia de vossoroca em ARGISSOLOS na bacia do rio São João..... | 95 |
| Figura 12 – Carta formações fitogeográficas da área de estudo..... | 99 |
| Figura 13 – Fotografia aérea de 1963 | 100 |
| Figura 14 – Fotografia da espécie arbórea de <i>Albizia hasslerii</i> (farinha-seca)..... | 101 |
| Figura 15 – Substituição da vegetação nativa por espécies exóticas. | 101 |
| Figura 16 – Bacias hidrográficas da área de estudo | 103 |
| Figura 17 – Fotografia da lagoa São João, foz do rio São João e córrego São Tomé. | 105 |
| Figura 18 – Fotografia da confluência do rio Iporã com o rio Piquiri | 105 |
| Figura 19 – Fotografia da confluência do rio do Prado com o rio Paraná. | 106 |
| Figura 20 – Fotografia do rio Iporã com assoreamento em seu médio curso | 107 |
| Figura 21 – Hierarquia fluvial..... | 109 |
| Figura 22 – Ponte sobre o rio Caju em área de pastagem..... | 110 |
| Figura 23 – Confluência do ribeirão Olaria com o Rio do Prado | 111 |
| Figura 24 – Uso da terra de 1963 da área de estudo..... | 120 |
| Figura 25 – Uso da terra de 1985 da área de estudo..... | 121 |
| Figura 26 – Uso da terra de 2010 da área de estudo..... | 122 |

| | |
|--|-----|
| Figura 27 – Campo3: Reserva legal ocupada pelo reflorestamento de eucaliptos..... | 127 |
| Figura 28 – Carta hipsométrica da área de estudo. | 128 |
| Figura 29 – Declividade da área de estudo com base no MDE..... | 131 |
| Figura 30 – Carta potencial à erosão de 1963 da área de estudo, com base no MDT | 133 |
| Figura 31 – Carta potencial à erosão de 1985 da área de estudo, com base no MDT | 134 |
| Figura 32 – Carta potencial à erosão de 2010 da área de estudo, com base no MDT | 135 |
| Figura 33 – Foz do rio do Prado no rio Paraná. | 140 |
| Figura 34 – Localização de ravinas e vossorocas na área de estudo..... | 142 |
| Figura 35 – Imagens de ravinas e vossorocas na área de estudo. | 143 |
| Figura 36 – Campo1: Vossoroca na bacia do rio São João | 145 |
| Figura 37 – Campo3: Vossoroca em área de pastagem | 146 |
| Figura 38 – Localização de ravinas e vossorocas na área de estudo - 1980..... | 148 |
| Figura 39 – Carta de solos com a localização de ravinas e vossorocas na área de estudo - 1980 | 149 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|-----|
| Tabela 1 - Fator (R) mensal e anual correspondente ao período de 1968/2010..... | 48 |
| Tabela 2 - Classes de declividade relacionadas ao fator (LS). | 50 |
| Tabela 3 – Categorias de ocupação e valores correspondentes de (CP) | 51 |
| Tabela 4 - Subordens de solos existentes na área de estudo..... | 92 |
| Tabela 5 – Hierarquia fluvial das bacias hidrográficas dos rios São João, Iporã e do Prado. | 110 |
| Tabela 6 – Caracterização linear (Lu; Lm) das bacias hidrográficas dos rios São João, Iporã e do Prado | 112 |
| Tabela 7 – Caracterização linear (Lcp; Hcp; Gcp) das bacias hidrográficas dos rios São João, Iporã e do Prado | 114 |
| Tabela 8 – Caracterização areal (A; P; C; L; Lt) das bacias hidrográficas dos rios São João, Iporã e do Prado | 115 |
| Tabela 9 – Caracterização areal (Dh; Dt; Eps; Cm) das bacias hidrográficas dos rios São João, Iporã e do Prado | 117 |
| Tabela 10 – Análise multitemporal do uso da terra – 1963 - bacias hidrográficas dos rios São João, Iporã e do Prado | 123 |
| Tabela 11 – Análise multitemporal do uso da terra – 1985 - bacias hidrográficas dos rios São João, Iporã e do Prado | 123 |
| Tabela 12 – Análise multitemporal do uso da terra – 2010 - bacias hidrográficas dos rios São João, Iporã e do Prado | 123 |
| Tabela 13 – Hipsometria (Hb; Rr) das bacias hidrográficas dos rios São João, Iporã e do Prado | 129 |
| Tabela 14 – Potencial à erosão - bacias hidrográficas dos rios São João, Iporã e do Prado | 136 |
| Tabela 15 - Perdas de solo total ton./ha./ano - bacias hidrográficas dos rios São João, Iporã e do Prado | 139 |

LISTA DE GRÁFICOS

| | |
|--|-----|
| Gráfico 1 – Taxa de infiltração em vários tipos de solos. | 64 |
| Gráfico 2 - “velocidades críticas da água, necessárias para que ocorra erosão, transporte e sedimentação, como uma função do tamanho das partículas” | 68 |
| Gráfico 3– Média mensal de precipitações na estação Altônia (1968-2010)..... | 96 |
| Gráfico 4– Caracterização Areal das bacias hidrográficas dos rios São João, Iporã e do Prado..... | 116 |
| Gráfico 5 - Potencial à erosão da área de estudo | 138 |
| Gráfico 6 - Perdas de solo da área de estudo: 1963, 1985 e 2010 | 139 |

LISTA DE QUADROS

| | |
|--|-----|
| Quadro 1 – Síntese dos fatores da EUPS..... | 46 |
| Quadro 2 - Principais propósitos da Teoria Geral dos Sistemas..... | 54 |
| Quadro 3 - Práticas conservacionistas..... | 82 |
| Quadro 4 – Classificação fitogeográfica brasileira. | 97 |
| Quadro 5 – Parâmetros para análise morfométrica de bacias hidrográficas..... | 108 |
| Quadro 6 - Coordenadas geográficas das vossorocas e ravinas nas bacias dos rios São João, Iporã e do Prado | 144 |
| Quadro 7 - Coordenadas geográficas das vossorocas e ravinas nas bacias hidrográficas dos rios São João, Iporã e do Prado: 1980 | 147 |

LISTA DE SIGLAS

CONAMA – Conselho nacional do Meio Ambiente

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

EUPS - Equação Universal de Perdas de Solo

GPS - Global Positioning System (Sistema de posicionamento global)

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

ITCG - Instituto de Terras, Cartografia e Geociências

MDE – Modelo Digital de Elevação

MINEROPAR – Minerais do Paraná S/A

PR – Paraná

RGB – Red (vermelho) Green (verde) Blue (azul)

SUDERHSA - Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental

TGS - Teoria Geral dos Sistemas

USLE - Universal Soil Loss Equation

UTM - Sistema Universal Transverso de Mercator

SUMÁRIO

| | |
|---|----|
| 1 INTRODUÇÃO | 18 |
| 1.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO | 20 |
| 1.2 BREVE HISTÓRICO DA OCUPAÇÃO LOCAL | 24 |
| 1.3 JUSTIFICATIVA | 25 |
| 1.4 OBJETIVO GERAL .. | 26 |
| 1.4.1 Objetivos Específicos | 26 |
| 1.5 ORGANIZAÇÃO DA PESQUISA | 27 |
| 2 MATERIAIS E MÉTODOS | 28 |
| 2.1 O TRABALHO EM CAMPO | 30 |
| 2.2 TRABALHO CARTOGRÁFICO | 32 |
| 2.2.1 Técnicas de Processamento..... | 34 |
| 2.2.1.1 Técnica de Correção Geométrica | 35 |
| 2.2.1.2 Realce de Imagens | 35 |
| 2.2.1.3 Classificação Digital | 36 |
| 2.2.1.4 Sistema de Classificação de Uso da Terra | 37 |
| 2.3 DADOS MORFOMÉTRICOS | 40 |
| 2.3.1 Hierarquia Fluvial | 41 |
| 2.3.2 Análise Linear | 42 |
| 2.3.3 Análise Areal..... | 43 |
| 2.3.4 Análise Hipsométrica | 45 |
| 2.4 CÁLCULO DA EQUAÇÃO UNIVERSAL DE PERDAS DE SOLO - EUPS..... | 45 |
| 2.4.1 Obtenção do Fator Erosividade da Chuva (R) | 47 |
| 2.4.2 Obtenção do Fator Erodibilidade do Solo (K) | 48 |
| 2.4.3 Obtenção do Fator Topográfico: Comprimento Inclinação da Rampa (LS) | 49 |
| 2.4.4 Obtenção do Fator Uso e Manejo do Solo e Práticas Conservacionistas | 50 |
| 2.4.5 Cálculo de Perda de Solo..... | 51 |
| 3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA-METODOLÓGICA | 52 |
| 3.1 A ABORDAGEM SISTÊMICA | 52 |

| | |
|---|------------|
| 3.2 BACIAS HIDROGRÁFICAS | 58 |
| 3.3 EROÇÃO HÍDRICA DOS SOLOS | 60 |
| 3.3.1 Erosão Laminar | 66 |
| 3.3.2 Erosão em Ravinas | 70 |
| 3.3.3 Erosão em Vossorocas | 73 |
| 3.3.4 A Cobertura Florestal como Controle da Erosão | 73 |
| 3.3.5 Práticas Conservacionistas no Controle da Erosão | 73 |
| 3.4 EQUAÇÃO UNIVERSAL DE PERDAS DO SOLO – EUPS | 74 |
| 3.4.1 Erosividade da chuva (R) | 77 |
| 3.4.2 Erodibilidade do solo (K) | 78 |
| 3.4.3 Comprimento e Inclinação da Rampa (LS) | 78 |
| 3.4.4 Uso, Manejo do Solo e Práticas Conservacionistas (CP) | 79 |
| 3.5 PAISAGEM E ANÁLISE AMBIENTAL | 81 |
| 3.5.1 O Suporte Legal no Equilíbrio da Paisagem | 84 |
| 4 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DA ÁREA DE ESTUDO | 86 |
| 4.1 GEOLOGIA | 86 |
| 4.2 RELEVO..... | 88 |
| 4.3 SOLOS..... | 89 |
| 4.4 CLIMA | 95 |
| 4.5 VEGETAÇÃO..... | 96 |
| 4.6 HIDROGRAFIA | 102 |
| 4.6.1 Morfometria..... | 107 |
| 4.6.1.1 Hierarquia Fluvial | 108 |
| 4.6.1.2 Caracterização Linear | 112 |
| 4.6.1.3 Caracterização Areal | 115 |
| 5 ANÁLISE DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS | 119 |
| 5.1 USO DA TERRA | 119 |
| 5.2 HIPSOMETRIA | 127 |
| 5.3 DECLIVIDADE | 130 |
| 5.4 POTENCIAL À EROÇÃO | 132 |
| 5.5 PERDAS DE SOLO | 139 |

| | |
|---|------------|
| 5.6 RAVINAS E VOSSOROCAS..... | 141 |
| 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS | 151 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 155 |

1 INTRODUÇÃO

A Geografia, por se tratar de uma ciência fundamentada no estudo do espaço terrestre, requer metodologias específicas para cada proposta de pesquisa, uma vez que em sua trajetória, desde a sua sistematização na segunda metade do século XIX, ocorre o debate no meio acadêmico a respeito da dicotomia relacionada às áreas classificadas em humana e física, condição que determina abordagens diferenciadas para cada uma.

Embora não se possa dissociar o ser humano do ambiente natural, se faz necessária a definição do tema de estudo em uma das duas grandes áreas destacadas.

Na presente tese se considera a temática “humana” na inter-relação socioeconômica e socioambiental, porém, a ênfase da pesquisa consiste na Geografia Física, mais especificamente na geomorfologia de bacias hidrográficas envolvendo as questões ambientais concernentes. Segundo Guerra e Marçal, (2006, p. 17) “A geomorfologia é o estudo das formas do relevo, levando-se em conta a natureza, origem, desenvolvimento de processos e a composição dos materiais envolvidos”, no entanto a geomorfologia, assim como outras ciências, passou a assumir a abordagem ambiental a partir do enfoque no ser humano como agente transformador do relevo, capaz de estabelecer a interface com outras áreas do conhecimento.

Em busca de uma possível relação entre os limites físicos e políticos, a área em estudo abrange tanto o espaço definido como bacias hidrográficas como uma parcela representativa do espaço municipal.

O recorte geográfico da área de estudo inicia a discussão a partir da integração dos limites naturais das bacias hidrográficas, e os limites políticos do município de Altônia/PR, no qual se exige certa flexibilidade para compor a análise com alternância das especificidades, ora se aplica os limites naturais, ora se utiliza o território político como parâmetro de análise. Justifica-se a utilização de limite duplo quando as porções territoriais, no contexto administrativo ou de gestão, estão associadas às bacias hidrográficas. O território pode ou não interferir por meio de mecanismos legais e econômicos no controle de determinadas questões ambientais.

Os recursos hídricos, especificamente os cursos fluviais, representam extremo valor ambiental e econômico, entretanto, quando estes são confrontados, geralmente, o econômico se sobrepõe ao ambiental, pois a pressão demográfica e a demanda de produtividade intensificam o uso do solo e conseqüentemente a degradação dos recursos naturais, inclusive dos solos e corpos d'água.

O recorte das bacias hidrográficas está fundamentado no conceito de sistemas, tema este amplamente discutido por autores de diferentes áreas do conhecimento, o conceito de sistemas segue um rígido padrão de organização e interação entre os elementos que o compõe (CAPRA, 1982).

Com base na abordagem sistêmica, as bacias hidrográficas são consideradas como sistemas abertos, capazes de manter o equilíbrio por meio de entrada e saída de energia e matéria além de apresentar grau diversificado de influência nos demais sistemas interligados, desta forma, é possível compreender a proposta de delimitação do espaço em análise, assim como a importância dos parâmetros físicos considerados nesta pesquisa.

A visão sistêmica como conceito fundamental da presente pesquisa indica a possibilidade de envolvimento generalizado de demais temáticas associadas à erosão laminar no município de Altônia, constituindo assim uma base de dados e informações para pesquisas posteriores.

O fluxo de energia e matéria das bacias hidrográficas também está relacionado com o deslocamento de sedimentos por meio da erosão linear, portanto, a identificação de ravinas e vossorocas reforça a discussão ambiental concernente à questão inicial.

Outro aspecto observado no contato direto com a população local se refere à real importância da expansão de áreas florestais como alternativa de contenção da degradação ambiental, situação esta, questionada informalmente por proprietários rurais e verificada por meio da análise multitemporal do uso da terra.

A análise do uso da terra em tempos pré-determinados, portanto, contribuiu para quantificar comparativamente a dinâmica erosiva, nas últimas cinco décadas.

Nas bacias hidrográficas existentes no município de Altônia foi analisado o uso da terra rural em duas fases distintas com base no desenvolvimento da economia regional: a primeira abrangendo a década de 1960 e início da década de 1980 com

predominância da agricultura; e a segunda fase que apresenta a expansão das áreas de pastagens e a diversificação de culturas a partir de meados da década de 1980, sobretudo, nas pequenas propriedades. Na década de 1980 ocorreram alterações significativas nas leis ambientais, especialmente a implantação da Reserva Legal que determinava a manutenção de vegetação arbórea em 1/5 das propriedades rurais.

Fatores físicos, enfatizados como proposta central desta pesquisa agregaram informações essenciais para a interpretação da dinâmica erosiva na área delimitada, entretanto, o processo histórico e econômico complementou a presente análise.

Na maioria das vezes, a associação de informações históricas com as numéricas exerceu a função complementar na constatação da coerência dos resultados obtidos, desta forma o tratamento dos aspectos naturais, por meio de fórmulas e modelos, sempre que possível, foi integrado aos aspectos humanos, de difícil mensuração, porém, importante ferramenta de apoio.

As perdas de solo por meio da erosão hídrica representam um tema de interesse de diversos segmentos da sociedade que estão direta ou indiretamente envolvidos com a problemática, como, pesquisadores, administradores e população.

1.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A ciência geográfica, desde sua integração nas universidades no século XIX, contribui para as diversas propostas de organização espacial, pois apresenta uma incomparável articulação interdisciplinar capaz de enriquecer o debate conceitual e aplicado.

No estudo da organização territorial, sob o recorte das bacias hidrográficas, dois problemas podem ser identificados: O conflito decorrente da partilha da água por múltiplos territórios políticos e os aspectos naturais, geralmente de difícil mensuração e delimitação.

A geografia alcança neste fim de século a sua era de ouro, porque a geograficidade se impõe como condição histórica, na medida em que nada considerado essencial hoje se faz no mundo que não seja a partir do conhecimento do que é território. O território é o lugar em que desembocam

todas as ações, todas as paixões, todos os poderes, todas as forças todas as fraquezas, isto é, onde a história do homem plenamente se realiza a partir das manifestações da sua existência. A geografia passa a ser aquela disciplina tornada mais capaz de mostrar os dramas do mundo, da nação, do lugar. (SANTOS; BECKER, 2007, p. 13).

Sob a perspectiva espacial, o estudo do território foi representado na escala municipal organizado em três unidades naturais distintas: as bacias hidrográficas, que, segundo Ferreira (2005, p. 8), “os estudos ambientais principalmente em se tratando de bacias hidrográficas, procuram estabelecer uma análise temporal e espacial a fim de compreender os processos dinâmicos que ocorrem nas mesmas”.

A delimitação da área de estudos a partir da integração de unidades naturais com a unidade administrativa pode, a princípio, ser discordantes, pois, em geral, esta associação de recortes amplia o grau de complexidade, e, interfere diretamente na aplicação de metodologias, portanto, o enfoque deste trabalho prioriza as bacias hidrográficas.

Embora a presente pesquisa seja direcionada aos aspectos físicos das bacias hidrográficas ocorre simultaneamente a interferência da unidade municipal, e assim, a integração do espaço territorial político, representa uma preocupação relevante na organização metodológica, como elemento de referência no contexto administrativo.

O estado do Paraná, segundo a Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental (SUDERHSA,2007), pode ser dividido referencialmente pelas seguintes bacias hidrográficas: Litorânea; Iguaçu; Itararé; Cinzas; Tibagi; Jordão; Ivaí; Pirapó; Paranapanema I, II, III e IV; Paraná I, II e III; e Piquiri conforme representado na Figura 1.

As bacias hidrográficas em estudo são classificadas como subsistemas das unidades representativas do Paraná.

O presente trabalho tem por base as bacias hidrográficas dos rios São João e do Prado afluentes da margem esquerda do rio Paraná, a área compreende a bacia “Paraná II”, e, a bacia do rio Iporã afluente da margem direita do rio Piquiri.

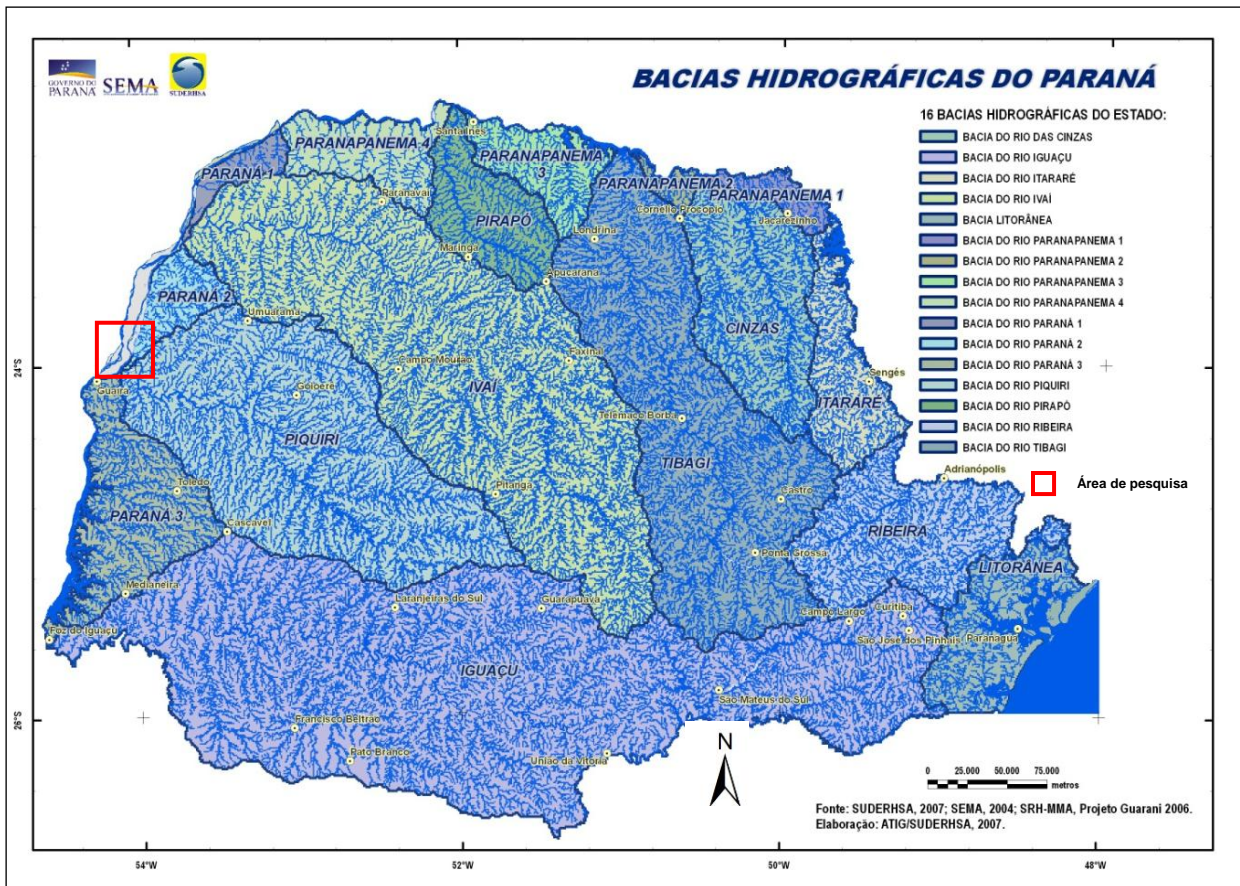


Figura 1 – Bacias hidrográficas do estado do Paraná.

A área delimitada para a pesquisa está localizada na subunidade morfoescultural, denominada Planalto de Umuarama, situada no Terceiro Planalto Paranaense na porção noroeste do estado do Paraná (OKA-FIORI *et al*, 2007), (Figura 2).

O município de Altônia atua como referência político-administrativa; sua área urbana é drenada pelas três bacias hidrográficas em estudo, inclusive, encontra-se posicionada entre os divisores das bacias citadas. O desenvolvimento dos centros urbanos nos topos das vertentes caracterizou o padrão de ocupação do noroeste paranaense (PONTES, 1977).

A área delimitada para estudo totaliza 412,40 km² (41.240 ha) e, localiza-se entre as seguintes coordenadas geográficas: latitudes 23°45'00" S – 24°00'00" S e longitudes 53°40'00"W - 54°10'00" W.

1.2 BREVE HISTÓRICO DA OCUPAÇÃO LOCAL

No atual município de Altônia, noroeste paranaense, a companhia Byington de Colonização Ltda, adquiriu grande extensão de terras, no qual, em 1953, se formou o povoado habitado primeiramente por imigrantes nordestinos e mineiros (PORTAL DO MUNICÍPIO DE ALTÔNIA, 2010).

A princípio, cada família podia comprar um pequeno lote de dez alqueires, as terras eram consideradas férteis, ainda que em grau inferior ao do Norte paranaense, uma condição fundamental para o estabelecimento dos pioneiros que planejavam investir no cultivo de café e promover o desenvolvimento da região.

No início do povoado, Altônia pertencia ao município de Peabiru; em 1954 foi integrado ao município de Cruzeiro do Oeste e a partir de 1960 foi administrado pelo município de Xambrê até ser promovido a condição de município autônomo em 1964. Finalmente em 1966 foi desmembrado de Xambrê e em 12 de dezembro de 1968 passou a sede distrital. Após o desmembramento de São Jorge do Patrocínio, em 1981, seu limite administrativo passou a ser composto por três distritos: Altônia, Jardim Paredão e São João.

O Noroeste Paranaense apresenta intensos processos erosivos, situação que compõe o quadro de características regionais, que podem ser atribuídos principalmente à dinâmica de ocupação das terras agrícolas a partir da década de 1950 (GALERANI, 1995).

A ocupação de Altônia seguiu as diretrizes típicas dos municípios da região Noroeste, que segundo Pontes (1977), o traçado das estradas acompanhava a linha dos divisores de águas enquanto que as glebas foram organizadas em formato de “espinha de peixe”, a partir do topo da vertente até atingir o vale fluvial. O cultivo destas terras no sentido do declive agravou ainda mais o problema da erosão hídrica dos solos, especialmente pela retirada da vegetação, portanto o planejamento da ocupação estruturado na topografia não favoreceu o aspecto ambiental relacionado aos solos.

A dinâmica da erosão laminar, em conjunto com a erosão linear, são intensificadas pelas atividades agropastoris e atuam como fator determinante no assoreamento dos corpos d’água que drenam o município de Altônia.

1.3 JUSTIFICATIVA

O desenvolvimento do presente estudo surgiu da observação dos hábitos da população na cidade de Altônia/PR que até meados da década de 1980 se deslocavam em busca de recreação nos rios que drenam o município, mas com o passar do tempo, o crescente processo de assoreamento reduziu consideravelmente os leitos fluviais, interferindo assim em uma das formas mais comuns de lazer dos moradores locais. Os rios que apresentavam espaços com profundidades suficientes para submergir um adulto foram reduzidos a poucos centímetros, situação frequentemente relatada pelos proprietários mais antigos das terras localizadas nas bacias dos rios São João, Iporã e do Prado, que por sua vez integram os principais cursos d'água que drenam o município de Altônia.

O problema da redução dos leitos fluviais percebido no âmbito do lazer, a princípio, não representaria maiores preocupações, porém, a intensidade do quadro de degradação dos rios interferiu, sobretudo, nos aspectos econômicos e ambientais, uma vez que o solo transportado para os leitos dos rios significou um agravante para as perdas na produção agrícola, desvalorizou as propriedades rurais e alterou o ambiente hídrico.

As atividades agropecuárias desenvolvidas no município de Altônia desde a década de 1960 até 2010 representam elementos essenciais no desenvolvimento da pesquisa, uma vez que se trata de uma área fragmentada em pequenas e médias propriedades, em geral desprovidas de acompanhamento técnico no manejo do solo, fato que agrava o processo de transporte e deposição de sedimentos nos leitos fluviais, alterando assim o comportamento natural da rede de drenagem local.

A transição de expressiva área de cultivo agrícola para pastagem pode ser atribuída ao empobrecimento do solo e às vantagens econômicas obtidas com a pecuária, porém, fato passível de investigação quanto à natureza de sua interferência na erosão laminar dos solos e acúmulo de sedimentos na rede hidrográfica, assim como as alterações na redução da erosão laminar pela inserção do reflorestamento. A abordagem, nesse sentido, se dá pelo uso do espaço e seus elementos naturais, o qual as comunidades estão inseridas, como é o caso da área definida para o estudo.

Na análise quantitativa da erosão laminar, o modelo matemático utilizado foi a Equação Universal de Perdas de Solos – EUPS, pois proporciona a comparação necessária entre as diversas variáveis, e, conseqüentemente possibilita o avanço das ideias referentes à tese.

1.4 OBJETIVO GERAL

O objetivo da presente pesquisa consiste em realizar uma investigação multitemporal da dinâmica de perda de solo pela erosão laminar relacionado com o uso do solo nas bacias hidrográficas dos rios São João, Iporã e do Prado localizadas no município de Altônia/PR por meio da aplicação da Equação Universal de Perdas de Solo – EUPS.

1.4.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos, listados a seguir, foram definidos como etapas necessárias para atingir o objetivo geral:

- a) caracterizar os aspectos naturais, por meio de bibliografia e cartografia temática;
- b) caracterizar as bacias delimitadas por meio de parâmetros morfométricos;
- c) avaliar o uso e cobertura do solo de 1963, 1985 e 2010 por meio da produção de mapas multitemporais de uso do solo e sua conseqüente erosão;
- d) aplicar a Equação Universal de Perdas do Solo para os períodos 1963, 1985, e 2010;
- e) analisar a influência da vegetação florestal no controle da erosão laminar;
- f) identificar a ocorrência de ravinas e vossorocas associadas à distribuição dos solos nos anos de 1980 e 2010.
- g) sugerir práticas de uso e conservação do solo e recursos hídricos conforme orientação bibliográfica;

1.5 ORGANIZAÇÃO DA PESQUISA

A presente pesquisa está dividida nos seguintes capítulos, conforme a breve síntese exposta a seguir:

1 Introdução – neste capítulo apresenta-se uma síntese da pesquisa incluindo os objetivos e a localização da área.

2 Materiais e Métodos – trata-se da descrição detalhadas das ferramentas e procedimentos utilizados na produção de resultados matemáticos, cartográficos e interpretativos.

3 Fundamentação Teórico-Methodológico – consiste no embasamento teórico, por meio da consulta de autores relacionados aos temas em questão, seguindo um padrão científico e de suporte à metodologia e análise conceitual da pesquisa.

4 Caracterização da Área de Estudo – produzido a partir da utilização de material cartográfico, dados físicos (clima, geologia, pedologia e vegetação) e históricos, pretende-se analisar os aspectos relevantes para o desenvolvimento do estudo proposto.

5 Análise das Bacias Hidrográficas – neste capítulo o objetivo principal é o de expor as informações e os dados obtidos durante a pesquisa.

6 Considerações Finais – nesta etapa pretende-se contextualizar a realidade atual da área delimitada para a pesquisa e sugerir medidas preventivas e mitigadoras dos efeitos negativos do mau uso do solo a médio e longo prazo.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

O desenvolvimento da pesquisa científica está vinculado ao pensar e ao fazer, condição esta que exige um padrão de organização do conhecimento a partir da definição de um caminho e das ferramentas necessárias para percorrê-lo. Nesta linha de pensamento pode-se compartilhar com a ideia de Venturi (2005), que defende a importância do uso de determinadas técnicas para a elaboração do conhecimento quantitativo capaz de estabelecer uma base voltada para a realidade, e, que por sua vez permitirá a aplicação do método definido e adequado para a pesquisa em questão. Assim, tanto as técnicas, como o método científico utilizado, direcionam e organizam o raciocínio.

Os estudos, voltados às questões ambientais, priorizam a compreensão das sociedades humanas por meio da relação de fatores antropogênicos com a natureza, portanto, estão incluídos todos os aspectos capazes de interferir no dinamismo do ambiente como os aspectos sociais, culturais, econômicos e naturais, também identificados como elementos que atuam na construção e/ou transformação do espaço geográfico. A pesquisa ambiental, portanto, assume uma abordagem integradora de fatos passados ou históricos, da realidade atual, que caracteriza o tempo presente e estende-se para projeções futuras (ROSS, 2001).

A presente pesquisa aborda temas que envolvem a sociedade como elemento dinâmico e conceitual na observação dos aspectos naturais próprios da geomorfologia. A este propósito Morin (2003) expõe a necessidade em integrar de forma articulada a sociedade antropossocial com a ciência da natureza, porém para isto o autor destaca a importância da reorganização estrutural do conhecimento.

Em geral, a proposta de estudo integrado, parte da visão sistêmica do espaço, na qual se estabelece na sequência um referencial do conceito de sistema desde o século XVII, quando se aceitava a ideia de conjunto de partes.

A maior dificuldade na determinação do método é, portanto, a possibilidade em transitar múltiplos pontos de vistas, ou seja, o método eficiente apresenta condições de confrontos ou interação entre as áreas do conhecimento e até mesmo sobrepor o ponto

de vista do próprio pesquisador (MORIN, 2003), assim, o método passa a ser construído durante todo o processo de pesquisa a partir de um plano inicial, envolvendo técnicas e ferramentas necessárias.

A análise quantitativa representa a base estruturante da pesquisa em questão, entretanto, para a composição de cada conjunto de dados necessário à análise foram utilizadas diferentes ferramentas. É importante ressaltar que os procedimentos metodológicos, as técnicas e instrumentos descritos na sequência foram selecionados conforme as especificidades da análise espacial.

Os estudos com ênfase em Geomorfologia e processos em vertentes, em geral, se desenvolvem a partir do trabalho de gabinete e de campo organizados em etapas distintas e intercaladas.

O trabalho de gabinete integra especialmente as etapas de planejamento da pesquisa, consultas bibliográficas, produção cartográfica e interpretação de dados. Por se tratar de um processo contínuo, ocupa a maior parcela de tempo, e se faz necessário de forma paralela às pesquisas em campo e em instituições. Nesta etapa, intercalada com as demais, busca-se selecionar as informações e materiais necessários para o desenvolvimento da pesquisa.

A importância do trabalho de campo é percebida em todas as fases da pesquisa, pois, abrange a observação, descrição e constatação de fatos e dados em análise resultante do planejamento detalhado e disponibilidade de equipamentos pré-selecionados.

A pesquisa em campo foi organizada em três etapas específicas (campo1, campo2 e campo3) nas quais foram utilizadas para: a formulação do projeto de pesquisa e a verificação das informações produzidas pela cartografia temática, em especial: a confirmação pontual do uso do solo, a localização de ravinas e voçorocas e a identificação visual de efeitos produzidos pela erosão hídrica.

Segundo Ross (2001), os estudos geográficos detêm métodos próprios de análise integrada do relevo e dos aspectos ambientais, as ferramentas que auxiliam na representação da pesquisa são diversificadas envolvendo mapas, gráficos, tabelas e outros recursos que são produzidos com a utilização de sensores e dados de campo.

As informações obtidas podem ser processadas por meios informatizados ou ainda pelos meios convencionais da cartografia temática e da estatística.

A utilização da cartografia digital favorece o tratamento de dados temáticos como unidades da paisagem informações culturais ou sociais, estas informações seguem um padrão cartográfico definido, e, depois de construída a base referencial, todas as demais variáveis passíveis de representação cartográfica podem ser interpretadas isoladamente ou podem interagir com as demais.

2.1 O TRABALHO EM CAMPO

Para a pesquisa das bacias hidrográficas dos rios São João, Iporã e do Prado foram realizados três trabalhos em campo. Os trajetos foram acompanhados por funcionários da Secretaria do Meio Ambiente de Altônia que também forneceu os meios de locomoção via terrestre e fluvial.

O contato com o setor administrativo do município foi feito com antecedência, por meio de entrevista para a exposição dos objetivos da pesquisa e envio de ofício para a solicitação de transporte e equipe de apoio.

A escolha dos pontos foi definida por meio de análise de cartas temáticas e imagens de satélite, considerando as condições de acesso. Em todas as paradas foram feitas anotações descritivas dos aspectos naturais e dos dados de localização e altitudes determinados pelo GPS, e, na sequência, comparados com as informações já obtidas em trabalho de gabinete.

O primeiro campo na área de estudo – campo1 - ocorreu no período de 05 a 09 de julho de 2010. Durante os percursos realizados diariamente, foi localizado no GPS as principais nascentes e afluentes das bacias hidrográficas delimitadas no estudo.

Durante o campo1 ocorreu a identificação do uso e ocupação do solo de trinta e dois pontos, os pontos percorridos foram distribuídos nas três bacias e foi possível localizar e coletar dados métricos de áreas degradadas por ravinas e vossorocas, além de frequentes contatos com os proprietários de terras. Durante o campo1 foi possível

verificar o comportamento divergente dos proprietários que apoiam a manutenção da reserva legal e aqueles que criticam a imposição de leis ambientais.

O segundo trabalho de campo – campo2 - aconteceu nos dias 17 a 21 de janeiro de 2011. Foi localizado e mapeado vinte e cinco pontos com suas respectivas características naturais e antropogênicas, incluindo a localização de vossorocas e ravinas e a coleta de amostras de solo.

Em todos os trabalhos de campo, a equipe de apoio que percorreu as bacias hidrográficas foi sempre a mesma, composta por funcionários da prefeitura com amplo conhecimento territorial e socioeconômico do município, fator que contribuiu significativamente para o desempenho positivo na coleta de dados e também para o aprofundamento das informações históricas da área.

Uma parte do trajeto foi percorrida no rio Paraná e no rio Piquiri em barco a motor com a finalidade de localizar e observar as confluências dos rios São João e Iporã, respectivamente.

No campo2 foi possível comparar o uso da terra nas bacias hidrográficas, com destaque para a bacia do rio do Prado formada por pequenas propriedades e com total ausência de vossorocas ou ravinas em estágio avançado.

A participação de funcionários da Secretaria de Meio Ambiente nos trajetos de reconhecimento do campo proporcionou o livre acesso às propriedades, inclusive nas áreas com elevados padrões de degradação ambiental, o que poderia representar uma restrição foi um elemento facilitador da pesquisa.

Finalmente, o terceiro campo – campo3 – abrangeu os dias 08 e 09 de setembro de 2011. O principal objetivo, nesta última etapa, consistiu em verificar a coerência do trabalho cartográfico. Foram verificados dezoito pontos com especial atenção às ravinas e vossorocas e o uso do solo.

O percurso do campo3 foi minuciosamente planejado com base na carta de uso do solo de 2010 e Imagem Spot de 2005. A análise previamente feita em gabinete foi confirmada com expressivo êxito, o que tornou possível o mapeamento da vossorocas e ravinas existentes na área de estudo. Nas bacias em estudo, mesmo com os incentivos públicos de combate à erosão, foi observado, pouca eficiência no controle dos antigos processos de erosão linear.

2. 2 TRABALHO CARTOGRÁFICO

Estudar o espaço geográfico no contexto ambiental pressupõe um conjunto de conhecimentos que podem ser integrados com o uso de técnicas e ferramentas que possibilitem uma maior agilidade e clareza nos resultados pretendidos. Para Fitz, “as geotecnologias tendem a ocupar um lugar de destaque em virtude de sua funcionalidade.” (2008, p. 11).

As cartas temáticas, inseridas na presente pesquisa, foram obtidas por meio de técnicas de processamento digital de dados. O *layout* da carta base utilizado em todos os trabalhos cartográficos, foi produzido do arquivo digital com pontos cotados, cedido pelo Serviço Social autônomo - PARANACIDADE (2010). Na sequência as respectivas cartas temáticas foram desenvolvidas com a interposição de dados específicos, devidamente georreferenciados e digitalizados conforme o propósito.

Na carta de solos, a digitalização das informações originais passou por uma modificação constatada em campo, referente á definição do Gleissolo, na área correspondente ao entorno da lagoa São João, a alteração citada foi discutida com técnicos locais. As demais cartas seguiram rigidamente as informações das fontes consultadas.

Na análise multitemporal do uso do solo da área em estudo foi utilizada a interposição dos mapas, obtidos pela fotointerpretação de fotografias aéreas de 1963 e a classificação supervisionada de imagens de satélite dos anos de 1985 e 2010.

Para obter a carta de uso da terra de 1963, utilizou-se fotografias aéreas monocromáticas executada por Serviços Aerofotogramétricos Cruzeiro do Sul S.A. na escala aproximada de 1:70.000-maio/1963, cedidas pelo Instituto de Terras, Cartografia e Geociências - ITCG do Paraná.

As fotografias aéreas obtidas impressas em papel foram inicialmente convertidas para o formato digital raster por meio da escanerização. Este arquivo digital foi georreferenciado com utilização do *software Erdas Imagine*[®]. Com a integração das fotografias aéreas digitais num Sistema de Informação Geográfica (SIG), tornou-se possível a realização da fotointerpretação assistida por computador. Através da vetorização “*on screen*” com o *software* do *Environmental Systems Research Institute*

(ESRI) ArcGIS 9.2, foram criadas bases de dados de polígonos para os diferentes usos da terra observados na área em estudo. Os parâmetros fotográficos mais importantes observados na interpretação da vegetação, áreas agrícolas e aspectos urbanos foram: tonalidade, textura, padrão, forma, dimensão, sombra, cor, topografia e aspectos relacionados (SANTOS; NIERO; LOMBARDO, 1980).

As imagens Landsat 5 TM (*Thematic Mapper*) utilizadas na presente pesquisa foram adquiridas no *site* do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, as bandas selecionadas foram: 1, 2, 3, 4, 5 e 7 com resolução de trinta metros referentes ao ponto / órbita 244-76 e 244-77, das datas de 19 de junho de 1985 e 24 de junho de 2010.

Assim como nas fotografias aéreas, para o processamento das imagens, foi utilizado o *software* ERDAS Imagine 9.2. As imagens foram georreferenciadas e mediante técnicas de classificação automática, utilizando classificação supervisionada, foram obtidos os mapas de cobertura da terra para os anos de 1985 e 2010, de fundamental importância para o estudo da evolução do território e da situação ambiental atual da área de estudo.

Durante os procedimentos de digitalização das fotografias e imagens foi definido o formato TIFF – *Tagged File Format* - na geração dos arquivos por apresentar uma resolução de boa qualidade e ser compatível com o *software* selecionado.

As cartas digitais foram georreferenciadas na projeção UTM – *South America 1969* e posteriormente transformadas em coordenadas geográficas.

Paralelamente à classificação supervisionada, na obtenção dos mapas de cobertura do solo de 1985 e 2010 foram considerados os seguintes procedimentos: a realização de mapas preliminares; controle de campo com o objetivo de definir as chaves de interpretação para corrigir e melhorar os mapas e elaboração final,

Na utilização de imagens orbitais no formato digital, as técnicas de processamento são importantes ferramentas, e, quando aplicadas facilitam a identificação e a extração de informações contidas nas imagens.

A localização de vossorocas e ravinas para o ano de 2010 e 1980 ocorreu por meio de geoprocessamento com imagens e fotografias aéreas, paralelamente ao trabalho em campo.

As mesmas imagens Landsat 5 TM (2010), utilizadas no uso da terra, uma vez georreferenciadas, também constituíram a base para a localização dos pontos representativos de ravinas e vossorocas, que, por sua vez, foram anteriormente identificados na imagem Spot de 2005 e conferidos em campo.

As fotografias aéreas de 22 de março de 1980 foram obtidas por meio digital do banco de dados do ITCG na escala 1:25.000. Para a identificação de ravinas e vossorocas, foi utilizado o *software ESRI ArcGIS 9.2*. O arquivo digital foi georreferenciado, e, na sequência foram localizadas as ravinas e vossorocas a partir da fotointerpretação e cruzamento de dados com a carta de 2010. Com a finalização da carta de ravinas e vossorocas de 2010 e 1980, foi possível o cruzamento de dados com a carta de solos.

O produto cartográfico representou tanto uma ferramenta de análise, como o produto final das diversas etapas desta pesquisa. Considerando a heterogeneidade nas escalas do material disponível para utilização, houve a necessidade de padronização na escala quanto à representatividade dos elementos cartografados, portanto, optou-se pela escala de trabalho aproximada de 1:225.000, como alternativa compatível com os recursos obtidos, e, de abrangência no nível regional para estudos ambientais.

2.2.1 Técnicas de Processamento

Neste trabalho, as técnicas de processamento são aplicadas conforme a descrição utilizada por Kozciak (2000). É possível, por meio de um conjunto de programas, que permitem a transformação de dados digitais brutos em dados corrigidos radiometricamente (minimizar as diferenças entre os níveis de cinza de uma imagem) e geometricamente (reorganizar os *pixels* de uma imagem em relação a um determinado sistema de projeção cartográfica), assim como a correção de efeitos atmosféricos (reduzir os efeitos da interferência atmosférica sobre os valores de cinza).

No desenvolvimento desta pesquisa somente uma parte das técnicas de processamento foram utilizadas, conforme descrição a seguir.

2.2.1.1 Técnica de Correção Geométrica

Os programas de correção geométrica atuam com a finalidade de reorganizar os pixels da imagem em harmonia com um sistema de projeção cartográfica específico. A partir da determinação de pontos de controle idênticos presentes na imagem e na carta, é possível selecionar uma reamostragem de pixels, e, estabelecer a correção pretendida. Nas imagens os pontos de controle são localizados nas coordenadas x e y, e na carta pelas coordenadas geográficas expressas em latitudes e longitudes.

As cenas trabalhadas em escalas variadas resultaram nos mapas temáticos com escala de 1: 225.000, para tal, foi determinado aproximadamente 15 pontos de controle, com ênfase nas confluências de rios, curvas e cruzamentos de estradas.

2.2.1.2 Realce de Imagens

Para obter uma visualização da cena com maior nitidez aplica-se a técnica de realce de imagens, nesta prática estão organizados os seguintes procedimentos: a) manipulação de contraste; b) filtragem espacial e; c) rotação de imagens.

Algumas técnicas de realce são utilizadas como processamentos anteriores ao processo de classificação digital. Em algumas circunstâncias, como mostra a literatura, a utilização de tais técnicas aumenta a precisão de classificação em relação aos canais originais da cena, mas em outras vezes, não chegam a melhorar o desempenho dos dados (NOVO, 1992).

Baseado nisso, a única técnica aplicada nas cenas estudadas foi a manipulação de contraste, que facilita a discriminação visual de características da cena de baixo contraste. Consiste em procedimentos que, por meio da modificação da forma do histograma, ampliam o contraste da imagem. O nível de cinza da imagem original é transformado em outro valor de nível de cinza, de tal modo que o contraste seja aumentado. Com o comando '*Standard deviation stretching*' no ERDAS Imagine®, aplicou-se essa técnica e melhorou a discriminação visual das cenas.

2.2.1.3 Classificação Digital

A etapa de classificação digital implica na implementação de um processo de decisão para que o computador possa atribuir certo conjunto de pontos da imagem (*pixel*) a uma determinada classe. A classificação digital tem a função de tornar o mapeamento ou reconhecimento das características da superfície terrestre de forma mais precisa, por meio da repetição potencializada em situações e com maior potencial de repetição em situações sequenciais (NOVO, 1992).

Nos parâmetros das técnicas de classificação digital, destaca-se a unidimensional e a multiespectral. Quando as técnicas de classificação podem ser aplicadas somente a um canal espectral denomina-se então de classificação unidimensional. Quando o critério de decisão depende da distribuição de níveis de cinza em vários canais espectrais, são chamados de técnicas de classificação multiespectral.

As técnicas de classificação multiespectral podem ser divididas em três conjuntos: técnicas de classificação supervisionada, não supervisionada e, de classificação híbrida.

No presente trabalho foi aplicada a técnica multiespectral, com a utilização da classificação supervisionada. Neste tipo de classificação, o analista está em constante interação com o sistema de análise. Além disso, ele dispõe de informações sobre a cena, que servem de ‘treinamento’ para os sistemas. Estas informações são conhecidas pelo nome de ‘amostras de treinamento’ (*training sets*) e representam o comportamento médio das classes que deverão ser mapeadas automaticamente. É importante, portanto, que a amostra de treinamento seja bastante homogênea, e, representativa da classe de interesse, mas algumas classes de treinamento não têm, naturalmente, um comportamento espectral homogêneo em toda sua extensão espectral, e isso é um problema.

A área de amostragem referente às classes foi definida sobre a imagem pela função “*region growing properties*”, do software Erdas Imagine®, que permite definir automaticamente o *pixel* de maior semelhança espectral em um polígono definido segundo parâmetros específicos de *input*. Após a definição de todas as classes, foi

produzida uma classificação automática supervisionada em toda a área, aplicando o algoritmo de máxima verossimilhança (*maximum likelihood*), proposto pelo programa, o qual considera a ponderação das distâncias entre médias dos níveis digitais e o pixel, por meio da distribuição de probabilidade normal para cada classe.

A imagem classificada obtida foi avaliada através do confronto de 150 pontos amostrais, distribuídas de maneira casual sobre toda a cena. O resultado obtido precisa ter percentual de acurácia acima de 70%, calculado através de uma matriz de correlação, para que uma classificação seja considerada correta. Em seguida foi aplicado um filtro médio 3X3, eliminando a excessiva segmentação da imagem em relação à escala de trabalho, 1:225.000, aproximadamente.

O resultado obtido, por meio da classificação supervisionada, foi transformado em polígonos vetoriais, para possibilitar o trabalho com o arquivo no *ArcGis®*, e cruzar com os outros mapas. O arquivo poligonal foi sobreposto à imagem para uma rápida revisão e algumas correções como, atribuição de classes não classificadas, identificação e introdução de áreas urbanas.

2.2.1.4 Sistema de Classificação de Uso da Terra

Segundo Novo (1978), mais importante do que adotar um sistema rígido de classificação, é definir com precisão as classes em um determinado mapeamento. Ou seja, é fundamental definir as classes de cobertura do solo que serão utilizadas antes de iniciar a classificação. Para o presente estudo foi utilizado o sistema de classificação do Uso e Cobertura da Terra do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), descrito no Manual Técnico de Uso da Terra (IBGE 2006), as classes utilizadas para a obtenção das cartas de uso do solo foram:

- *Áreas antrópicas não agrícolas*: A esta nomenclatura estão associados todos os tipos de uso da terra de natureza não-agrícola, tais como as áreas urbanizadas.

- *Áreas antrópicas agrícolas*: No sentido amplo, a terra agrícola foi definida como terra utilizada para a produção de alimentos, fibras e outras *commodities* do agronegócio. Podem se constituir em zonas agrícolas heterogêneas ou representar

extensas áreas de plantio. Na presente área em estudo foram identificadas áreas de lavouras e pastagens (Figura 3).

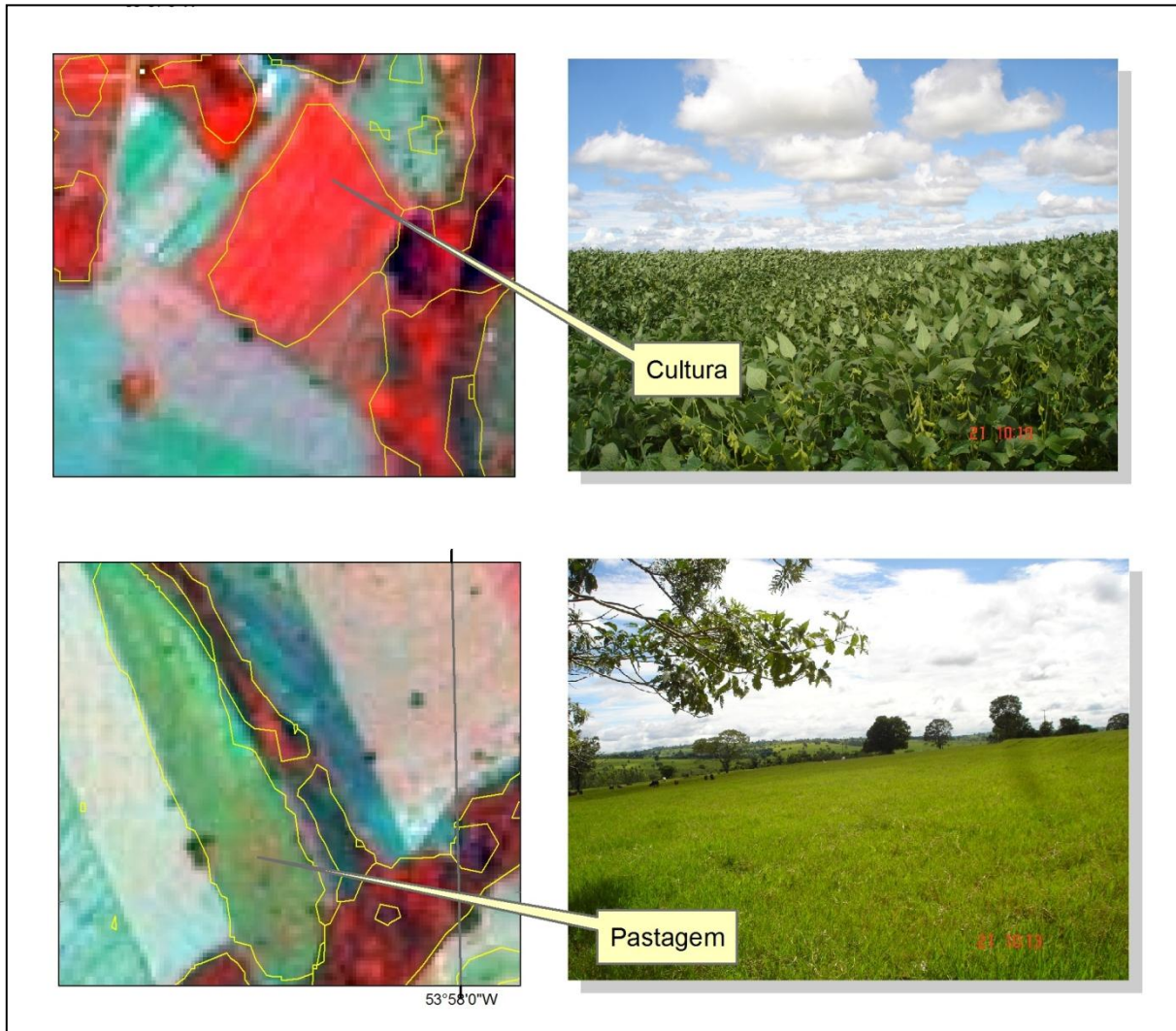


Figura 3 – Detalhe da classificação de uso do solo (classes: cultura e pastagem), imagens Landsat RGB 457.

- *Áreas de vegetação natural*: Conforme o sistema de classificação adotado, as Áreas de Vegetação Natural congregam uma série de fisionomias da vegetação natural que foram organizadas em duas categorias: a de porte arbóreo nominada *florestal* e as de portes arbustivo e herbáceo denominadas *Campestre* (Figura 4).

As chaves interpretativas das classes sobre as imagens foram definidas com base no critério de refletância espectral, no estudo da bibliografia e no controle de campo. A escolha da composição colorida da imagem foi por critério visual. Foi utilizada

a composição 4-5-7 em RGB respectivamente, que é bastante significativa para a interpretação dos aspectos geomorfológicos, a cobertura vegetal e umidade dos solos. Em alguns casos também foram utilizadas as bandas do visível 3, 2 e 1, que se mostraram muito úteis para a definição de áreas naturais sem vegetação.

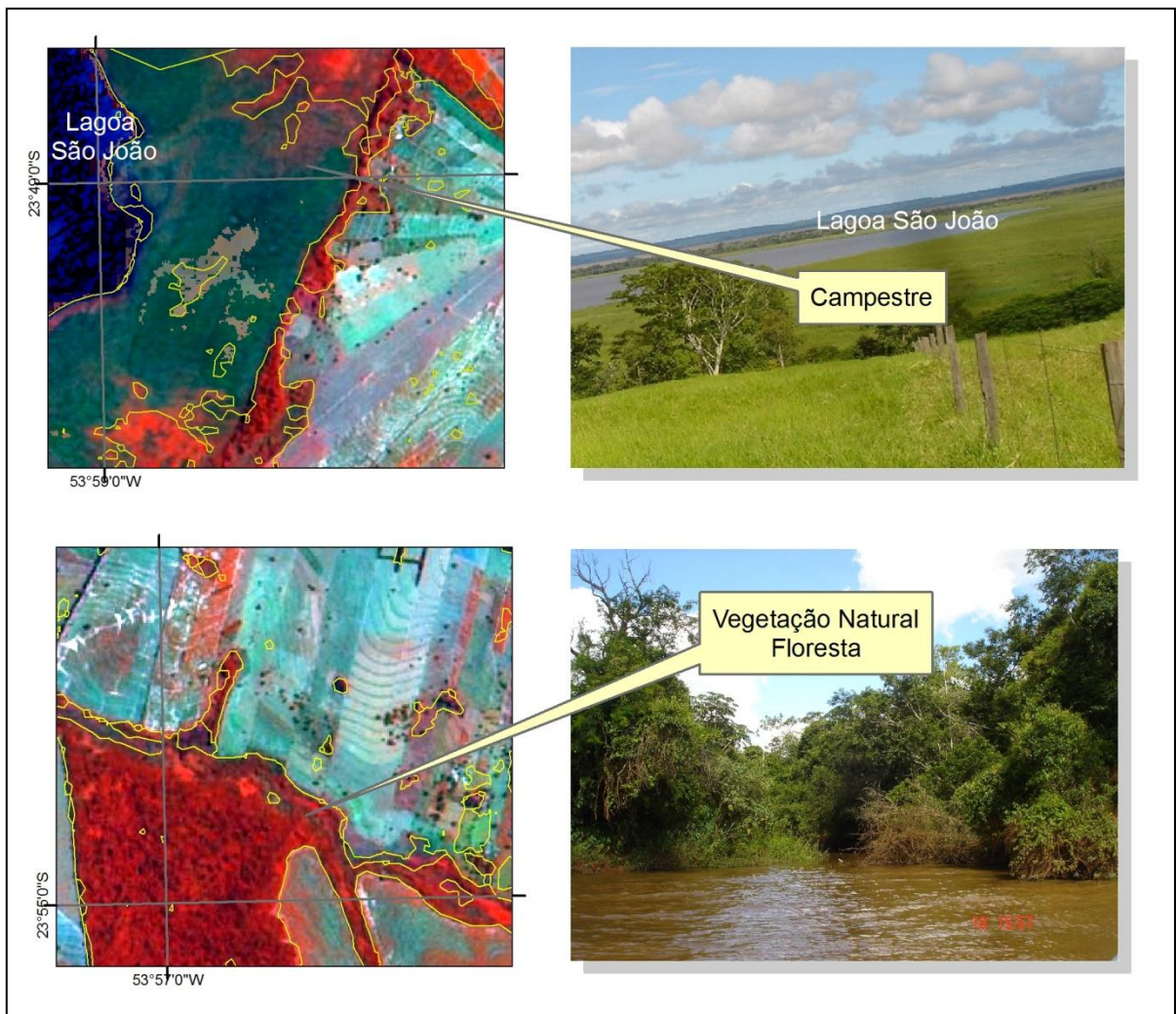


Figura 4 – Detalhe da classificação de uso do solo (classes: campestre e floresta), imagem Landsat RGB 457.

A classe de pastagem é caracterizada por uma homogeneidade textural, com evidente parcialização em grande escala, com tonalidade verde azulado muito claro (RGB 4-5-7), pela presença de erva seca e rala. Em alguns casos, quando a pastagem está muito verde no terreno, na imagem a representação pela banda 4-5-7 é em tons laranjados ou rosa claro (Figura 3).

As áreas de vegetação natural, como nas classes de florestas, apresenta uma alta refletância na banda 4, e uma coloração de vermelho intenso na composição 4-5-7 do RGB. Exemplos da classe de floresta, com vegetação arbórea, e, da classe campestre com vegetação natural de gramíneas podem ser observados na Figura 4.

Dados de cobertura do solo derivados de fotografias aéreas de 1963 foram confrontados com dados de imagens Landsat TM de 1985 e 2010, com a integração de técnicas de Sensoriamento Remoto e Sistema de Informações Geográficas com a finalidade de fornecer subsídios para uma futura análise da erosão laminar do solo nessa região com aplicação da EUPS.

As vantagens de utilizar dados de sensoriamento remoto nos levantamentos do uso do solo, segundo Freitas Filho (1993), são: atingir grandes áreas de difícil acesso e fazer o imageamento às altas altitudes, possibilitando uma visão sinóptica da superfície terrestre, com repetitividade, viabilizando as ações de monitoramento. O estudo da área apresenta como fator de análise espaço-temporal a produção de cartas do uso do solo, compartimentadas em três bacias hidrográficas.

2.3 DADOS MORFOMÉTRICOS

A partir de 1945 sob a influência da Geografia quantitativa, que se ocupava especialmente em produzir dados de interesse do poder político-militar, Horton publicou os primeiros trabalhos com o emprego de técnicas, procedimentos sistemáticos e racionais, trabalhos estes caracterizados como precursores da análise quantitativa de bacias hidrográficas (CHRISTOFOLETTI, 1980).

A utilização de dados de morfometria nas pesquisas brasileiras teve início no final da década de 1960, que segundo Canali (1990), as pesquisas de França e Christofolletti publicadas neste período atuaram como referência no desenvolvimento da investigação e aplicação dos estudos direcionados à análise morfométrica.

O mesmo autor destaca que na década de 1970 e 1980 as publicações com a utilização de parâmetros morfométricos apresentaram técnicas e métodos inovadores.

Os autores Christofolletti (1980), Christofolletti *et al.* (1993) e Canali (1990), desenvolveram importantes estudos morfométricos, suas pesquisas constituem, portanto, as principais referências de apoio na presente proposta.

A construção de mapas morfométricos é considerada por Sanchez (1993) como uma técnica essencial na identificação de aspectos relacionados à fragilidade ambiental. O conhecimento das características físicas do relevo, da estrutura geométrica e das práticas socioeconômicas, em uma análise integrada, fornece elementos para a produção de cartas com elevado grau de informações necessárias para as pesquisas ambientais.

Comumente a análise morfométrica produz uma série de dados que podem ser relacionados entre si e/ou em conjunto com outras informações, com base nas informações morfométricas da área em estudo, foi possível extrair conclusões compartimentadas para cada bacia na escala de 1: 225.000.

Com base na especificidade local, foi aplicada apenas a análise dos aspectos concernentes aos objetivos propostos relacionados com: hierarquia fluvial, análise linear, análise areal e análise hipsométrica.

A análise morfométrica das bacias dos rios São João, Iporã e do Prado foram organizadas em quatro etapas: 1ª) hierarquia fluvial, 2ª) análise linear, 3ª) análise areal e 4ª) análise hipsométrica.

Para a obtenção dos dados morfométricos foi utilizado o *software* ESRI ArcGIS 9.2 como ferramenta de leitura dos comprimentos e medidas das cartas topográficas digitais, previamente organizadas.

A partir dos valores métricos observados na etapa de leitura digital, foram aplicadas as fórmulas para a obtenção dos parâmetros morfométricos em planilhas do aplicativo Excel.

2.3.1 Hierarquia Fluvial

Os primeiros trabalhos com maior precisão no ordenamento dos canais fluviais foram elaborados por Horton em 1945, a partir do método de Horton, outros

pesquisadores produziram alterações significativas para a determinação da hierarquia fluvial (CHRISTOFOLETTI, 1980).

Na primeira etapa da análise morfométrica o trabalho foi direcionado em quantificar os segmentos fluviais em suas respectivas ordens, por meio da cartografia temática.

Os procedimentos adotados tomaram por base o uso da geotecnologia vinculada à fundamentação conceitual.

A hierarquização da drenagem foi determinada com a aplicação do método proposto por Strahler¹ (1952, *apud* CHRISTOFOLETTI, 1980)

A quantificação do número de segmentos de canais por ordem hierárquica foi definido pelo agrupamento em cores específicas para cada ordem, devidamente reclassificado na carta de drenagem.

Uma vez elaborado o mapa temático da hierarquia fluvial, foi possível calcular o número de canais de cada ordem para fins comparativos e estabelecer a classificação das bacias hidrográficas conforma a ordem final correspondente.

2.3.2 Análise Linear

Para a mensuração dos aspectos lineares, foi definido o número de segmentos de canais por ordem hierárquica e calculado seus devidos comprimentos. Na sequência foram calculados os comprimentos médios por ordem hierárquica com a aplicação da equação 1:

$$L_m = L_u / N_u \quad (1)$$

onde:

L_m = Comprimento médio dos segmentos de rios da ordem analisada

L_u = comprimento total dos segmentos de rios da ordem analisada

N_u = número de segmentos de rios da ordem analisada

¹ STRAHLER, A. N. **Hypsometric (área-altitude) analysis of erosional topography**. Geol. Soc. America Bulletin. 1952.

Gcp - gradiente do canal principal: O gradiente do canal principal corresponde à inclinação média que este apresenta desde a nascente até a sua foz, ou seja, a cada quilômetro percorrido apresenta um determinado decréscimo em sua altitude conforme o valor calculado na equação 2.

$$G_{cp} = H_{cp}/L_{cp} \quad (2)$$

Onde:

Hcp = Altura do canal principal (diferença de altitude entre a nascente e a foz da bacia)

Lcp = comprimento do canal principal

2.3.3 Análise Areal

Assim como nas etapas anteriores, a definição dos valores referentes à análise areal integra diversos dados obtidos das medições planimétricas e das medições lineares com a utilização do *software ERDAS Imagine 9.2*.

A - área da bacia: corresponde à totalidade da área drenada pelo sistema fluvial projetada em plano horizontal.

P- perímetro: é a extensão linear dos limites da bacia.

C- maior comprimento: resulta da medição em linha reta do ponto da foz em direção ao ponto extremo do perímetro.

L- maior Largura: é obtida na medição em linha reta dos pontos extremos do perímetro no sentido oposto ao do comprimento.

Lt - comprimento total da rede de drenagem: corresponde à soma de todos os segmentos de canais existentes na área da bacia hidrográfica.

Dh – densidade hidrográfica: representa a relação entre o número segmentos de rios de primeira ordem e a área da bacia hidrográfica conforme a equação 3. O principal objetivo é comparar a frequência ou a quantidade de cursos de água existentes uma área de tamanho padronizado.

$$D_h = N_{u1}/A \quad (3)$$

onde:

Nu1 = número de segmentos de rios da primeira ordem

A = Área da bacia

Dd - densidade de drenagem: a densidade de drenagem representa a disponibilidade de canais distribuídos em relação à área da bacia hidrográfica, determinada pela equação 4, e ainda determina o grau de dissecação do relevo em paisagens modeladas pela atuação fluvial.

$$Dd = Lt/A \quad (4)$$

onde:

Lt = comprimento total de todos os canais da rede hidrográfica

A = Área da bacia

Eps – Extensão do percurso superficial: é o cálculo da distância média percorrida pelas enxurradas entre o interflúvio e o canal permanente, interfere diretamente no desenvolvimento hidrológico e fisiográfico das bacias hidrográficas. A extensão do percurso superficial está associada com as bacias de primeira ordem e corresponde aproximadamente à metade do recíproco do valor da densidade de drenagem.

O índice da variável Eps refere-se à análise linear, entretanto na aplicação da equação 5, utiliza-se o valor da Dd, o que justifica seu agrupamento na análise areal neste estudo.

$$Eps = 1/2 Dd \quad (5)$$

onde:

Dd = densidade de drenagem

Cm – coeficiente de manutenção: o índice obtido pelo cálculo do coeficiente de manutenção determina a área mínima necessária para a manutenção de um metro de canal de escoamento

$$C_m = 1/D_d .1000 \quad (6)$$

onde:

D_d = densidade de drenagem expressa em metros

2.3.4 Análise Hipsométrica

A produção da carta hipsométrica, conforme citado anteriormente, utilizou a base do MDE, e, na sequência foi possível determinar os valores métricos com a utilização do *software* ERDAS Imagine 9.2 e aplicá-los às formulas correspondentes.

Rr - relação de relevo da bacia: representa a relação da amplitude altimétrica máxima com a maior extensão de uma bacia hidrográfica, expressa na equação 7.

$$R_r = H_b/L_b \quad (7)$$

onde:

H_b = altura da bacia (altitude mais elevada menos altitude mais baixa)

L_b = comprimento da bacia (C), medido em linha reta, ao longo do canal principal, até encontrar a borda da bacia (divisor de água).

2.4 CÁLCULO DA EQUAÇÃO UNIVERSAL DE PERDAS DE SOLO - EUPS

A aplicação da EUPS limita-se ao estudo da erosão laminar, passa por etapas específicas que vão desde a organização de bases cartográficas, subdivididas em temas, até o trabalho final de produção de mapa de suscetibilidade à erosão laminar. Segundo Bertoni e Lombardi Neto (2008), as perdas anuais de solo em situações determinadas de declividade e demais fatores, podem ser calculadas pela EUPS com

bastante precisão. A EUPS representa desta forma, uma importante ferramenta na análise e planejamento ambiental.

Integrado às técnicas digitais no estudo da área, a aplicação da Equação Universal de Perdas do Solo – EUPS - assume a função de quantificar o processo erosivo nos limites das bacias hidrográficas, método presente em estudos de paisagens diversificadas.

O cálculo de caráter empírico, para a quantificação das perdas de solo nas vertentes, pela erosão laminar, é expresso por fatores independentes. Na primeira etapa, o objetivo consiste em determinar o valor de cada variável segundo a equação 8:

$$A = R.K.LS.CP \quad (8)$$

Uma vez identificado o respectivo valor matemático de cada variável para as três bacias nos períodos pré-determinados, ocorre a comparação e o cruzamento de dados, com a finalidade de produzir as cartas de potencial à erosão e do cálculo de perdas de solo nos anos 1963, 1985 e 2010.

Os fatores considerados na EUPS são definidos de forma simplificada no Quadro 1.

| | |
|----------|--|
| A | Perda de solo por unidade de área e tempo, em t/ha.ano ou outra unidade dependendo das empregadas nos diversos parâmetros. |
| R | Fator de erosividade da chuva, que expressa a erosão potencial ou poder erosivo da precipitação média anual da região. |
| K | Fator de erodibilidade do solo, o qual representa a capacidade do solo de sofrer erosão com determinada chuva. |
| L | Fator topográfico que expressa o comprimento da rampa. |
| S | Fator topográfico que expressa a declividade do terreno ou grau de declive. Para a aplicação prática da equação, são considerados conjuntamente como fator topográfico: LS, o qual é a relação esperada de perdas de solo por unidade de área em um declive qualquer, correspondente a uma parcela unitária de 25m de comprimento e 9% de declive. |
| C | Cobertura e manejo do solo, que é a relação esperada entre as perdas de solo de um terreno cultivado sob determinadas condições e as perdas correspondentes de um terreno mantido continuamente descoberto. |
| P | Expressa a prática conservacionista do solo. Este fator é a relação entre a intensidade esperada das perdas com determinadas práticas conservacionistas e da cultura plantada no sentido do declive. |

Quadro 1 – Síntese dos fatores da EUPS. Adaptado de SILVA; CRESTANA, 2004, p. 59 e 60.

2.4.1 Obtenção do Fator Erosividade da Chuva (R)

Para a obtenção do fator (R), uma série de procedimentos é necessária: utiliza-se a soma dos EI_{30} de cada chuva durante o mês, EI_{30} mensal. A soma dos EI_{30} mensais resulta no EI_{30} anual. A média dos EI_{30} anuais e mensais ao longo de um período predeterminado possibilita o resultado final.

No cálculo do fator (R) foi utilizado os dados de chuva referentes ao período de 1968 a 2010.

Os índices pluviométricos foram coletados na estação Altônia, instalada no município de mesmo nome, e, localizada nas seguintes coordenadas: Latitude: 23° 51' 00" Longitude: 53° 52' 59". A estação é supervisionada pelo Instituto das Águas do Paraná, (antiga SUDERHSA - Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental). A estação Altônia foi instalada em 10/04/1967. Os dados pluviométricos selecionados representam um período de 42 anos (1968-2010) e resultaram da média simples mensal e anual.

Rufino *et al*² (1993, *apud* SANTOS *et al.*, 1998), estabeleceu oito regiões para o estado do Paraná e definiu as equações de correlação necessárias para o cálculo da erosividade por meio do método pluviométrico, no qual a área em estudo está localizada na *Região 1*.

$$R=a+b.(p^2/P) \quad (9)$$

R= fator de erosividade da chuva (MJ.mm/ha.h.ano);

a, b = coeficientes (ajustados para nove regiões do Paraná) R-1 (R= 182,9 + 56,21 Rc);

p= precipitação média mensal (mm)

P= precipitação média anual (mm) - média anual de chuvas (1968/2010) = 1520,86 mm

Para a definição de (R) anual, conforme descrito anteriormente, é necessário calcular os valores do índice de erosividade equivalente ao período de 12 meses.

² RUFINO, R. L. *et al.* **Determinação do potencial erosivo da chuva do Estado do Paraná: terceira aproximação.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v. 17, p. 439-444, 1993.

$$R = \sum_{j=1}^{12} EI_{30j} \quad (10)$$

Por meio da aplicação da equação de Rufino *et al.*, para as doze médias mensais correspondente ao período citado, o passo seguinte foi a somatória correspondente ao fator (R) anual expresso na Tabela 1.

Tabela 1 – Fator (R) mensal e anual correspondente ao período de 1968/2010

| Mês | Média mensal (mm) | Fator R (R=a+b.(p ² /P) (MJ.ha ⁻¹ .mm.h ⁻¹ .mês ⁻¹) |
|------------|-------------------|---|
| Janeiro | 165,78 | 1198,65 |
| Fevereiro | 126,71 | 776,29 |
| Março | 99,69 | 550,20 |
| Abril | 105,50 | 594,26 |
| Mai | 153,92 | 1058,51 |
| Junho | 98,21 | 539,38 |
| Julho | 66,96 | 348,61 |
| Agosto | 76,56 | 399,53 |
| Setembro | 124,90 | 759,46 |
| Outubro | 168,68 | 1234,50 |
| Novembro | 158,78 | 1114,68 |
| Dezembro | 175,11 | 1316,20 |
| Total (R)= | | 9890,27 MJ.mm/ha.h.ano |

Fonte dos dados: Instituto das Águas do Paraná.

2.4.2 Obtenção do Fator Erodibilidade do Solo (K)

Na definição do fator (K) foram utilizadas as informações em pesquisas no noroeste paranaense, realizadas em solos das mesmas classes daqueles presentes na área em estudo: Latossolos Vermelhos, Argissolos Vermelhos e Gleissolos Háplicos (PRADO; NÓBREGA, 2005). Os solos identificados na área de estudo apresentam os seguintes valores expressos em $t.h.MJ^{-1}.mm^{-1}$.

Latossolo Vermelho = 0,0132

Argissolo Vermelho = 0,0232

Gleissolos Háplicos = 0,0397

2.4.3 Obtenção do Fator Topográfico: Comprimento e Inclinação da Rampa (LS)

O relevo representa um elemento determinante no estudo da dinâmica de transporte de sedimentos, pois interfere diretamente na energia produzida no sistema. O fator relevo, na EUPS, é representado pelo comprimento e inclinação da rampa (LS).

Bertoni e Lombardi Neto (2008, p. 259) apresenta a seguinte equação para determinar o fator (LS) em declives uniformes, desconsiderando a ocorrência de declives côncavos ou convexos:

$$LS = \frac{\sqrt{L}}{100} (1,36 + 0,97 S + 0,1385 S^2) \quad (11)$$

L = comprimento do declive em metros;
S = grau do declive em porcentagem.

Com base no trabalho de Kozciak (2000), os fatores (L) e (S) foram representados de forma integrada, pois representam a relação de perdas de solo por unidade de área em um declive associado às perdas de solo relativas a uma parcela unitária de 25m de comprimento com 9% de declive.

Os programas de SIGs são eficientes ferramentas para o processamento de dados e elaboração de cartas temáticas relacionadas com os cálculos específicos dos fatores LS.

O Modelo Digital de Elevação – MDE- também utilizada como referência para a carta hipsométrica, foi produzido com a aplicação do *software* ESRI ArcGIS 9.2, que tem como base o método de interpolação específico para a projeção de modelos digitais do terreno hidrologicamente corretos.

O índice permanente da declividade em uma vertente expõe o risco de minimizar ou exceder a quantificação da erosão, portanto, Kok et al.³,(1995, *apud* Kozciak, 2000), determinaram um valor médio de declividade no cálculo do fator LS. Os dados, para diferentes classes de declividade, estão na Tabela 2:

³ KOK, K.; CLAVAU, M.B.W.; HEEREBOUT, W.M. & BRONSVELD, K. **Land degradation and land cover change detection using low-resolution satellite images and the CORINE database: a case study in Spain.** ITC Journal 3:217-228, 1995.

Tabela 2 - Classes de declividade relacionadas ao fator (LS)

| Classe de declividade (%) | Fator LS |
|----------------------------------|-----------------|
| 0-5 | 0,5 |
| 5-15 | 3,5 |
| 15-30 | 9 |
| >30 | 16 |

KOK et al., 1995.

2.4.4 Obtenção do Fator Uso e Manejo do Solo e Práticas Conservacionistas (CP)

Segundo Bertoni e Lombardi Neto (2008), o cálculo das perdas de solo em áreas descobertas pode ser obtido pelo produto das variáveis R, K e LS, entretanto a cobertura pela vegetação natural, ou cultivada interfere nos valores finais, pois o solo uma vez protegido apresenta uma redução no processo erosivo, alteração esta integrada ao tipo de manejo do solo.

Para determinação dos valores (CP) referentes ao ano de 1963 foi utilizada a carta de uso do solo elaborada a partir de fotografias aéreas, enquanto que para os anos de 1985 e 2010 foram utilizados os valores definidos nas cartas de uso do solo produzidas pela análise de imagens *LANDSAT*.

Os valores pré-definidos (Tabela 3) foram aplicados aos respectivos polígonos, e, na sequência, o cruzamento de dados das demais cartas temáticas. Por se tratar de erosão laminar, as áreas urbanas e corpos d'água são considerados nulos, as culturas apresentam um valor maior que os demais usos (0,02), e na sequência as pastagens (0,01). A vegetação campestre (0,0007) e a florestal (0,00004) completam a tabela com os menores valores.

A carta de potencial à erosão foi utilizada em primeira etapa como um instrumento de análise do processo de erosão laminar e em uma etapa posterior como a base de cálculo das perdas de solo setorizadas por bacia hidrográfica.

Tabela 3 – Categorias de ocupação e valores correspondentes de (CP)

| Classes | Fator CP |
|---------------|----------|
| Áreas Urbanas | 0,0 |
| Culturas | 0,02 |
| Pastagens | 0,01 |
| Florestas | 0,00004 |
| Campestre | 0,0007 |
| Água | 0,0 |

STEIN et al⁴. 1987 apud KOZCIAK,2000.

2.4.5 Cálculo de Perda de Solo

Para a obtenção da média quantitativa de perda de solo correspondente ao ano em estudo, foi somada a perda de solo de cada polígono e em seguida o valor da soma foi dividido pela área de cada bacia, conforme a equação a seguir:

$$A_t = \frac{A^1 + A^2 + A^3 + A^n}{a} \quad (12)$$

A_t = média de perda total de solo na bacia

A^n = total de perdas de solo de cada polígono

a = área da bacia

O resultado final foi representado em $t.ha^{-1}.ano^{-1}$

⁴ STEIN, D.P.; DONZELLI, P.L.; GIMENEZ, F.A.; PONÇANO, E.L. & LOMBARDI NETO, F. Potencial de Erosão Laminar, Natural e Antrópica na Bacia do Peixe-Paranapanema. **Anais do Simpósio Nac. de Controle de Erosão**, 4, Marília, São Paulo, ABGE/DAEE, p.105-135. 1987.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA-METODOLÓGICA

No universo da ciência o conhecimento apresenta caminhos específicos a serem percorridos conforme os objetivos determinados pelo pesquisador, que, segundo Popper (1972), assume a responsabilidade de enfrentar o centro do problema a partir de uma base teórica já estabelecida na abordagem científica. O mesmo autor também discorre a respeito da instabilidade nas conclusões determinadas em vários campos da ciência que apresentam restrições quanto à aplicabilidade generalizada, por se tratar de estudos específicos.

Uma determinada base conceitual direciona a abordagem pretendida permitindo uma organização mais clara e precisa do objeto de estudo no contexto metodológico.

A análise científica está relacionada com o conhecimento, ou a ideia de mundo definida pelo pesquisador (CHRISTOFOLETTI, 1999), portanto um único tema de pesquisa pode gerar interpretações múltiplas quando submetidas às bases conceituais conflitantes. No caso da análise de bacias hidrográficas, as relações entre os diversos elementos e sistemas envolvidos exige uma reflexão teórica específica para a condução e definição de cada procedimento ou etapa.

3.1 A ABORDAGEM SISTÊMICA

No contexto científico a natureza é analisada por perspectivas diversificadas nas muitas áreas do conhecimento. A compreensão da organização do espaço geográfico, a partir da visão sistêmica, possibilita uma análise integrada dos elementos que compõem a área delimitada para pesquisa. A partir desta compreensão ampliam-se as possibilidades de um desenvolvimento mais equilibrado do uso e ocupação do solo, assim como a preocupação com os processos de degradação dos recursos naturais, especialmente os corpos d'água, “ao se assumir as organizações espaciais como objeto da Geografia deve-se admitir como pressuposto que o tema possa ser abordado sob o ponto de vista sistêmico” (CANALI, 1990, p. 1).

Originalmente, a abordagem sistêmica conceitual foi publicada pelo biólogo Ludwig Von Bertalanffy, o qual buscava resolver determinadas falhas do enfoque mecanicista que predominava nas pesquisas das primeiras décadas do século XX. A intenção era a “consideração do organismo como totalidade ou sistema”, embora seus primeiros enunciados fossem apresentados a partir de 1925, somente em 1948, com o fim da Segunda Grande Guerra a Teoria Geral dos Sistemas – TGS – passou a ser divulgada e até mesmo questionada em conferências e publicações científicas. Desde a primeira publicação até a mais recente, são enumeradas quatro edições em português da obra em questão (BERTALANFFY, 2009, p. 31).

A Teoria Geral dos Sistemas, segundo Christofletti (1980), foi inserida nos estudos geomorfológicos por Strahler na década de 1950, seguidos por outros pesquisadores, com destaque para John T. Hack (1960), Richard J. Chorley (1962) e Alan D. Howard (1965).

Uma análise detalhada e conceitual a respeito da Teoria Geral dos Sistemas foi produzida por Morin (2003), no qual o autor enfoca a possibilidade de construir um conhecimento relativo ao objeto de estudo, sob a complexidade de um sistema, e, simultaneamente estabelecer a inter-relação capaz de permitir a autonomia entre os elementos.

A primeira e fundamental complexidade do sistema é associar em si a idéia de unidade, por um lado, e a de diversidade ou multiplicidade do outro, que, em princípio, se repelem e se excluem. O que é preciso compreender são as características da unidade complexa: um sistema é uma unidade global, não elementar, já que ele é formado por partes diversas e inter-relacionadas. É uma unidade original, não original: ele dispõe de qualidades próprias e irreduzíveis, mas ele deve ser produzido, construído, organizado. (MORIN, 2003, p. 135).

O autor anteriormente citado expõe ainda, que, a organização no sistema atua como complementação dos aspectos diferenciais entre as partes e a totalidade, uma situação caracterizada pela multiplicidade de formas de organização. Desta forma, a organização passa a atuar como um fator determinante na dinâmica de todo o sistema quando representa a função de mudar, unir e manter. A organização para Morin (2003, p.133), “é o encadeamento de relações entre componentes ou indivíduos que produz uma unidade complexa ou sistema”.

Conforme Bertalanffy (2009, p. 315), “um sistema pode ser definido como um conjunto de elementos em inter-relação mútua e com o meio ambiente. Isto pode ser expresso matematicamente de diversas maneiras”. Christofletti (1980, p. 1) afirma que, “Um sistema pode ser definido como o conjunto dos elementos e das relações entre si e entre seus atributos”. Morin (2003, p. 131), define como: “uma inter-relação de elementos constituindo uma entidade ou uma unidade global”. No conceito de sistema interpretado por diferentes autores prevalece a ideia de totalidade, de unidade global e principalmente de interação entre os elementos. A pesquisa fundamentada na visão sistêmica está inevitavelmente comprometida com a análise multidisciplinar.

Uma vez definida a unidade de estudo, no âmbito de um sistema, é de fundamental importância buscar o equilíbrio entre a observação reducionista, enfocando as partes que compõem o sistema, e a observação holística a ponto de desprezar as partes em detrimento da totalidade, afinal, o próprio Bertalanffy (2009) define a Teoria Geral dos Sistemas (TGS) como uma ciência geral da *totalidade*. Neste impasse a inter-relação devidamente aplicada e o conceito de organização estabelecem uma análise mais próxima do objetivo.

A análise geográfica ambiental envolve tanto uma abordagem da complexidade do sistema como de suas partes, assim, a visão holística sistêmica e a visão reducionista desempenham funções necessárias, porém, sem impor contradições ao especificar a leitura do espaço geográfico com as devidas noções de *unidade, totalidade e complexidade* (CHRISTOFOLETTI, 1999).

Inicialmente, a TGS foi defendida a partir de propósitos de caráter integrador do meio científico (Quadro 2), condição mantida com as devidas adaptações nas várias áreas do conhecimento.

| | |
|---|--|
| 1 | Tendência geral na integração nas várias ciências naturais e sociais. |
| 2 | Integração científica centralizada em uma teoria geral dos sistemas. |
| 3 | Importante meio para alcançar uma teoria exata nos campos não físicos da ciência. |
| 4 | Desenvolvimento de princípios unificadores que atravessam “verticalmente” o universo das ciências individuais – aproxima a pesquisa da meta da unidade da ciência. |
| 5 | Conduzir à integração na educação científica. |

Quadro 2 - Principais propósitos da Teoria Geral dos Sistemas – Fonte: BERTALANFFY, 2009. Teoria Geral dos Sistemas – adaptado

Em estudos geomorfológicos o enfoque na análise sistêmica representa expressiva importância, pois, a *totalidade* ultrapassa os limites idealizados e se expande para outras esferas de atuação. Um dos desafios da pesquisa sob a visão sistêmica consiste em “identificar seus elementos, seus atributos e suas relações, a fim de delinear com clareza a extensão abrangida pelo sistema em foco” (CHRISTOFOLETTI, 1980, p. 2).

Na análise sistêmica, juntamente com a organização, ocorre a interação dos componentes ou aspectos do sistema, neste caso, os componentes ou aspectos de maior relevância são definidos por Christofolletti (1980) como:

- *A matéria* – corresponde a todo o material que é mobilizado no sistema, exemplo: água e detritos;
- *A energia* - necessária para o funcionamento do sistema. A energia é classificada inicialmente como *energia potencial*, uma vez que desencadeia o movimento por meio da gravidade e a *energia cinética* gerada pelo movimento da matéria. A soma da *energia potencial* com a *energia cinética* resulta na *energia total*.
- *A estrutura do sistema* – é formada pelas relações desenvolvidas e seus elementos, uma vez que, a determinação de um elemento depende da escala utilizada. As características mais relevantes observáveis no aspecto estrutural se referem ao tamanho de um sistema, a correlação e a causalidade.

A interação ocorrida em um determinado sistema atinge níveis diferenciados quando comparado com outras situações, e conseqüentemente cada sistema apresenta uma complexidade específica, diretamente relacionada com a intensidade e quantidade das interações produzidas entre a matéria, a energia e a estrutura do sistema.

Nos estudos geomorfológicos os sistemas podem ser classificados conforme seu aspecto *funcional* ou segundo sua *complexidade estrutural*, o que resulta em diversos subtipos de sistemas.

A unidade espacial a ser estudada pode ser denominada de *universo*; está integrado por outros sistemas *controladores* definidos como sistemas antecedentes responsáveis por interferências na dinâmica do sistema maior, enquanto que os

sistemas subsequentes se referem àqueles que sofrem mudanças diretas do sistema universo.

No universo geomorfológico, quatro sistemas antecedentes são essenciais para a análise do relevo:

- a) O *sistema climático* que, através do calor, da umidade e dos movimentos atmosféricos, sustenta e mantém o dinamismo dos processos.
- b) O *sistema biogeográfico* que, representado pela cobertura vegetal e pela vida animal que lhe são inerentes, e de acordo com suas características, atua como fator de diferenciação na modalidade e intensidade dos processos, assim como fornecendo e retirando matéria.
- c) O *sistema geológico* que, através da disposição e variação litológica, é o principal fornecedor de material, constituindo o fator passivo sobre o qual atuam os processos.
- d) O *sistema antrópico*, representado pela ação humana, é o fator responsável por mudanças na distribuição da matéria e energia dentro dos sistemas, e modifica o equilíbrio dos mesmos. Consciente ou inadvertidamente o homem produz modificações sensíveis nos processos e nas formas, através de influências destruidoras ou controladoras sobre os sistemas em sequência. (CHRISTOFOLETTI, 1980, p. 10 e 11).

Christofolletti (1980, p. 7) destaca também a importância em valorizar o conceito de equilíbrio em um sistema, entendido como “o ajustamento completo das suas variáveis internas às condições externas”, a função do equilíbrio é a de exercer o controle da qualidade e da quantidade da circulação de matéria e energia no sistema.

A matéria e a energia estabelecem, por sua vez, a possibilidade em classificar os sistemas em: a) *isolados* – livres de perdas e ganhos de matéria e energia; b) *não-isolados* – relacionam-se com os demais sistemas do universo e são subdivididos em *abertos* (quando ocorrem trocas de matéria e energia, ex: bacia hidrográfica) e *fechados* (quando há troca de energia, mas não de matéria, ex: ciclo hidrológico).

Conforme mencionado inicialmente, o conceito de sistema teve sua origem na ciência biológica, assim como a utilização posterior do termo ecossistema, o que proporcionou considerável distanciamento conceitual específico da Geografia e demais ciências da Terra.

A Terra é definida como um imenso sistema - Geossistema, que, por sua vez, pode ser subdividido em outros sistemas: atmosférico, litosférico e hidrosférico. Todos os três subsistemas terrestres estão integrados e compartilha a vida em diferentes

níveis, inclusive a vida humana (biosfera). As ações e reações produzidas em cada subsistema interferem nos demais (CASSETI, 1995).

Em 1960, de acordo com a descrição de Monteiro (2001), Sotchava utilizou pela primeira vez o termo *geossistema* com o propósito de estabelecer uma ligação da natureza com a sociedade, e em 1968, Georges Bertrand publicou em seu artigo uma proposta de aliar o estudo da Geografia Física com base no conceito de *geossistema* que diferenciava do conceito criado pela biologia, “fica também muito claro que a modelização dos geossistemas à base de sua dinâmica espontânea e antropogênica e do regime natural a elas correspondente visa, acima de tudo, promover uma maior integração entre o natural e o humano” (MONTEIRO, 2001, p. 47).

Para Christofolletti “o geossistema resultaria da combinação de um potencial ecológico (geomorfologia, clima, hidrologia), uma exploração biológica (vegetação, solo, fauna) e uma ação antrópica, não apresentando, necessariamente, homogeneidade fisionômica, e sim um complexo essencialmente dinâmico” (1999, p. 42). A análise geossistêmica prioriza as interações complexas próprias da sociedade, assim, torna desnecessário e até mesmo redundante a dissociação da natureza da organização social.

A integração de aspectos naturais aos aspectos antrópicos pode ser considerado o foco central da análise geossistêmica, condição que amplia ainda mais a complexidade sistêmica, pois surgem novos limites, nem todos quantificáveis, na organização e percepção do espaço geográfico.

A análise geossistêmica “visa a integração das variáveis naturais e antrópicas, fundindo recursos, usos e problemas configurados em unidades homogêneas assumindo um papel primordial na estrutura espacial que conduz ao esclarecimento do estado real da qualidade do ambiente” (MONTEIRO, 2001, p. 81). O maior desafio na análise geossistêmica consiste na inserção das *variáveis antrópicas*, condição que interfere em vários estágios da pesquisa e nem sempre com possibilidades reais de conclusões objetivas.

3.2 BACIAS HIDROGRÁFICAS NA VISÃO GEOSISTÊMICA

A delimitação de bacias hidrográficas, com base na visão sistêmica, é cada vez mais utilizada nas pesquisas ambientais, pois a relação existente dos elementos entre si, em áreas com diferentes níveis de interferência antrópica, caracteriza um tipo de sistema aberto.

a composição de uma bacia hidrográfica corresponde a todos esses elementos, compreendidos como físicos, biológicos, sociais, políticos, culturais e econômicos. A interação desses numerosos elementos constitui a complexidade sistêmica. As interações e os elementos dão a noção de organização e totalidade. (CAMPOS, 2010, p. 25).

A pesquisa fundamentada nas bacias hidrográficas possibilita a análise integrada da dinâmica geossistêmica por meio de metodologias abrangentes na investigação da temática proposta. A bacia hidrográfica, como unidade de estudo, representa critérios específicos de delimitação relacionados aos fatores naturais.

Em síntese, para o presente estudo, a base conceitual se define na afirmação de Christofolletti (1980, p. 103), em que “a drenagem é composta por um conjunto de escoamento inter-relacionado que forma a bacia de drenagem” [...] “a quantidade de água que atinge os cursos fluviais está na dependência do tamanho da área ocupada pela bacia, da precipitação total e de seu regime, e das perdas devidas à evapotranspiração e à infiltração.” A bacia hidrográfica, conforme descrição anterior, é classificada como um *sistema não-isolado aberto*, uma vez que ocorre interação com os demais sistemas do universo e a troca contínua de energia e matéria.

O conceito de bacia hidrográfica na abordagem sistêmica representa, portanto, o eixo integrador no desenvolvimento de cada etapa deste estudo, o que permite a contextualização com as descrições que complementam a definição principal.

Tucci destaca a importância do fluxo hídrico em sua descrição de bacias hidrográficas, que na relação sistêmica representa a dinâmica da energia que movimenta os sedimentos nas vertentes até a foz ou “exutório”.

área de captação natural da água de precipitação que faz convergir os escoamentos para um único ponto de saída, seu exutório. Ela compõe-se basicamente de um conjunto de superfícies vertentes e de uma rede de

drenagem formada por cursos de água que confluem até resultar um leito único no exutório. (TUCCI, 1993, p. 40).

Entre as inúmeras definições referentes à bacia hidrográfica, é possível estabelecer um parâmetro consensual na confirmação de três elementos essenciais: a área, o rio principal e seus afluentes, facilmente identificados na seguinte descrição de Guerra:

Bacia hidrográfica é um conjunto de terras drenadas por um rio principal e seus afluentes. Nas Depressões longitudinais se verifica a concentração das águas das chuvas, isto é, do lençol de escoamento superficial, dando o lençol concentrado – os rios. A noção de bacia hidrográfica obriga naturalmente a existência de cabeceiras ou nascentes, divisores d'água, cursos d'água principais, afluentes, subafluentes, etc. (GUERRA, 1978, p. 48).

Nas últimas décadas pode ser observado o aumento considerável de estudos físicos e projetos de gestão ambiental por setores públicos e privados que utilizam as bacias hidrográficas como unidade espacial de referência. As pesquisas desenvolvidas nas diferentes áreas do conhecimento enfrentam também desafios específicos à problemática em análise, entretanto, com raras exceções, pode-se afirmar que, direta ou indiretamente, os fatores antropogênicos representam as mais graves situações de desequilíbrio no sistema hidrográfico/geomorfológico, especialmente no tocante ao uso do solo.

A importância dos rios pode ser verificada ao longo de toda a história humana, mas, somente a partir de 1945, segundo Christofolletti (1980), o engenheiro hidráulico Robert E. Horton definiu determinadas leis do desenvolvimento dos rios e suas respectivas bacias, bem como a expressiva contribuição de Arthur N. Strahler. “A Horton cabe a primazia de efetuar a abordagem quantitativa das bacias de drenagem, e o seu estudo serviu de base para nova concepção metodológica e originou inúmeras pesquisas por parte de vários seguidores” (1980, p. 106), (embora ocorram divergências no meio científico quanto a utilização do termo “bacia de drenagem” como sinônimo de bacia hidrográfica, nesta citação não há diferença entre os significados).

Os Estados Unidos, em 1933 iniciaram a delimitação de bacias hidrográficas como unidade formal de planejamento, outros países como o Reino Unido e a França adotaram o mesmo modelo, seguidos de muitos outros países, porém, o Brasil ainda demorou algumas décadas para a produção significativa de trabalhos baseados em

bacias hidrográficas. Até a década de 1980, grande parte das pesquisas e projetos ambientais enfatizava os limites definidos pelas coordenadas cartográficas ou ainda os limites político-administrativos (BOTELHO, 1999).

Atualmente, o estudo de bacias hidrográficas abrange as mais variadas escalas. A elevada complexidade sistêmica possibilita o estudo direcionado aos demais subsistemas naturais e antrópicos, como exemplo: os solos, a vegetação, os rios e o clima.

Conforme Christofletti (1980, p. 65), “os rios constituem os agentes mais importantes no transporte dos materiais intemperizados das áreas elevadas para as mais baixas e dos continentes para o mar. Sua importância é capital entre todos os processos morfogenéticos”. A interação dos cursos d’água na dinâmica da bacia hidrográfica se torna mais evidente por meio da análise multitemporal, quando é possível constatar comparativamente as mudanças diretas e indiretas do sistema. Os processos erosivos desencadeados nas vertentes, entre outros processos geomorfológicos, constituem em exemplos clássicos de repercussão na rede de drenagem percebidos pelo assoreamento.

3.3 EROÇÃO HÍDRICA DOS SOLOS

Os estudos direcionados à erosão do solo estão focados principalmente na capacidade produtiva do mesmo, no contexto de uso humano e impactos ambientais.

Segundo Mafra (2005, p. 301) “A erosão hídrica consiste basicamente numa série de transferências de energia e matéria geradas por um desequilíbrio do sistema água/solo/cobertura vegetal, as quais resultam numa perda progressiva do solo”. A perda de solo produzida pelos processos erosivos afeta principalmente o sistema produtivo e pode representar níveis diferenciados em cada ambiente, condição que exige uma análise específica.

Para Morgan (2006, p. 2) “embora a erosão do solo seja um processo físico com uma variação global considerável em sua gravidade e frequência, onde e quando ocorre a erosão também são fortemente influenciados por fatores sociais, econômicos, políticos e institucionais”. O impacto ambiental provocado pela erosão constitui um

problema de difícil solução; a intensificação da ocupação inadequada do solo por atividades agropastoris agrava ainda mais o empobrecimento do solo e o assoreamento dos corpos d'água, condição que amplia ainda mais o nível de complexidade na organização das informações.

Os processos erosivos, analisados por Oka-Fiori (2002), ocorrem em diferentes escalas temporais e espaciais, podendo variar sua magnitude em conformidade com as variáveis atuantes. A erosão dos solos ocupados por atividades agropastoris se caracteriza como um tema de extrema preocupação no âmbito nacional, uma vez que os diagnósticos produzidos por estudos científicos têm apresentado uma situação de expressivas perdas na qualidade produtiva.

Para Viers (1980, p. 51), “a erosão não é uma entidade, mas fenômeno concreto e muito diverso em suas modalidades”. O mesmo autor também cita a água como principal agente de erosão e de transporte, bem como a ocorrência de diferentes modalidades erosivas pela atuação hídrica.

D'Agostini (1999), observa que: a partir da década de 1970, a preocupação com o desgaste do solo, provocado pelos processos erosivo, representou um significativo avanço no que se refere a inserção da importância da relação ser humano/meio, pois, além da atenção voltada para o fator produtividade soma-se a necessidade em impor uma interpretação fundamentada na sustentação.

A erosão dos solos pode ser analisada em diferentes intensidades em todo o território do Brasil, causando sérios problemas, tanto para a agropecuária, pela perda de produtividade, como para o ambiente hidrográfico, pelo acúmulo de sedimentos que intensificam o processo de assoreamento. O assoreamento ou a deposição de sedimentos no leito fluvial ocorre quando o rio perde sua capacidade de transporte, situação mais evidente em cursos de baixo gradiente

O estudo direcionado à erosão do solo a partir da delimitação de bacias hidrográficas, direta ou indiretamente, aborda o impacto causado pelo assoreamento nos leitos fluviais, uma dinâmica de transformação da paisagem marcada pelas características naturais e socioeconômicas que atuam na área.

A dinâmica energética na produção de erosão hídrica está associada à dinâmica do que chamamos ciclo hidrológico, ou seja: erosão hídrica é

expressão de energia que flui na promoção daquele ciclo, parcialmente convertida em trabalho de desagregação e de transporte de partículas de solo. (D'AGOSTINI, 1999, p. 61).

As formas do relevo constituem no objeto de interesse da geomorfologia, estão em contínua transformação por agentes naturais físicos e químicos que produzem a dinâmica da desagregação, transporte e deposição dos sedimentos. O intemperismo ocorre associado ou independente da ação humana e atinge graus diferenciados conforme os aspectos naturais e antrópicos do ambiente, o tipo de solo, estrutura geológica, clima, cobertura vegetal, topografia e atividades humanas interferem no volume do material movimentado e produz alterações em todo o sistema de forma específica.

A erosão dos solos é um processo que ocorre em duas fases: uma que constitui a remoção (*detachment*) de partículas, e outra que é o transporte desse material, efetuado pelos agentes erosivos. Quando não há energia suficiente para continuar ocorrendo o transporte, uma terceira fase acontece, que é a deposição desse material transportado. Os processos resultantes da erosão estão intimamente relacionados aos vários caminhos tomados pela água da chuva, na sua passagem através da cobertura vegetal, e no seu movimento na superfície do solo. (GUERRA, 2009, p. 165).

Embora o transporte e deposição de sedimentos ocorram de forma constante na natureza, este fenômeno atinge níveis preocupantes quando as atividades antrópicas interferem indiscriminadamente no sistema natural. Segundo Guerra (2005, p. 17) “o processo tende a acelerar, à medida que mais terras são desmatadas para a exploração de madeira e/ou para a produção agrícola, uma vez que os solos ficam desprotegidos da cobertura vegetal e, conseqüentemente, as chuvas incidem diretamente sobre a superfície do terreno”.

Na presente pesquisa a definição dos processos erosivos hídricos representa uma abordagem generalizada da base conceitual, integrada à análise das perdas de solo pela erosão laminar, e, na localização de vossorocas, razão pela qual, apenas determinados processos serão descritos na sequência.

A definição dos *processos erosivos básicos* ocorre de forma consensual na literatura, e, descritos por Guerra (2009), como conceitos essenciais na compreensão da causa e efeito da erosão que são: *splash*, *escoamento superficial ou runoff*, *escoamento subsuperficial* e *piping*. Estes processos tanto podem atuar isoladamente,

como em conjunto. O efeito erosivo no solo está diretamente associado ao tempo e ao espaço.

- *Splash*: também conhecida como erosão por salpicamento, refere-se ao deslocamento de partículas provocado pelo impacto da gota de chuva quando atinge o solo, portanto, pode ser considerada como a causa fundamental da erosão hídrica. A incidência do *splash* pode produzir uma camada mais rígida (crosta) na superfície do solo.

- *Escoamento superficial*: Comum em chuvas torrenciais quando o solo fica saturado pelo excesso de água e o fluxo se desloca pela força da gravidade. Quando o solo fica encharcado, no limite de sua umidade, a água da chuva se acumula nas pequenas depressões do terreno e então se inicia o *runoff*. A formação de poças é a fase inicial para o escoamento superficial.

- *Escoamento subsuperficial*: é o movimento lateral da água em subsuperfície, produz o transporte de minerais em solução e quando ocorre de forma concentrada apresenta efeitos erosivos.

- *Piping*: erosão produzida na subsuperfície por canais – dutos - de dimensões variadas, relacionados à formação de voçorocas.

A partir das definições de determinados processos erosivos, um enfoque especial deve ser atribuído à análise dos efeitos das chuvas sobre o solo. Considerando a topografia e suas características pedológicas, geológicas e cobertura vegetal será possível verificar os índices de infiltração e escoamento superficial, este último, determinante nos processos erosivos superficiais, uma vez que cada solo apresenta seu limite de saturação específico, e o excesso da água absorvida produz o escoamento na superfície e conseqüentemente o transporte de sedimentos para as áreas mais baixas.

Penteado (1978, p. 102), caracteriza o escoamento difuso como “um conjunto de filetes de água, contornando os mínimos obstáculos, anastomosando-se infinitamente e carregando-se de partículas finas”. Este tipo de escoamento é próprio de vertentes desprotegidas de cobertura impermeável e produz a erosão por ravinamento.

O escoamento em lençol inicialmente age com velocidade alta, e em seguida tem sua força reduzida; se difere pela maior abrangência areal de fluxo contínuo.

As taxas de escoamento superficial estão intrinsecamente associadas às taxas de infiltração, que por sua vez representa padrões definidos pela composição do solo.

O modelo de Withers e Vipond⁵ (1974, *apud* Guerra, 2009), publicado na década de 1970, é questionado, especialmente quando compara as taxas de infiltração no período de três horas de chuva sem considerar os demais fatores que interferem no processo. Embora as variações sejam frequentes, o Gráfico 1 destaca a expressiva diferença de infiltração entre a areia e a argila.

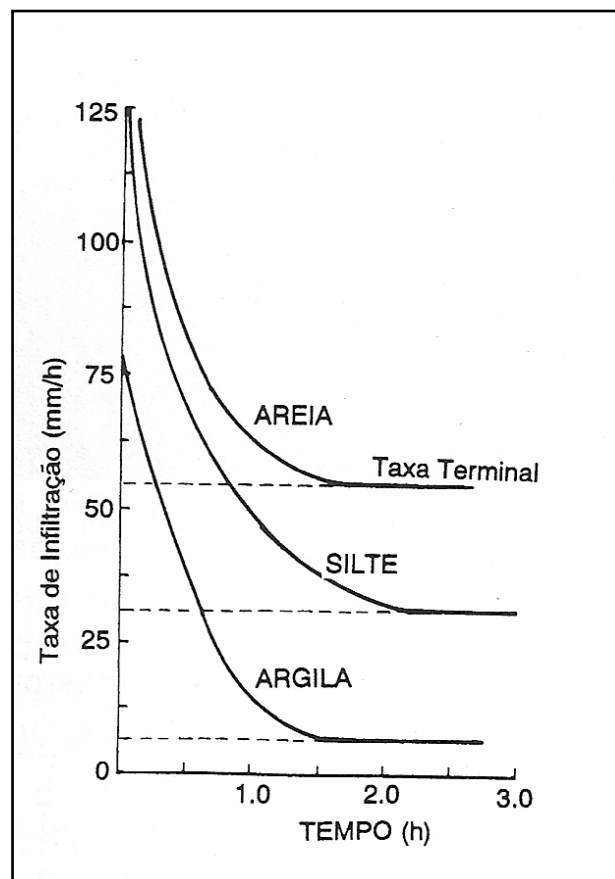


Gráfico 1 - Taxa de infiltração em vários tipos de solos (segundo WHITERS; VIPOND, 1974 *apud* GUERRA, 2009, p.167).

Horton (1945) destaca a inconstância da infiltração da chuva durante a primeira meia hora de precipitação, na qual o volume infiltrado inicial (f_0) diminui rapidamente até atingir um valor constante (f_c), que, pode durar até três horas. A capacidade de infiltração de um solo pode ser determinada por meio das características naturais e

⁵ Withers, B Vipond, S. *Irrigation: Design and Practice*. Batsford, 1974.

demais elementos que integram o sistema, a análise quantitativa, representa, portanto, uma ferramenta de apoio no estudo da erosão hídrica.

Condições específicas de cada solo podem produzir uma taxa de saturação diferenciada de modelos pré-estabelecidos e desencadear o escoamento superficial em proporção maior que a esperada, nesta condição, terrenos arenosos considerados com alto nível de infiltração podem produzir rapidamente *runoff*. A compreensão da diversidade nos níveis de infiltração e saturação, própria de cada terreno, é de fundamental importância no estudo da erosão hídrica, assim como o estudo detalhado do uso e ocupação da terra.

Para Garcez e Alvarez (1988) a diferença da precipitação total e os volumes infiltrados, retidos, interceptados e evaporados resultam no volume de escoamento superficial, no sentido do declive da vertente, fator de interesse nos estudos relacionados à conservação do solo.

Inevitavelmente, a substituição de áreas florestais pelo uso agrícola aumenta a exposição do solo ao intemperismo, o terreno exposto à erosão perde gradativamente a camada mais fértil da superfície, eleva o volume de água em contato com o solo e, conseqüentemente, intensifica o volume de sedimentos transportados para os leitos fluviais devido o fluxo superficial. Os impactos produzidos pelas atividades agrícolas, geralmente representam significativas perdas ambientais, entretanto existem situações específicas em que os cuidados com o solo são devidamente seguidos, a ponto de contribuir de forma positiva na manutenção dos recursos naturais (MINOTI; CRESTANA, 2004). O mau uso da terra, decorrente de práticas agrícolas inadequadas, atinge expressivamente uma vasta proporção ambiental, porém os maiores impactos são percebidos nos corpos d'água, quando comparados com os demais subsistemas.

Segundo Maack (2002), a remoção da vegetação original, situação constatada na área de pesquisa, para o cultivo de café, acelera intensamente o processo erosivo, especialmente nos primeiros anos de formação dos cafezais. O transporte do solo se torna ainda mais agravante nas áreas constituídas pelo arenito Caiuá.

As pastagens, por sua vez também provocam a aceleração da erosão, os sulcos produzidos pelos animais canalizam o fluxo de água, e a displicência no controle á erosão, em geral supera ao das áreas agrícolas. Para Coelho Netto (2009) se faz

necessário conhecer a *vocação hidrológica* da área em estudo, assim como seus componentes ambientais para a orientação devida na ocupação da terra, as atividades humanas, quando acompanhadas de conhecimento técnico, são capazes de reduzir de maneira acentuada o impacto da erosão.

As bacias hidrográficas em território brasileiro, representam o resultado das características naturais capazes de favorecer a erosão potencial em conjunto com a atuação humana, que, por sua vez, correspondente à forma de ocupação e atividades agropastoris (CUNHA, 1998).

O estudo dos processos erosivos induz às considerações relativas ao assoreamento dos corpos d'água, caracterizados como o acúmulo de sedimentos nos leitos fluviais e nos lagos.

Conforme Oka-Fiori (2002), os processos erosivos apresentam diferenças de magnitude e padrão fundamentadas no tempo, no espaço e na escala; estes elementos, inevitavelmente interferem na quantificação e análise do problema. Em análises pontuais de eventos chuvosos a dinâmica erosiva ocorre em magnitude diferente se comparada com um estudo mais longo, assim como nas variações de característica e dimensão da área trabalhada.

A erosão hídrica do solo pode ser analisada sob os diferentes mecanismos e condicionantes no transporte de sedimentos, embora o processo erosivo se inicie com o desprendimento das partículas do solo e na sequência passe pela etapa do transporte, apenas o material depositado, que caracteriza a etapa final, pode ser quantificado.

No contexto da presente pesquisa duas classes de erosão são abordadas por representarem problemas ambientais de expressiva evidência regional: a erosão laminar e a erosão linear (ravinas e vossorocas).

3.3.1 Erosão Laminar

A remoção de camadas do solo, de forma aparentemente homogênea, em todo o terreno pela força da chuva, caracteriza a erosão laminar, que, segundo Bertoni e Lombardi Neto (2008), pode ser identificada pela mudança na coloração e queda

progressiva da fertilidade do solo. Inicialmente as partículas mais leves e de maior valor para a produção agrícola são arrastadas.

A erosão laminar, ou em lençol, assume papel de destaque quando se refere ao assoreamento da rede de drenagem. Sua atuação se inicia pelo acúmulo de água em depressões do terreno saturado pela chuva. O escoamento superficial em forma de lâmina, caracterizado como escoamento difuso, ocorre com intensidade proporcional à declividade do terreno e à quantidade de água acumulada. O transporte da camada superficial de sedimentos minerais e orgânicos acontece de forma uniforme, empobrece os solos agrícolas e interfere na dinâmica fluvial. A recuperação do solo erodido se torna muito difícil quando o processo se encontra em estágio avançado.

Preservar a fertilidade dos recursos do solo é essencial para sustentar tais recursos, mas não é mais do que manter a qualidade da água. De qualquer forma, os dois objetivos são indissociáveis e qualquer fracasso atinge os dois conjuntamente, como quando a chuva provoca erosão da terra – os córregos e rios sofrem. (WORSTER, 2008).

Segundo Silva e Crestana (2004), a erosão laminar ocorre em períodos de precipitações fortes, em terrenos livres de obstáculos e capaz de favorecer o escoamento em lamina, em caso de barreiras, o fluxo contorna o obstáculo e continua sua trajetória. O transporte de sedimentos, de difícil observação, é relativamente lento, quando comparado com outras situações. Com o passar do tempo, em geral alguns anos, expõe as raízes de culturas perenes e marcas nas estruturas atingidas, efeito capaz de indicar a profundidade de solo deslocado. O escoamento superficial se torna mais intenso, à proporção da redução da capacidade de infiltração do solo.

O movimento do fluxo de água na superfície é controlado por diferentes forças horizontais, correntes verticais e redemoinhos capazes de movimentar as partículas da massa do solo e desprender as partículas por ação elevatória. No caso de choque entre as partículas desprendidas com o solo, ainda coeso, ocorre o fenômeno da abrasão, que contribui ainda mais para o deslocamento de sedimentos (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2008).

Para Guerra (2009, p. 179) “Quanto maior a turbulência do fluxo de água, maior a capacidade erosiva gerada por esse fluxo”, situação condicionada não só pelo volume pluviométrico, mas também por fatores naturais anteriormente descritos. A erosão

laminar se torna potencializada quando em interação com o *splash*, principalmente em solos de composição arenosa, que apresentam partículas de maiores dimensões (Gráfico 2).

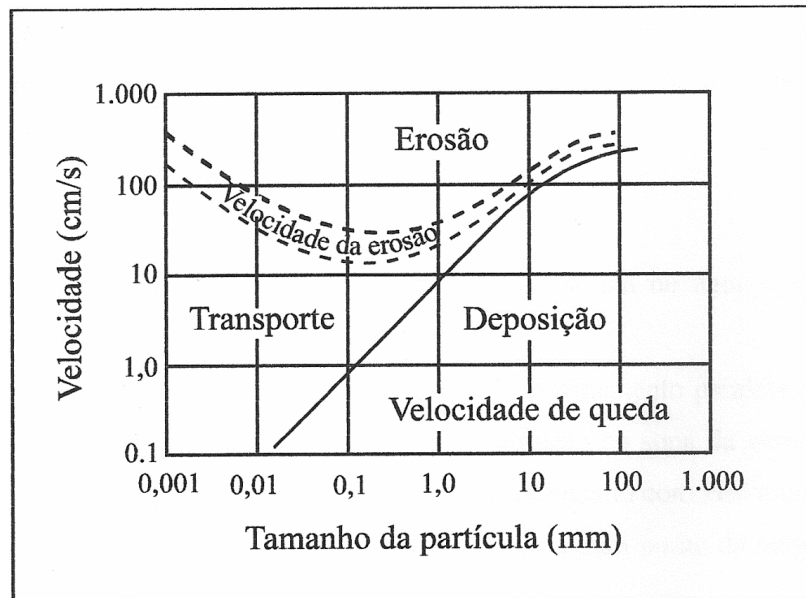


Gráfico 2 - “velocidades críticas da água, necessárias para que ocorra erosão, transporte e sedimentação, como uma função do tamanho das partículas” (HJULSTROM, 1935 ⁶apud GUERRA, 2009 p. 180)

O ritmo lento da erosão laminar pode ser considerado um dos mais graves obstáculos para o seu controle, pois quando se torna perceptível, as perdas já atingiram grandes proporções, portanto, é de fundamental importância considerar que todo o material transportado pelas vertentes das bacias hidrográficas atingem os vales fluviais, desta forma, o problema de degradação dos solos é ainda mais complexo.

A recuperação das áreas degradadas pela erosão hídrica exige altos investimentos e nem sempre ocorre de forma satisfatória.

A Figura 5, publicada por Horton (1945, p. 316), mostra em escala vertical exagerada, um perfil de fluxo de vale, que enfatiza a atuação da dinâmica erosiva.

⁶ HJULSTROM, F. Studies of the morphological activity of rivers as illustrated by the River Fyries. Bull. Geol. Inst. Univ. Uppsala, 25, 221-527, 1935.

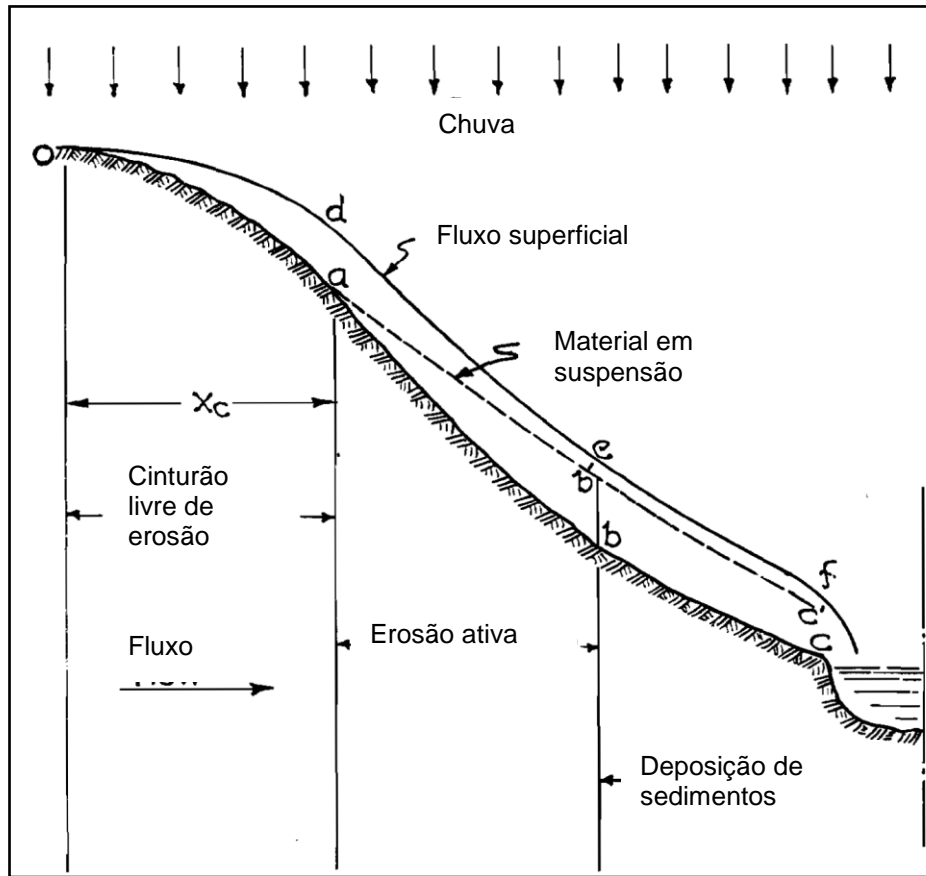


Figura 5 – Imagem esquemática da metade de uma encosta do vale, ilustrando processos de erosão do solo segundo Horton (1945, p.316).

- O perfil da superfície do solo está representada no plano $oabc$;
- o escoamento superficial durante chuva intensa compreende odf ;
- no eixo oa , área relativamente plana;
- a erosão é praticamente nula na crista do talude, espaço representado por X_c , denominado de *cinturão livre de erosão*, no qual a energia da água é inferior à resistência do solo à erosão;
- a *erosão ativa* ocorre na área mais íngreme, faixa ab ;
- o volume de sedimentos transportados em suspensão pelo escoamento superficial inicia em a e é proporcional ao ordenado entre as linha pontilhada $ab'c$ e abc . Em a , é zero; em b é representada pela intercepção vertical em bb' .
- antes de chegar ao ponto b , a água percorre a encosta arrastando sedimentos em suspensão, sendo que a quantidade de material aumenta até que o fluxo esteja totalmente carregado com material em suspensão.

- Com a diminuição da inclinação, conforme representado na Figura 5, a capacidade do escoamento superficial para transportar partículas também pode diminuir, neste caso ocorre a deposição de sedimentos.

A quantificação da erosão laminar por métodos matemáticos tem contribuído com a pesquisa científica e projetos de planejamento e controle ambiental, porém em áreas com solo mais resistente, ou mais atingida pelo escoamento superficial linear, se destaca a ocorrência de ravinas e vossorocas.

3.3.2 Erosão em Ravinas

A concentração da água da chuva em linhas produz incisões de dimensões variadas nas encostas, em geral, associadas à erosão laminar transportam os sedimentos para rede de drenagem e representam grave perda econômica e ambiental na bacia hidrográfica.

No meio acadêmico e instituições técnicas existem divergências quanto à definição conceitual para ravinas e vossorocas. Na literatura científica observa-se repetidas referências ao parâmetro dimensional descrito por Oliveira (2005, p. 59), e aceita por entidades governamentais, “[...], portanto, são consideradas ravinas incisões com menos de 50 centímetros, e vossorocas incisões com largura e profundidade superiores a 50 centímetros.” Nem sempre o fator dimensional é suficiente para a diferenciação da erosão em sulcos, é também possível identificar as voçorocas quando os sulcos no terreno atingem o lençol freático e podem constituir marcas permanentes nas encostas, enquanto que as ravinas, quase sempre, são temporárias podendo aparecer em pontos diferentes a cada evento chuvoso e ser mais facilmente manipuladas por maquinários agrícolas. As dimensões classificatórias também podem ser estabelecidas por critérios regionais.

Segundo Oliveira (2005, p. 58) “ravinas e vossorocas podem ser consideradas como incisões que resultam da tendência de sistemas naturais a atingir um estado de equilíbrio entre energia disponível e eficiência do sistema a dissipar energia.” O

surgimento de sulcos no terreno representa uma área em desequilíbrio e esta, por sua vez, é decorrente de fatores naturais e/ou antropogênicos.

O surgimento de ravinas é mais comum em áreas mais distantes do topo, e o volume de sedimentos transportados se intensifica com o impacto das gotas da chuva que, inicialmente, desprende as partículas e estas ficam mais susceptíveis ao transporte.

Para Oka-Fiori, com base na visão hortoniana, a resistência do solo e a força exercida pela água são determinantes no aparecimento de ravinas no solo, assim, o desenvolvimento do sulco será possível quando a força do fluxo superar a resistência do solo. “A força F representa, na verdade, uma força de cisalhamento paralela à superfície de escoamento da água e aumenta progressivamente em direção ao sopé da vertente devido ao progressivo aumento da espessura da lâmina de água.” (2002, p.133).

O solo pode ter sua resistência fortalecida pela vegetação que forma verdadeiros obstáculos redutores da velocidade do fluxo e as raízes atuam como fator de coesão das partículas minerais e orgânicas do solo.

A vegetação age como frenador e dissipador de energia do material deslocado pelo fluxo difuso (CASSETI, 1995). A redução do movimento de transporte pelas barreiras vegetais diminui a morfogênese e também o assoreamento dos talwegues.

Nas pastagens é comum o desenvolvimento de ravinas a partir do traçado de trilhas marcadas pelo pisoteio dos animais, pois facilmente concentra o fluxo de água. Em situações extremas, as ravinas permanentes, podem atingir proporções elevadas e conseqüentemente possibilitar o surgimento de vossorocas.

3.3.3 Erosão em Vossorocas

O termo em questão apresenta diferentes grafias na literatura científica: vossoroca, voçoroca, boçoroca ou até mesmo bossoroca, sendo utilizadas para denominar um padrão específico de erosão linear, no presente trabalho será priorizada a grafia “vossoroca”.

As vossorocas, uma vez presentes nas encostas, são de difícil controle, apresentam paredes laterais íngremes e profundidades maiores que os canais fluviais, porém com larguras mais reduzidas. “O desmatamento, o uso agrícola da terra, o superpastoreio e as queimadas, quase sempre são responsáveis diretos pelo surgimento de vossorocas, associados com o tipo de chuvas e as propriedades do solo e podem ter origens variadas.” (GUERRA, 2009, p. 184). A ação da chuva nas laterais e na base das ravinas provoca simultaneamente o alargamento e o aprofundamento do sulco. Outras vossorocas surgem pelo desgaste produzido pelo escoamento subsuperficial associado ao efeito *piping* e ainda pode ocorrer o vossorocamento provocado por deslizamentos. O avanço das vossorocas segue tanto em direção a montante como a jusante.

Segundo Oka-Fiori o surgimento de vossorocas pode ser atribuído tanto ao escoamento superficial, subsuperficial, ou após deslizamentos de terra, entre os quais a água passa a ser o fator determinante.

O principal agente no desencadeamento do processo de erosão acelerada é a água, que atua das seguintes formas: (a) entalhe superficial, (b) erosão por arraste de partículas, num processo de *piping*, por parte do lençol freático, nas paredes laterais e no pé da vossoroca e (c) transporte de caráter fluvial, de partículas recém-descalçadas de sua posição original, por parte de filetes de água ou córregos, que passam a percorrer o fundo das vossorocas, córregos esses que resultam da participação de águas do lençol aflorante bem como da coleta de águas de chuva.

As formas (a) e (b) de atuação da água provocam a queda de consideráveis massas de solo por descalçamento, ou perda de apoio. A forma (c) encarrega-se de remover, por sua vez, as massas recém-caídas. (OKA-FIORI, 2002, p. 137).

As vossorocas apresentam diferentes estágios de desenvolvimento, em geral, podem ser classificadas como: ativas, em estabilização e estabilizadas.

A quantificação de perdas de solo por meio de ravinas e vossorocas nem sempre é possível, principalmente quando os sulcos foram alterados, ou ainda extintos, por eventos naturais ou atividades antrópicas, entretanto em estudos multitemporais, a análise comparativa proporciona elementos de expressiva relevância para o aprofundamento do debate socioambiental e temas concernentes.

3.3.4 A Cobertura Florestal como Controle da Erosão

Os processos erosivos, conforme descritos anteriormente, ocorrem por dinâmicas naturais, entretanto são as ações antrópicas que desencadeiam alterações na velocidade e na proporção do transporte dos sedimentos pela ocupação inadequada do solo.

Para Bertoni e Lombardi Neto (2010) as florestas são essenciais para o equilíbrio ecológico da região, e seu manejo adequado pode acrescentar renda ao agricultor, e principalmente conter o desgaste do solo pela erosão.

Segundo Schaitza *et al.* (2008, p. 14), o reflorestamento deve priorizar as espécies nativas, em uma sequência fundamentada no princípio da sucessão fitossociológica: “Assim procura-se restabelecer a floresta nativa através do estabelecimento inicial de uma combinação de espécies exóticas e nativas pioneiras que servirão para formar um ambiente favorável ao crescimento das espécies nativas secundárias e tardias.” O mesmo autor destaca que é possível inserir espécies exóticas, como o eucalipto para fins comerciais, porém a proporção deve ser criteriosa, pois o predomínio de eucaliptos pode inibir o desenvolvimento das espécies nativas.

A manutenção de áreas florestadas reduz pela interceptação o volume da água que atinge o solo, aumenta a infiltração e, conseqüentemente, também reduz o *runoff* e a erosão do solo. Segundo Guerra (2009), além da contribuição no controle da erosão hídrica a vegetação atua na produção de matéria orgânica no solo.

Para a análise de bacias hidrográficas, a ocupação parcial da área para reflorestamento, em especial os espaços de maior declividade pode representar alterações significativas nos índices de potencial erosivo.

3.3.5 Práticas Conservacionistas no Controle da Erosão

O controle da erosão, laminar e linear, está fundamentado na redução do volume do escoamento superficial e sua velocidade. A literatura científica recomenda uma série de práticas conservacionistas que podem ser adequadas a cada realidade,

portanto, considerando-se as principais especificidades da área, quanto à declividade e solos, em linhas gerais, determinadas práticas conservacionistas podem ser recomendadas, segundo Bertoni e Lombardi Neto (2008):

a) Práticas de caráter vegetativo: reflorestamento e florestamento na reserva legal, em áreas com baixa produtividade e nas porções com graves indícios de erosão, priorizando as espécies nativas permanentes com as de valor comercial, nas faixas ciliares selecionar espécies com frutos comestíveis; nas área de pastagem, é muito importante o controle da acidez do solo, evitar a alta densidade de gado e a prática de queimadas para maximizar a proteção do solo; nas áreas cultiváveis manter o solo protegido por meio de plantas de cobertura ou cobertura morta com restos de culturas.

b) Práticas de caráter edáfico: manter a fertilidade do solo com atenção especial à adubação orgânica e calagem.

c) Práticas de caráter mecânico: plantio em curvas de nível nos terrenos com baixa declividade, em casos específicos de declividade acentuada é indicado a construção de terraços com base larga tanto em áreas de culturas permanentes ou temporárias, como em áreas de pastagens.

Em áreas com erosões em sulcos (ravinas e vossorocas) recomenda-se: proteger a o espaço degradado com cercas para impedir o trânsito de animais e maquinários; drenar o escoamento subsuperficial para canais fluviais, controlar o escoamento a superficial da bacia (laminar e concentrado) por meio de práticas de caráter vegetativo e mecânico.

3.4 EQUAÇÃO UNIVERSAL DE PERDAS DO SOLO – EUPS

A prática científica da Geografia na análise espacial transcorreu uma longa trajetória desde a descrição textual das paisagens até a utilização de técnicas e metodologias diversificadas. Não se pode afirmar que o conhecimento matemático ou qualquer outro são suficientes para oferecer uma resposta definitiva a respeito das questões ambientais, entretanto, estabelecer novas possibilidades de pesquisa é um desafio constante na busca de respostas mais próximas à realidade em estudo. As

novas propostas se desenvolveram ao longo do tempo, como uma resposta ao acúmulo de conhecimento de gerações de pesquisadores das mais diferentes áreas.

O avanço tecnológico também tem contribuído significativamente para a produção científica de estudos multitemporais de bacias hidrográficas, inclusive na aplicação de equações empíricas, já utilizados em décadas passadas, que se transformaram em ferramenta indispensável no planejamento conservacionista.

Gameiro (1997) afirma que, na década de 1940, nos Estados Unidos se iniciou o desenvolvimento de equações matemáticas com o objetivo de quantificar a perda de solos. O desenvolvimento de métodos matemáticos para cálculo de perdas de solo é um processo contínuo.

De fato, para Laflen e Moldenhauer (2003), em 1940 os experimentos de campo com simulação de chuva eram estudados por Zingg, mas ainda em 1934 já eram publicados os trabalhos de Duley e Ackerman com medidas da erosão do solo sob o efeito da inclinação e comprimento da vertente. Em 1941 o trabalho de Smith se aproximava do desenvolvimento da EUPS, ele estabeleceu o conceito de perda de solo tolerável para a manutenção de sua fertilidade de quatro toneladas por hectare na região do Missouri. Durante a Segunda Grande Guerra muitos dados foram coletados, mas o desenvolvimento de equações não teve progresso significativo. Em 1947, o trabalho de Browning e o trabalho de Musgrave representaram um grande avanço na utilização de fatores como de erodibilidade de solos, fundamentados na equação de Smith. A partir de 1954, o foco das pesquisas se direcionou para a análise dos conjuntos de dados já existentes, com inúmeros trabalhos publicados a respeito da quantificação de perdas de solo.

A Equação Universal de Perda de Solo – EUPS – foi caracterizada como tal no final da década de 1950, até ser publicada por Wischmeier e Smith em 1978 com o título original de *Universal Soil Loss Equation - USLE*, após repetidas alterações, (SILVA, 2003).

A partir de 1987 a EUPS foi submetida a sucessivas análises até o ano de 1996, quando sua revisão foi considerada concluída com a publicação do Agriculture Handbook 703. Inúmeras pesquisas utilizam a EUPS como parâmetro quantitativo, pois se trata de um método de expressiva importância pela sua flexibilidade em abranger as

especificidades regionais de clima, topografia e pedologia associadas ao uso do solo. Caracteriza-se como modelo empírico, com a integração de dados de campo e cartográficos, para cálculo de erosão hídrica superficial do tipo laminar, em termos anuais. (SILVA; CRESTANA, 2004).

O grau de precisão da EUPS está, entre outros fatores, relacionado à dimensão da área pesquisada, Salomão (2005) afirma que, quanto menor for a área, mais próximos da realidade serão os resultados matemáticos obtidos. Os fatores que compõem o desenvolvimento da EUPS, também são considerados por Araújo (2005), ao descrever o controle dos processos erosivos de origem pluvial por meio do clima, do tipo de solo, da topografia, da cobertura vegetal e do uso e manejo da terra.

A utilização de cálculos matemáticos associados aos sistemas naturais e antrópicos proporciona uma relativa segurança na discussão de temáticas ambientais. As equações matemáticas, quando aplicadas em estudos geomorfológicos, devem ser analisadas com certa precaução, pois, cada ambiente apresenta suas especificidades socioculturais e até físicas que poderão apresentar incompatibilidade com modelos pré-determinados. Assim, a utilização da EUPS, como outro modelo qualquer, apresenta limitações de uso e requer uma interpretação criteriosa, entretanto, para D'agostini “a *Universal Soil Loss Equation* adquiriu significação determinante na construção do pensamento científico de pesquisadores em erosão” (1999, p. 39).

No caso da utilização da EUPS em bacias hidrográficas, as críticas mais evidentes, segundo Silva e Crestana (2004) referem-se a omissão dos depósitos de sedimentos ao longo das encostas, ao seu uso indiscriminadamente e a necessidade em definir parâmetros específicos para cada caso em estudo.

Considerando as restrições mencionadas na aplicação da EUPS, o estudo das bacias hidrográficas no município de Altônia foi acompanhado de uma análise criteriosa em campo como prática fundamental no desenvolvimento da pesquisa.

Atualmente é possível encontrar alterações da proposta original, como todo o conhecimento, a EUPS também é passível de mudanças, mas, seguindo a ideia principal, uma melhor compreensão do modelo pode ser adquirida pela descrição dos fatores independentes considerados no cálculo da EUPS, que por sua vez dão origem às demais sub-equações de cada componente da equação principal.

3.4.1 Erosividade da chuva (R)

A dinâmica climática de uma região interfere diretamente na intensidade do desenvolvimento dos processos erosivos. Conforme Bertoni e Lombardi Neto (2008, p. 250), “O fator chuva (R) é um índice numérico que expressa a capacidade da chuva, esperada em dada localidade de causar erosão em uma área sem proteção”, em análise, o fator chuva (R), expresso em *MJ.mm/ha.h.ano*, consiste na capacidade da chuva em produzir erosão, sendo as unidades *MJ* (megajoule), *mm* (milímetro), *ha* (hectare) e *h* (hora). Segundo Cunha e Guerra “a erosividade da chuva é medida por parâmetros como o total e intensidade da chuva, momento e energia cinética” (2010, p. 358). Estes parâmetros acrescentam informações que inserem na aparente simplicidade conceitual uma visão mais complexa do problema.

Salomão (2005, p. 232), define o fator (R) como “o índice que expressa a capacidade da chuva em provocar erosão laminar”.

Os dados pluviométricos podem ser obtidos nas estações meteorológicas, sendo reconhecidos no meio científico como importante parâmetro para estudos de perda de solos, com ênfase no momento e na energia cinética (GUERRA, 2010). Embora não seja possível estabelecer valores de referência universalizados, a utilização de dados regionais integrados com as características do solo e vegetação contribui significativamente na quantificação da erosão hídrica. O momento resulta da velocidade e massa da gota de chuva, enquanto que energia cinética está associada com a intensidade da chuva e representa melhor a perda de solo.

Nos parâmetros definidos por Wischmeier e Smith (1978) a variável (*EI*) se refere a um determinado evento chuvoso, condicionado pelo produto da energia total (*E*) e a intensidade máxima em 30 minutos (*EI₃₀*). O produto obtido representa interações numéricas que refletem a forma como a energia total e a intensidade de pico são combinadas em cada evento específico de chuva. O parâmetro *EI* indica o grau de desprendimento de partículas do solo relacionado à capacidade de transporte do fluxo para picos prolongados.

3.4.2 Erodibilidade do solo (K)

Cada tipo de solo apresenta diferente nível de resistência à erosão hídrica e ao transporte de suas partículas, denominado de erodibilidade do solo (K). “As principais propriedades do solo, que determinam sua erodibilidade, resistência em ser erodido e transportado são: textura, densidade aparente, porosidade, teor de matéria orgânica, teor e estabilidade dos agregados e pH” (GUERRA, 2010, p. 358).

A resistência do solo à erosão hídrica está totalmente relacionada ao grau de dificuldade da água da chuva em desagregar e movimentar os sedimentos, assim, os solos arenosos são desagregados mais facilmente que os solos argilosos Segundo Salomão (2005), os solos arenosos apresentam elevada infiltração das águas pluviais, entretanto, a baixa proporção de argila reduz a ligação das partículas e facilita o seu deslocamento nas enxurradas.

Para Oka-Fiori (2002) existe uma expressiva diferença entre erosão do solo e erodibilidade do solo, uma vez que na primeira situação uma série de fatores naturais atua no deslocamento de partículas (por exemplo: chuva, declive e cobertura vegetal), enquanto que na segunda situação apenas as características da composição do solo estão sendo consideradas (por exemplo: textura, permeabilidade e granulometria).

Para Bertoni e Lombardi Neto, “o fator erodibilidade do solo (K) tem seu valor quantitativo determinado experimentalmente em parcelas unitárias, sendo expresso, como a perda do solo (A), por unidade de índice de erosão de chuva (EI)” (2008, p. 258).

3.4.3 Comprimento e Declividade da Rampa (LS)

Bertoni e Lombardi Neto (2008, p. 259) define o fator (LS) como “a relação esperada de perdas de solo por unidade de área em um declive qualquer em relação a perdas de solo correspondentes de uma parcela unitária de 25 m de comprimento com 9% de declive”.

Os fatores topográficos são representados em conjunto na aplicação da EUPS, o comprimento e a declividade da rampa (LS) desempenham a importante função de contribuir em maior ou menor grau para o desenvolvimento da energia potencial no transporte das partículas. A inclinação acentuada acelera o movimento enquanto que a rugosidade reduz a velocidade do fluxo. Conforme D'agostini (1999) a capacidade em produzir erosão é desempenhada diretamente pela energia da velocidade percebida como comprimento e inclinação, assim estes fatores são considerados como condições determinantes na dinâmica erosiva.

Meyer acabou por ceder ao empirismo, expressando a velocidade do fluxo de escoamento como função da declividade, da vazão e da rugosidade do solo. Com o aumento do comprimento da rampa, o fluxo em sulcos cresce à medida que fluxos menores convergem e tornam-se contribuintes de um fluxo maior. A vazão em um sulco é, assim, também uma função do comprimento de rampa. Então, como a erosão é função da erosividade, que é função da velocidade da água, que por sua vez e ao alcance dos sentidos é função da declividade e do comprimento, o empirismo novamente acabou por matematizar e expressar a erosão como função direta da declividade e do comprimento da rampa. (D'AGOSTINI, 1999, p. 26).

Para Bertoni e Lombardi Neto (2008), assim como a declividade, o comprimento da rampa exerce total influência na dinâmica do escoamento superficial, pois o volume de água aumenta conforme a distância a ser percorrida, portanto quanto maior for o comprimento da rampa mais energia será produzida pelo acúmulo de água e, conseqüentemente, os efeitos erosivos também serão ampliados.

3.4.4 Uso, Manejo do Solo e Práticas Conservacionistas (CP)

A cobertura vegetal interfere diretamente na redução do impacto das gotas de chuva no solo, constitui a proteção natural do terreno contra os processos erosivos. As práticas agrícolas, em geral, aumentam a susceptibilidade do solo à erosão, entretanto, os níveis são diferenciados quanto ao tipo de cultivo e as técnicas utilizadas.

O fator uso e manejo do solo (C) é a relação esperada entre as perdas de solo de um terreno cultivado em determinadas condições e as perdas correspondentes de um terreno mantido continuamente descoberto. Por outro lado o fator Práticas conservacionistas (P) é a relação entre a intensidade

esperada de perdas de solo por erosão, com determinada prática conservacionista, e aquelas quando a cultura está plantada no sentido de declive (morro abaixo). (SALOMÃO, 2005, p. 233).

O fator (CP) é a razão da perda de solo para cultivo específico sob determinada prática. Considerando a dinâmica do processo erosivo, segundo D'Agostini (1999), o tipo de uso e manejo do solo pode desempenhar maior importância do que o tipo de solo.

Entre as técnicas conservacionistas mais divulgadas para amenizar o desgaste do solo destaca-se:

- *Terraceamento*: “é um conjunto formado pela combinação de um canal com um dique de terra, construído no sentido transversal ao declive do terreno” (CASSETI, 1995, p. 80)

- *Rotação de cultura*: atua no equilíbrio químico e físico do solo.

- *Plantio direto*: “O plantio direto se caracteriza como prática que implica o mínimo de revolvimento do solo, procurando-se manter sobre ele os restos culturais que formam uma camada protetora na superfície (cobertura morta)” (CASSETI, 1995, p. 80). A camada de restos vegetais mantém o solo úmido e protegido do impacto direto da chuva.

Na visão geossistêmica, o solo é fundamental para a vida terrestre, assim como a água e o ar, porém ainda são muito reduzidas as práticas capazes de adequar um padrão de qualidade aceitável para a sua proteção (MORGAN, 2005).

O controle da erosão hídrica é uma necessidade primordial no uso agrícola do solo, as práticas conservacionistas, por meio de técnicas de cultivo adequadas a cada realidade físico-econômica, é uma condição viável e eficiente para redução ou até mesmo a eliminação do impacto ambiental decorrente da perda de solo.

O solo como recurso natural não-renovável apresenta determinadas restrições no seu uso, sendo que para Tricart:

a degradação dos solos sob efeito de práticas agrônômicas inadequadas, se traduz pelo desaparecimento progressivo do húmus, com o surgimento do fenômeno de crostas, diminuição da porosidade, congestionamento mais fácil e, por vias de consequência, rebaixamento das reservas de água do solo trazendo prejuízo às plantas.(1981, p.51)

Segundo Horton (1945, p. 316), os agricultores percebem a maior vulnerabilidade à erosão nas áreas mais íngremes dos morros ou das encostas, “nem na crista nem na parte inferior do morro mas na intermediária. Todos os solos possuem uma certa resistência à erosão, e esta resistência pode ser aumentada consideravelmente por uma cobertura vegetal”. Morgan (2005) enfatiza o papel da vegetação como elemento dissipador da energia do escoamento, e conseqüentemente da velocidade do transporte de partículas do solo. É observado na literatura científica o consenso aplicado à importância da vegetação como agente mitigador dos processos erosivos nas bacias hidrográficas e, portanto, um fator considerado de extrema relevância no embasamento da presente pesquisa.

A eficiência de qualquer medida mitigadora da degradação do solo depende do controle da “velocidade da água que incide e da água que escoar sobre a superfície do solo” (D’AGOSTINI, 1999, p. 15). As práticas conservacionistas, segundo Salomão (2005), tem como finalidade maximizar a infiltração e reduzir o escoamento superficial das chuvas.

Uma vez que as áreas mais íngremes estão incluídas entre os pontos de maior atenção, é necessário a aplicação de técnicas de manejo de solo adequadas aos declives acentuados para impedir o avanço da erosão, e proteger as margens fluviais por meio de manutenção da mata ciliar nativa, ou o reflorestamento com espécies apropriadas aos aspectos físicos locais.

Para Salomão (2005) as diversas técnicas de conservação dos solos agrícolas devem ser adequadas às características físicas e químicas do solo, por meio do estudo das limitações e potencialidades da bacia hidrográfica. As práticas de caráter vegetativo são aplicadas em solos próprios para o cultivo, nos quais são utilizadas as plantas como alternativa principal no combate à erosão. As práticas de caráter edáfico controlam a erosão de forma indireta, pois são direcionadas ao condicionamento da fertilidade do solo. As práticas de caráter mecânico podem ser integradas às demais, em que atuam no controle do escoamento superficial e da infiltração (Quadro 3).

| Práticas de caráter vegetativo | Práticas de caráter edáfico | Práticas de caráter mecânico |
|---------------------------------|-----------------------------|------------------------------|
| Plantas de cobertura | Controle do fogo | Plantio em curvas de nível |
| Cultura em faixas | Adubação verde | Terraceamento |
| Quebra-ventos. | Adubação química | Canais escoadouros. |
| Alternância de capinas | Adubação orgânica | |
| Cordões de vegetação permanente | Rotação de cultura | |
| | Calagem | |

Quadro 3 - Práticas conservacionistas. Fonte: SALOMÃO, (2005), adaptado.

O controle dos processos erosivos representa um grande desafio para a sociedade atual, entretanto, as possibilidades são ampliadas quando considerado como prioridade nos planejamentos administrativos e legislação.

3.5 PAISAGEM E ANÁLISE AMBIENTAL

As discussões acadêmicas relacionadas às unidades espaciais no contexto da ciência geográfica exigem uma análise exaustiva das bases conceituais pontuadas de múltiplas divergências interpretativas e métodos de análise quantitativa e qualitativa, entretanto, na presente pesquisa, o termo paisagem será aplicado especificamente na abordagem geomorfológica do espaço delimitado das bacias hidrográficas, enfatizando a realidade da paisagem típica de áreas agropastoris do noroeste do Paraná, integradas com as temáticas ambientais concernentes.

Segundo Christofolletti (1999, p. 37), Na interpretação socioeconômica, o sistema ambiental físico é organizado pelos elementos biogeográficos, o que produz o conceito de sistema ambiental e desta forma induz ao estudo dos impactos ambientais inerentes, que por sua vez estão relacionados com as transformações produzidas no ambiente natural e projetadas à sociedade humana. “o uso do adjetivo *ambiental* deve ser direcionado para categorizar os componentes e as características funcionais e dinâmicas dos sistemas que suportam a existência dos seres vivos”.

Rougerie e Beroutchachvili expõem o conceito temporal e cultural de paisagem, que a partir do século XIX adquire o status de objeto de estudo para os naturalistas e geógrafos. A paisagem é descrita como parte do espaço, do qual os diversos usos popularizados do termo paisagem estão baseados em seu valor referencial, enquanto que no âmbito científico a paisagem como objeto de análise representa um conceito

complexo: “Nós nunca falamos tanto de paisagem como hoje. Nós não a mencionamos aqui e lá, da mesma maneira [...] Nós falamos de “paisagem” pensando “meio” ou “geossistema” e às vezes vice versa” (1991, p. 247).

A paisagem pode ser definida como um sistema ou ainda um geossistema, organizado em sua totalidade pelo mesmo clima, e relevo relativamente homogêneo, devidamente conectado com os demais elementos.

A paisagem classificada como unidade passa a ser entendida por Bertrand (1968) sob o aspecto de uma parte do espaço constituída de diferentes elementos geográficos integrados de forma dinâmica. Estes elementos são classificados em físicos, biológicos e antrópicos, e quando se confrontam dialeticamente produzem na paisagem um sentido de conjunto em interação, ou ainda dinâmicas individuais.

A organização do espaço geográfico na história humana tem produzido intensas transformações na paisagem natural, transformações estas marcadas por impactos ambientais em todas as escalas observáveis. O uso da terra como mercadoria ultrapassou os limites de equilíbrio ideal dos sistemas produtivos. Para Mafra (2005, p. 319), “são irreparáveis as perdas produzidas pelo descaso humano na conservação do potencial produtivo de áreas agrícolas.” O estudo da paisagem, nesta situação, está direcionado à compreensão das relações de causas e consequências decorrentes das alterações geossistêmicas.

As transformações paisagísticas de amplas áreas são produzidas pelas práticas agropastoris, que inicialmente atinge as topografias mais favoráveis (CHRISTOFOLETTI, 2009).

Com a aplicação da análise geomorfológica, o estudo dos elementos que compõem a paisagem especificada, inclusive, proporciona uma maior integração, própria da abordagem proposta na TGS e compatível com a Geografia Física.

3.5.1 O Suporte Legal no Equilíbrio da Paisagem

A paisagem definida como objeto de análise, representa de fato um sistema estruturado na interação dos elementos naturais e antrópicos, com atuações diferenciadas na sua dinâmica caracterizada de constantes transformações.

A paisagem como objeto de exploração, passou por intensas transformações na escala nacional. As últimas cinco décadas, como parâmetro de análise temporal desta pesquisa, representou fases diferenciadas na economia e no tratamento legal da paisagem.

Segundo Ross (2010), em 1934 com a criação do Código das Águas e em 1965 com a implantação do Código Florestal, o Brasil consolidou uma base legal de controle a exploração indiscriminada dos recursos naturais, com importante destaque para a proteção dos recursos hídricos e restrições ao desmatamento. Na década de 1970 os movimentos ambientais adquiriram abrangência global e desempenharam um importante papel de divulgação da exploração desmedida dos recursos naturais e influenciaram as mudanças nas legislações vigentes dos países, incluindo o Brasil. A década de 1980, na escala nacional, representou uma série de mudanças no setor legislativo: foi criado o CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente, pela Lei Federal 6938/81 e a nova Constituição Brasileira, promulgada em 1988, com ênfase à temática ambiental no artigo 225 do capítulo VI.

As leis anteriormente citadas continuam em vigência, porém, consideráveis alterações foram acrescentadas visando uma melhor adequação às transformações socioambientais inerentes à realidade temporal de transição produtiva do país e conseqüentemente em escalas regionais. Parei aqui

Neste contexto de legislação ambiental, em 18 de julho de 1989 foi sancionada a Lei nº 7.803 que representou, entre outras, importantes alterações no Código Florestal de 1965. Foram diversas as determinações da lei em questão, porém, para fins de análise na presente pesquisa destaca-se: a vegetação ciliar de 30 metros ao longo dos rios e 50 metros em torno das nascentes e a reserva legal equivalente a 20% das propriedades com área de 20 a 50 hectares.

Por imposição da lei, e preocupação com as penalidades aplicadas ao descumprimento das mesmas, os espaços florestados foram ampliados gradativamente.

É possível que a ação antrópica exerça práticas positivas na proteção e/ou recuperação de áreas pelo reflorestamento como base para o equilíbrio da paisagem local, pois segundo Bertoni e Lombardi Neto (p. 32, 2010), “a floresta é nosso maior recurso natural de caráter renovável [...] O valor da floresta como regulador das nascentes e do controle da erosão é bem conhecido.”

O dinamismo da paisagem, em uma visão integradora, pressupõe não apenas os aspectos negativos da ocupação humana desenfreada, mas também sua influência por meio de instrumentos legais.

4 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DA ÁREA DE ESTUDO

Os fatores naturais, ou físicos, são fundamentais para a interpretação das transformações na paisagem, assim, se faz necessário a descrição da estrutura geológica, dos solos, da vegetação, do clima e da hidrografia local para uma compreensão integrada às atividades antrópicas.

A caracterização dos aspectos físicos, da área em estudo, possibilita uma melhor compreensão da influência exercida pelos mesmos na análise multitemporal da erosão laminar no contexto da presente pesquisa.

4.1 GEOLOGIA

A bacia sedimentar do Paraná consiste em uma unidade morfoestrutural que abrange áreas do Paraguai, Argentina, Uruguai e Brasil. No Brasil integra extensas porções dos estados do Mato Grosso, Goiás, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul (OKA-FIORI *et al*, 2007).

A área de estudo encontra-se em sua totalidade sobre a Formação Caiuá sotoposta ao Grupo Bauru (Figura 6).

A Formação Caiuá é considerado objeto de estudos e controvérsias desde a década de 1920, quando Baker⁷ (1923, *apud* ARID *et al.*, 1981) citou pela primeira vez a ocorrência de arenitos ao longo do rio Paraná e posteriormente caracterizado por Washburne⁸ (1930, *apud* ARID *et al.*, 1981), como “*Cayuá sandstone*”, quando iniciaram-se os estudos referentes à sua gênese e características geológicas.

Os arenitos da Formação Caiuá, são depósitos de aproximadamente 250 m de espessura, de origem associada a ambientes desérticos e fluviais, apresentam textura fina a média, coloração avermelhada e argilas intercaladas (MINEROPAR, 2005).

⁷ BAKER, C.L. **The lava field of the Paraná basin.** J. Geol., Chicago. Ill., 31:66-79. 1923.

⁸ WASHBURNE, C. W. **Petroleum geology of the State of São Paulo.** São Paulo, Instituto Geográfico e Geológico. 280 p. (Boletim, 22). 1930.

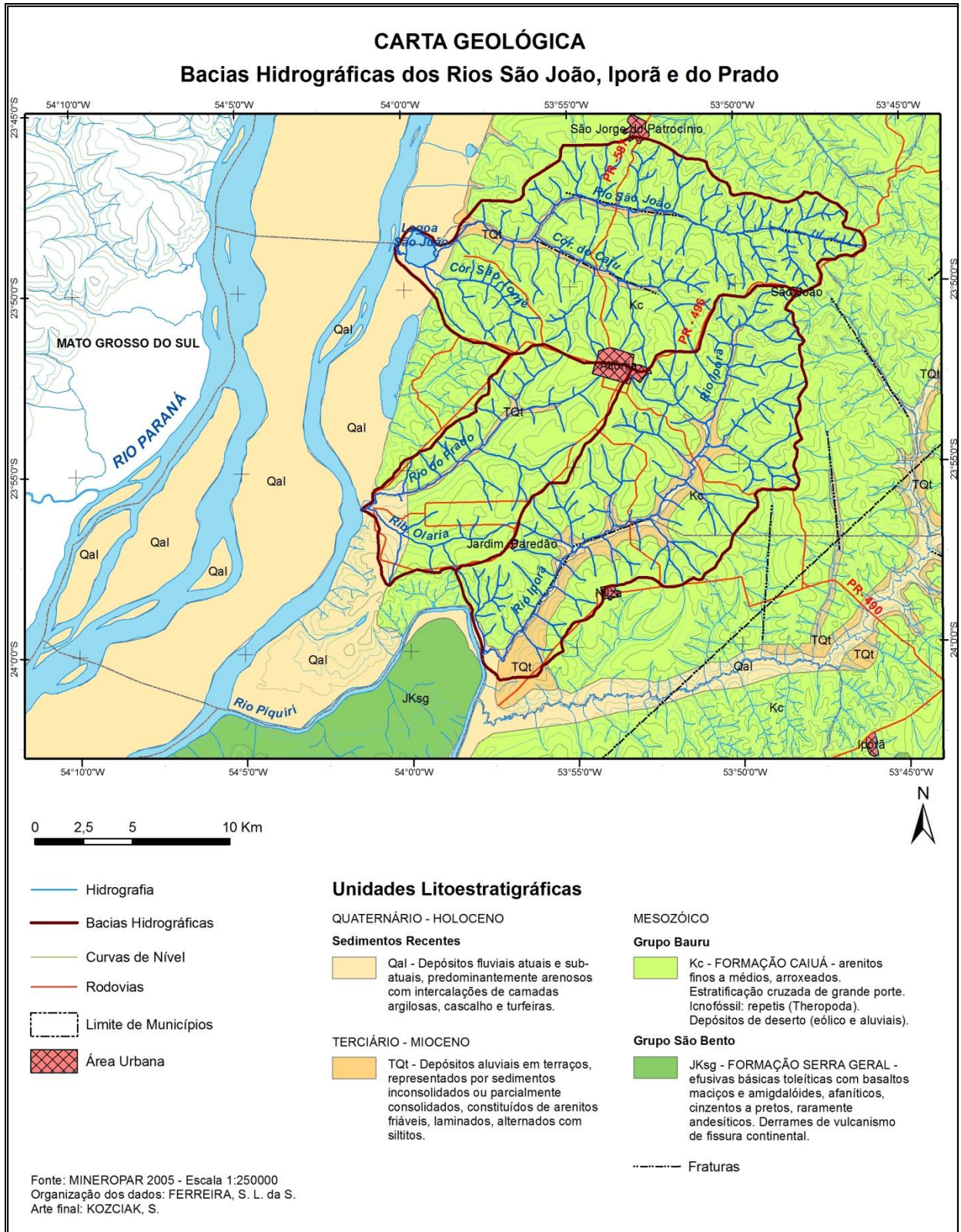


Figura 6 – Carta geológica da área de estudo. Fonte: Mineropar, 2005.

Na definição de Fernandes e Coimbra (2000), a Formação Caiuá apresenta um assentamento discordante sobre os basaltos da Formação Serra Geral, com espessura aproximada de 280 m no entorno do município de Altônia, parâmetro bem semelhante ao citado anteriormente.

Batezelli (2010, p. 266-267), destaca que “Suas unidades são constituídas basicamente por arenitos muito finos a finos, quartzosos, bem selecionados [...] apresentam alta maturidade textural e mineralógica, com grãos exibindo brilho fosco e películas de óxido de ferro”.

Por se tratar de uma formação com expressivo grau de desagregação e de transporte, o Arenito Caiuá apresenta elevado potencial erosivo, especialmente nos períodos de intensas precipitações.

4.2 RELEVO

Com base no mapeamento geomorfológico do Estado do Paraná, produzido por Oka-fiori *et al* (2007), na unidade morfoestrutural da Bacia Sedimentar do Paraná encontra-se o Terceiro Planalto, unidade morfoescultural, que, por sua vez, divide-se em quatro subunidades, denominadas: Planícies Fluviais, Planalto de Campo Mourão, Planalto de Paranavaí e Planalto de Umuarama, sendo que, no último está localizado a área de estudo.

O relevo característico do Planalto de Umuarama, apresenta dissecação média, com o predomínio de classes de declividades baixas, topos alongados e aplainados, vertentes convexas e vales em “V”, modeladas em rochas da Formação Caiuá (OKA-FIORI *et al*, 2007) (Figura 7).



Figura 7 - Aspectos do relevo predominante no município de Altônia/PR. janeiro, 2011. Localização: baixo curso do rio Iporã.

4.3 SOLOS

O solo é definido pela EMBRAPA (2006, p.32) como “uma coleção de corpos naturais, constituídos por partes sólidas, líquidas e gasosas, tridimensionais, dinâmicos, formados por materiais minerais e orgânicos que ocupam a maior parte do manto superficial das extensões continentais do nosso planeta”. Como subsistema da Terra, o solo passa por interferências decorrentes da ação antrópica.

A importância dos solos nas atividades primárias é inquestionável, entretanto sua exploração indiscriminada excede à sua capacidade de equilíbrio, interfere no padrão produtivo e no ambiente como um todo. Segundo Araújo (2005), o solo representa um recurso natural de difícil recuperação, uma vez degradado, necessita de muito tempo para sua recuperação, o que torna este processo como uma dinâmica extremamente lenta, considerando também que em determinadas situações o impacto provocado pode ser irreversível.

O estudo dos solos, no âmbito da análise ambiental, consiste em um fator extremamente importante, pois, cada tipo de solo, integrado com os demais fatores naturais e antrópicos, apresentam suas especificidades no processo de desgaste.

A gênese dos solos do Noroeste Paranaense está associada à cobertura de arenitos da Formação Caiuá, resultante de processos de sedimentação eólica

(EMBRAPA, 1984). Segundo Fernandes (1992), as rochas que compõem o sistema pedológico do Noroeste Paranaense, são, principalmente, arenitos quartzosos a subarcosianos, por se tratar de rochas homogêneas com intercalação de arenitos muito finos, sendo que o solo produzido apresenta uma estrutura porosa e permeável.

Os principais solos, encontrados na área de pesquisa, correspondem à ordem dos Latossolos Vermelhos e Argissolos Vermelhos, e, em menor proporção os Gleissolos (EMBRAPA, 2007), (Figura 8).

Conforme a atual legenda proposta pela EMBRAPA, os solos que formam as bacias hidrográficas em estudos são descritos como:

PVd2: Argissolo Vermelho Distrófico típico, textura arenosa/média, A moderado, fase floresta tropical subperenifólia, relevo suave ondulado.

PVd5: Argissolo Vermelho Distrófico típico, textura arenosa/média, A moderado, álico, fase floresta tropical subperenifólia, relevo suave ondulado e ondulado.

PVe1: Argissolo Vermelho Eutrófico típico textura arenosa/média A moderado, fase floresta tropical subperenifólia relevo suave ondulado.

PVe3: Associação de: Argissolo Vermelho Eutrófico típico + Gleissolo Melânico Indiscriminado + Gleissolo Háptico, todos textura média/argilosa A moderado, fase floresta tropical perenifólia, relevo plano.

LVd19: Latossolos Vermelhos Distrófico típico, textura média, A moderado, fase floresta tropical subperenifólia, relevo suave ondulado e plano.

GX1: Gleissolos Hápticos Indiscriminado, textura argilosa, fase campo e floresta tropical perenifólia de várzea, relevo plano.

Os Argissolos Vermelhos distróficos (grau de saturação por base inferior a 50% nos 100 cm iniciais do horizonte B), são encontrados geralmente em climas úmidos. “São solos com horizonte B textural (Bt), caracterizado por acumulação de argila, [...]. Em geral, apresentam, diferenças significativas no teor de argila entre os horizontes A e B (relação textural mais alta que os latossolos) passando de um horizonte superficial mais arenoso, para um horizonte superficial mais argiloso”. (GUERRA e BOTELHO, 2001, p. 184).

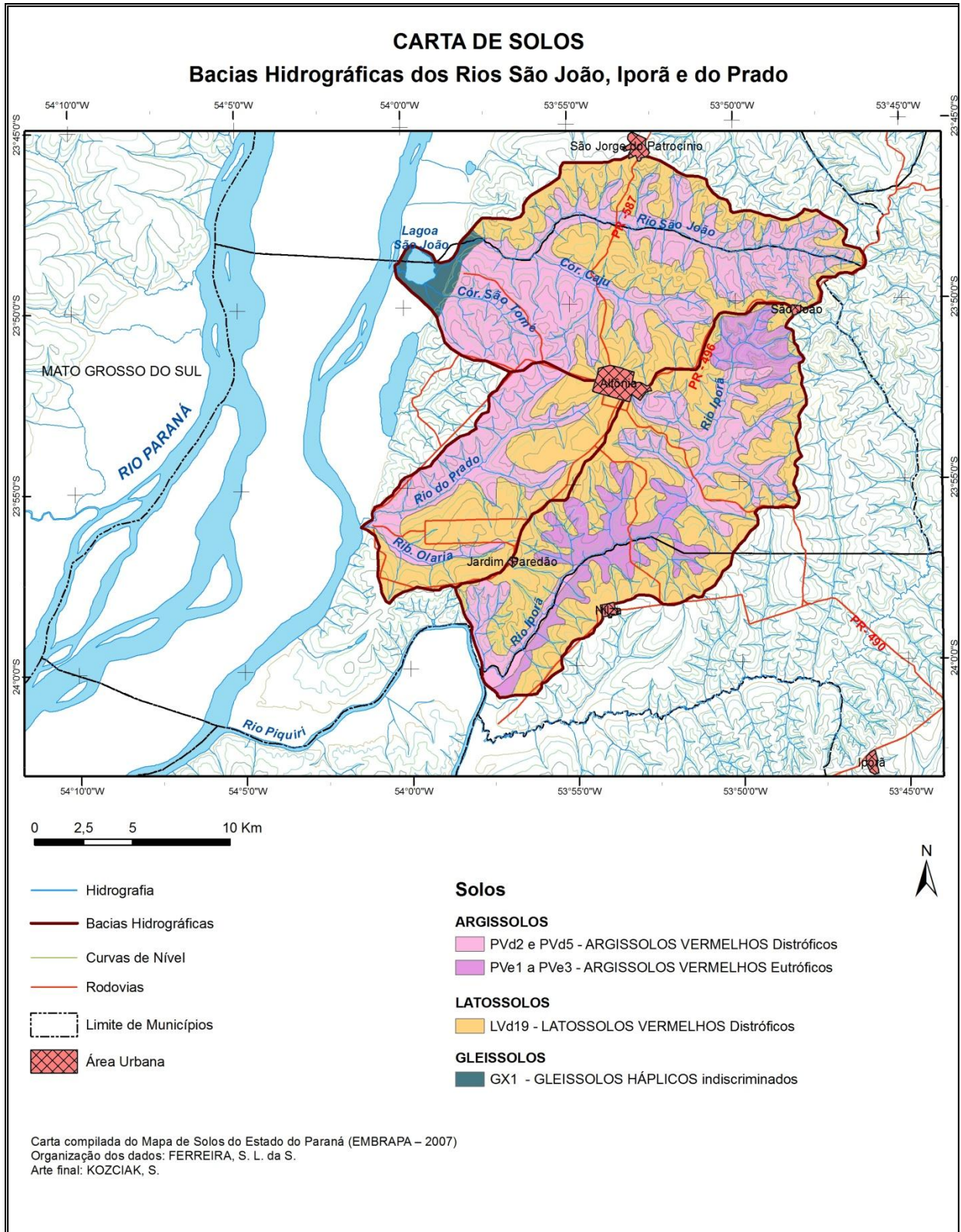


Figura 8 – Carta de solos da área de estudo. Fonte: modificado de EMBRAPA, 2007.

Na bacia do rio São João os Argissolos Vermelhos distróficos (PVd2 e PVd5) correspondem a 57,80% da área, enquanto que na bacia do rio do Prado o índice é de 42,71% e apenas 23,93% na bacia do rio Iporã (Tabela 4).

Tabela 4 - Subordens de solos existentes na área de estudo

| Subordens de Solos | 1- Rio São João | | 2- Rio Iporã | | 3- Rio do Prado | |
|--------------------|-----------------|--------|-----------------|--------|-----------------|--------|
| | km ² | % | km ² | % | km ² | % |
| PVd2 e PVd5 | 94.73 | 57,80 | 39.53 | 23,93 | 34.86 | 42,71 |
| PVe1 e PVe3 | 0.00 | 0,00 | 38,21 | 23,13 | 0.00 | 0,00 |
| LVd19 | 63.21 | 38,56 | 87.42 | 52,94 | 46.75 | 57,29 |
| OX1 | 5.98 | 3,64 | 0.00 | 0,00 | 0.00 | 0,00 |
| | 163.91 | 100,00 | 165.16 | 100,00 | 81.62 | 100,00 |

Fonte: Embrapa, 2006.

Na área de estudo, as características argilosas classificam os Argissolos Vermelhos eutróficos (PVe1 e PVe3) como solos favoráveis ao escoamento superficial e subsuperficial nas áreas de contato, uma vez que sua estrutura representa uma barreira à infiltração, esta subordem ocorre apenas na bacia do rio Iporã e representa 23,13% da sua área (Tabela 4).

Os Latossolos, segundo a abordagem de Palmieri e Larach (2010), em geral, apresentam solos minerais não hidromórficos, são profundos, porém de baixa fertilidade natural, enquanto que a classe textural varia de média a muito argilosa e a drenagem de acentuadamente a moderadamente drenada.

Os Latossolos apresentam forte semelhança no teor de argila do horizonte A para B e em geral são mais resistentes à erosão. São caracterizados como solos ácidos a fortemente ácidos, porosos e permeáveis e são compostos por minerais resistentes ao intemperismo. (GUERRA; BOTELHO, 2001).

Segundo Embrapa (2006), Os Latossolos Vermelhos com textura arenosa, associadas ao Arenito Caiuá, são considerados solos profundos, com sequencia de horizontes A, B, C, sendo que a espessura de A+B é superior a três metros. Os Latossolos apresentam avançado estágio de intemperização, de um modo geral, os teores da fração de argila no *solum* aumentam de forma gradativa com a profundidade ou se mantêm constantes ao longo do perfil. São mais comuns em relevo plano e suave

ondulado, com horizonte B latossólico imediatamente abaixo de qualquer tipo de horizonte A.

Na bacia do rio Iporã os Latossolos Vermelhos distróficos (LVd19), atingem os índices de 57,29% na bacia do rio do Prado, 52,94% na bacia do rio Iporã e 38,56% na bacia do rio São João (Tabela 4).

Os Gleissolos, segundo definição da Embrapa (1999), compreendem solos hidromórficos, saturados por água de forma permanente ou periódica, geralmente são formados por sedimentos recentes, próximos aos corpos d'água. Na área em estudo, foi identificada, por meio de observação em campo, a ocorrência do Gleissolo no entorno da lagoa São João corresponde 3,64% da bacia de mesmo nome, esta classe de solos encontra-se sob vegetação campestre herbácea, característica de área de várzea.

As causas mais frequentes na degradação dos solos na área delimitada estão associadas à textura predominantemente arenosa e às práticas agropastoris inadequadas. A economia local de Altônia depende em grande parte da agricultura e da pecuária bovina.

O cultivo do café, atualmente em declínio (Figura 9), cedeu espaço para as culturas temporárias e pastagens (Figuras 10 e 11).

Em geral, a agricultura provoca maior desgaste no solo do que as pastagens, porém, dois fatores podem ser considerados quanto à expressiva incidência de sulcos em áreas de pastagens: o constante preparo e controle da qualidade produtiva dos solos por meios químicos, orgânicos e mecânicos comum às terras ocupadas pela agricultura, permitem um melhor controle do desenvolvimento de ravinas e vossorocas, outro fator pode ser associado aos sulcos preexistentes nas antigas áreas de plantio ocupadas atualmente por pastagens, que por sua vez, exigem menos atenção, e com isto o monitoramento da expansão dos sulcos foram negligenciados.



Figura 9 – Fotografia de cultura de café no médio curso da bacia do rio São João. Atividade cada vez mais rara nos Latossolos e Argissolos locais. Julho, 2010.



Figura 10 – Fotografia de cultura de milho na bacia do rio São João. O constante preparo do solo favorece a erosão laminar. Julho, 2010.



Figura 11 – Fotografia de vossoroça em Argissolos na bacia do rio São João. As pastagens caracterizam significativas alterações nas atividades econômicas da década de 1980 no município de Altônia/PR. Julho, 2010.

4.4 CLIMA

A caracterização climática, no estudo multitemporal da erosão hídrica, representa um elemento de extrema importância, principalmente na abordagem do fator chuva.

O clima local apresenta uma temperatura média anual de 20,6 °C com chuvas distribuídas durante todo o ano, sendo que dezembro destaca-se como o mês mais úmido e julho o mês com menor índice pluviométrico.

Com base no princípio de Köppen, o clima é classificado, como Cfa: sempre úmido, clima pluvial quente-temperado e geadas pouco frequentes (MAACK, 2002).

Segundo Passos *et al.* (2006) o clima do Noroeste Paranaense é influenciado pela transição tropical-subtropical. A atuação da massa Polar Atlântica e demais sistemas atmosféricos extratropicais predominam em conjunto com as massas: Equatorial Continental e Tropical Continental. Nos meses de verão são frequentes as

dinâmicas das linhas de Instabilidades Tropicais, enquanto que no inverno a escassez de chuvas resulta em um curto período de estiagem.

Com base nos dados fornecidos pelo Instituto Das Águas Do Paraná (2010), as médias pluviométricas das chuvas mensais e anuais para as bacias hidrográficas dos rios São João, Iporã e do Prado foram calculadas a partir das medições feitas na estação Altônia, localizada nas coordenadas 23° 51' 00" S e 53°52' 59"W, instalada em 10/04/1967. As médias foram consideradas no período de 1968 a 2010, totalizando 1520,3 mm ao ano (Gráfico 3).

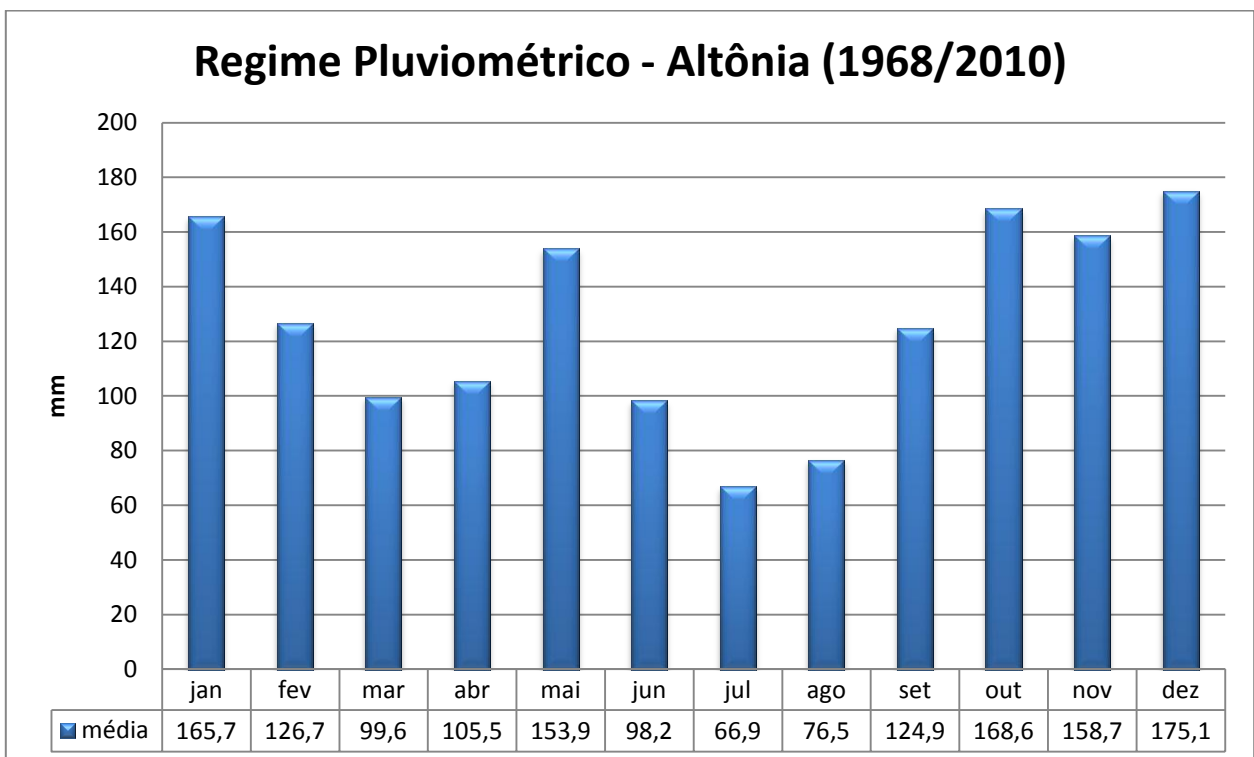


Gráfico 3 – Média mensal de precipitações na estação Altônia (1968-2010). Fonte: Instituto das Águas do Paraná, SIH - Sistema de Informações Hidrológicas.

4.5 VEGETAÇÃO

A classificação da vegetação da área de pesquisa segue o padrão determinado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (1992), que prioriza os agrupamentos vegetais por aspectos fisionômicos. Esta classificação foi baseada em Raunkiaer, modificada e adaptada para a realidade brasileira (Quadro 4).

| IMPÉRIO FLORÍSTICO | De escala regional (1:10 000 000 até 1:2 500 000) até escala exploratória (1: 1 000 000 até 1:250 000) | | | | | | |
|---|--|--|--|---|--|--|--|
| | Tipos de Vegetação | Formações | | | | | |
| ZONA | REGIÃO | CLASSES DE FORMAÇÕES | SUBCLASSES DE FORMAÇÕES | GRUPOS DE FORMAÇÕES | SUBGRUPOS DE FORMAÇÕES | FORMAÇÕES (Propriamente ditas) | SUBFORMAÇÕES |
| | | Estrutura/Formas de vida | Clima/Déficit hídrico | Fisiologia/Transpi- ração e Fertilidade | Fisionomia (Hábitos) | Ambiente/relevo | Fisionomia específica (Facies) |
| NEOTROPICAL - Principais famílias endêmicas brasileiras: Bixaceae, Cactaceae, Cannaceae, Caryocaraceae, Cyclathaceae, Cyrillaceae, Lacistemaceae, Marcgraviaceae, Quimaceae, Sarracenaceae e outras | Com 9 regiões florísticas, com 1 ou mais gêneros endêmicos em cada tipo de vegetação | FLORESTA (Macrofanerófitos, Mesofanerófitos, Lianas e Epífitos) | OMBRÓFILA (0 a 4 meses secos) | Higrófito (Distróficos e Eutróficos) | DENSA | Aluvial Terras baixas Submontana Montana Alto-montana | Dossel uniforme Dossel emergente |
| | | | | | ABERTA | Terras baixas Submontana Montana | Com palmeiras Com cipó Com bambu Com sororoca |
| | | | | | MISTA | Aluvial Submontana Montana Alto-montana | Dossel uniforme Dossel emergente |
| | | FLORESTA (Macrofanerófitos, Mesofanerófitos, Lianas e Epífitos) | ESTACIONAL (4 a 6 meses secos ou com 3 meses abaixo de 15° C) | Higrófito/Xerófito (Álicos e Distróficos) | SEMIDECIDUAL | Aluvial Terras baixas Submontana Montana | Dossel uniforme Dossel emergente |
| | | | | Higrófito (Xerófito e Eutróficos) | DECIDUAL | Aluvial Terras baixas Submontana Montana | Dossel uniforme Dossel emergente |
| | | CAMPINARANA (Campinas) (Xeromórfitos, Nanofanerófitos, Caméfitos, Geófitos, Lianas e Epífitos) | OMBRÓFILA (0 a 2 meses secos) | Higrófito (Álicos e Distróficos) | FLORESTADA ARBORIZADA GRAMÍNEO- LENHOSA | Relevo tabular e/ou Depressão fechada | Com palmeiras Sem palmeiras |
| | | SAVANA (Cerrado) (Xeromórfitos, Microfanerófitos, Nanofanerófitos, Caméfitos, Geófitos, Hemicriptófitos, Lianas e Epífitos) | ESTACIONAL (de 0 a 6 meses secos) | Higrófito (Álicos e Distróficos) | FLORESTADA ARBORIZADA PARQUE GRAMÍNEO- LENHOSA | Planaltos tabulares e/ou Planícies | Com floresta- de-galeria Sem floresta- de-galeria |
| | | SAVANA- ESTÉPICA (Caatinga, Chaco, Campos de Roraima e Parque de Espinilho de Quaraí) (Microfanerófitos, Nanofanerófitos, Caméfitos, Geófitos, Hemicriptófitos, Terófitos, Lianas e Epífitos) | ESTACIONAL (com mais de 6 meses secos ou com frio rigoroso) | Xerófito/Higrófito (Eutróficos) | FLORESTADA ARBORIZADA PARQUE GRAMÍNEO- LENHOSA | Depressão interplanáltica arrasada nordestina e/ou Depressão com acumulações recentes | Com floresta- de-galeria Sem floresta- de-galeria |
| | | ESTEPE (Campanha gaúcha e Campos meridionais) (Nanofanerófitos, Caméfitos, Geófitos, Hemicriptófitos, Terófitos, Lianas e Epífitos) | ESTACIONAL (com 3 meses frios e 1 mês seco) | Higrófito/Xerófito (Eutróficos) | ARBORIZADA PARQUE GRAMÍNEO- LENHOSA | Planaltos e/ou Pediplanos | Com floresta- de-galeria Sem floresta- de-galeria |

Quadro 4 – Classificação fitogeográfica brasileira – fonte: IBGE, 1992.

Como metodologia cartográfica do sistema fitogeográfico, o IBGE (1992, p.12) “segue o procedimento de mapeamento em escalas crescentes”. O levantamento fitogeográfico aborda duas metas específicas: o fisionômico-ecológico, estabelecido hierarquicamente e o florístico em que o Brasil se enquadra na *Zona Neotropical*.

Em uma primeira etapa, a classificação fitogeográfica inclui no sistema primário, também denominado de natural, todos os tipos de vegetação ou regiões fitoecológicas brasileiras, incluindo as faixas de tensão ecológica dos contatos entre duas ou mais regiões fitoecológicas. “Esta classificação deve ser usada em todas as escalas” (IBGE, p.16, 1992). O produto cartográfico não faz alusão à área real da ocupação, mas à área de domínio hipotético.

Conforme os parâmetros fitogeográficos, na área delimitada para pesquisa, foi identificada a Floresta Estacional Semidecidual, que é conceituada pelo IBGE (1992) como um tipo de vegetação influenciada pela dupla estacionalidade climática, uma tropical com épocas intensas de chuvas de verão, seguida por estiagem acentuada e outra subtropical sem período seco, mas com seca fisiológica resultante de invernos com temperaturas médias inferiores a 15 °C (Figura 12).

Em áreas tropicais, a Floresta Estacional Semidecidual apresenta uma porcentagem de caducifólias no conjunto florestal, compreendida entre 20% a 50%. Nas áreas de solos areníticos distróficos desenvolvem-se plantas de porte médio, com altura variável entre 20 e 30m denominadas de mesofanerófitos.

A formação submontana, em escala nacional, ocorre numa faixa altimétrica de 50 e 500 m entre as latitudes 16° e 24° Sul enquanto que a aluvial segue o traçado das calhas dos rios.

No Baixo curso do rio São João, próximo à foz, uma pequena parcela de vegetação campestre ocupa a área de várzea ainda na atualidade, enquanto que o quadro atual de vegetação nativa ou primária, nas demais áreas, passou por mudanças relevantes.

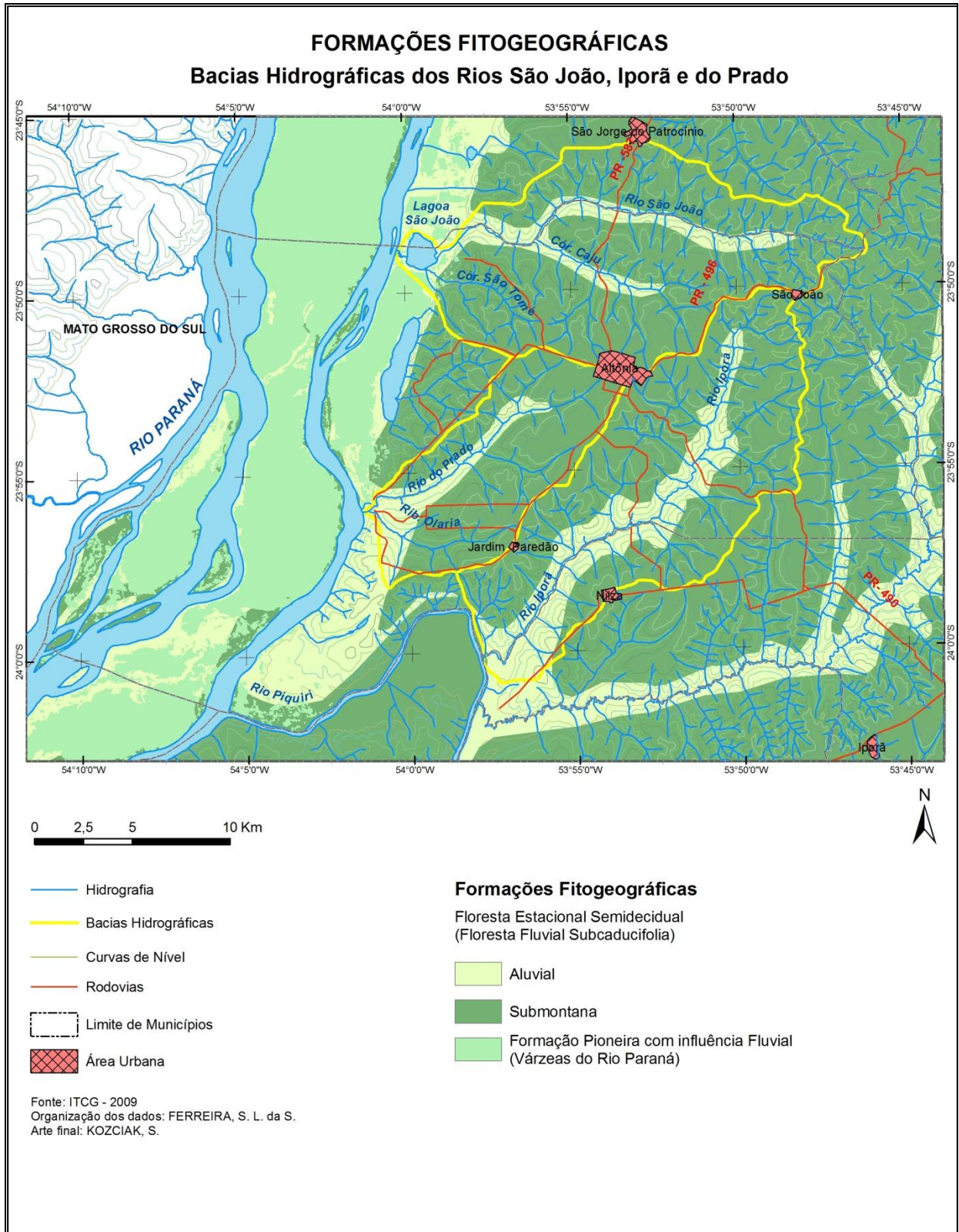


Figura 12 – Formações fitogeográficas da área de estudo. Fonte: ITCG, 2009.

A fotografia aérea de 1963 representa o início da ocupação do município de Altônia pelas atividades agropastoris, a vegetação nativa, também denominada por Maack (2002) de mata pluvial-tropical, predominava na paisagem local (Figura 13).



Figura 13 – Fotografia aérea de 1963. A vegetação densa ocupava a maior parte da foto, em destaque na porção inferior, o meandro do rio Piquiri, exutório do rio Iporã. na parte superior esquerda o rio Paraná, receptor da foz do rio do Prado e da foz do rio São João.

Atualmente, é possível identificar determinadas espécies nativas remanescentes distribuídas de modo isolado na paisagem (Figura 14), ou ainda em faixas de mata ciliar.

Nas propriedades localizadas nas bacias dos rios São João, Iporã e do Prado, conforme mostrado na Figura 15, é comum observar o cultivo de espécies exóticas comerciais nas áreas destinadas à reserva legal. No Estado do Paraná a reserva legal corresponde a 20% da propriedade e inclui as espécies exóticas.



Figura 14 – Fotografia da espécie arbórea de *Albizia hasslerii* (farinha-seca). Em destaque no centro e facilmente identificada na paisagem. Julho, 2010.



Figura 15 – Substituição da vegetação nativa por espécies exóticas. Visível na parte superior, prática comum nas áreas de reserva legal. Julho, 2010.

Em situações de interesses econômicos imediatistas, a rica biodiversidade vegetal da Floresta Estacional Semidecidual que ocupava originalmente as bacias hidrográficas em estudo, e mantinha o equilíbrio do sistema pedológico, foi restringida a índices baixíssimos, não apenas no município de Altônia, mas em toda a mesorregião noroeste do Paraná.

4.6 HIDROGRAFIA

A bacia hidrográfica entendida como sistema aberto, representa neste estudo, o parâmetro de referência espacial para a análise multitemporal da erosão laminar, assim como para a identificação de vossorocas e ravinas, neste contexto, é considerada adequada para a abordagem ambiental, uma vez que atende os requisitos fundamentais para o planejamento, gestão de desenvolvimento em harmonia com os elementos integrantes que envolvem o espaço regional (CARVALHO, 2009).

Pela precisão de seus limites e elevada importância socioambiental a utilização da bacia hidrográfica como unidade espacial, atende as prerrogativas necessárias, tanto para a aplicação de cálculos matemáticos como para a análise generalizada de fatores naturais e antrópicos.

O recorte da área em estudo propõe a integração de dois limites distintos, em primeiro plano, a organização da análise em três bacias hidrográficas: rio São João, rio Iporã e rio do Prado, inseridas quase na totalidade no segundo limite: o município de Altônia/PR (Figura 16). A escolha pela duplicidade de limites se explica pela integração entre as especificidades socioeconômicas e naturais.



Figura 16 – Bacias hidrográficas da área de estudo. Fonte: PARANACIDADE, 2010.

A compartimentação do município de Altônia em três bacias hidrográficas se confronta com os limites políticos, pois conforme representado na Figura 16, nem toda a rede de drenagem da unidade administrativa é contemplada; as bacias hidrográficas do

rio São João e rio Iporã ultrapassam a linha municipal, entretanto, estas três unidades naturais são representativas, pois, abrangem uma área com elevada importância na economia agropastoril, compatível com a proposta em estudo e a possibilidade de uma análise comparativa.

A vertente da margem esquerda do rio São João apresenta maior extensão na área correspondente ao médio e baixo curso, quando comparada com a margem direita, e, conseqüentemente, os tributários mais expressivos também são identificados na margem esquerda, como o córrego Caju formado pela confluência do córrego Nossa Senhora Aparecida com o córrego do Limão. No alto curso, a PR 496 delinea o divisor de águas com a bacia do rio Iporã e se torna uma referência na localização das nascentes dos córregos: São Pedro, Santa Rosa e Nossa Senhora do Carmo. No baixo curso, os córregos Parreira e Paiva apresentam pequena extensão, enquanto que o São Tomé se destaca pelo comprimento do canal e por desaguar diretamente na lagoa São João.

Na bacia do rio Iporã estão destacados: no alto curso, os córregos Onça e o córrego São Paulo - margem Esquerda; no médio curso, o córrego Guairá, Seringueira, Izabel, Mimososa e Tamoio - margem direita, e, o córrego Tamanduá, Noel, Comoatim e Grito na margem esquerda, este último está localizado no território do município de Iporã. No baixo curso do rio Iporã, o córrego Fortuna, sobressai como afluente da margem direita.

Assim como na bacia do rio São João, a vertente da margem esquerda da bacia do rio do Prado tem uma maior extensão do que a da margem direita. Entre os principais tributários, destacam-se os seguintes cursos d'água: na margem direita o córrego Galhego no alto curso; na margem esquerda: o ribeirão Altônia e o córrego da Vaca no médio curso e o ribeirão Olaria no baixo curso. Na lagoa São João está localizado a Foz do rio de mesmo nome, que liga a rede de drenagem ao rio Paraná (Figura 17).

As nascentes dos rios São João e Iporã se concentram no nordeste do município de Altônia, o primeiro deságua no rio Paraná por intermédio da lagoa São João, mencionado anteriormente, enquanto que o rio Iporã se direciona no sentido sul até a sua confluência com o rio Piquiri, afluente do rio Paraná. (Figura 18).



Figura 17 – Fotografia da lagoa São João, foz do rio São João e do córrego São Tomé. FERREIRA, S. L. da S – Julho, 2010.



Figura 18 – Fotografia da confluência do rio Iporã com o rio Piquiri. FERREIRA, S. L. da S – Janeiro, 2011.

As nascentes do rio do Prado estão localizadas em ambiente urbano e seu curso percorre pequenas e médias propriedades até desaguar no rio Paraná (Figura 19), constitui-se na menor das três bacias estudadas.



Figura 19 – Fotografia da confluência do rio do Prado com o rio Paraná. Julho, 2010.

As bacias hidrográficas dos rios São João, Iporã e do Prado apresentam um traçado integrado à área urbana de Altônia, a cidade está localizada de forma centralizada no divisor de águas das três bacias.

Atualmente, os cursos apresentam expressivo assoreamento, segundo descrição de moradores, no início da década de 1980, no local de registro da Figura 20, era comum a prática de lazer, pois a profundidade do rio Iporã era próxima a 1,5 m. A redução da profundidade e largura dos leitos dos rios evidencia a problemática da erosão nas últimas décadas.

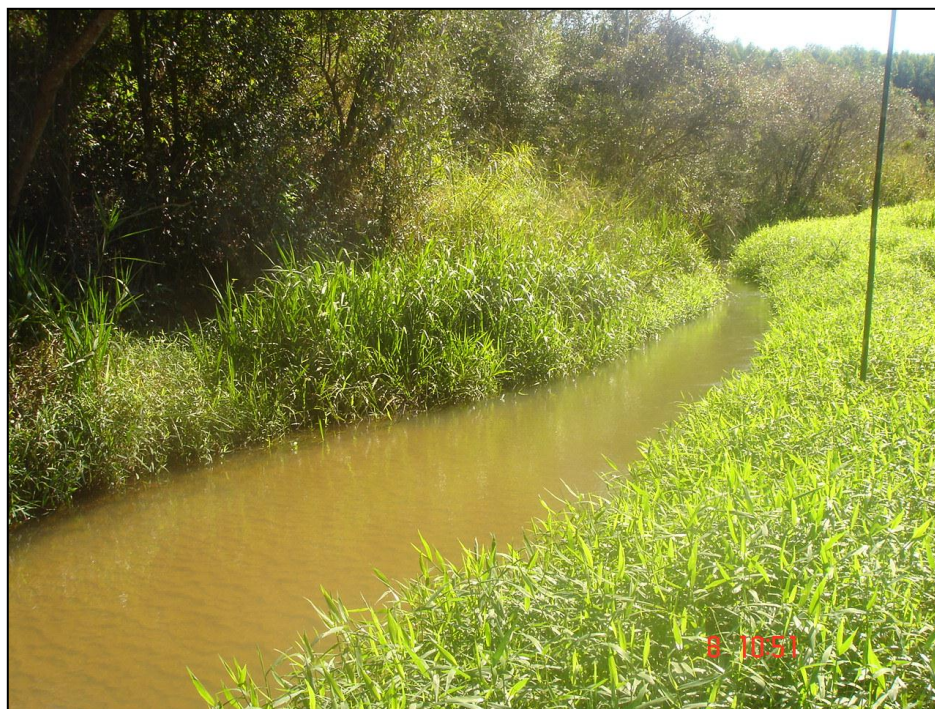


Figura 20 – Fotografia do rio Iporã com acentuado assoreamento em seu médio curso. Julho, 2010.

4.6.1 Morfometria

A análise morfométrica consiste no estudo quantitativo para o reconhecimento da espacialidade do sistema e da ação dos diferentes agentes do relevo inseridos nas bacias hidrográficas, além de possibilitar uma melhor compreensão de sua dinâmica com base em estudos comparativos. Para Rodrigues e Adami (2005), os dados extraídos de análise morfométricas podem gerar outros e produzir novas correlações sistêmicas.

A partir da análise física da área delimitada, segundo Christofletti *et al* (1993), a morfometria se apresenta como um suporte ao planejamento do uso do solo, capaz de organizar as intervenções antrópicas, com o objetivo de reduzir os impactos ambientais. Por meio de uma abordagem quantitativa e comparativa – índices, parâmetros e seus conjuntos de valores – obtém-se as características principais da bacia hidrográfica com a construção de modelos matemáticos, não observados na análise visual (Quadro 5).

| | |
|----------------------|--|
| Hierarquia fluvial | Estabelece a classificação de determinado curso d'água ou área drenada no conjunto total da bacia hidrográfica representada. |
| Análise areal | Engloba diversos índices nos quais intervêm as medições planimétricas e lineares. |
| Análise Linear | Envolve os índices e relações a propósito da rede hidrográfica, as medições são feitas ao longo das linhas de escoamento. |
| Análise hipsométrica | Ocupa-se das inter-relações de altitudes e proporção das áreas relacionadas em determinada unidade horizontal com base em curvas altimétricas. |

Quadro 5 – Parâmetros para análise morfométrica de bacias hidrográficas. Fonte CHRISTOFOLETTI (1980, p. 106 a 117), adaptado.

4.6.1.1 Hierarquia Fluvial

O ordenamento dos canais fluviais (Figura 21) é necessário para a caracterização da magnitude da rede de drenagem e geralmente a análise morfométrica tem seu início da determinação da hierarquia fluvial, (CHRISTOFOLETTI, 1980).

Segundo as definições de padrões de drenagem apresentados por Christofolletti (1980), as três bacias hidrográficas delimitadas caracterizam o padrão de drenagem endorréica, pois não desembocam diretamente no mar.

Quanto à classificação sistemática da configuração da drenagem, o sistema fluvial das bacias dos rios São João, Iporã e do Prado apresentam o formato de drenagem dentrítica, pois os tributários estão distribuídos em todas as direções e mantém os ângulos agudos nos pontos de confluências.

A partir da hierarquização das bacias hidrográficas dos rios São João Iporã e do Prado, foi possível identificar os principais tributários e classificar cada unidade com base no seu padrão de drenagem, ampliando assim as possibilidades de comparação.

Na bacia do rio São João, apenas os tributários da margem esquerda estão localizados no município de Altônia, O rio determina o limite territorial com o município de São Jorge do Patrocínio e supera as demais bacias em relação ao número de canais de primeira e de segunda ordem com um total de 156 e 34 canais respectivamente, entretanto apresenta 6 canais de terceira ordem, 2 de quarta ordem e 1 de quinta ordem, totalizando 200 canais (Tabela 5).

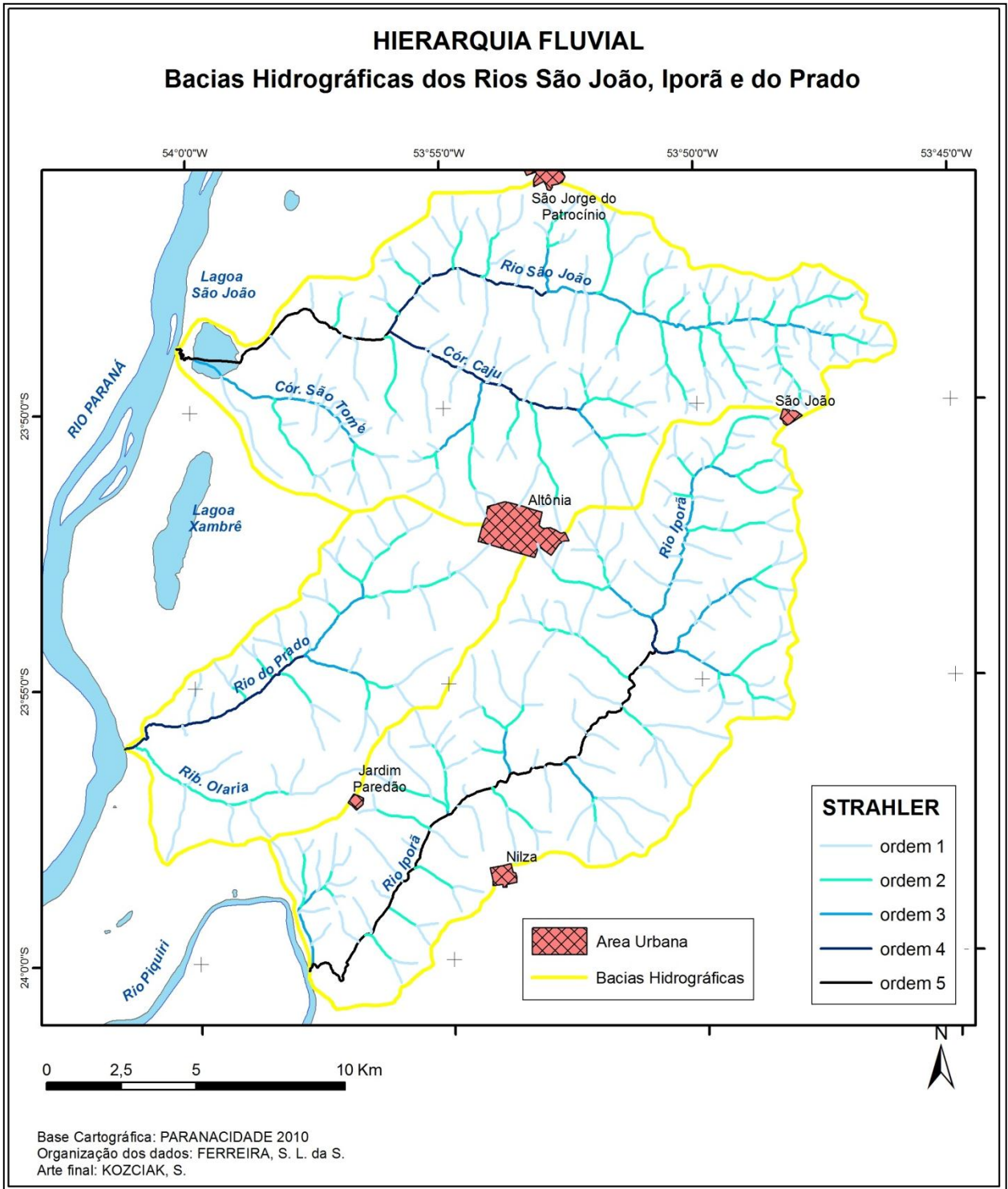


Figura 21 – Hierarquia fluvial das bacias em estudo. Fonte: PARANACIDADE, 2010.

Tabela 5 – Hierarquia fluvial das bacias hidrográficas dos rios São João, Iporã e do Prado

| Bacia hidrográfica | Nu1 | Nu2 | Nu3 | Nu4 | Nu5 | Total | A (Km²) |
|------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-------|---------|
| 1- Rio São João | 156 | 34 | 6 | 2 | 2 | 200 | 166,08 |
| 2- Rio Iporã | 122 | 32 | 8 | 2 | 1 | 165 | 164,88 |
| 3- Rio do Prado | 38 | 11 | 2 | 1 | - | 52 | 81,45 |

(Nu = total de segmentos de rio da ordem analisada, A = área).

Como tributários representativos do rio São João, o rio Caju (Figura 22), se classifica como um segmento de quarta ordem e o córrego São Tomé, no baixo curso, em terceira ordem.

O rio Iporã está integrado a 122 canais de primeira ordem, 32 de segunda ordem, e, supera o rio São João nos canais de terceira ordem com um total de 8 cursos d'água, enquanto que apresenta 2 canais de quarta ordem e 1 segmento de quinta ordem (Tabela 5).



Figura 22 – Ponte sobre o rio Caju em área de pastagem. FERREIRA, S. L. da S. – Julho, 2010.

No rio do Prado os números identificam um sistema de drenagem com dados quantitativos absolutos muito reduzidos em comparação com as demais bacias,

totalizando 38 canais de primeira ordem, 11 de segunda ordem, 2 de terceira ordem e 1 de quarta ordem (Tabela 5).

O ribeirão Olaria (Figura 23), afluente de maior extensão do rio do Prado classifica-se na segunda ordem.

A bacia hidrográfica do rio do Prado é classificada na 4ª ordem, enquanto que as bacias dos rios São João e Iporã se enquadram na 5ª ordem. O rio do Prado apresenta a ordem inferior aos demais e seus dados numéricos se distanciam das demais unidades pelo número de canais em cada classe e no total.

Considerando-se, apenas o número de canais de primeira ordem de cada bacia, em comparação com suas áreas respectivas, o transporte de sedimentos fluviais é mais expressivo na bacia do rio São João, fator passível de maior influência na dinâmica erosiva local, enquanto que na bacia do rio do Prado o significativo espaçamento entre os vales fluviais representa a redução no transporte de sedimentos pelos rios.



Figura 23 – Confluência do ribeirão Olaria com o Rio do Prado. Julho, 2010.

Outro aspecto, evidente por meio da morfometria, se refere ao fato de que, a área drenada pelo rio do Prado e seus afluentes apresentará uma maior discrepância

de análise associada aos parâmetros dimensionais do que as bacias dos rios São João e Iporã.

Os dados referentes à hierarquia fluvial determinam uma interpretação inicial dos níveis de grandeza das bacias hidrográficas em estudo, que, conforme objetivo mencionado anteriormente atende à finalidade de caracterização da área, porém, estes dados poderão ser empregados em análises combinadas com outros estudos ambientais.

4.6.1.2 Caracterização Linear

Na caracterização métrica da rede de drenagem, por meio da análise linear, dois aspectos são considerados:

Lu = comprimento total dos segmentos de rios da ordem analisada

Lm = comprimento médio dos segmentos de rios da ordem analisada

A = área

Os dados apresentados na Tabela 6 evidenciam determinadas semelhanças entre as bacias hidrográficas dos rios São João e Iporã e as significativas diferenças em relação à do rio do Prado, conforme descrição a seguir.

Tabela 6 – Caracterização linear (Lu; Lm) das bacias hidrográficas dos rios São João, Iporã e do Prado

| Bacia hidrográfica | Lu1 (km) | Lm1 (km) | Lu2 (km) | Lm2 (km) | Lu3 (km) | Lm3 (km) | Lu4 (km) | Lm4 (km) | Lu5/ Lm5 (km) | A (Km ²) |
|------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|---------------|----------------------|
| 1- Rio São João | 130,11 | 0,83 | 54,35 | 1,60 | 23,39 | 3,90 | 13,98 | 6,99 | 9,26/4,63 | 166,08 |
| 2- Rio Iporã | 129,15 | 1,06 | 45,01 | 1,41 | 21,14 | 2,64 | 1,87 | 0,94 | 19,33 | 164,88 |
| 3- Rio do Prado | 46,86 | 1,23 | 19,11 | 1,74 | 5,82 | 2,91 | 7,55 | 3,78 | - | 81,45 |

(Lu = comprimento total dos segmentos de rios da ordem analisada, Lm = comprimento médio dos segmentos de rios da ordem analisada, A = área).

O comprimento total dos canais de primeira ordem do rio São João é de 130,11 km e apresenta uma pequena diferença com o valor referente ao rio Iporã correspondente a 129,15 km enquanto que o rio do Prado apresenta apenas 46,86 km. A situação de cada rio altera consideravelmente quanto se observa o comprimento médio dos canais: o rio do Prado supera os demais com 1,23 km; o rio Iporã com 1,06 km apresenta média superior ao do rio São João que por sua vez atinge 0,83 km.

Ao comparar o fator de comprimento dos rios de primeira ordem das três bacias hidrográficas, é possível confirmar as especificidades do relevo de cada unidade, e, interpretar que a bacia do rio São João apresenta um relevo mais dissecado do que as demais, portanto, em uma análise isolada, poderia representar maior risco à erosão. Nesta linha de análise, os dados seguintes, mesmo com determinadas oscilações, indicam a relação drenagem/relevo.

O comprimento total dos segmentos de segunda ordem do rio São João é de 54,35 km apresenta uma significativa diferença em relação ao rio Iporã com 45,01 km e proporcionalmente a diferença se amplia em relação ao rio do Prado com 19,11 km. O rio do Prado, assim como na classe anterior, se destaca no comprimento médio dos canais de segunda ordem, pois atinge o valor de 1,74 km enquanto que na sequência o rio São João apresenta 1,60 km e o Iporã 1,41 km.

Quando calculado o comprimento total dos segmentos de terceira ordem do rio São João, o valor obtido foi de 23,39 km, relativamente próximo ao do rio Iporã com 21,14 km, mas a discrepância se acentua em comparação com o rio do Prado que totaliza 5,82 km. Em relação ao comprimento médio, o rio São João atinge 3,90 km, o rio do Prado 2,91 km, e o rio Iporã 2,64 km.

O rio São João lidera o comprimento total de segmentos de rios de quarta ordem com o valor de 13,98 km, o rio do Prado com 7,55 km supera expressivamente o rio Iporã, pois este último totaliza apenas 1,87 km. O comprimento médio mantém uma comparação semelhante à do comprimento total, no qual o rio São João apresenta o valor de 6,99 km, o rio do Prado 3,78 km e o rio Iporã 0,94 km.

Um dos fatores relevantes na caracterização métrica dos canais de quarta ordem pode ser atribuído à assimetria das vertentes associada ao relevo nas bacias dos rios São João e do Prado, o canal principal dos rios em questão, apresenta na

margem esquerda uma área mais ampla que permite o desenvolvimento de afluentes de ordens superiores. A bacia do rio Iporã, tem seu vale centralizado, e, portanto, seus afluentes são de ordem inferior que as demais unidades, condição independente da área total.

A classificação de 5ª ordem verificada na bacia do rio Iporã corresponde ao percurso de um segmento de 19,33 km e na bacia do rio São João dois segmentos totalizando 9.26 km.

A Tabela 7 expõe os valores referentes à análise do canal principal de cada bacia hidrográfica. As variáveis são descritas na sequência:

Hcp = Altura do canal principal (diferença de altitude entre a nascente e a foz da bacia)

Lcp = comprimento do canal principal

Gcp = gradiente do canal principal (decréscimo de altitude a cada km)

Tabela 7 – Caracterização linear (Lcp; Hcp; Gcp) das bacias hidrográficas dos rios São João, Iporã e do Prado

| Bacia hidrográfica | Lcp (km) | Hcp (m) | Alt.nasc (m) | Alt.foz (m) | Gcp (m/km) |
|------------------------|----------|---------|--------------|-------------|------------|
| 1- Rio São João | 28,47 | 243 | 455 | 212 | 8,53 |
| 2- Rio Iporã | 29,86 | 168 | 395 | 227 | 5,63 |
| 3- Rio do Prado | 15,31 | 114 | 352 | 238 | 7,44 |

(Hcp = Altura do canal principal, Lcp = comprimento do canal principal, Gcp = gradiente do canal principal).

No rio São João a altura do canal principal corresponde a 243 m, enquanto que no rio Iporã o valor é de 168 m e no rio do Prado 114 m; estes índices demonstram, em uma análise isolada, a velocidade desigual do fluxo nos rios principais, especialmente no caso dos dois primeiros rios quando comparado com o comprimento do canal principal de 28,47 km para o rio São João e 29,86 km no rio Iporã. O rio do Prado com 15,31 km de comprimento se destaca pelo gradiente do canal principal de 7,44 m/km que se aproxima do gradiente do rio São João de 8,53 m/km. O rio Iporã com gradiente de 5,63 m/km se constitui no rio principal com menor produção de energia em comparação com os demais.

O gradiente do canal principal interfere diretamente na energia produzida pelo rio, assim como na dinâmica do transporte de sedimentos, o baixo gradiente do rio Iporã agrava o assoreamento produzido pela erosão nas vertentes.

4.6.1.3 Caracterização Areal

A interpretação de dados das dimensões areais estabeleceu a organização das informações referentes aos seguintes fatores (Tabela 8):

A = área

P = perímetro

C = maior comprimento

L = maior largura

Lt = comprimento total da rede de drenagem

A área total da bacia hidrográfica dos rios São João corresponde a 166,08 km², valores próximos são encontrados na bacia do rio Iporã que totaliza 164,88 km². Em relação ao rio do Prado com as demais unidades, as diferenças são acentuadas para os valores absolutos de todas as variáveis, pois se trata de uma área total de 81,45 km². (Tabela 8).

Tabela 8 – Caracterização areal (A; P; C; L; Lt) das bacias hidrográficas dos rios São João, Iporã e do Prado

| Bacia hidrográfica | A (Km2) | P (km) | C (km) | L (km) | Lt (km) |
|------------------------|---------------|--------|--------|--------|---------|
| 1- Rio São João | 166,08 | 62,90 | 24,12 | 12,12 | 229,46 |
| 2- Rio Iporã | 164,88 | 65,03 | 24,65 | 10,29 | 216,51 |
| 3- Rio do Prado | 81,45 | 41,62 | 14,88 | 6,13 | 79,35 |

(A = área, P = perímetro, C = maior comprimento, L = maior largura, Lt = comprimento total da rede de drenagem).

Na análise areal foi possível determinar os valores perimetrais das bacias dos rios: São João com 62,90 km e Iporã com 65,03 km, caracterizadas como semelhantes; e do Prado definida como uma bacia de menor porte: perímetro de 41,88 km (Tabela 8).

O maior comprimento em linha reta classifica em ordem decrescente: a bacia do rio Iporã com 24,65 km; em seguida, por uma pequena diferença, a bacia do rio São João com 24,12 km e, finalmente, a bacia do rio do Prado com 14,88 km. Na situação de maior largura, a bacia do rio São João com 12,12 km superou a bacia do rio Iporã com 10,29 km, enquanto que a bacia do rio do Prado apresentou uma maior diferença das demais, com valor de 6,13 km. Do mesmo modo, o cálculo do comprimento total da rede de drenagem classificou a bacia do rio São João com 229,46 km, a bacia do rio Iporã com 216,51 km e a bacia do rio do Prado com 79,35 km.

Embora o gráfico 4 apresente as mesmas informações numéricas expostas na tabela 8, a visualização transmite uma ideia mais concreta do aparente equilíbrio e proporção dos parâmetros abordados.

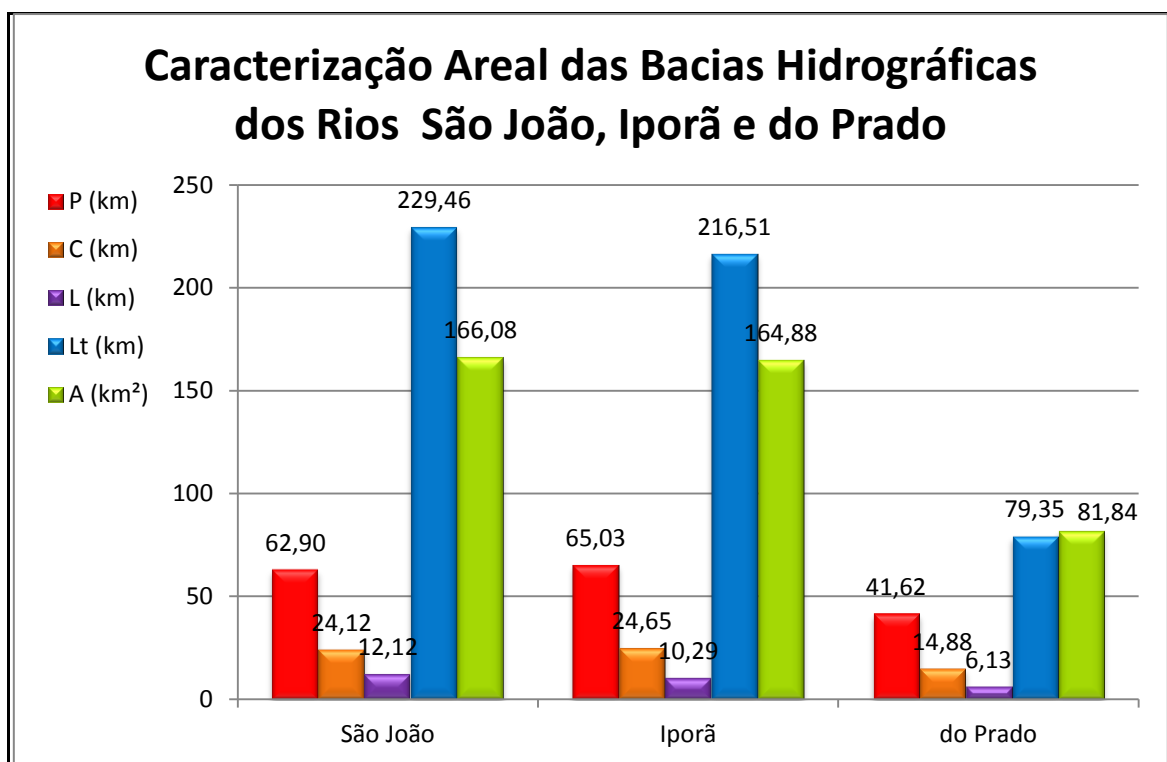


Gráfico 4 – Caracterização areal das bacias hidrográficas dos rios São João, Iporã e do Prado. Perímetro (P), maior comprimento (C), maior largura (L), comprimento total da rede de drenagem (Lt) e área (A).

Dentre as variáveis utilizadas na análise morfométrica e da rede de drenagem, a densidade de drenagem pode ser considerada como a mais importante, pois esta representa a disponibilidade de canais distribuídos em relação à área da bacia hidrográfica, e ainda determina o grau de dissecação do relevo em paisagens modeladas pela atuação fluvial.

Conforme descrito no item 2, “Materiais e Métodos”, os seguintes termos são aplicados nos valores expostos na Tabela 9.

Nu1 = número de segmentos de rios da primeira ordem

A = Área da bacia

Dh = densidade hidrográfica

Lt = comp. Total de todos os canais da rede hidrográfica

Dd = densidade de drenagem

Eps = Extensão do percurso superficial

Cm = coeficiente de manutenção

Tabela 9 – Caracterização areal (Dh; Dt; Eps; Cm) das bacias hidrográficas dos rios São João, Iporã e do Prado

| Bacia hidrográfica | Nu1 | A (Km ²) | Dh Nu1/km ² | Lt (km) | Dd km/km ² | Eps (km) | Cm (m) |
|------------------------|-----|----------------------|---------------------------|------------|--------------------------|-------------|-----------|
| 1- Rio São João | 156 | 166,078 | 0,939 | 229,455 | 1,382 | 0,691 | 723,589 |
| 2- Rio Iporã | 122 | 164,877 | 0,739 | 216,509 | 1,313 | 0,656 | 761,614 |
| 3- Rio do Prado | 38 | 81,453 | 0,466 | 79,348 | 0,974 | 0,487 | 1026,694 |

A partir dos dados de densidade hidrográfica equivalente a 0,939 Nu1/km² e dos dados de densidade de drenagem de 1,382 km/km², a bacia do rio São João participa com maior intensidade do transporte de sedimentos. A bacia do rio Iporã apresenta índices semelhantes aos da bacia do rio São João, na densidade hidrográfica o valor corresponde a 0,739 Nu1/km² e na densidade de drenagem o índice é de 1,313 km/km². Apesar da proporcionalidade areal, na bacia do rio do Prado encontra-se o menor número de canais de primeira ordem por km², o valor de 0,466 Nu1/km², correspondente à densidade hidrográfica ou densidade de rios, em associação com a

densidade de drenagem, que resultou no valor $0,974\text{km}/\text{km}^2$, classifica a bacia em questão como a área de relevo menos dissecado pela ação dos rios e com menor contribuição no transporte de sedimentos.

A distância média do fluxo das águas pluviais entre o interflúvio e o canal principal (Eps) atribui à bacia do rio São João o valor de $0,691\text{ km}$ e à bacia do rio Iporã o valor de $0,656\text{ km}$; situação que favorece a bacia do rio do Prado, pois o valor de $0,487\text{ km}$ significa um espaço mais reduzido, em comparação com as demais bacias no acúmulo e transporte de sedimentos, sem considerar o elemento “declividade”.

A área mínima para a manutenção de um metro de canal de escoamento (Cm) segue a mesma tendência das demais análises, as bacias dos rios São João e Iporã se aproximam nas comparações quantitativas, com os respectivos valores de: $723,589\text{ m}$ e $761,614\text{ m}$, enquanto que a bacia do rio do Prado expressa uma necessidade bem superior no valor de $1026,694\text{ m}$.

5 ANÁLISE DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS

A análise multitemporal das bacias dos rios São João Iporã e do Prado (Figura 16, p. 103) aborda um período de 47 anos de uso e ocupação da terra em uma área que passou por importantes transições econômicas no setor primário. No início da ocupação, o cultivo do café predominava na área da pesquisa, a pastagem gradativamente ampliou sua área de abrangência em conjunto com a diversificação de culturas temporárias. As mudanças citadas podem ser atribuídas a fatores físicos (solo, intempéries climáticas) associados à demanda do mercado regional. Estes elementos, de uma forma direta ou indireta interferem na dinâmica da erosão laminar e na ocorrência de ravinas e vossorocas.

Conforme descrito anteriormente, a análise foi organizada com base na utilização referencial dos anos de 1963, 1985 e 2010 a partir da aplicação de métodos de cartografia digital.

5.1 USO DA TERRA

Os aspectos históricos e econômicos, característicos da ocupação do noroeste paranaense, foram determinantes na análise do uso da terra.

Um dos aspectos que atrai a atenção é a localização do centro urbano no divisor de águas das três bacias hidrográficas, situação favorável para a abertura de propriedades rurais em ritmo semelhante nestas unidades espaciais. Outro fator de destaque é a referência das propriedades nos cursos fluviais, como ponto de partida para o desmatamento e o desenvolvimento de atividades agropecuárias.

A digitalização de fotos aéreas de 1963, e, de imagens dos anos de 1985 e 2010, resultou na produção das cartas de uso da terra (Figuras 24, 25 e 26) e de suas respectivas informações numéricas (Tabelas 10, 11 e 12).

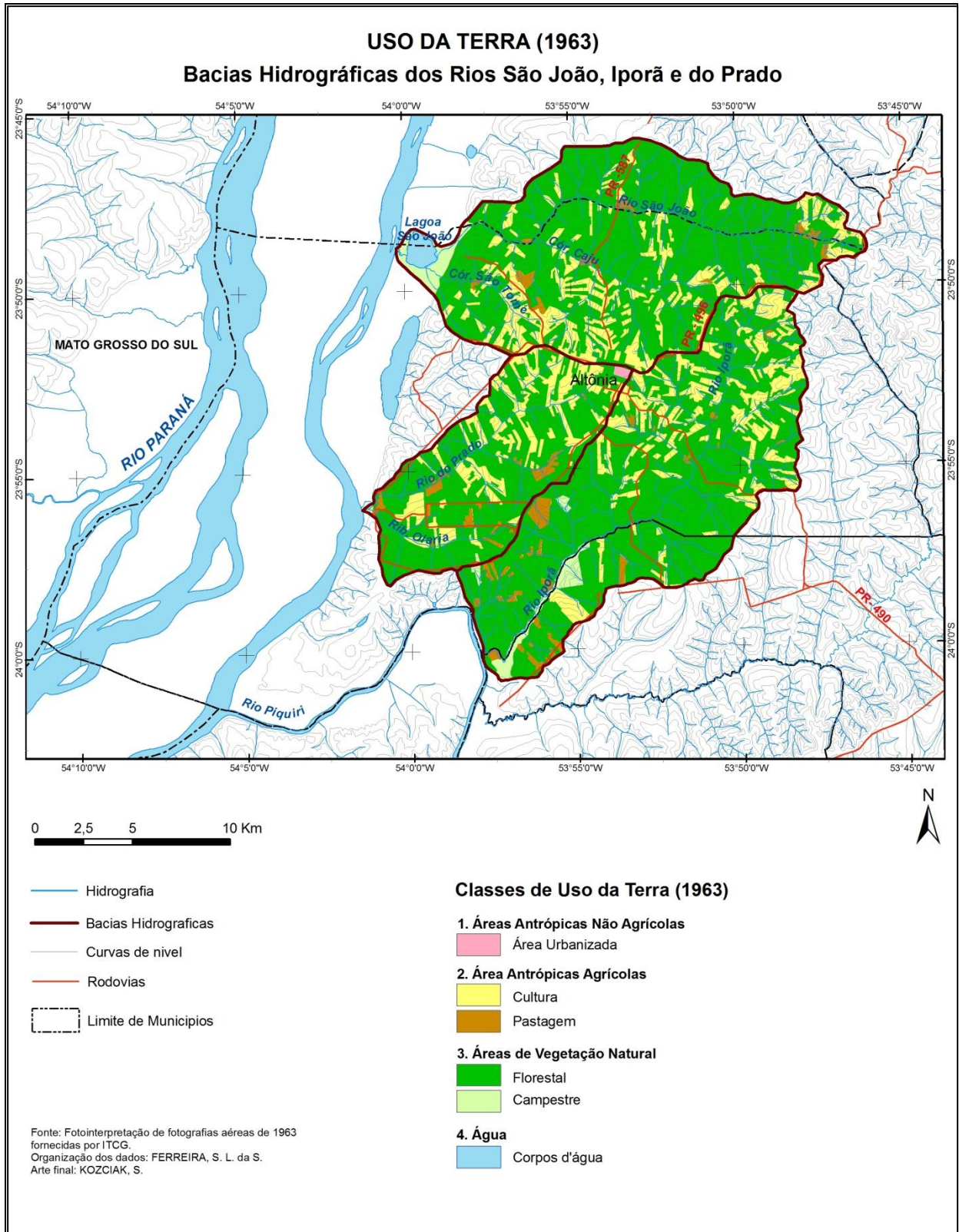


Figura 24 – Uso da terra de 1963 da área de estudo. Fonte: fotos aéreas, ITCG, 1963.

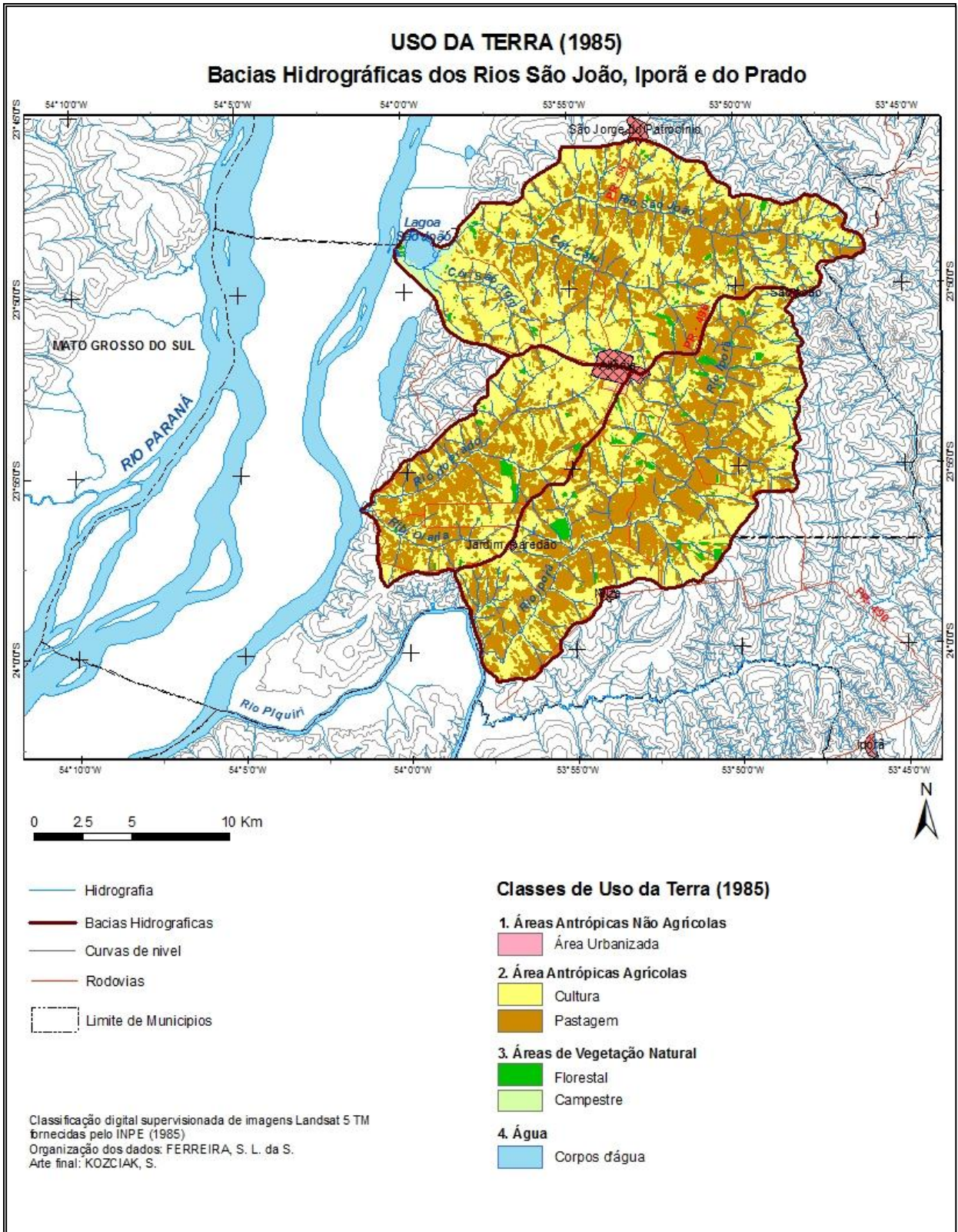


Figura 25 – Uso da terra de 1985 da área de estudo. Fonte: imagens Landsat 5 TM, fornecidas pelo INPE.

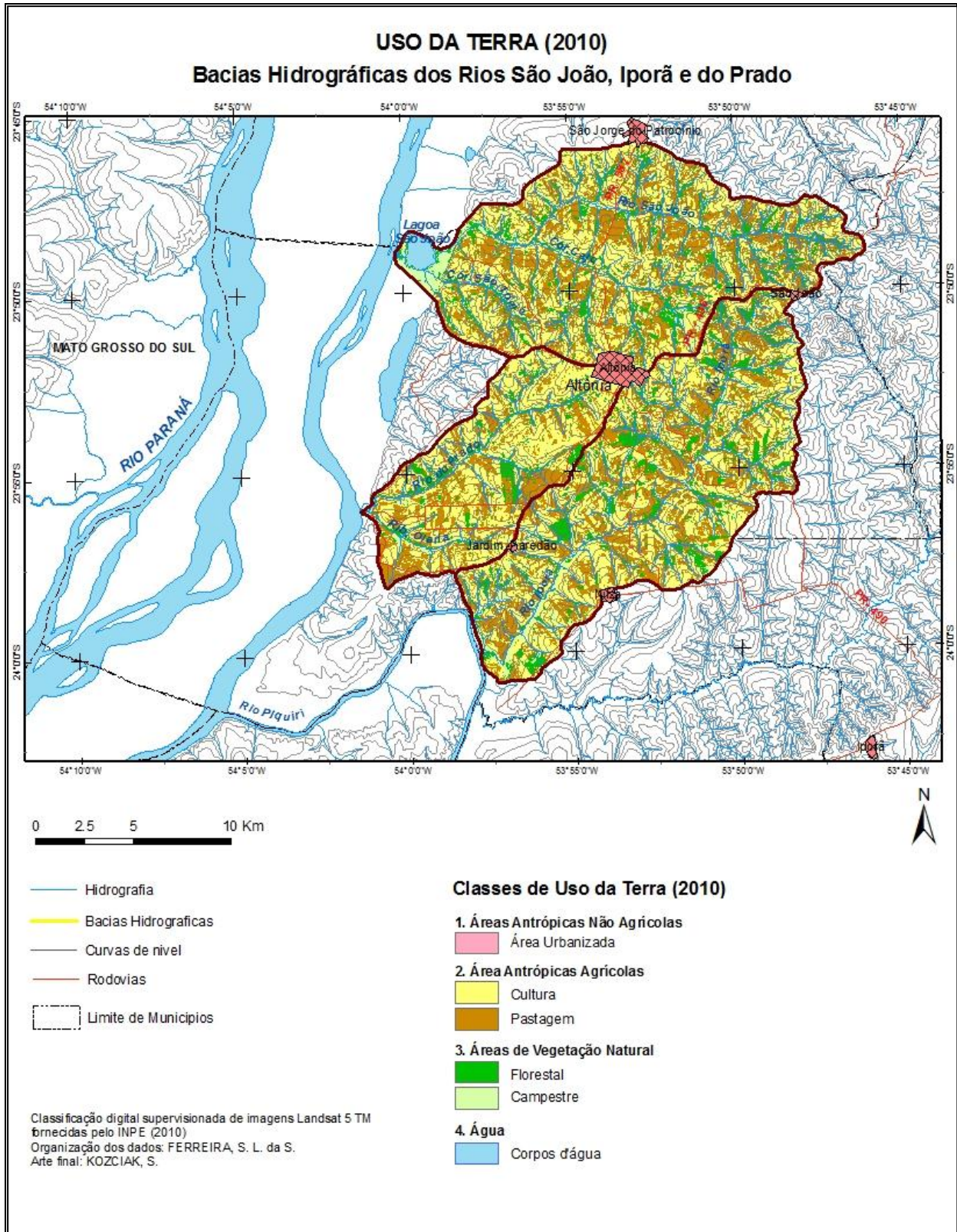


Figura 26 – Uso da terra de 2010 da área de estudo. Fonte: imagens Landsat 5 TM, fornecidas pelo INPE.

Tabela 10 – Análise multitemporal do uso da terra – 1963 – Bacias hidrográficas dos rios São João Iporã e do Prado

| Uso da Terra | 1- Rio São João km ² | 2- Rio Iporã/km ² | 3- Rio do Prado/km ² | Total/km ² | % |
|--------------|---------------------------------|------------------------------|---------------------------------|-----------------------|-------|
| Area urbana | 0,42 | 0,06 | 0,39 | 0,87 | 0,22 |
| Cultura | 31,36 | 29,49 | 18,70 | 79,55 | 19,29 |
| Pastagem | 2,86 | 5,59 | 2,99 | 11,44 | 2,77 |
| Florestal | 125,35 | 124,89 | 59,08 | 309,32 | 75,00 |
| Campestre | 4,28 | 4,84 | 0,29 | 9,42 | 2,28 |
| Água | 1,79 | 0,00 | 0,00 | 1,79 | 0,44 |
| Área total | 166,07 | 164,87 | 81,45 | 412,40 | 100 |

Tabela 11 – Análise multitemporal do uso da terra – 1985 – Bacias hidrográficas dos rios São João Iporã e do Prado

| Uso da Terra | 1- Rio São João km ² | 2- Rio Iporã/km ² | 3- Rio do Prado/km ² | Total/km ² | % |
|--------------|---------------------------------|------------------------------|---------------------------------|-----------------------|--------|
| Area urbana | 0,96 | 0,24 | 1,33 | 2,53 | 0,61 |
| Cultura | 91,90 | 73,29 | 40,67 | 205,86 | 49,92 |
| Pastagem | 64,32 | 86,41 | 37,59 | 188,32 | 45,67 |
| Florestal | 3,17 | 4,89 | 1,70 | 9,76 | 2,37 |
| Campestre | 3,33 | 0,04 | 0,16 | 3,53 | 0,85 |
| Água | 2,40 | 0,00 | 0,00 | 2,40 | 0,58 |
| Área total | 166,08 | 164,87 | 81,45 | 412,40 | 100,00 |

Tabela 12 – Análise multitemporal do uso da terra – 2010 – Bacias hidrográficas dos rios São João Iporã e do Prado

| Uso da Terra | 1- Rio São João km ² | 2- Rio Iporã/km ² | 3- Rio do Prado/km ² | Total/km ² | % |
|--------------|---------------------------------|------------------------------|---------------------------------|-----------------------|--------|
| Area urbana | 1,70 | 0,53 | 1,84 | 4,07 | 0,98 |
| Cultura | 67,75 | 73,64 | 40,67 | 182,06 | 44,15 |
| Pastagem | 54,41 | 54,19 | 24,17 | 132,77 | 32,19 |
| Florestal | 21,71 | 21,30 | 7,90 | 50,91 | 12,34 |
| Campestre | 18,27 | 15,21 | 6,87 | 40,35 | 9,8 |
| Água | 2,24 | 0,00 | 0,00 | 2,24 | 0,54 |
| Área total | 166,08 | 164,87 | 81,45 | 412,40 | 100,00 |

Na visualização da carta de 1963, é possível observar a predominância das áreas de vegetação natural, quantificada na Tabela 10 em 75% de florestas e 2,28% de vegetação campestre, totalizando assim 77,28%.

A devastação florestal, no processo de ocupação das terras da área em estudo, foi uma consequência diretamente relacionada ao valor que o comércio de madeira agregava à renda familiar, condição também essencial para o preparo da terra a ser

cultivada, e/ou destinada para a pastagem, condição que atingiu toda região noroeste do Paraná.

A mesorregião Noroeste caracteriza-se por apresentar uma situação ambiental das mais degradadas, sendo que este quadro é consequência direta do intenso desmatamento e da forma inadequada de uso da terra. Isto se acentuou devido à vulnerabilidade erosiva dos solos de arenito Caiuá, associada ao tipo de clima. Existem ainda 4% das florestas originais, sendo que 84% destas áreas estão protegidas por Unidades de Conservação de Proteção Integral. (IPARDES, 2004, p.27).

Outro fator que contribuiu para a redução acelerada da vegetação, segundo Schaitza *et al.* (2008), foi o incentivo de bancos e demais instituições financeiras e até públicas para a substituição das florestas por cultivos de alimentos, pois, sobretudo nas décadas de 1950 e 1960 a prioridade era o desenvolvimento econômico e de pesquisas agropecuárias. As questões ambientais e o valor da floresta como elemento de equilíbrio sistêmico não representavam temas relevantes, mesmo com a implantação do Código Florestal, em 1965, este processo ainda continuou afetando a manutenção das matas nativas.

A ocupação com culturas e pastagens, em 1963, atingia um índice modesto de 19,29% e 2,77% respectivamente, o que representa a soma de apenas 91 km². O cultivo deste período estava concentrado prioritariamente no plantio de café e com pequenas parcelas de culturas sazonais como feijão, milho e algodão.

Neste ano, as áreas urbanas estavam limitadas a 0,22%, o equivalente a 0, 87 km². A maior parte da população se localizava nas propriedades rurais com predomínio do trabalho familiar.

Nestas condições, a ampla área ocupada pela vegetação natural constitui em fator positivo na aplicação de EUPS, razão pela qual as bacias hidrográficas estudadas podem ser consideradas relativamente protegidas da ação de intensos processos erosivos, uma vez analisado apenas o fator areal.

De fato os dados quantitativos da carta de uso do solo de 1963 expressam uma realidade positiva quanto à ocupação, entretanto, já neste período, é possível observar que embora os polígonos correspondentes à ação antrópica, especialmente culturas e pastagens, sejam reduzidos quando comparados com os anos posteriores, estes estão localizados, em sua maioria, no traçado das margens fluviais, o que representa um fator

agravante quando relacionado com o progresso da erosão e assoreamento dos leitos dos rios e lagos.

Na carta de uso do solo de 1985 (Figura 25) ocorre uma expressiva alteração em comparação com os dados analisados no ano de 1963, própria do desenvolvimento urbano e econômico do município neste período. Na Tabela 11 estão representados os índices numéricos.

A área ocupada anteriormente pela vegetação florestal foi reduzida a apenas 9,76km², correspondente a 2,37% das bacias hidrográficas, situação que aumenta a exposição dos solos à ação erosiva.

O crescimento das áreas de culturas atingiu o índice de 49,92% da área total das bacias hidrográficas; sua abrangência ocorreu em cada uma das três bacias hidrográficas em proporções semelhantes e constituiu um fato historicamente comum em escala regional no estado do Paraná, porém, determinante na degradação do sistema pedológico e hídrico, pois, foram mudanças, em geral, desprovidas de planejamento ambiental adequado.

Outro fator de destaque foi o crescimento percentual das áreas de pastagem para 45,67%, o que representa um avanço semelhante ao da cultura. As áreas de maiores concentrações podem ser observadas ao longo do córrego Nossa Senhora Aparecida até desaguar no rio São João, seguindo o traçado do rio Caju; áreas expressivas no médio e baixo curso do rio do Prado e em propriedade drenadas pelo rio Iporã.

Em geral, a carta de 1985 expõe o limite máximo da exploração econômica dos recursos naturais pela população local e a inexistência ou a ineficiência da aplicação de leis ambientais e/ou da fiscalização das mesmas, uma vez que os dados quantitativos e até mesmo a análise visual da carta de uso do solo induz a esta interpretação.

O final da década de 1980 e início da década de 1990 representaram uma transição significativa na economia e no discurso administrativo ambiental, condição embora tardia, necessária para mitigar os efeitos negativos de aproximadamente trinta anos de ocupação territorial, indiferente com os limites da natureza.

A carta de Uso da Terra de 2010, quando comparada com a de 1985 expressa visualmente as alterações indicadas nos dados numéricos (Figura 26).

No ano de 2010, (Tabela 12), houve um retrocesso significativo das áreas de culturas para 44,15%, e nas de pastagem para 32,19%.

A queda observada no percentual de área agrícola ocorreu na bacia do rio São João, enquanto que nas demais unidades não houve alteração significativa.

A redução das pastagens ocorreu, sobretudo, nas bacias dos rios Iporã e do Prado respectivamente com uma área de 54,19 km² e 24,17 km², entretanto, na bacia do rio São João também se observa uma expressiva alteração para 54,41 km².

A redução de áreas cultivadas e de pastagens, em parte, explica o aumento da área urbana de 2,53% (1985) para 4,07%, fato que caracteriza o êxodo rural, tema propício para o debate, porém, não inserido na presente pesquisa. Outro fator relevante para a redução do espaço agropecuário consiste, principalmente, no aumento das áreas florestais.

A ampliação considerável de áreas florestadas para 12,34% integra última análise pontual em 2010. O destaque é para a bacia do rio São João, com 21,71 km², e na sequência a bacia do rio Iporã com 21,30 km² e a bacia do rio do Prado com 7,90 km².

O aumento das áreas florestadas percebidas nas cartas de uso da terra, em detrimento da redução das áreas agropastoris, se deve principalmente pela fiscalização da reserva legal e da mata ciliar, implantadas pela Lei 7.803, de 18 de julho de 1989.

As espécies nativas, raramente encontradas na paisagem local, exceto em áreas protegidas por leis ambientais, ou em unidades isoladas nas pastagens, são as mais indicadas para o reflorestamento em áreas destinadas à reserva legal. Estas podem ser inseridas gradativamente com acompanhamento técnico, porém, o procedimento mais comum dos proprietários de terras é priorizar o cultivo de espécies exóticas de forma exclusiva (Figura 27).



Figura 27 – Campo3: Reserva legal ocupada pelo reflorestamento de eucaliptos. Área afetada pela erosão linear e extinção de uma nascente na margem esquerda do rio São João, setembro, 2011.

5.2 HIPSOMETRIA

Ao observar a hipsometria nas bacias dos rios São João, Iporã e do Prado verifica-se uma diferença de desnível entre as nascentes e a foz, superior a 150 m, com a maior altitude representada pela curva de 440 e 420 m e a menor entre 221 e 240 m (Figura 28).

O desnível, identificado na área, atua em conjunto com os demais aspectos naturais e antrópicos na caracterização da dinâmica erosiva, e conseqüentemente, na perda de solos do sistema em análise.

A relação de relevo da bacia representa a associação da amplitude altimétrica máxima com a maior extensão de uma bacia hidrográfica. Os dados obtidos para a caracterização hipsométrica representam relativa equidade nas unidades em estudo (Tabela 13).

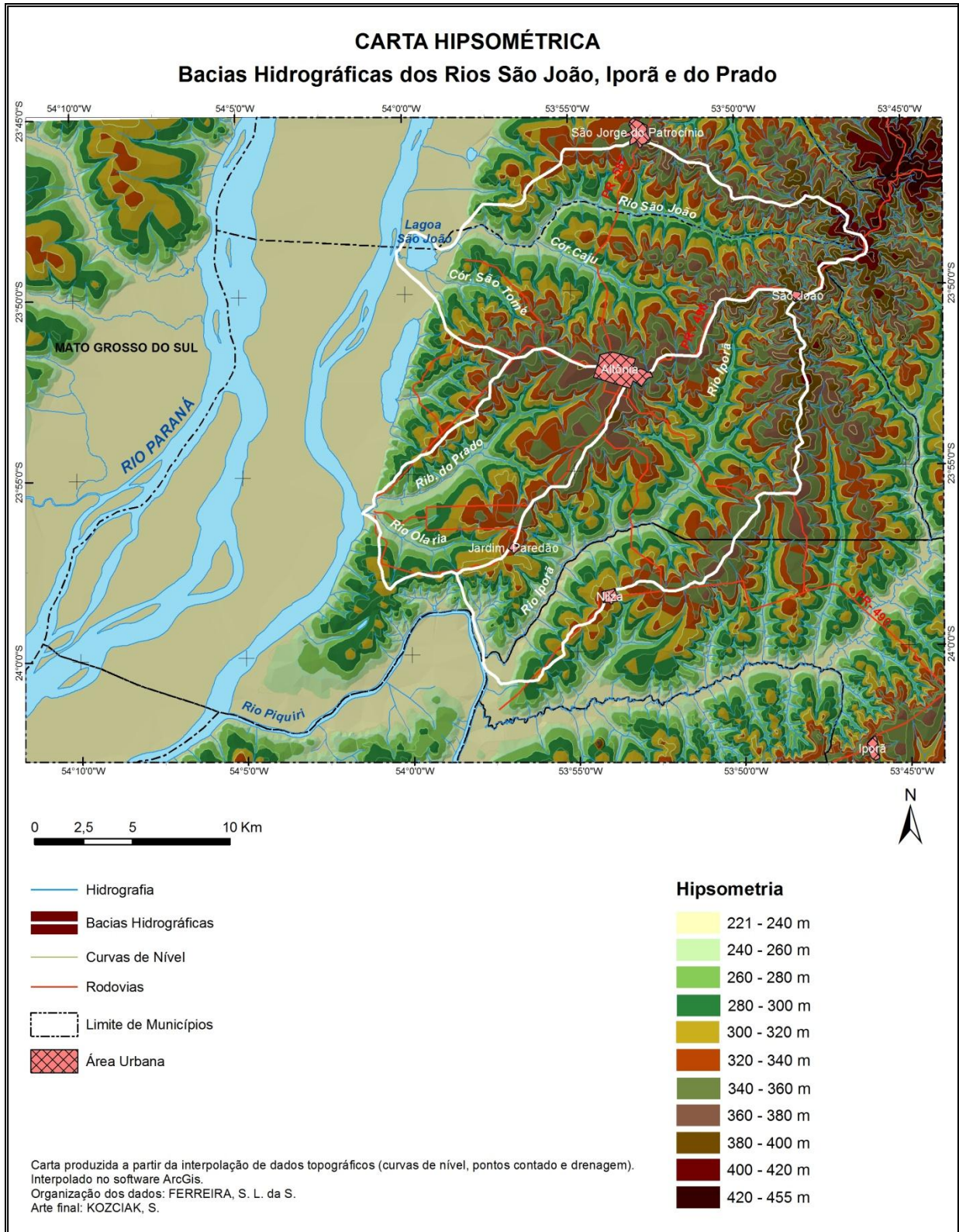


Figura 28 – Carta hipsométrica da área de estudo.

Rr = relação de relevo da bacia

Hb = altura da bacia (altitude mais elevada menos altitude mais baixa)

Lb (C) = comprimento da bacia

A (min.) = altitude mínima

A (med.) = altitude média

A (max.) = altitude máxima

Tabela 13 – Hipsometria (Hb; Rr) das bacias hidrográficas dos rios São João, Iporã e do Prado

| Bacia hidrográfica | A (min.) m | A (med.) m | A (max.) m | C (km) | Hb m | Rr m/km |
|--------------------|---------------|---------------|---------------|--------|---------|------------|
| 1- Rio São João | 209,746 | 316,791 | 423,836 | 24,121 | 214,090 | 8,876 |
| 2- Rio Iporã | 220,242 | 314,084 | 407,926 | 24,649 | 187,684 | 7,614 |
| 3- Rio do Prado | 238,085 | 314,803 | 391,520 | 14,876 | 153,435 | 10,314 |

Na área de pesquisa foi possível caracterizar determinados aspectos do relevo por meio da comparação hipsométrica nas três bacias hidrográficas.

A relação da amplitude altimétrica máxima com a maior extensão das bacias hidrográficas analisadas classifica a do rio do Prado como a de maior valor obtido: 10,314 m/km, e na sequência a do rio São João com 8,876 m/km e de menor valor a do rio Iporã com 7,614 m/km.

É possível observar que: a altura média das bacias hidrográficas (A med.) é muito próxima, porém os dados relacionados à altura (Hb) amplia a diferença sensivelmente e classifica o rio São João com o maior valor (214,121 m), na sequência o rio Iporã com 187,684 m e o rio do Prado com 153,435m.

A análise do gradiente altimétrico, por meio da delimitação hipsométrica das bacias dos rios São João, Iporã e do Prado, evidencia os níveis diferenciados de desgaste do solo, com base nos parâmetros numéricos obtidos, portanto, quanto maior a amplitude altimétrica maior será a velocidade de transporte de sedimentos.

A ocupação predominante de culturas e pastagens, sobretudo nas faixas mais elevadas da área em estudo, potencializa a perda de solos pelos processos erosivos. Nos três anos em análise (1963, 1985 e 2010), a ocupação da Terra não priorizou as

características hipsométricas, incluindo o desenvolvimento de centros urbanos, acompanhado de excessiva retirada da cobertura vegetal nativa nos divisores de água.

5.3 DECLIVIDADE

Por meio do estudo da declividade, é possível associar os padrões de inclinação evidenciados no relevo com a ocupação do solo e, identificar as áreas de maior propensão ao escoamento superficial. As perdas de solo serão mais intensas quanto maior for a inclinação das vertentes, situação agravada pela remoção da cobertura vegetal. A inter-relação, dos diversos elementos citados, remete à aplicabilidade da visão sistêmica, tanto nos parâmetros quantitativos generalizados, como na análise pontual da área.

Conforme a metodologia de De BIASI (1986), o percentual de declividade pode ser organizado em cinco classes distintas correspondendo aos seus respectivos relevos: 0 – 5%, relevo plano; 5 – 12%, relevo plano-ondulado; 12 - 30%, relevo ondulado; 30- 47%, relevo acidentado e acima de 47%, relevo montanhoso.

A produção do mapa de declividade das bacias hidrográficas em análise considerou as especificidades do relevo local, que apresenta variabilidade modesta, e, segundo Kozciak (2000) foram adaptados os valores intermediários para as bacias hidrográficas em estudo com os seguintes percentuais encontrados:

0 – 5%, relevo plano; 5 – 15% relevo plano ondulado; 15 – 30%, relevo ondulado; acima de 30%, relevo acidentado.

A aplicação do método de reclassificação gerou uma carta poligonal de declividade com as classes sugeridas (Figura 29).

A carta de declividade expõe a predominância dos valores compreendidos entre 5 – 15%, seguido da classe 0 – 5%. Os demais valores são encontrados em menor proporção em nas três bacias, porém, a concentração destes polígonos é observada á principalmente à montante das bacias dos rios São João e Iporã.

Em observação da carta de declividade, é evidente o predomínio do relevo plano e plano ondulado. A classe compreendida entre 0 – 5%, encontra-se sobretudo nos Latossolos.

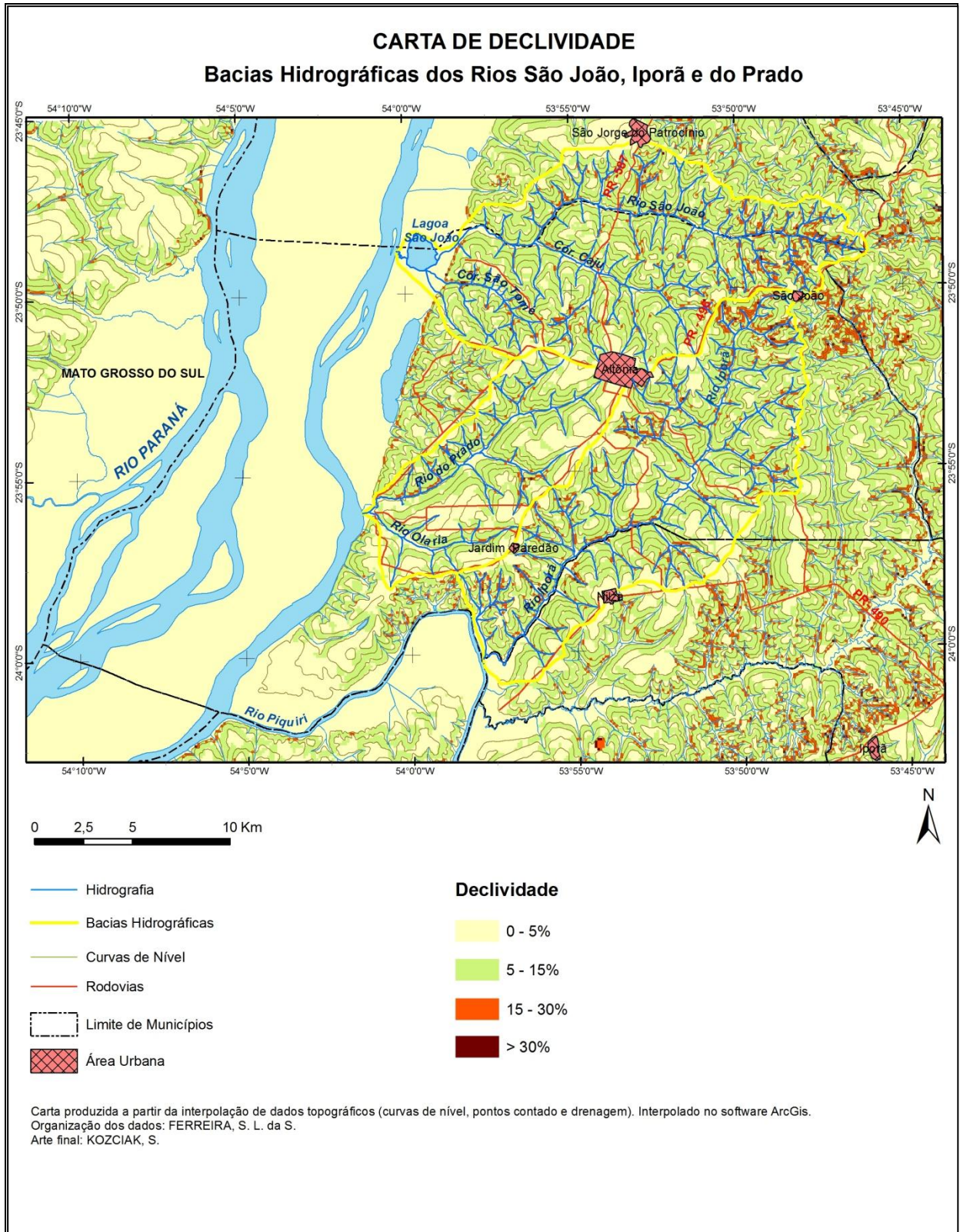


Figura 29 – Declividade da área de estudo com base no MDE.

O relevo ondulado, com declividades entre 5 – 15%, embora em menor proporção, concentram-se principalmente na área de nascentes do alto curso dos rios São João e Iporã, predominantemente em ambientes de Argissolos.

A bacia do rio do Prado se destaca por apresentar as menores declividades, apenas em pontos esparsos, a classe de declividade entre 15 – 30% encontra-se próximo aos afluentes da margem direita e no médio curso da margem esquerda, sobretudo na sub-bacia do ribeirão Altônia. Na margem esquerda do rio do Prado, se concentram as maiores áreas contínuas de declividade inferior a 5%, condição que, em conjunto com os demais fatores, interferem positivamente no equilíbrio de dinâmicas erosivas, que permitem uma comparação com as demais bacias nas análises conclusivas.

Para cada polígono, da carta de declividade, na sequência, foi atribuído o respectivo fator (LS) resultando uma carta final com a indicação do valor percentual da inclinação da vertente.

5.4 POTENCIAL À EROSÃO

Com a aplicação da EUPS, foi possível observar a proporção de cada classe de perda de solo nas bacias dos rios São João, Iporã e do Prado.

Os valores referentes às perdas de solo são expressos nas cartas de potencial à erosão (Figuras 30, 31,32 e Tabela 14), organizadas em cinco classes ou níveis segundo Kozciak (2000).

- 1) Potencial muito baixo (MB) com perdas de até $5 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$;
- 2) Potencial baixo (B) com perdas entre 5 e $10 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$;
- 3) Potencial médio (M) com perdas entre 10 e $20 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$;
- 4) Potencial alto (A) com perdas entre 20 e $50 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$;
- 5) Potencial muito alto (MA) com perdas acima de $50 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$;

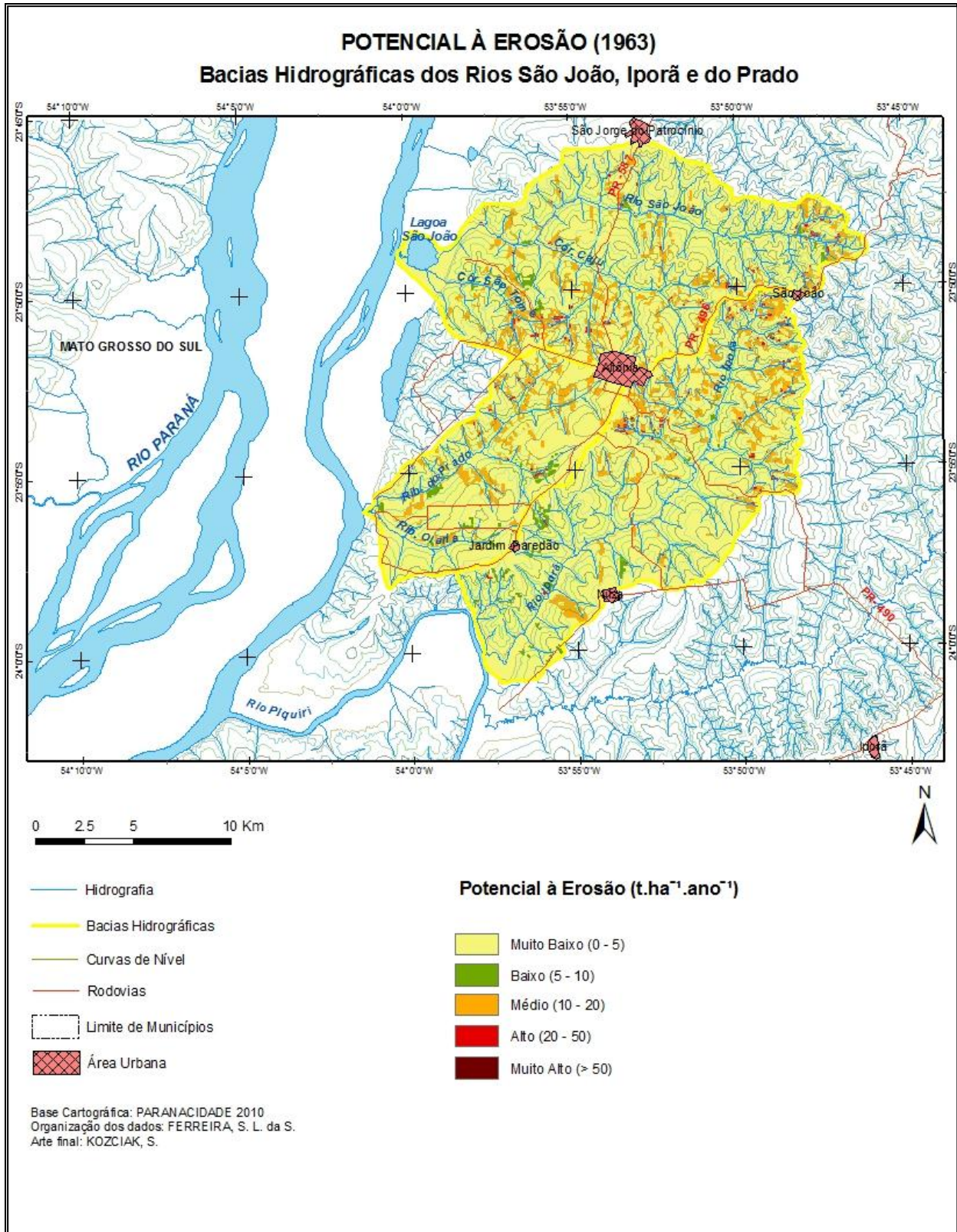


Figura 30 – Carta potencial à erosão de 1963 da área de estudo, com base no MDE.

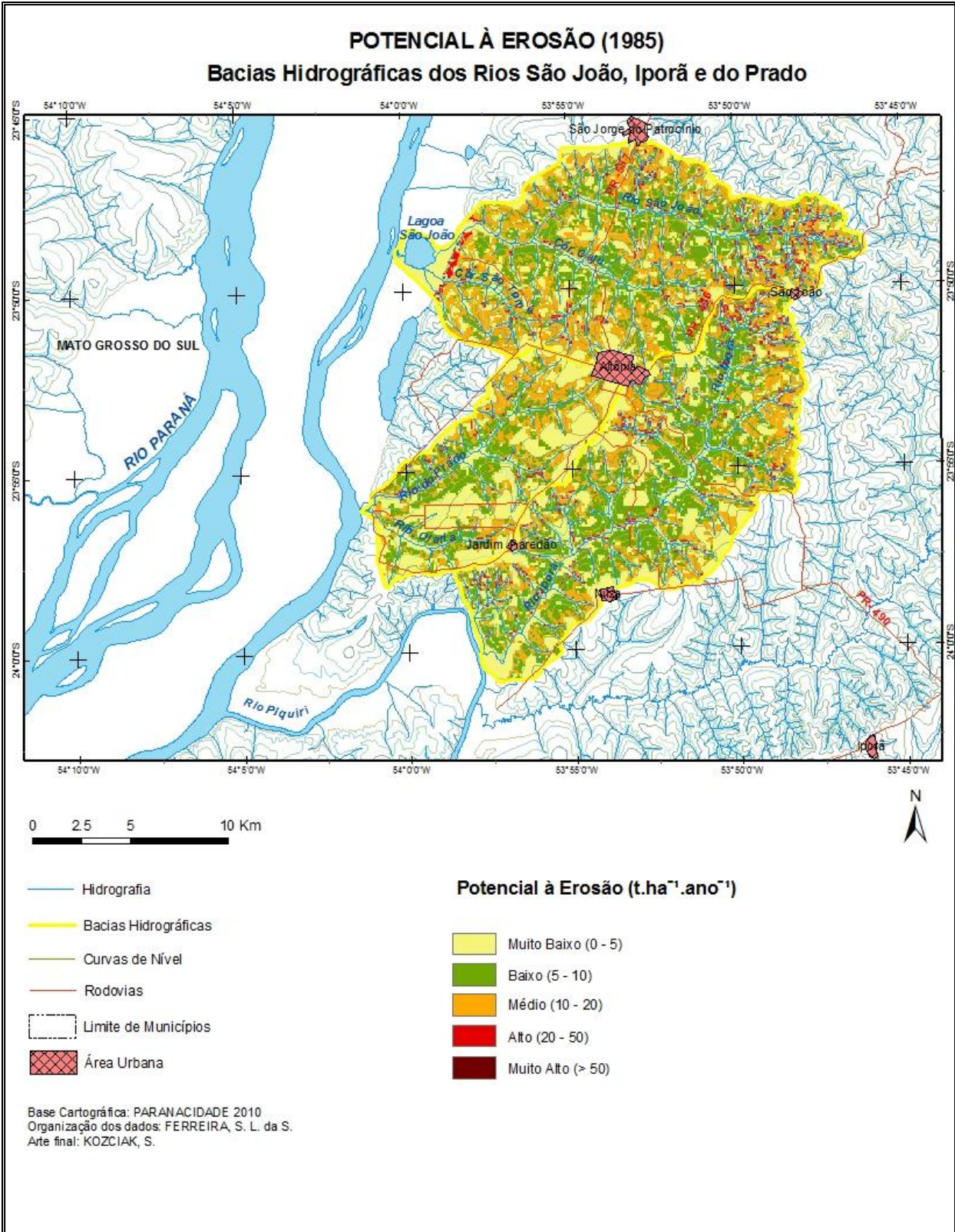


Figura 31 – Carta potencial à erosão de 1985 da área de estudo, com base no MDE.

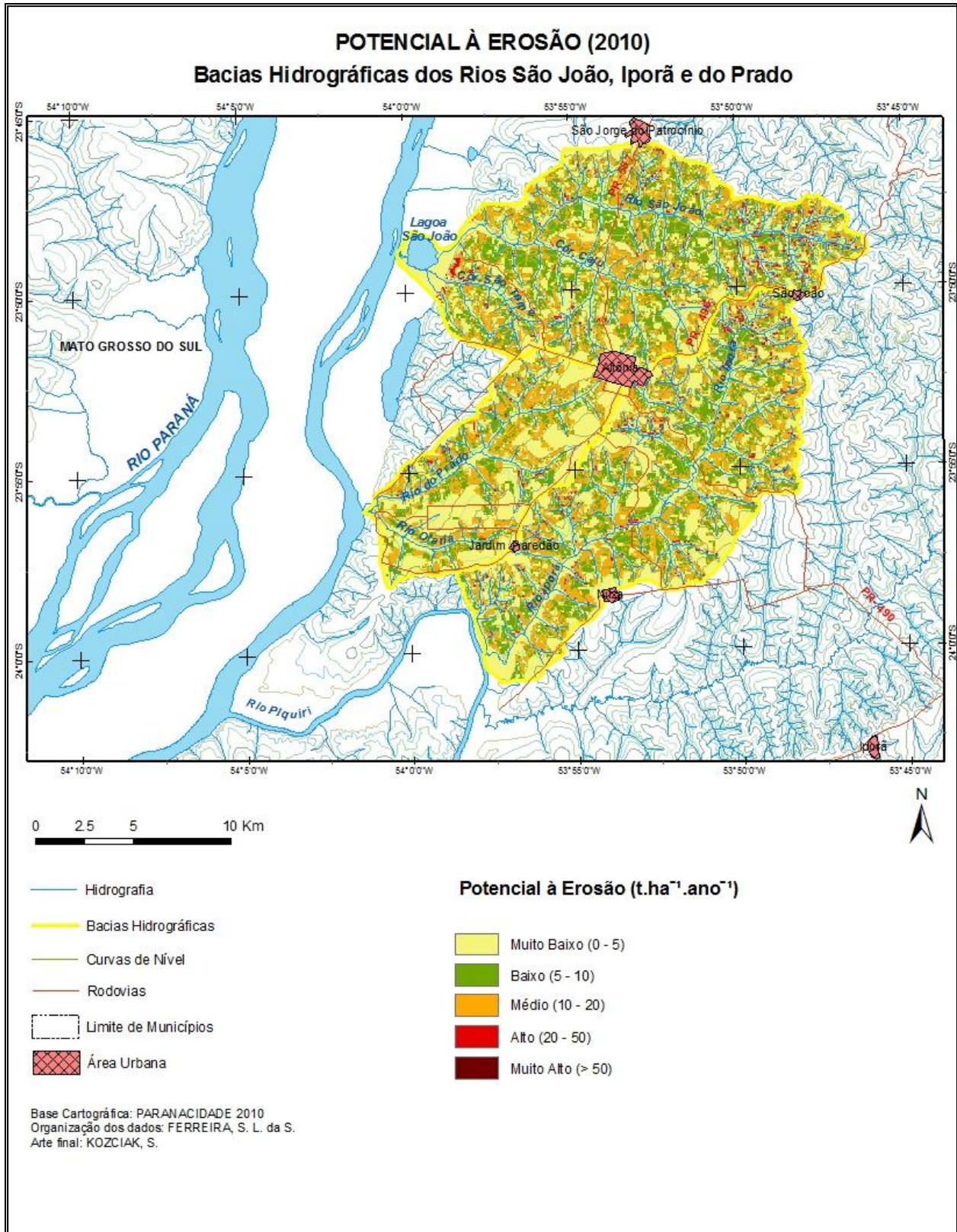


Figura 32 – Carta potencial à erosão de 2010 da área de estudo, com base no MDE.

Tabela 14 – Potencial à erosão - Bacias Hidrográficas dos Rios São João, Iporã e do Prado

| Níveis | 1963 | | 1985 | | 2010 | |
|--------------|----------|--------|----------|--------|----------|--------|
| | Hectares | % | Hectares | % | Hectares | % |
| 1(MB) | 35905,11 | 87,06 | 16970,04 | 41,15 | 21542,46 | 52,24 |
| 2(B) | 553,15 | 1,34 | 11349,02 | 27,52 | 7909,30 | 19,18 |
| 3(M) | 4383,23 | 10,63 | 11133,20 | 27,00 | 10671,85 | 25,88 |
| 4(A) | 384,14 | 0,93 | 1726,29 | 4,19 | 1095,64 | 2,66 |
| 5(MA) | 14,37 | 0,04 | 61,45 | 0,15 | 20,75 | 0,05 |
| TOTAL | 41240,00 | 100,00 | 41240,00 | 100,00 | 41240,00 | 100,00 |

(MB) muito baixo, (B) baixo, (M) médio, (A) alto, (MA) muito alto.

Pelas características observadas no uso do solo de 1963 em comparação com aos dados da Tabela 14 e a respectiva carta de potencial erosivo (Figura 30), é possível constatar a coerência nos fatores afins. Embora as unidades de medidas sejam em km² no uso da terra e em hectares na carta de potencial à erosão, a comparação em porcentagem harmoniza a aparente discrepância.

Na carta de potencial à erosão de 1963, 87,06% da área está inserida no nível “muito baixo” o que representa uma perda inferior a 5 t.ha⁻¹.ano⁻¹, em conjunto com mais 1,34% de terreno com perdas entre 5 a 10 t.ha⁻¹.ano⁻¹, o qual totaliza 88,40% das bacias hidrográficas dos rios São João, Iporã e do Prado.

As perdas de solo dos dois primeiros níveis podem ser caracterizadas como mínimas, e até mesmo irrelevantes para o agravamento de um processo erosivo. Os dados de 1963 caracterizam um período com pouca interferência antrópica.

O nível “médio”, correspondente à perda entre 10 e 20 t.ha⁻¹.ano⁻¹, abrange 10,63% da área delimitada, distribuída pontualmente nas três bacias hidrográficas. O nível “alto” equivalente às perdas entre 20 e 50 t.ha⁻¹.ano⁻¹ e “muito alto” quando os índices estão acima de 50 t.ha⁻¹.ano⁻¹, atingem uma pequena parcela de 0,93% e 0,04% respectivamente, embora estes níveis de perdas de solo sejam significativos, a dimensão areal é pouco representativa quando abordada no contexto geral.

Na carta de 1985 (Figura 31), observa-se acentuadas alterações:

O primeiro nível, “muito baixo”, apresentou considerável redução em detrimento da elevação dos demais (MB = 41,15%; B = 21,25%; M = 27,52%; A = 4,19% e MA =

0,15%), o que faz da análise de 1985 a mais preocupante, especialmente nos índices relacionados ao terceiro nível.

Na bacia hidrográfica do rio São João se concentra a maior parte dos pontos de nível “alto”, destacando-se também as extensas áreas de nível “médio”. As manchas mais críticas estão localizadas nas áreas que compreende o alto curso do rio principal e de seus afluentes. A jusante do rio São João, as maiores declividades estão localizadas na porção sudoeste, ocupada pela agricultura em Argissolo Vermelho.

Em contraposição, a bacia hidrográfica do rio do Prado apresenta os menores valores de perdas de solo, uma vez que se caracteriza pelas menores declividades e maior abrangência dos Latossolos. Observa-se o predomínio de extensas áreas com declividade “muito baixa” e “baixa”, principalmente nos espaços localizados na margem esquerda do rio principal. Na margem direita do rio do Prado predomina o nível médio de potencial a erosão.

A bacia do rio Iporã se destaca pelo aparente equilíbrio na distribuição das classes de perdas de solo e manchas contínuas referentes ao primeiro e segundo nível.

A carta de perdas de solo de 1985 expõe os efeitos negativos da intensa ocupação da área estudada pelas atividades agropastoris com ênfase no contraste visualmente perceptível com a carta de 1963.

A carta de 2010 (Figura 32) demonstra o efeito positivo que determinadas mudanças no uso do solo podem agregar no aspecto ambiental da área, neste caso específico, destaca-se a substituição de áreas agrícolas por pastagens e vegetação florestal. Por meio de alterações no uso e ocupação do solo observa-se uma considerável redução da área anteriormente classificada no nível “médio” de potencial a erosão e conseqüentemente a ampliação dos níveis inferiores.

As bacias hidrográficas dos rios São João, Iporã e do Prado na atualidade concentra 71,42% de sua área entre os primeiros dois níveis de potencial à erosão, “muito baixo” e “baixo”, Cabe ressaltar que a área correspondente ao nível “muito baixo” passou de 87,06% em 1963 para 41,15% em 1985 aumentou para 52,24%.

As oscilações percentuais, do potencial à erosão, nos três períodos analisados, demonstram em todos os níveis, que, o efeito negativo das atividades agropastoris atinge os índices mais alarmantes em 1985, e, em 2010 fica evidenciada uma

significativa mudança positiva nos parâmetros analisados (Gráfico 5), isto representa matematicamente a eficiência de projetos de recuperação ambiental amparados legalmente, a mesma sociedade que degrada pode amenizar ou até mesmo reverter o processo.

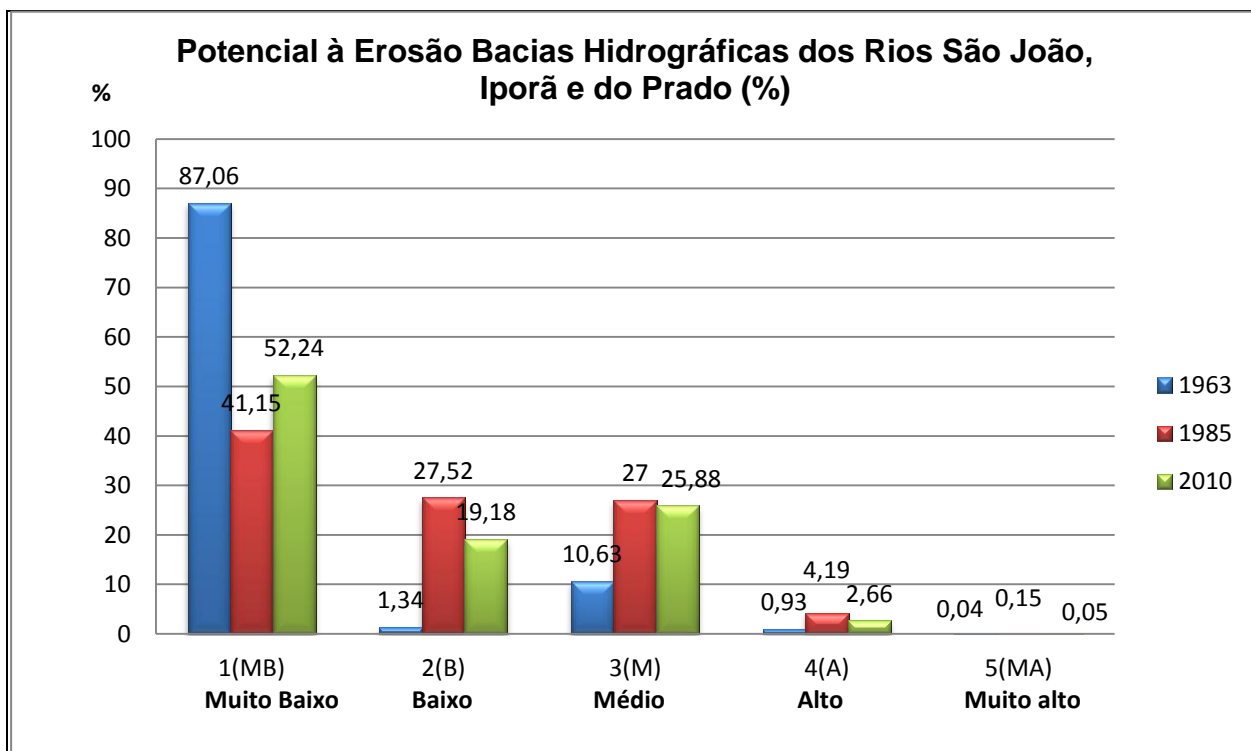


Gráfico 5 - Potencial à erosão da área de estudo.

Segundo Oka-Fiori (2002) os dados obtidos pela aplicação da EUPS atuam como estimativas do processo erosivo da bacia. As estimativas obtidas pela geração da carta de potencial à erosão das bacias hidrográficas em estudo seguiram parâmetros predeterminados, e estes, por sua vez representam situações generalizadas, porém coerentes com a realidade local.

Por meio da análise do potencial à erosão, uma atenção especial deveria ser direcionada às áreas florestais, especialmente nas faixas de maior altitude.

5.5 PERDAS DE SOLO

Por meio do cálculo da média de perdas de solo, proporcional à área de cada bacia hidrográfica, no ano de 1963, a perda de solos pela erosão laminar atingia o valor de 1,14 toneladas por hectare, em 1985 este índice chegou à média de 2,74 toneladas por hectare, e, em 2010 retrocedeu para 1,94 toneladas por hectare, em relação ao ano de 1985 (Tabela 15).

Tabela 15 - Perdas de solo total t/ha/ano - Bacias Hidrográficas dos Rios São João, Iporã e do Prado

| | Área da bacia (ha) | Média de perda total 1963 (t/ha/ano) | Média de perda total 1985 (t/ha/ano) | Média de perda total 2010 (t/ha/ano) |
|------------------------|--------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| 1-Rio São João | 16.608 | 1,20 | 3,11 | 2,09 |
| 2- Rio Iporã | 16.487 | 1,18 | 2,97 | 2,16 |
| 3- Rio do Prado | 8.145 | 0,85 | 1,56 | 1,19 |
| Total | 41.240 | 1,14 | 2,74 | 1,94 |

As perdas de solo representadas pelo Gráfico 6 destaca a dinâmica temporal do crescimento ocorrido no período de 1963/1985, assim como a queda quantitativa no período 1985/2010.

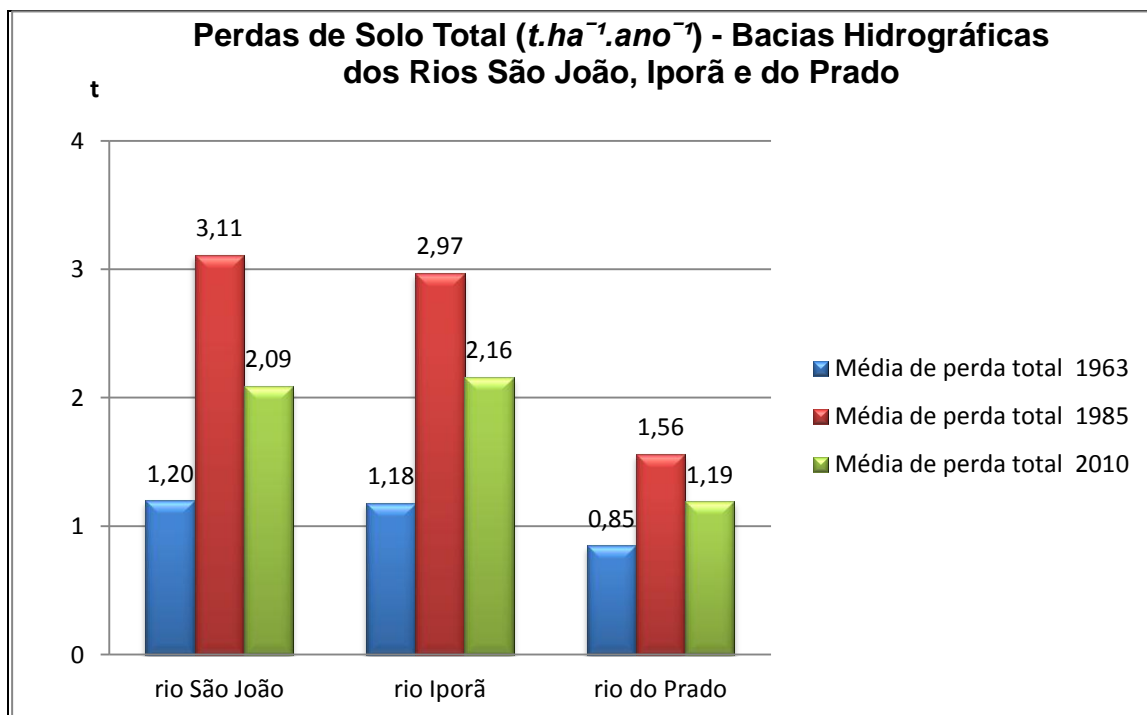


Gráfico 6 - Perdas de solo da área de estudo: 1963, 1985 e 2010.

No Gráfico 6, observa-se que as bacias dos rios São João e Iporã apresentam níveis semelhantes de perdas de solo, enquanto que na bacia do rio do Prado os níveis são menores em todos os períodos analisados, a diferença se torna mais acentuada nos anos de 1985 e 2010.

A distribuição das classes de declividade na área em estudo constitui em fator relevante na análise de perdas de solos de forma setorizada, pois, a localização da bacia do rio do Prado em relevo mais plano que as demais unidades, determinam os menores valores de perda de solo.

Embora o relevo local, com declividades modestas, principalmente na bacia do rio do Prado, represente um fator de limitação ao transporte de sedimentos pela erosão laminar, os dados em questão, e a observação em campo, demonstram que ocorreu um aumento significativo nos últimos 47 anos (Figura 33).



Figura 33 – Foz do rio do Prado no rio Paraná. Deposição de sedimentos. Campo1. Julho, 2010.

A deposição de sedimentos nas confluências dos rios principais, e, ao longo de seus leitos, ocorre naturalmente, em especial nos relevos de baixas altitudes,

entretanto, a velocidade e proporção acentuadas do volume destes depósitos, indicam situações de risco na dinâmica erosiva dos solos.

Outro aspecto que atrai a atenção está relacionado com a comparação entre as bacias do rio Iporã e do rio São João. Nos anos de 1963 e 1985, as maiores perdas de solo ocorriam na bacia do rio São João, porém, em 2010 a bacia do rio Iporã atingiu os maiores índices.

Em relação à inversão de posição observada nas bacias dos rios São João e Iporã, quanto à perda de solos no ano de 2010, a justificativa consiste no uso da terra, pois, na bacia do rio São João a redução das atividades agropastoris foi mais acentuada do que na bacia do rio Iporã. Deste modo, confirma-se a relevância da ampliação de áreas florestais, para o controle da erosão, assim como, o evidente agravamento da degradação dos solos pelas atividades antrópicas.

Neste caso, a análise se direciona na importância da adoção de medidas de conservação, que, ainda que não resolvam totalmente o problema da erosão, podem reduzi-lo consideravelmente.

No município de Altônia, embora a presente análise quantitativa, priorize o estudo da erosão laminar, o desenvolvimento de ravinas e vossorocas, também é considerado um problema significativo nas perdas de solo, situação que será verificada na sequência, por meio da cartografia temática multitemporal.

5.6 RAVINAS E VOSSOROCAS

Sabe-se que o assoreamento dos rios decorre de processos erosivos conjuntos envolvendo especialmente a erosão laminar e linear, a quantificação da erosão laminar por meio da EUPS e conseqüentemente a produção de cartas de potencial à erosão pode ser utilizado na presente área de estudo como método de análise multitemporal, entretanto, a erosão linear constatada na mesma área, passou por sucessivas ações de controle, o que impossibilita uma medição e quantificação criteriosa.

No mapeamento prévio das ravinas e vossorocas feito por meio de interpretação visual das imagens de satélite relativas ao ano de 2010 (Figura 34 e 35),

foi identificado, em uma primeira análise, o número de 50 evidências de erosão em sulcos, entretanto, uma pequena parcela foi descartada em campo, como o número um localizado fora dos limites das bacias hidrográficas, e, aquelas que não foram identificadas em campo.

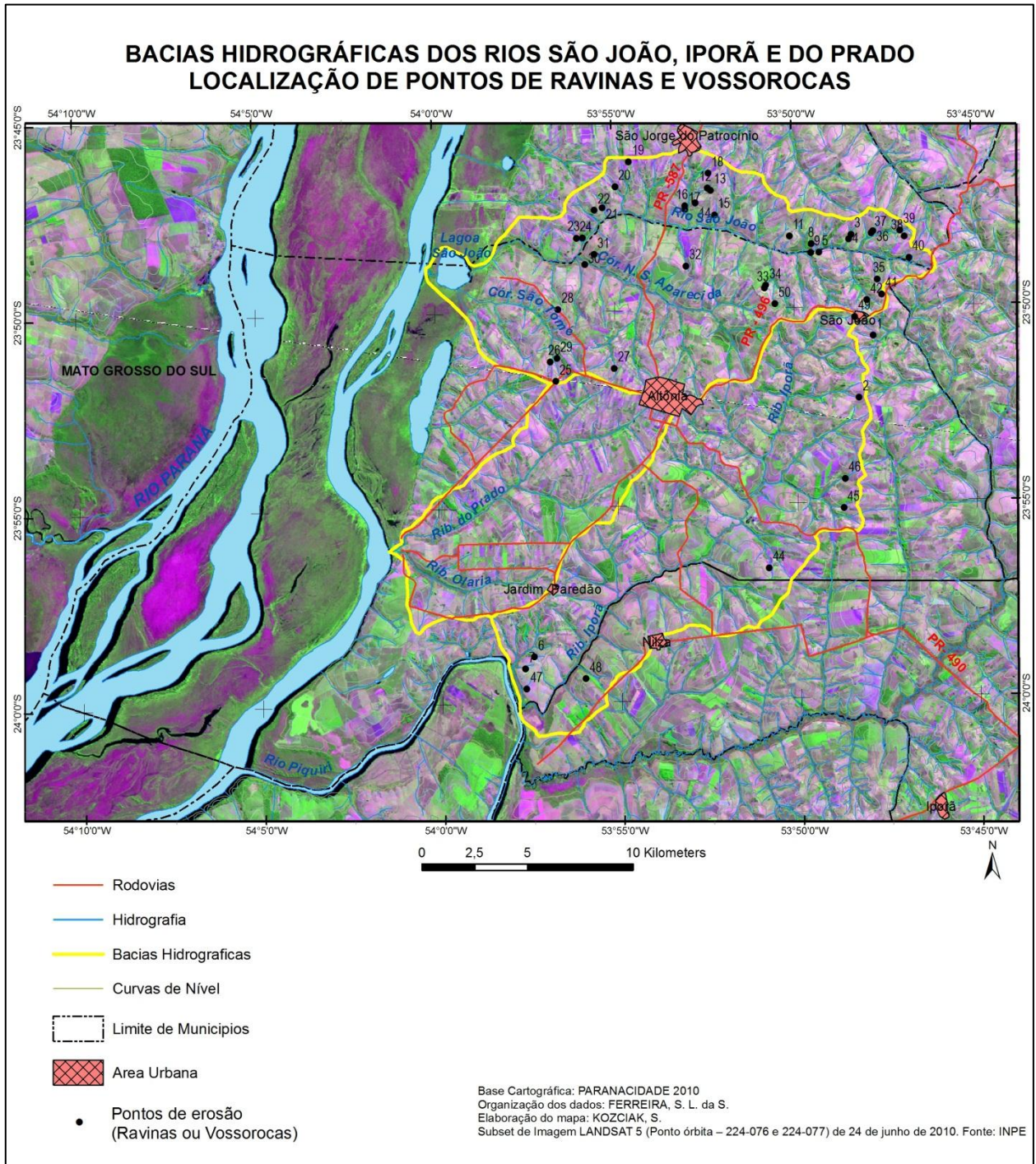


Figura 34 – Localização de ravinas e vossorocas na área de estudo – 2010/2011, base cartográfica: PARANACIDADE 2010.



Figura 35 – Imagens de ravinas e vossorocas na área de estudo. Ponto 50- no plano inferior: nascente extinta e no superior reflorestamento em área de vossoroca. Ponto 41 e 44- ravinas e vossorocas em área de pastagem. Ponto 49- parte de vossoroca em vilarejo com extensão aproximada de três quilômetros. Fonte: imagem Spot, 2005.

As prováveis ravinas número 10 e número 43 foram desconsideradas, pois em estudo de campo, no local indicado, não foi comprovado a existência das mesmas (Quadro 6).

| Pontos | Latitude | Longitude | Pontos | Latitude | Longitude |
|--------|----------------|----------------|--------|----------------|----------------|
| 1 | | | 2 | 23°52'19,842"S | 53°48'23,8"W |
| 3 | 23°48'10,182"S | 53°48'21,666"W | 4 | 23°48'16,958"S | 53°48'25,639"W |
| 5 | 23°48'36,77"S | 53°49'16,466"W | 6 | 23°52'20,842"S | 53°48'13,265"W |
| 7 | 23°59'8,335"S | 53°57'39,981"W | 8 | 23°48'23,628"S | 53°49'28,941"W |
| 9 | 23°48'37,115"S | 53°49'29,658"W | 10 | | |
| 11 | 23°48'11,113"S | 53°50'4,776"W | 12 | 23°46'54,48"S | 53°52'19,951"W |
| 13 | 23°46'58,538"S | 53°52'14,865"W | 14 | 23°47'16,848"S | 53°52'40,497"W |
| 15 | 23°47'36,081"S | 53°52'9,222"W | 16 | 23°47'21,472"S | 53°52'58,349"W |
| 17 | 23°47'26,561"S | 53°52'58,248"W | 18 | 23°46'32,085"S | 53°52'18,452"W |
| 19 | 23°46'11,893"S | 53°54'30,837"W | 20 | 23°46'49,611"S | 53°54'53,787"W |
| 21 | 23°47'21,851"S | 53°55'15,998"W | 22 | 23°47'25,614"S | 53°55'29,164"W |
| 23 | 23°47'25,614"S | 53°55'29,164"W | 24 | 23°48'8,03"S | 53°56'0,158"W |
| 25 | 23°51'47,318"S | 53°56'39,318"W | 26 | 23°51'16,861"S | 53°56'48,563"W |
| 27 | 23°51'16,861"S | 53°56'48,563"W | 28 | 23°49'56,4"S | 53°56'33,349"W |
| 29 | 23°51'11,893"S | 53°56'36,317"W | 30 | 23°48'48,678"S | 53°55'47,342"W |
| 31 | 23°48'33,723"S | 53°55'31,27"W | 32 | 23°48'54,079"S | 53°52'58,207"W |
| 33 | 23°49'30,06"S | 53°50'48,001"W | 34 | 23°49'26,192"S | 53°50'45,577"W |
| 35 | 23°49'19,623"S | 53°47'39,56"W | 36 | 23°48'5,366"S | 53°47'45,2"W |
| 37 | 23°48'8,641"S | 53°47'48,035"W | 38 | 23°48'14,477"S | 53°46'53,142"W |
| 39 | 23°48'4,759"S | 53°47'0,377"W | 40 | 23°48'47,278"S | 53°46'45,601"W |
| 41 | 23°49'43,141"S | 53°47'32,442"W | 42 | 23°49'51,697"S | 53°47'56,873"W |
| 43 | | | 44 | 23°56'40,037"S | 53°50'49,013"W |
| 45 | 23°55'9,801"S | 53°48'42,004"W | 46 | 23°54'24,91"S | 53°48'39,221"W |
| 47 | 23°59'38,76"S | 53°57'38,544"W | 48 | 23°59'24,588"S | 53°55'59,3"W |
| 49 | 23°50'24"S | 53°48'09"W | 50 | 23°49'54,667"S | 53°50'30,76"W |

Quadro 6 - Coordenadas geográficas das vossorocas e ravinas nas bacias dos rios São João, Iporã e do Prado: verificação em campo, set./2011.

Apenas três ravinas e vossorocas não foram confirmadas em campo, a taxa de acerto foi de 94%, totalizando na atualidade 47 ravinas distribuídas nas bacias dos rios São João e Iporã, este índice de acerto produz certa confiabilidade no trabalho de gabinete estruturado na cartografia digital.

Na bacia do rio São João está concentrado o maior número de ravinas e vossorocas, assim como os sulcos de dimensões mais expressivas que foram percebidos especialmente nas áreas de pastagem e no núcleo urbano local, pois são terrenos que exigem menos cuidados e atenção do proprietário, em contraposição com a melhor resistência caracterizada em áreas de pastagens. Outro fator que merece atenção é o histórico do uso do solo, pois em geral, as atuais ravinas e vossorocas

presentes nas áreas de pastagem se originaram quando os terrenos ainda eram ocupados por culturas, e, estes sulcos, mais antigos e de dimensões maiores, em geral encontram-se estabilizados ou em fase de estabilização (Figuras 36 e 37).

A identificação de ravinas e vossorocas em estágios avançados na imagem e posteriormente a verificação e a localização em campo confirmou a ausência de sulcos significativos na bacia hidrográfica do rio do Prado. Um dos motivos que contribuiu para a eliminação de antigas vossorocas e ravinas na bacia do rio do Prado pode ser atribuído à organização desta área em pequenas propriedades, o que aumenta as possibilidades de investimentos para o controle e tratamento da erosão.

Na pesquisa desenvolvida por Lemos (2010) foi aplicada uma técnica de cálculo de perdas de solo por ravinas e vossorocas com base na delimitação multitemporal das curvas de nível em fotografias aéreas, entretanto, nas bacias em estudo não foi possível quantificar as perdas de solo produzidas pelas ravinas e vossorocas, pois conforme o relato de proprietários e verificação em campo, uma parcela indeterminada de sulcos foi aterrada por meios mecânicos ou ainda descaracterizada por reflorestamentos, desta forma o cálculo não representaria a realidade local, especialmente na bacia do rio do Prado.



Figura 36 – Campo1: Vossoroca na bacia do rio São João. Julho, 2010.

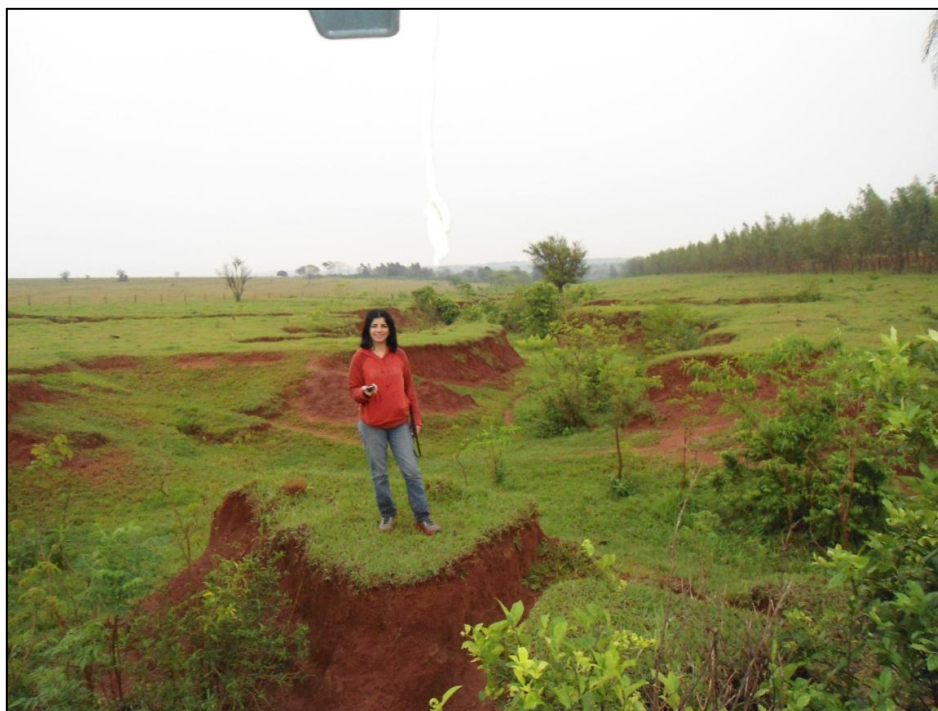


Figura 37 – Campo3: Vossoroca em área de pastagem. Profundidade de até 4m – bacia do rio Iporã, Setembro, 2011.

Embora o objetivo principal do presente estudo seja a análise multitemporal da erosão laminar, como fator de extrema importância no assoreamento dos corpos d'água, não se pode ignorar a participação da erosão linear na dinâmica sistêmica de transporte de sedimentos para os leitos fluviais.

Nos últimos trinta anos, houve um aumento considerável da degradação dos solos locais pelo avanço dos sulcos nas propriedades rurais. Economicamente, o problema produzido pelo avanço das ravinas e vossorocas, reflete diretamente no empobrecimento do solo, e, conseqüentemente, na queda da produtividade. Outras conseqüências podem ser relacionadas pela desvalorização das propriedades e o êxodo dos habitantes rurais para os centros urbanos.

A análise, neste caso, se direciona à comparação dos pontos de ravinas e vossorocas descritos, com base no mapeamento recente (2010/2011), e, a ocorrência destes pontos em 1980 (Quadro 7).

| Pontos | Latitude | Longitude | Pontos | Latitude | Longitude |
|--------|----------------|----------------|--------|----------------|----------------|
| 1 | | | 2 | 23°52'19,842"S | 53°48'23,487"W |
| 3 | | | 4 | 23°48'16,958"S | 53°48'25,639"W |
| 5 | | | 6 | 23°52'20,842"S | 53°48'13,265"W |
| 7 | 23°59'8,335"S | 53°57'39,981"W | 8 | | |
| 9 | 23°48'37,115"S | 53°49'29,658"W | 10 | | |
| 11 | | | 12 | | |
| 13 | | | 14 | | |
| 15 | 23°47'36,081"S | 53°52'9,222"W | 16 | 23°47'21,472"S | 53°52'58,349"W |
| 17 | | | 18 | | |
| 19 | 23°46'11,893"S | 53°54'30,837"W | 20 | 23°46'49,611"S | 53°54'53,787"W |
| 21 | 23°47'21,851"S | 53°55'15,998"W | 22 | | |
| 23 | 23°47'25,614"S | 53°55'29,164"W | 24 | 23°48'8,03"S | 53°56'0,158"W |
| 25 | 23°51'47,318"S | 53°56'39,318"W | 26 | | |
| 27 | | | 28 | | |
| 29 | | | 30 | | |
| 31 | | | 32 | | |
| 33 | | | 34 | | |
| 35 | 23°49'19,623"S | 53°47'39,56"W | 36 | 23°48'5,366"S | 53°47'45,2"W |
| 37 | | | 38 | 23°48'14,477"S | 53°46'53,142"W |
| 39 | 23°48'4,759"S | 53°47'0,377"W | 40 | 23°48'47,278"S | 53°46'45,601"W |
| 41 | | | 42 | | |
| 43 | | | 44 | 23°56'40,037"S | 53°50'49,013"W |
| 45 | | | 46 | 23°54'24,91"S | 53°48'39,221"W |
| 47 | | | 48 | 23°59'24,588"S | 53°55'59,3"W |
| 49 | 23°50'24"S | 53°48'09"W | 50 | 23°49'54,667"S | 53°50'30,76"W |

Quadro 7 - Coordenadas geográficas das vossorocas e ravinas nas bacias dos rios São João, Iporã e do Prado: 1980.

Se por um lado, a perda de solos pela erosão laminar diminuiu nas últimas décadas, o mesmo não pode ser afirmado quanto à erosão linear, pois, observa-se uma diferença expressiva na ocorrência de sulcos. O aumento da ravinas e vossorocas, em relação à década de 1980, atingiu um índice superior a 100% (Figura 38).

A Figura 39 compara a localização de sulcos com a carta de solos.

No cruzamento de dados de localização das ravinas e vossorocas com os tipos de solos observou-se uma quase total concentração dos pontos nos Argissolos, os poucos pontos fora da abrangência citada, estão muito próximos da transição de solos, o que poderia ser justificado pela margem de imprecisão da escala utilizada, assim, seria provável um maior detalhamento, por meio da utilização de uma escala maior.

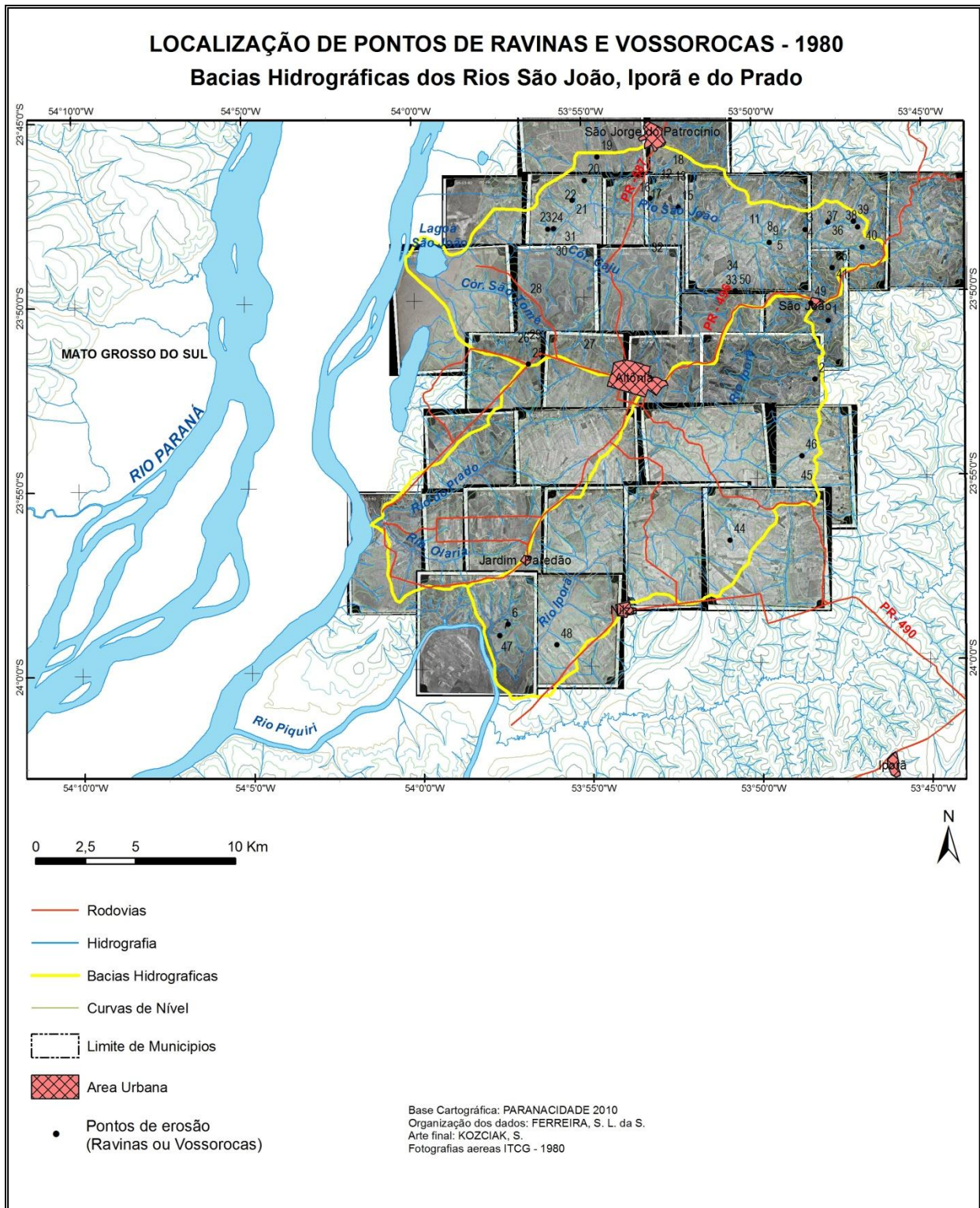


Figura 38 – Localização de ravinas e vossorocas na área de estudo – 1980. Base cartográfica: PARANACIDADE 2010.

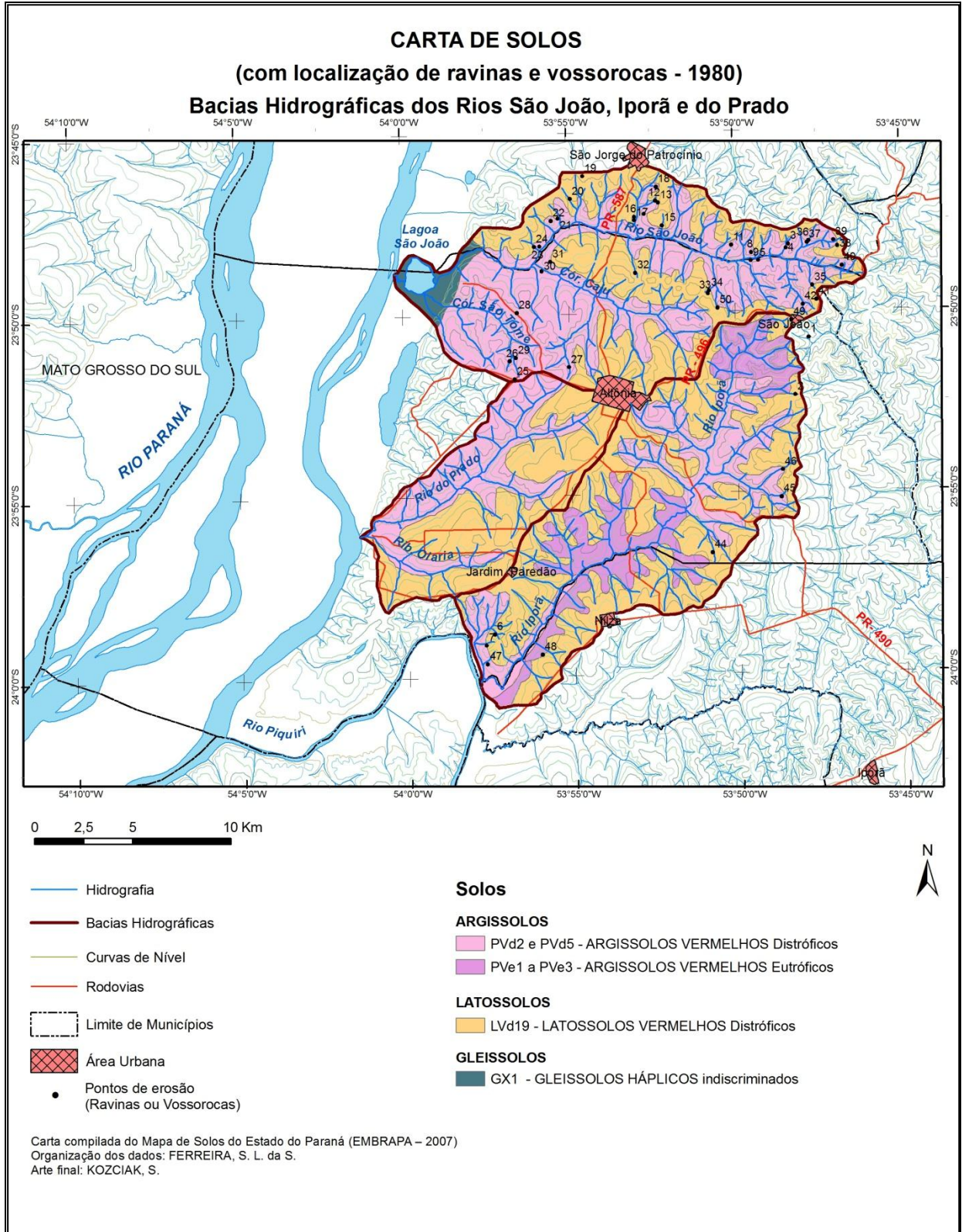


Figura 39 – Carta de solos com a localização de ravinas e vossorocas na área de estudo – 1980.

As ravinas e vossorocas predominam na bacia do rio São João, tanto na carta de 2010, como na carta de 1980, a maior concentração pode ser visualizada na margem direita, território do município e São Jorge do Patrocínio. Entre as características físicas favoráveis á formação de sulcos, se destacam: a declividade e a densidade de drenagem que se sobressaem em comparação com as demais. No aspecto antrópico observa-se um intenso uso do solo pelas atividades agropecuárias, especialmente até a década de 1980, que sobressaia a agricultura enquanto que as áreas de vegetação florestal eram relativamente inferior às demais bacias hidrográficas.

Atualmente a situação das ravinas e vossorocas na área de estudo constitui um problema preocupante, pois reduz a produtividade nas propriedades agrícolas e também provoca a desvalorização comercial da terra, conforme comentado anteriormente, entretanto, o assoreamento dos cursos fluviais pelo transporte de sedimento, constitui em relevante perda ambiental.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O debate em torno da interação: ser humano\natureza através dos períodos históricos constitui em um desafio complexo que envolve a compreensão de cada realidade e a busca de parâmetros de análise, soluções ou práticas capazes de desacelerar a intensa degradação do ambiente natural.

A temática ambiental integra, além dos aspectos naturais, os interesses econômicos, políticos e culturais, portanto, na delimitação geográfica de uma determinada área de estudos devem-se analisar todos estes elementos conforme seu grau de interferência.

Foi possível constatar, comparativamente, que as bacias hidrográficas dos rios São João e Iporã apresentam semelhanças na maioria dos aspectos morfométricos e geomorfológico analisados, enquanto que a bacia do rio do Prado, com dimensões inferiores às demais, se destacou pelo manejo do solo diferenciado observado em campo. Em geral, a área média das propriedades é inferior a dez hectares, e estas recebem maior monitoramento técnico e econômico no controle da erosão.

Um dos elementos relevantes no estudo da erosão laminar está na caracterização dos solos e sua estrutura geológica, no presente estudo, a formação Arenito Caiuá, estabeleceu uma maior limitação natural na composição dos solos, no que se refere à ocupação da terra, esta situação é comum ao noroeste paranaense.

Por meio da análise histórica e cartográfica do uso da terra nas bacias hidrográficas dos rios São João, Iporã e do Prado, conclui-se que o processo de ocupação no município de Altônia, a partir da década de 1950, não priorizou o cuidado com o solo e recursos hídricos, pois, o desmatamento indiscriminado, e, as práticas agropecuárias, resultaram no aumento da erosão laminar, assim como no agravamento de ravinas e vossorocas.

O estudo multitemporal da dinâmica local no uso da terra compreendido nos períodos representados pelos anos de 1963, 1985 e 2010 ressaltou três situações especiais:

- a primeira corresponde ao acelerado desflorestamento que reduziu a vegetação nativa de 75% em 1963 para 2,37% em 1985;
- a segunda situação produziu uma reação de surpresa, pois o índice de vegetação florestal de 2,37%, nos quinze anos seguintes, passou por um crescimento e atingiu a marca de 12,34%;
- a terceira situação refere-se à constatação de que o reflorestamento, regulamentado por lei, prioriza o plantio de espécies nativas, entretanto, no trabalho de campo, foi possível verificar que nas propriedades predominam o plantio de espécies exóticas.

O crescimento expressivo da degradação dos solos observada nos períodos determinados ocorreu pela retirada desenfreada da vegetação original para implantação de culturas e pastagens, fatores que atuaram significativamente na perda da camada superficial do solo pela ação da erosão hídrica, portanto, o uso da terra representou um dos maiores problemas relacionado à erosão laminar, e, segundo o presente estudo, também para o desenvolvimento de ravinas e vossorocas.

As atuais ravinas e vossorocas em área de pastagem surgiram, em parte, nos períodos da ocupação por atividades agrícolas e continuaram avançando na transição para pastagem, conforme foi observado na análise comparativa de 2010/2011 e 1980. Embora a agricultura seja mais favorável ao desenvolvimento da erosão linear, na área delimitada para estudo, as ravinas e vossorocas são predominantes nas áreas ocupadas por pastagens.

Nos cálculos referentes à erosão laminar no solo foi aplicado a Equação Universal de Perdas de Solo – EUPS – trata-se da análise conjunta da erosividade da chuva, erodibilidade do solo, comprimento da rampa, declividade do terreno, uso do solo, manejo do solo e práticas conservacionistas.

Por meio de parâmetros teóricos e numéricos, verificou-se entre os aspectos naturais, a maior facilidade para o transporte de sedimentos proporcionado pela textura arenosa na composição dos latossolos e a propensão ao escoamento superficial dos argissolos. Outro fator de destaque pode ser atribuído aos baixos índices de declividade caracterizados como atenuantes da dinâmica erosiva nas bacias hidrográficas pesquisadas.

O fator antrópico representou um paradoxo determinante no desenvolvimento da presente pesquisa, na primeira etapa ficou evidente, na análise de 1985, a expansão da agropecuária em detrimento da redução da vegetação nativa, e, as técnicas inadequadas de plantio que representaram a elevação das taxas de perdas de solo, porém na segunda etapa, conforme a análise de 2010, a atuação antrópica na implantação e fiscalização da reserva legal nas propriedades rurais produziu um efeito de redução nos índices de perdas de solo, ainda que os valores absolutos sejam bem distantes dos resultados da análise de 1963.

Com o uso da cartografia digital e o cruzamento de dados na geração da carta de potencial à erosão, confirmou-se a baixa interferência antrópica na análise de 1963 e o avanço do potencial à erosão na proporção da ampliação das áreas agropastoris, o que pode ser constatado em duas comparações:

- 1) o nível “muito baixo” em 1963 foi alterado de 87,06% para 41,15% em 1985 e para 52,24% em 2010;

- 2) o nível “médio” de 10,63% em 1963 subiu para 27,00% em 1985 e 25,88% em 2010.

Os valores obtidos na aplicação da EUPS foram utilizados em uma última equação para a obtenção da média de perda de solo em toneladas por hectare ao ano. O crescimento dos valores de 1963 para 1985 e uma relativa queda em 2010 confirma as demais análises relativas à erosão laminar, nas quais, houve um expressivo avanço até a década de 1980 e um retrocesso, em menor proporção, no período compreendido entre a década de 1980 e 2010.

Neste estudo constata-se de que a redução nas perdas de solo, pela erosão laminar, nas bacias dos rios São João, Iporã e do Prado relativas ao ano de 2010, em comparação com o ano de 1985, apresenta, como principal fator, o aumento de áreas florestadas.

Com base nas características naturais das bacias hidrográficas dos rios São João, Iporã e do Prado, e resultados obtidos pela aplicação da EUPS, recomenda-se uma atenção especial na manutenção das atuais áreas florestais e no incentivo aos proprietários de terras a ampliar ainda mais a estas áreas, preferencialmente com espécies arbóreas nativas.

A responsabilidade em minimizar as perdas de solo, neste caso, é considerada como um fator compartilhado diretamente pelos diversos segmentos da sociedade local. De um lado os interesses públicos no desenvolvimento socioeconômico do município, direcionados às questões ambientais como fonte de arrecadação em escalas diversas, e, do outro, os proprietários, que necessitam de informações claras e específicas à realidade regional, capazes de alterar a visão imediatista de exploração da terra em investimentos a médio e longo prazo, no que se refere à utilização de técnicas de manejo da terra adequados à proteção dos recursos naturais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, G. H. de S. et al **Gestão ambiental de áreas degradadas**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2005.

ARID, F. M. et al. **Contribuição ao estudo da Formação Caiuá**. Rev. IG, São Paulo, 2(1) :5-20, jan.jun. 1981.

BATEZELLI, A. **Arcabouço tectono-estratigráfico e evolução das Bacias Caiuá e Bauru no Sudeste brasileiro**. Revista Brasileira de Geociências, volume 40 (2), 2010. pp. 265-285, junho de 2010.

BERTALANFFY, L. v. Teoria geral dos sistemas. 4. ed. Petrópolis: Vozes, 2009.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do Solo. São Paulo: Icone, 2010**.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do Solo. São Paulo: Icone, 2008**.

BERTRAND, G. **Paysage et Géographie Physique Globale: esquisse méthodologique**. Rev. Géogr. des Pyrenées et du Sud-ouest. 39: 249-272, 1968.

BOTELHO, R. G. M. Planejamento ambiental em microbacia hidrográfica in: GUERRA, A. J. T. e al. **Erosão e conservação dos solos: conceitos temas e aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999.

BRASIL. Lei n. 7803, de 18 de julho de 1989. Altera a redação da Lei nº 4.771, de 15 de setembro de 1965, e revoga as Leis nºs 6.535, de 15 de junho de 1978, e 7.511, de 7 de julho de 1986. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 20 jul. 1989. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L4771.htm>. Acesso em: 4/2/2012.

BRASIL. Constituição (1988). **Constituição**: República Federativa do Brasil. Brasília, DF: Senado Federal, 1988.

BRASIL. Lei n. 6938, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 2 set. 1981. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L6938.htm>. Acesso em: 4/2/2012.

BRASIL. Lei n. 4771, de 15 de setembro de 1965. Institui o novo Código Florestal. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 16 set. 1965. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L4771.htm>. Acesso em: 4/2/2012.

CAMPOS, Y. de O. **Gestão ambiental – complexidade sistêmica em bacia hidrográfica.** Tese de Doutorado. Uberlândia: UFU, 2010.

CANALI, N. E. **Análise topológica das redes de drenagem da porção leste do território paranaense.** Tese (Doutorado em Geografia) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro. 1990.

CAPRA, F. **O Ponto de Mutação: A Ciência, a Sociedade e a Cultura Emergente.** Tradução por Álvaro Cabral. São Paulo: Cultrix. 1982.

CARVALHO, S. M. **A contribuição dos estudos em bacias hidrográficas para a abordagem ambiental na Geografia.** In: MENDONÇA, F. de A. et al (org). Espaço e tempo: complexidade e desafio do pensar e do fazer geográfico. Curitiba: ADEMADAN, 2009.

CASSETI, V. **Ambiente e apropriação do relevo.** São Paulo: Contexto, 1995.

CHRISTOFOLETTI, A. **Aplicabilidade do conhecimento geomorfológico nos projetos de planejamento.** in: GUERRA, A. J. T. e CUNHA, S.B.da (org.) Geomorfologia: Uma Atualização de Bases e Conceitos. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2009.

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de sistemas ambientais.** São Paulo: Edgard Blücher, 1999.

CHRISTOFOLETTI, A. TELES, A., P. S.S; LUPINACCI, M. C; BERTAGNA, S. M. A.; MENDES, I. A. **A Morfometria do Relevo na Média Bacia do Rio Corumbataí .In,** V Simpósio de Geografia Física Aplicada. Anais. São Paulo, 1993.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia.** São Paulo: Blucher, 1980.

COELHO NETTO, A. L. **Hidrologia de encostas na interface com a Geomorfologia** in: GUERRA, A. J. T. e CUNHA, S.B.da (org.) Geomorfologia: Uma Atualização de Bases e Conceitos. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2009.

CUNHA, S. B. da e GUERRA, A. J. T. **Degradação ambiental.** in: GUERRA, A. J. T. e CUNHA, S.B.da (org.) Geomorfologia e meio ambiente. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2010.

CUNHA, S. B. da. **Bacias hidrográficas. Geomorfologia do Brasil.** in: CUNHA, S.B.da e GUERRA, A. J. T. Geomorfologia do Brasil. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998.

D'AGOSTINI, L. R. **Erosão - o problema mais que o processo.** Florianópolis: UFSC, 1999.

DE BIASI, M. A. **A carta clinográfica: os métodos de representação e sua confecção.** São Paulo: USP / FFLCH / DGEO, 1986.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Mapa de Solos do Estado do Paraná, Legenda Atualizada.** Rio de Janeiro, 2007.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de classificação de solos.** Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de classificação de solos.** Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. FUNDAÇÃO INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ – IAPAR. **Levantamento de Reconhecimento dos solos do estado do Paraná.** Londrina, 1984.

FERNANDES L.A.; COIMBRA A.M. **Revisão Estratigráfica da Parte Oriental da Bacia Bauru (Neocretáceo).** *Rev.Bras. de Geoc.*, 30:717-728, 2000.

FERNANDES LA. **A cobertura cretácea suprabasáltica no Paraná e Pontal do Paranapanema (SP): os grupos Bauru e Caiuá.** São Paulo. Dissertação (Mestrado em Geologia Sedimentar) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1992.

FERREIRA. S. L. da S. **Diagnóstico socioambiental da bacia do Ribeirão dos Padilhas: o processo de ocupação do loteamento Bairro Novo, Sítio Cercado – Curitiba – PR.** Dissertação de Mestrado. Curitiba: UFPR, 2005.

FITZ, P. R. **Geoprocessamento sem complicação.** São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

FREITAS FILHO, M. R.; MEDEIROS, J. S. **Análise multitemporal da cobertura vegetal em parte da chapada do Araripe – CE, utilizando técnicas de sensoriamento Remoto e Geoprocessamento.** In_ SIMPOSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 7, 1993 – São Jose dos Campos: IMPE, 1993. p. 73-80.

GALERANI, C. A. **Descrições das ações de controle da erosão urbana no noroeste do estado do Paraná.** Anais da 5º Simpósio Nacional de Controle de Erosão. Bauru-SP, 1995.

GAMEIRO, M. G. **Avaliação de métodos para obtenção dos fatores “L” e “S” da EUPS numa microbacia, via geoprocessamento e banco de dados / M. G. Gameiro.** – São José dos Campos: INPE, 1997.

GARCEZ, L. N. e ALVAREZ, G. A. **Hidrologia.** São Paulo: Edgard Blücher, 1988.

GUERRA, A. J. T. e CUNHA, S.B.da (org.) **Geomorfologia e meio ambiente.** Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2010.

GUERRA, A. J. T. **Processos erosivos nas encostas.** in: GUERRA, A. J. T. e CUNHA, S.B.da (org.) Geomorfologia: Uma Atualização de Bases e Conceitos. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2009.

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

GUERRA, A. J. T. **O início do processo erosivo.** in: GUERRA, A. J. T. et al (org). Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações. 2. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2005.

GUERRA, A. J. T. e BOTELHO, R. G. M. **Erosão dos solos** in: CUNHA, S.B.da e GUERRA, A. J. T. Geomorfologia do Brasil. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2001.

GUERRA, A. T. **Dicionário geológico-geomorfológico.** Rio de Janeiro: IBGE, 1978.

HORTON, R. E. **Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysicals approach to quantitative morphology.** Geological Society of America Bulletin. 56, pp. 275-370, 1945.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual Técnico de Uso da Terra – 2ª edição.** Rio de Janeiro, 2006.

IBGE - Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual técnico da vegetação brasileira.** Rio de Janeiro, 1992.

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Imagens do Satélite LANDSAT 5 – Imagem TM. Disponível em: <<http://www.dgi.inpe.br/>> Acesso em: 20/6/2010.

INSTITUTO DAS ÁGUAS DO PARANÁ. Sistema de Informações Hidrológicas – SIH. CD-ROM. Curitiba, 2010.

IPARDES – Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social. **Leituras regionais – mesorregião geográfica noroeste paranaense.** Curitiba, 2004

ITCG - Instituto de Terras, Cartografia e Geociências. **Levantamento Aerofotogramétrico do Paraná de 1963.** Fotos aéreas na escala 1:25.000, 1980.

ITCG - Instituto de Terras, Cartografia e Geociências. **Levantamento Aerofotogramétrico do Paraná de 1963.** Fotos aéreas na escala 1:70.000, 1963.

KOZCIAK, S. **Evolução do processo erosivo da bacia dos rios Arica-açu e Arica-mirim – MT, através de análise multitemporal.** Dissertação de Mestrado. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2000.

LAFLEN, J. M. e MOLDENHAUER, W. C. **Pioneering soil erosion prediction the usle story** - world association of soil & water conservation – waswc. special publication no.1. Thailand, 2003.

LEMOS, C. F. **Evolução da Erosão na Bacia Hidrográfica do Alto Curso do Rio Pitangui – PR**. Tese (Doutorado). Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2010.

MAACK, R. **Geografia Física do Estado do Paraná**. Curitiba: Imprensa Oficial, 2002.

MAFRA, N. M.C. **Erosão e planificação de uso do solo**. in: GUERRA, A. J. T. et al (org). **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações**. 2. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2005.

MINOTI, R. T. e CRESTANA, S. **A perda de solo como indicador de vulnerabilidade de bacias hidrográficas: artigos publicados na revista brasileira de ciência do solo e em congressos brasileiros de ciência do solo, manejo e conservação**. In ESPÍNDOLA, E. L. G. e WENDLAND, E. (org). **Bacias hidrográficas: diversas abordagens em pesquisa**. São Carlos: RiMa, 2004.

MINEROPAR - Minerais do Paraná S.A. **Programa Zoneamento-Ecológico-Economico do Paraná – Potencialidades e fragilidades das rochas do Paraná**. Curitiba: Estado do Paraná, 2005.

MONTEIRO, C. A. de F. **Geossistemas: a história de uma procura**. São Paulo: Contexto, 2001.

MORGAN, R. P. C. **Soil erosion and conservation**. Oxford: Blackwell Publishing, 2005.

MORIN, E. **O método 1: a natureza da natureza**. HEINEBERG, I. (trad.). 2. ed. Porto Alegre: Sulina, 2003.

NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 1979.

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento Remoto – Princípios e Aplicações** – Editora Edgard Blücher Ltda. São Paulo – SP. 2ª Edição, 1992.

NOVO, E. M. L. M. **Projeto UTVA- Análise comparativa entre Fotografias Aéreas convencionais e Imagens do LANSAT para fins de levantamento do uso de Terra**. São José dos Campos, INPE, 1978 (INPE- 1337-NTI/113).

OKA-FIORI, C; SANTOS, L. C; CANALI, N. E; FIORI, A. P; SILVEIRA, C. T. DA; BRISKI, S. J; FELIPE, R. DA S; SILVA, J. M. F. DA. **In Atlas Geomorfológico do Estado do Paraná: escala base 1:250.000**. Curitiba: MINEROPAR - Minerais do Paraná, 2007.

OKA-FIORI, C. **Geomorfologia e dinâmica têmporo-espacial da Bacia do Rio Itiquira**: Pantanal Matogrossense - MT, MS. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista. Instituto de Geociências e Ciências Exatas Campus de Rio Claro, 2002.

OLIVEIRA, M. A. T. de. **Processos erosivos e preservação de áreas de risco de erosão por voçorocas**. in: GUERRA, A. J. T. et al (org). Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações. 2. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2005.

PALMIERI, F. e LARACH, J. O. I. **Pedologia e geomorfologia** in: GUERRA, A. J. T. et CUNHA. S. B. da (org). Geomorfologia e meio ambiente. 8. Ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2010.

PARANACIDADE - Serviço Social Autônomo. **Projeto de Mapeamento do Estado do Paraná**. CD-ROM. Escala 1:50.000, Curitiba, 2010.

PASSOS, M.M; AMORIM, M.C.C.T; SANT'ANNA NETO, J.L; **Os reflexos do clima na organização do espaço no noroeste do Paraná – Brasil**. Anais do IV Seminário Latinoamericano de Geografia Física. Maringá. 2006.

PENTEADO, M. M. **Fundamentos de Geomorfologia**. Rio de Janeiro: IBGE, 1978.

PONTES, A.B. Controle da erosão na região noroeste do estado do Paraná/Brasil. Rio de Janeiro: DNOS, 1977.

PORTAL DO MUNICÍPIO DE ALTÔNIA, 2010 Disponível em: <<http://www.altonia.pr.gov.br/historico.html>> Acesso em: 14/7/2010.

POPPER, K. R. **A lógica da pesquisa científica**. São Paulo: Cultrix, 1972.

PRADO, H. do. **Solos do Brasil: gênese, morfologia, classificação, levantamento, manejo**. 3. ed. Piracicaba: USP, 2003.

PRADO, J. P. B. de; NÓBREGA, M. T. de. **Determinação de perdas de solo na bacia hidrográfica do Córrego Ipiranga em Cidade Gaúcha, Estado do Paraná, com aplicação da Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS)**. Acta Sci. Technol., Maringá, v. 27, n. 1, p. 33-42, jan./jun. 2005.

RODRIGUES, C. e ADAMI, S. **Técnicas fundamentais para o estudo de bacias hidrográficas**. In VENTURI, L.A.B. (org). Praticando a geografia: técnicas de campo e laboratório. São Paulo: Oficina de textos, 2005.

ROUGERIE, G. e BEROUTCHACHVILI, N. **Géosystèmes et paysages – bilan et méthodes**. Paris:Armand Colin, 1991.

ROSS, J. L. S. **Geomorfologia aplicada aos EIAs RIMAs**. in: GUERRA, A. J. T. e CUNHA, S.B.da. Geomorfologia e Meio Ambiente. São Paulo: Bertrand Brasil, 2010.

ROSS, J. L. S. **Geomorfologia ambiental**. in: CUNHA, S.B.da e GUERRA, A. J. T. Geomorfologia do Brasil. São Paulo: Bertrand Brasil, 2001.

SALOMÃO, F. X. de T. **Controle e prevenção dos processos erosivos**. in: GUERRA, A. J. T. et al (org). Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações. 2. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2005.

SANCHEZ, L.E. **Os papéis da avaliação de impacto ambiental**. In (Coord.) Avaliação de impacto ambiental: situação atual e perspectivas. São Paulo: APUSP, 1993.

SANTOS, A.P.; NIERO, M.; LOMBARDO, M.A. Interpretação de dados de sensoriamento remoto no uso da terra. In: **Introdução às técnicas de sensoriamento remoto e aplicação: curso de treinamento**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1980.

SANTOS, I dos; KRÜGER, C. M.; LEVIS, M. **Projeto HG-118 – Estudos hidrometeorológicos para os estudos de inventário da bacia do rio Ivaí: relatório técnico número 1- Avaliação de perdas de solo**. CEHPAR/UFPR/COPEL: CURITIBA, 1998.

SANTOS, M. e BECKER, B. K. (org.). Território, Territórios: ensaios sobre o ordenamento territorial. Rio de Janeiro:Lamparina, 2007.

SCHAITZA, E.G. *et al.* **Implantação e manejo de florestas em pequenas propriedades no Estado do Paraná : um modelo para a conservação ambiental, com inclusão social e viabilidade econômica** - Colombo : Embrapa Florestas, 2008.

SILVA, V. C. da. **Cálculo automático do fator topográfico (LS) da EUPS, na bacia do Rio Paracatu**. Revista Pesquisa Agropecuária Tropical, v. 33 (1) pp. 29-34. Goiânia: UFG, 2003.

SILVA, F. das G. B. da e CRESTANA, S. **Reunião de modelos e formulações para análise de erosão de solos em bacias hidrográficas voltados ao planejamento ambiental**. In ESPÍNDOLA, E. L. G. e WENDLAND, E. (org). Bacias hidrográficas: diversas abordagens em pesquisa. São Carlos: RiMa, 2004.

STEIN, D.P.; DONZELLI, P.L.; GIMENEZ, F.A.; PONÇANO, E.L. & LOMBARDI NETO, F. **Potencial de Erosão Laminar, Natural e Antrópica na Bacia do Peixe-Parapanema**. Anais do Simpósio Nac. de Controle de Erosão, 4, Marília, São Paulo, ABGE/DAEE, p.105-135. 1987 in KOZCIAK, S. Evolução do processo erosivo da bacia dos rios Arica-açu e Arica-mirim – MT, através de análise multitemporal. Dissertação de Mestrado. Curitiba: UFPR, 2000.

SUDERHSA - Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental). Bacias Hidrográficas do Estado do Paraná, 2007. Disponível em: <<http://www.suderhsa.pr.gov.br>> Acesso em: 10/9/2010.

TRICART, J. **Précis de géomorphologie – tome III géomorphologie climatique.** Paris: Société d'édition d'enseignement supérieur, 1981.

TUCCI, C. E. M. Hidrologia – **Ciência e Aplicação.** Porto Alegre: Editora da UFRGS. ABRH, 1993.

VENTURI, L.A.B. **Praticando a geografia: técnicas de campo e laboratório.** (org) São Paulo: Oficina de textos, 2005.

VIERS, G. **Éléments de géomorphologie.** Paris: Fernand Nathan, 1980.

WISCHMEIER, W.H. & SMITH, D.D. **Predicting rainfall-erosion losses: a guide to conservation planning.** 58p. (Agriculture Handbook, 537). Washington, USDA, 1978.

WORSTER, D. **Pensando como um rio.** In ARRUDA, G. (org). A natureza dos rios, memória e territórios. Curitiba: Editora UFPR, 2008.