

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ  
CAMPUS DE MARECHAL CÂNDIDO RONDON  
CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS, EDUCAÇÃO E LETRAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO MESTRADO EM GEOGRAFIA**

**MAICOL RAFAEL BADE**

**DEFINIÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DAS UNIDADES DE PAISAGEM  
DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DO PARANÁ III  
(BRASIL/PARAGUAI)**

**MARECHAL CÂNDIDO RONDON - PR  
2014**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ  
CAMPUS DE MARECHAL CÂNDIDO RONDON  
CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS, EDUCAÇÃO E LETRAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO MESTRADO EM GEOGRAFIA**

**MAICOL RAFAEL BADE**

**DEFINIÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DAS UNIDADES DE PAISAGEM DAS  
BACIAS HIDROGRÁFICAS DO PARANÁ III (BRASIL/PARAGUAI)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Geografia da Universidade Estadual do Oeste do Paraná, *Campus* de M. C. Rondon como condição obrigatória para obtenção do título de Mestre em Geografia. Área de concentração “Espaço de Fronteira: território e ambiente”, linha de pesquisa: Dinâmica e Gestão Ambiental em Zona Subtropical.

Orientador: Professor Dr. José Edézio da Cunha.

**MARECHAL CÂNDIDO RONDON - PR  
2014**

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)  
(Biblioteca da UNIOESTE – Campus de Marechal Cândido Rondon – PR., Brasil)

B133d      Bade, Maicol Rafael  
            Definição e caracterização das unidades de paisagem das  
Bacias Hidrográficas do Paraná III (Brasil/Paraguai) / Maicol  
Rafael Bade. - Marechal Cândido Rondon, 2014.  
            113 p.

Orientador: Prof. Dr. José Edézio Cunha

Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Estadual  
do Oeste do Paraná, Campus de Marechal Cândido Rondon, 2014.

1. Geografia ambiental. 2. Bacias hidrográficas. 3.  
Geomorfologia I. Universidade Estadual do Oeste do Paraná.  
II. Título.

CDD 22.ed. 551.4

CIP-NBR 12899



**unioeste**

Universidade Estadual do Oeste do Paraná

Campus de Marechal Cândido Rondon - CNPJ 78680337/0003-46

Rua Pernambuco, 1777 - Centro - Cx. P. 91 - <http://www.unioeste.br>

Fone: (45) 3284-7878 - Fax: (45) 3284-7879 - CEP 85960-000

Marechal Cândido Rondon - PR.

Programa de Pós-Graduação em Geografia - Nível de Mestrado




**PARANÁ**

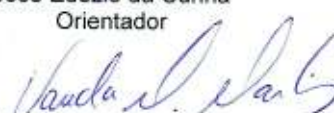
GOVERNO DO ESTADO

### ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM GEOGRAFIA

Aos vinte e oito dias do mês de março de 2014, às 14h00min, na sala de aula da Universidade Estadual do Oeste do Paraná - UNIOESTE, Campus de Marechal Cândido Rondon, reuniu-se, em sessão pública, a Banca Examinadora da Defesa de Dissertação de Mestrado em Geografia constituída pelos professores Dr. José Edézio da Cunha (Orientador) (UNIOESTE), Dra. Vanda Moreira Martins (UNIOESTE) e Dr. Vanderlei Leopold Magalhães (UTFPR), para avaliarem o trabalho "*Definição e Caracterização das Unidades de Paisagem das Bacias Hidrográficas do Paraná III (Brasil/Paraguai)*", apresentado pelo pós-graduando **Maicol Rafael Bade** para a obtenção do título de "Mestre em Geografia" do Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Geografia da UNIOESTE, Campus de Marechal Cândido Rondon. Após arguição a banca examinadora considerou o trabalho APROVADO. Nada mais havendo a constar, eu José Edézio da Cunha, orientador do trabalho, lavrei a presente ata que vai assinada por mim, pelos demais membros da banca examinadora e pelo pós-graduando avaliado.

Marechal Cândido Rondon, 28 de março de 2014.

  
José Edézio da Cunha  
Orientador

  
Vanda Moreira Martins  
Membro

  
Vanderlei Leopold Magalhães  
Membro

  
Maicol Rafael Bade  
Pós-Graduando

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus, pela Vida.

À minha família, por acreditar e me incentivar nos estudos.

À Adriana Eliane Casagrande, pelo apoio, presença e amor incondicional desde o primeiro ano do curso de graduação.

Ao professor e amigo Dr. José Edézio da Cunha, pela dedicação, ética e responsabilidade ao incentivar e apoiar-me em minha trajetória de realização do Mestrado. Seu apoio, confiança e amizade foram fundamentais.

À professora Maria Teresa de Nóbrega, pelas fundamentais contribuições nas aulas de campo e disciplina ministrada no decorrer do Mestrado.

Aos professores Oscar Vicente Quinonez Fernandez, Vanda Moreira Martins e Vanderlei Leopold Magalhães, pelas sugestões e pelo apoio no período de qualificação e defesa do Mestrado.

A todos os professores do colegiado do Curso de Geografia e, principalmente, do grupo GEA, pela troca de conhecimento e amizade.

Aos grandes amigos e colegas Anderson Sandro da Rocha e Lindomar Baller, pela ajuda e companhia nos trabalhos de campo e de laboratório.

À CAPES, pela bolsa de estudo.

## RESUMO

Estudos envolvendo a identificação e caracterização das unidades de paisagens vêm sendo realizados com boa aplicabilidade nas ciências geográficas, particularmente como instrumentos da gestão socioambiental. Esses estudos, aliados às geotecnologias, permitem seu uso nas mais diversas aplicações, como a utilização de dados de radar SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) obtidos através do Sensoriamento Remoto e utilizados em larga escala nos estudos topográficos. Essas ferramentas, normalmente utilizadas com base nas técnicas de SIGs (Sistema de Informações Geográficas), GPS (*Global Positioning System*), Geoprocessamento e da Cartografia Digital, têm proporcionado significativas contribuições aos estudos de monitoramento de objetos e fenômenos da superfície terrestre e apresentam-se como importantes instrumentos de obtenção, processamento e análise de dados georreferenciados. Nesse sentido, o presente trabalho, elaborado com contribuições das geotecnologias, teve como objetivo a definição e caracterização das unidades de paisagem (unidades e subunidades morfoesculturais) das bacias hidrográficas do Paraná III (Brasil/Paraguai), localizadas na fronteira do Brasil com o Paraguai. A partir das cartas básicas (geológica e pedológica) e temáticas (declividade, hipsometria, curvatura vertical do relevo e do relevo sombreado), foi confeccionada a carta de unidades do modelado, diferenciada em decorrência de semelhanças topográficas, formas e declividade das vertentes e de rugosidade do terreno. Para a elaboração das cartas temáticas, foram utilizados os dados da missão SRTM. Estes dados foram refinados da resolução espacial original de 3 arco-segundos (~90m) para 1 arco-segundo (~30m) e encontram-se disponibilizados pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) através do projeto TOPODATA. A partir da imagem SRTM, foi criado o modelo digital de elevação (DEM), possibilitando, dessa maneira, a obtenção de informações tridimensionais da área de estudo (latitude, longitude e altitude), como, também, da carta de declividade, hipsométrica, curvatura vertical e do relevo sombreado, essenciais para a delimitação das unidades e subunidades morfoesculturais. Com base na classificação taxonômica do relevo, proposta por Ross (1992), contemplada até o terceiro táxon, identificaram-se oito unidades e três subunidades nas bacias hidrográficas do Paraná III (Brasil/Paraguai). Quatro unidades e três subunidades estão no território brasileiro: Subunidade de Toledo (1.1.1A), Subunidade de Santa Tereza do Oeste (1.1.1B), Subunidade de Nova Santa Rosa (1.1.1C), Unidade do São Francisco (1.1.2), Unidade de Foz do Iguaçu (1.1.3), Unidade de Marechal Cândido Rondon (1.1.4) e Unidade de Guaíra (1.1.5). As outras quatro unidades morfoesculturais localizam-se em território paraguaio: Unidade de Santa Fé Del Paraná (1.2.1), Unidade de Nueva Esperanza (1.2.2), Unidade de Corpus Christi (1.2.3) e Unidade de Salto Del Guairá (1.1.4). O estudo de caso realizado nas bacias hidrográficas do Paraná III (Brasil/Paraguai) demonstra que as geotecnologias caracterizam-se como ferramentas indispensáveis no processo de elaboração de cartas temáticas, pois proporcionam o processamento e a análise de dados georreferenciados de forma rápida e eficiente, permitindo, assim, um melhor entendimento das paisagens, o que pode trazer subsídios tanto para o planejamento ambiental e territorial, como também para os futuros estudos em escalas com maior nível de detalhe.

**Palavras chave:** geomorfologia, geotecnologias, unidades morfoesculturais.

## DEFINITION AND CHARACTERISTICS OF LANDSCAPE UNITS OF WATERSHED PARANÁ III (BRAZIL / PARAGUAY)

### ABSTRACT

Studies involving the identification and characterization of landscape units have been performed with good applicability in geographical sciences, particularly as tools for environmental management. These studies, combined with geotechnology, allow its use in several applications, such as the use of radar data SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) obtained from the Remote Sensing and used in large scale topographic studies. These tools, typically used techniques based on GIS (Geographic Information System), GPS (Global Positioning System), Geoprocessing and Digital Cartography, have provided significant contributions to the studies of monitoring objects and phenomena of the earth's surface and present themselves as important tools for collecting, processing and analysis of georeferenced data. In this sense, the present work, developed with contributions from geotechnologies, aimed to the definition and characterization of landscape units (morfoescultural units and subunits) from the basin of watershed Paraná III (Brazil / Paraguay), located on the border of Brazil with Paraguay. From the basic (geological and pedological) and themes maps (slope, hypsometry, vertical bend relief and shaded relief), the map of the modeled units was made, differentiated due to topographical similarities, shapes and steepness of the slopes and roughness of the terrain. One used data from the SRTM mission for the preparation of thematic maps. These data were refined from the original resolution of 3 arc-seconds (~ 90m) to 1 arc second (~ 30m) and are available by the National Institute for Space Research (INPE) through TOPODATA project. From the SRTM image, the digital elevation model (DEM) was created, allowing, in this way, to obtain three-dimensional information of the study area (latitude, longitude and altitude), as well as the map of slope, hypsometric, and vertical curvature and shading relief, essential for the delimitation of morfoescultural units and subunits. Based on the taxonomic classification of the relief proposed by Ross (1992), addressed to the third taxon, one identified eight units and three subunits in the basins of Paraná III (Brazil / Paraguay). Four units and three subunits are in Brazilian territory: Subunit of Toledo (1.1.1a), Subunit Santa Tereza do Oeste (1.1.1B), Subunit Nova Santa Rosa (1.1.1C), the San Francisco Unit (1.1.2 ), Unit of Foz do Iguaçu (1.1.3), Unit Marechal Cândido Rondon (1.1.4) and Unit Guaíra (1.1.5). The other four morfoescultural units are located in Paraguayan territory: Unit Santa Fé Del Paraná (1.2.1), Unit of Nueva Esperanza (1.2.2), Unit Corpus Christi (1.2.3) and Unit Salto Del Guairá ( 1.1.4). The case study conducted in the basin of watersheds Paraná III (Brazil / Paraguay) shows that the geotechnologies characterize themselves as indispensable tools in the preparation process of thematic maps, as they provide the processing and analysis of georeferenced data quickly and efficiently, enabling, thus, a better understanding of the landscape, which can bring benefits to both the environmental and territorial planning, as well as for future studies on scales with greater level of detail.

**Keywords:** geomorphology; geotechnologies; morfoestructural units.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 01 - Localização das bacias hidrográficas do Paraná III (Brasil/Paraguai).....	47
Figura 02 - Localização e estratigrafia da Bacia do Paraná .....	49
Figura 03 - Mapa geológico esquemático do Paraguai Oriental.....	53
Figura 04 - Taxonomia do relevo .....	55
Figura 05 - Aspecto da textura nas imagens SRTM sombreadas ( <i>shade-relief</i> ), indicando o grau de dissecação .....	60
Figura 06 - Curvatura vertical e sua expressão em curvas de nível.....	60
Figura 07 - Localização dos caminhamentos a campo das bacias hidrográficas do Paraná III (Brasil/Paraguai) .....	63
Figura 08 - Carta de Declividade das bacias hidrográficas do Paraná III (Brasil/Paraguai) .....	65
Figura 09 - Carta Hipsométrica das bacias hidrográficas do Paraná III (Brasil/Paraguai) .....	66
Figura 10 - Carta de Relevo Sombreado das bacias hidrográficas do Paraná III (Brasil/Paraguai) .....	67
Figura 11 - Carta de Curvatura Vertical das bacias hidrográficas do Paraná III (Brasil/Paraguai) .....	68
Figura 12 - Esboço geológico das bacias hidrográficas do Paraná III (Brasil/Paraguai) .....	69
Figura 13 - Carta de solos das bacias hidrográficas do Paraná III (Brasil/Paraguai).	70
Figura 14 - Compartimentação das Unidades e Subunidades Morfoesculturais das bacias hidrográficas do Paraná III (Brasil/Paraguai) .....	73
Figura 15 - Cartas de declividade, hipsometria, relevo sombreado, curvatura vertical e perfis topográficos da unidade e subunidades morfoescultural do platô de Cascavel .....	75
Figura 16 - Histogramas de altimetria e declividade da subunidade morfoescultural de Toledo (1.1.1A) .....	76
Figura 17 - Histogramas de altimetria e declividade da subunidade morfoescultural de Santa Tereza do Oeste (1.1.1B) .....	77
Figura 18 - Histogramas de altimetria e declividade da subunidade morfoescultural de Nova Santa Rosa (1.1.1C) .....	78



Figura 19 - Cartas de declividade, hipsometria, relevo sombreado, curvatura vertical e perfil topográfico da unidade morfoescultural do São Francisco (1.1.2) .....	80
Figura 20 - Histogramas de altimetria e declividade da unidade morfoescultural de São Francisco (1.1.2) .....	81
Figura 21 - Cartas de declividade, hipsometria, relevo sombreado, curvatura vertical e perfil topográfico da unidade morfoescultural de Foz do Iguaçu (1.1.3) .....	83
Figura 22 - Histogramas de altimetria e declividade da unidade morfoescultural de Foz do Iguaçu (1.1.3) .....	84
Figura 23 - Cartas de declividade, hipsometria, relevo sombreado, curvatura vertical e perfil topográfico da unidade morfoescultural de Marechal Cândido Rondon (1.1.4) .....	86
Figura 24 - Histogramas de altimetria e declividade da unidade morfoescultural de Marechal Cândido Rondon (1.1.4) .....	87
Figura 25 - Cartas de declividade, hipsometria, relevo sombreado, curvatura vertical e perfil topográfico da unidade morfoescultural de Guaíra (1.1.5) .....	89
Figura 26 - Histogramas de altimetria e declividade da unidade morfoescultural de Guaíra (1.1.5) .....	90
Figura 27 - Cartas de declividade, hipsometria, relevo sombreado, curvatura vertical e perfil topográfico da unidade morfoescultural de Corpus Christi (1.2.1) .....	92
Figura 28 - Histogramas de altimetria e declividade da unidade morfoescultural de Corpus Christi (1.2.1) .....	93
Figura 29 - Cartas de declividade, hipsometria, relevo sombreado, curvatura vertical e perfil topográfico da unidade morfoescultural de Salto del Guairá (1.2.2) .....	95
Figura 30 - Histogramas de altimetria e declividade da unidade morfoescultural de Salto del Guairá (1.2.2) .....	96
Figura 31 - Cartas de declividade, hipsometria, relevo sombreado, curvatura vertical e perfil topográfico da unidade morfoescultural de Nueva Esperanza (1.2.3) .....	98
Figura 32 - Histogramas de altimetria e declividade da unidade morfoescultural de Nueva Esperanza (1.2.3) .....	99
Figura 33 - Cartas de declividade, hipsometria, relevo sombreado, curvatura vertical e perfil topográfico da unidade morfoescultural de Santa Fe Del Paraná (1.2.4) ...	101
Figura 34 - Histogramas de altimetria e declividade da unidade morfoescultural de Santa Fe del Paraná (1.2.4) .....	102

## LISTA DE FOTOS

- Foto 01 - Subunidade Morfoescultural de Toledo (1.1.1A). Município de Cascavel, Estado do Paraná, Brasil, margens da rodovia PR-317 (24° 44' 59.8194" S e 54° 47' 51.9" W) ..... 76
- Foto 02 - Subunidade Morfoescultural de Toledo (1.1.1A). Município de Cascavel, Estado do Paraná, Brasil, margens da rodovia PR-467 (24° 54' 24.732" S e 53° 30' 15.156" W) ..... 76
- Foto 03 - Subunidade Morfoescultural de Santa Tereza do Oeste (1.1.1B). Município de Céu Azul, Estado do Paraná, – Brasil, proximidades da rodovia BR-277 (25° 3' 3.384" S e 53° 42' 53.5314" W) ..... 77
- Foto 04 - Subunidade Morfoescultural de Santa Tereza do Oeste (1.1.1B). Município de Céu Azul, Estado do Paraná, Brasil, proximidades da rodovia BR-277 (25° 1' 54.408" S e 53° 43' 42.348" W) ..... 77
- Foto 05 - Subunidade Morfoescultural de Nova Santa Rosa (1.1.1C). Município de Nova Santa Rosa, Estado do Paraná, Brasil, margens da rodovia PR 491 (24° 27' 15.5880" S e 53° 56' 23.4600" W) ..... 78
- Foto 06 - Subunidade Morfoescultural de Nova Santa Rosa (1.1.1C). Município de Nova Santa Rosa, Estado do Paraná, Brasil, margens da rodovia PR-491 (24° 27' 15.5880" S e 53° 56' 23.4600" W) ..... 78
- Foto 07 - Unidade Morfoescultural do São Francisco (1.1.2). Município de São Pedro do Iguaçu, Estado do Paraná, Brasil, margens da rodovia PR-317 (24° 47' 9.1314" S e 54° 01' 45.264" W) ..... 81
- Foto 08 - Unidade Morfoescultural do São Francisco (1.1.2). Município de Diamante do Oeste, Estado do Paraná, Brasil, margens da rodovia PR-488 (24° 55' 21.3594" S e 54° 7' 45.1914" W) ..... 81
- Foto 09 - Unidade Morfoescultural de Foz do Iguaçu (1.1.3). Município de Santa Helena, Estado do Paraná, Brasil, margens da rodovia PR-317 (24° 48' 2.628" S e 54° 12' 17.9274" W) ..... 84
- Foto 10 - Unidade Morfoescultural de Foz do Iguaçu (1.1.3). Município de Santa Helena, Estado do Paraná, Brasil, margens da rodovia PR-317 (24° 48' 2.628" S e 54° 12' 17.9274" W) ..... 84
- Foto 11 - Sete Quedas localizada no município de Guaíra, Estado do Paraná, antes e depois da formação do lago de Itaipu ..... 84
- Foto 12 - Unidade Morfoescultural de Marechal Cândido Rondon (1.1.4). Município de Marechal Cândido Rondon, Estado do Paraná, Brasil, margens da rodovia BR-467 (24° 34' 8.148" S e 54° 00' 25.5234" W) ..... 87
- Foto 13 - Unidade Morfoescultural de Marechal Cândido Rondon (1.1.4). Município

de Marechal Cândido Rondon, Estado do Paraná, Brasil, margens da rodovia BR-467 (24° 34' 8.148" S e 54° 00' 25.5234" W) .....	87
Foto 14 - Unidade Morfoescultural de Guaíra (1.1.5). Município de Guaíra, Estado do Paraná, Brasil, margens da rodovia BR-163 (24° 10' 6.8154" S e 54° 13' 19.524" W) .....	90
Foto 15 - Unidade Morfoescultural de Guaíra (1.1.5). Município de Guaíra, Estado do Paraná, Brasil, margens da rodovia BR-163 (24° 15' 2.016" S e 54° 11' 57.984" W) .....	90
Foto 16 - Unidade Morfoescultural Corpus Christi (1.2.1). Distrito de Catuete, departamento de Canindeyú, Paraguai, margens da Rota Nacional 10 (24° 21' 40.32" S e 54° 50' 13.272" W) .....	93
Foto 17 - Unidade Morfoescultural Corpus Christi (1.2.1). Distrito de Catuete, departamento de Canindeyú, Paraguai, margens da Rota Nacional 10 (24° 19' 48.504" S e 54° 49' 29.3834" W) .....	93
Foto 18 - Unidade Morfoescultural de Salto del Guairá (1.2.2). Distrito de Salto del Guairá, departamento de Canindeyú, Paraguai, margens da Rota Nacional 10 (24° 5'52.05" S e 54°26'16.69" W) .....	96
Foto 19 - Unidade Morfoescultural de Salto del Guairá (1.2.2). Distrito de Salto del Guairá, departamento de Canindeyú, Paraguai, margens da Rota Nacional 10 (24° 5'52.05" S e 54°26'16.69" W) .....	96
Foto 20 - Unidade Morfoescultural de Nueva Esperanza (1.2.3). Distrito de Francisco Caballero Alvarez, departamento de Canindeyú, Paraguai, (24°23'49.22"S e 54°31'28.40"W) .....	99
Foto 21 - Unidade Morfoescultural de Nueva Esperanza (1.2.3). Distrito de Francisco Caballero Alvarez, departamento de Canindeyú, Paraguai, (24°24'9.87" S e 54°35'27.50" W) .....	99
Foto 22 - Unidade Morfoescultural de Santa Fe del Paraná (1.2.4). Distrito de Minga Pora, departamento de Alto Paraná, Paraguai – PY (entre as coordenadas de 24°48'7.76" S e 54°59'9.63" W) .....	102
Foto 23 - Unidade Morfoescultural de Santa Fe del Paraná (1.2.4). Distrito de Santa Fe del Paraná, Paraguai (entre as coordenadas de 25°13'25.55" S e 54°42'22.15" W) .....	102

## LISTA DE QUADROS

Quadro 01 - Sistemas de Referência em Geomorfologia .....	20
Quadro 02 - Diferentes conceitos de bacias hidrográficas encontrados na literatura. .....	28
Quadro 03 - Diferentes conceitos de sub-bacias hidrográfica encontrados na literatura. ....	29
Quadro 04 - Síntese das principais características geomorfológicas das unidades e subunidades morfoesculturais das bacias hidrográficas do Paraná III (Brasil/Paraguai) .....	72

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

APA.....	Área de Proteção Ambiental
ASTER.....	<i>Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer</i>
BILL.....	<i>Band Interleaved by Line</i>
DEM.....	<i>Digital Elevation Model</i>
DTM.....	<i>Digital Terrain Model</i>
DGEEC.....	<i>Dirección General de Estadística, Encuestas y Censos</i>
EMBRAPA.....	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
GPS.....	<i>Global Positioning System</i>
GST.....	<i>General Systems Theory</i>
HGT.....	<i>Height</i>
IAPAR.....	Fundação Instituto Agrônômico do Paraná
IBGE.....	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ITCG.....	Instituto de Terras Cartografia e Geociências do Paraná
INPE.....	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
MDT.....	Modelo Digital do Terreno
MNT.....	Modelo Numérico do Terreno
MINEROPAR.....	Minerais do Paraná S/A
NASA.....	<i>National Aeronautics and Space Administration</i>
SEAM.....	<i>Secretaria del Ambiente do Paraguay</i>
SEMA.....	Secretaria de Estado do Meio Ambiente
SM.....	Subunidade Morfoescultural
SRTM.....	<i>Shuttle Radar Topography Mission</i>
SIG.....	Sistema de Informação Geográfica
TIN.....	<i>Triangular Irregular Network</i>
TIFF.....	<i>Tag Image File Format</i>
TGS.....	Teoria Geral dos Sistemas
UM.....	Unidade Morfoescultural
ZEE.....	Zoneamento Ecológico Econômico

## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO</b> .....	15
<b>1. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	17
1.1. POSTULADOS GEOMORFOLÓGICOS E ABORDAGEM SISTÊMICA NOS ESTUDOS DA PAISAGEM .....	17
1.2. BACIA HIDROGRÁFICA: UNIDADE BÁSICA DE ABORDAGEM NOS ESTUDOS GEOGRÁFICOS .....	27
1.3. GEOMORFOLOGIA E GEOTECNOLOGIAS: SUBSÍDIO AO PLANEJAMENTO DOS ESTUDOS AMBIENTAIS .....	36
<b>2. LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO</b> .....	46
<b>3. MÉTODOS E TÉCNICAS</b> .....	54
3.1. TAXONOMIA DO RELEVO .....	54
3.2. CARTAS BASE .....	56
3.3. CARTAS TEMÁTICAS INTERMEDIÁRIAS .....	57
3.4. CARTA DE COMPARTIMENTAÇÃO GEOMORFOLÓGICA .....	61
3.5. LEVANTAMENTOS DE CAMPO .....	62
<b>4. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS</b> .....	64
4.1. ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DAS CARTAS TEMÁTICAS PARA IDENTIFICAÇÃO DAS UNIDADES E SUBUNIDADES MORFOESCULTURAIS. ....	64
4.2. CARACTERIZAÇÃO DAS UNIDADES E SUBUNIDADES MORFOESCULTURAIS DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DO PARANÁ III (BRASIL/PARAGUAI) .....	71
4.2.1. Unidade e subunidades Morfoesculturais do Platô de Cascavel .....	74
4.2.2. Unidade Morfoescultural do São Francisco (1.1.2) .....	79
4.2.3. Unidade Morfoescultural de Foz Do Iguaçu (1.1.3) .....	82
4.2.4. Unidade Morfoescultural de Marechal Cândido Rondon (1.1.4) .....	85
4.2.5. Unidade Morfoescultural de Guaíra (1.1.5) .....	88
4.2.6. Unidade Morfoescultural de Corpus Christi (1.2.1) .....	91

4.2.7. Unidade Morfoescultural de Salto del Guairá (1.2.2) .....	94
4.2.8. Unidade Morfoescultural de Nueva Esperanza (1.2.3) .....	97
4.2.9. Unidade Morfoescultural de Santa Fe del Paraná (1.2.4) .....	100
<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>103</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>105</b>

## INTRODUÇÃO

Os estudos de gênese e evolução das formas do relevo são fundamentais para a compreensão do modelado terrestre e, por conseguinte, da estrutura e do funcionamento das paisagens em áreas urbanas, periurbanas e rurais, particularmente porque auxiliam nos projetos de planejamento e ordenamento do território.

Nas últimas décadas, são diversas as pesquisas que têm se utilizado da compartimentação geomorfológica como estudos de base. Uma das razões para este tipo de estudo é que através da análise individualizada dos compartimentos se obtém a compreensão das ações e dos processos morfodinâmicos, particularmente aqueles ocasionados pela dinâmica climática atual e pela atuação do homem como agente modificador da paisagem.

Atualmente, com emprego das novas tecnologias voltadas para o estudo das formas de relevo, como a utilização dos MNT (Modelos Numéricos do Terreno, ou, em inglês, DTM – *Digital Terrain Model*), em ambiente SIG (Sistema de Informações Geográficas), tornou-se possível uma nova abordagem de procedimentos e técnicas, garantindo maior agilidade, qualidade e confiabilidade aos produtos cartográficos finais.

Os avanços tecnológicos ocorridos nas últimas décadas, como a utilização de dados derivados do Sensoriamento Remoto, imagens de radar e imagens ópticas (SRTM – *Shuttle Radar Topography Mission* e ASTER – *Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer*), têm permitido a obtenção de dados e informações de melhor resolução espacial, espectral, radiométrica e temporal, que ajudam no mapeamento, na medição e no estudo de uma variedade de fenômenos geográficos e ambientais.

Um exemplo disso são os produtos gerados a partir dos dados SRTM, com imagens que apresentam sensores de visada vertical e lateral, com capacidade de reprodução de imagens georreferenciadas, capazes de representar o relevo terrestre em três dimensões espaciais: latitude, longitude e altitude.

Os dados utilizados nesta pesquisa foram refinados e tiveram sua resolução alterada de 90 metros para 30 metros, utilizando-se para essa alteração métodos de interpolação por krigagem (VALERIANO, 2008). Esses dados encontram-se



disponíveis no Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil (TOPODATA) e recobrem todo o território brasileiro.

Pautada na metodologia da classificação taxonômica do relevo proposta por Ross (1992), considerada de boa aceitação para esses estudos de cunho geomorfológico, esta pesquisa permitiu a definição e caracterização das unidades de paisagens, através da delimitação das unidades e subunidades morfoesculturais das bacias hidrográficas do Paraná III (Brasil/Paraguai).

Cabe destacar que esse tipo de estudo deve servir de base para futuras pesquisas que contribuirão na identificação das potencialidades e vulnerabilidades naturais, particularmente no que diz respeito aos riscos e restrições, advindos dos tipos de uso e ocupação humana.

A área de estudo contempla um conjunto de bacias hidrográficas, denominadas bacias hidrográficas do Paraná III (Brasil/Paraguai). Este recorte espacial tem limites fronteiros com as regiões Oeste do Estado do Paraná (Brasil), e Leste dos departamentos de Canindeyú e Alto Paraná (Paraguai).

Para atingir os pressupostos mencionados, a pesquisa encontra-se estruturada em quatro capítulos.

Capítulo 1. Fundamentação Teórica: aborda uma síntese histórico/evolutiva dos postulados geomorfológicos e a importância da abordagem sistêmica para os estudos da paisagem. Neste capítulo, é discutida a unidade de estudo da bacia hidrográfica, como também a importância da Geomorfologia e das Geotecnologias como subsídio ao planejamento e auxílio aos estudos ambientais.

Capítulo 2. Localização e Caracterização da Área de Estudo, para o conhecimento preliminar dos elementos, tanto físico como humanos, das bacias hidrográficas do Paraná III (Brasil/Paraguai).

Capítulo 3. Métodos e Técnicas: destacam-se as principais metodologias, técnicas e ferramentas utilizadas na compartimentação e caracterização das unidades e subunidades morfoesculturais.

Capítulo 4. Resultados Obtidos: apresentam-se a delimitação e a caracterização das nove unidades e duas subunidades morfoesculturais identificadas nas bacias hidrográficas do Paraná III (Brasil/Paraguai).

## 1. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 1.1. POSTULADOS GEOMORFOLÓGICOS E ABORDAGEM SISTÊMICA NOS ESTUDOS DA PAISAGEM

Guerra e Marçal (2006), com base em Hart (1986), destacam que a origem da ciência geomorfológica apresenta-se imprecisa e pouco conhecida. Sabe-se que o termo foi criado nos Estados Unidos por geólogos e que, anterior aos trabalhos de William Morris Davis (1850-1934), a Geomorfologia não era reconhecida como ciência.

Os primeiros estudos de cunho geomorfológico surgiram com a preocupação em compreender os eventos responsáveis pela formação das mais diversas paisagens. Estes estudos, embora tivessem como palco o modelado terrestre onde as sociedades encontram-se, também eram voltados “[...] aos interesses do sistema de produção com base no princípio do utilitarismo” (FLORENZANO, 2008, p. 25).

Nas últimas décadas do século XIX, os trabalhos de Gilbert (1877) trouxeram importantes avanços para a explicação do relevo como resultado de processos erosivos. Entretanto, até o final do mesmo século, a Geomorfologia carecia de uma base teórico-metodológica e conceitual própria para explicar o processo de evolução das formas de relevo, em termos temporal e espacial. Neste período:

[...] o desenvolvimento das ciências em geral, da cartografia, dos métodos de trabalho de campo e dos meios de divulgação de um crescente número de livros e artigos constituíram apoios valiosos. A ação glacial e o trabalho marinho na esculturação do relevo ganharam importância e constituíram novas linhas de investigação. Conceitos emitidos avançaram em direção à constituição de leis gerais. A erosão remontante, o nível de base, o perfil de equilíbrio, a classificação genética das formas de relevo são exemplos de temas que passaram a ser estudados e definidos de maneira mais sistemática (GUERRA; CUNHA, 1998, p. 29).

Tais discussões teórico-metodológicas da geomorfologia como ciência tiveram considerável impulso com a publicação de Davis (1899) sobre a teoria do *Geographical Cycle*.

Neste mesmo período, no centro e no leste europeu, também foram iniciadas pesquisas sobre a origem das bases conceituais da ciência geomorfológica com posterior aprimoramento.

Observações empíricas, estudos sistemáticos, conceitos e idéias necessitavam ser revisados e articulados, de modo a criar uma base sólida de referência para respostas à classificação dos fatos geomorfológicos (as formas de relevo) e a projeção dos resultados a serem atingidos, em sucessivos momentos, pela evolução do relevo na superfície terrestre. Iniciava-se um caminho no qual iriam ser forjadas concepções teóricas mais abrangentes, que buscavam dar fundamento e respaldo às descrições, definições e explicações dos fatos geomorfológicos (GUERRA; CUNHA, 1998, p. 29).

Esses estudos deram origem a duas correntes epistemológicas distintas, uma de natureza anglo-americana, com os trabalhos de Davis (1899), e outra de raízes germânicas, com os trabalhos de Penck (1923). É por isso que esses autores “representam os dois pilares da geomorfologia: o conceitual e o metodológico” (IBGE, 2009, p. 21).

Guerra e Marçal (2006, p. 20) enfatizam que:

O modelo teórico de Davis, apesar de receber muitas críticas, por ser concebido para áreas de clima temperado, pela necessidade de um rápido soerguimento do relevo, seguido por um longo período de estabilidade tectônica, deu um grande impulso à Geomorfologia, na sua época. A propósito disso, Marques (2005) destaca que o ciclo geográfico idealizado por Davis “constitui o primeiro conjunto de concepções que podia descrever e explicar, de modo coerente, a gênese e a sequência evolutiva das formas de relevo existentes na superfície terrestre”.

Em sua teoria conhecida como “ciclo de erosão normal”, Davis introduziu o método de análise cíclica (*Geographical Cycle*) das paisagens, amparado numa base evolutiva, por influência do darwinismo (PENTEADO, 1978).

Davis (1899) indica que o modelado terrestre possui uma sucessão de três fases: juventude, maturidade e senilidade. Em tais fases, se destaca o papel dos processos fluviais na esculturação do relevo. Esses estudos tiveram uma importante repercussão em toda a Europa, principalmente na França, e em outros países, como é o caso do Brasil. No centro e no leste europeu, a teoria de Davis passou por diversas críticas, como as de Penck, encontrando resistência para disseminar-se.

Ao contrário da Geomorfologia alemã, a teoria davisiana não apresentava uma integração completa dos elementos da paisagem, pois desconsiderava importantes componentes da climatologia e da biogeografia. Enquanto isso, a Geomorfologia alemã, ainda, incorporava as observações de forma, camadas geológicas, fósseis, entre outros (VILLELA, 2011).

A obra de Penck (1923), que tem como base o estudo dos processos endógenos e exógenos na formação do relevo, destaca que as atuais formas de relevo são produtos da interação desses dois processos, ou seja, da ação das forças do interior da crosta terrestre – como os abalos sísmicos, vulcanismo, dobramentos, afundamentos e soerguimentos das plataformas, falhamentos e fraturas – e da ação das forças de eventos climáticos atuais e do passado – como a ação mecânica da água e do vento, a variação térmica e a ação química da água (ROSS, 1992).

As principais características e a distinção entre as ideias desses dois geomorfólogos (Davis e Penck) são detalhadas por Casseti (1991, p. 62-63) (Quadro 01).

No final da década de 1930, as críticas de Penck sobre a teoria de Davis começaram a ter interesse para outros autores americanos, principalmente aquelas que se referem a condições não consideradas pelo autor, como a importância do clima na investigação da superfície terrestre. “Para Penck, o soerguimento da crosta e sua respectiva esculturação pelos agentes exógenos se processavam simultaneamente e ajustava-se a todo tempo” (MONECHE, 2009, p. 15).

Nesse sentido, um evento do fim da década de 30 confirma o interesse norte-americano pela crítica à sua postura, que face às características da proposta davisiana, aparecem mais claramente na obra de Walther Penck. Em 1939 realiza-se em Chicago um simpósio sobre a contribuição deste autor à geomorfologia. As teses e discussões que marcaram esse evento foram publicadas em um número dos Anais da Associação dos Geógrafos Americanos, tendo Engeln (1940) como seu coordenador (ABREU, 2003, p. 54-55).

Um dos primeiros autores a utilizar os princípios de Penck foi King (1953, 1956 e 1967), como relata Casseti (1991). Lester C. King “percorreu grandes extensões do território brasileiro para fundamentar a teoria da pediplanação

processo de formação de superfícies aplainadas, inspirada no conceito de superfície escalonada<sup>1</sup> de Penck” (IBGE, 2009, p. 22).

Quadro 01. Sistemas de Referência em Geomorfologia. (Adaptado de Caseti, 1991).

<b>Características</b>	<b>W. M. Davis (1899)</b>	<b>W. Penck (1924)</b>
<b>Aspectos Gerais do Sistema</b>	Rápido soerguimento com posterior estabilidade tectônica e eustática	Lenta ascensão de massa com intermitência
<b>Relação Soerguimento/Denudação</b>	Início da denudação (comandada pela incisão fluvial) após fim de ascensão crustal	Intensidade de denudação associada ao comportamento crustal
<b>Processo Evolutivo</b>	Evolução morfológica de cima para baixo (wearing down)	Evolução por recuo paralelo das vertentes (wearing back)
<b>Estágio Final ou Parcial da Morfologia</b>	Peneplanização (formas residuais: monad rocks)	Superfície primária (lenta ascensão compensada pela denudação). Não haveria produção de elevação real da superfície
<b>Características Morfológicas</b>	Fases antropomórficas: Juventude, maturidade e senilidade	Processos de declividades laterais das vertentes: convexas, retilíneas e côncavas (relação incisão do talvegue-denudação, por implicação crustal)

Outro autor de grande influência nos trabalhos de Penck foi o francês Jean Tricart (1920-2003). “A produção científica do professor Jean Tricart mostra com bastante clareza as interações proporcionadas pelas forças interna e externa” no modelado terrestre (IBGE, 2009, p. 22).

Dois dos grandes pesquisadores e seguidores de Penck foram os russos Gerassimov (1946) e Mescerjakov (1968). Utilizando as bases conceituais de Penck para a análise e classificação do relevo, esses autores criaram os conceitos de

<sup>1</sup>Superfície Escalonada: As relações entre superfícies erosivas e blocos soerguidos foram extensamente analisadas em diversos trabalhos no início da segunda metade do século XX. Em síntese, estes trabalhos propuseram uma organização geomorfológica em níveis escalonados de superfícies de aplainamento. Estes níveis seriam resultantes de sucessivos soerguimentos acompanhados por fases de erosão generalizada, em condições de climas secos ou de alternâncias climáticas (MAIA; BEZERRA; CLAUDINO-SALES, 2010, p. 08).

morfoestrutura e morfoescultura, baseados no resultado da interação de processos endógenos e exógenos na esculturação do modelado terrestre (ROSS, 1992, p.19).

[...] Gerassimov (apud MESCERJAKOV, 1968) acrescenta que a evolução das formas de relevo particularmente grandes resulta da interação contraditória dos fatores endogenéticos e exogenéticos, e que os integrantes ativos dos fatores endógenos (os movimentos tectônicos) são predominantes. As morfoesculturas de ordens inferiores resultam das ações dos fatores exogenéticos (IBGE, 2009, p. 22).

O relevo apresenta-se como um conjunto de grandes unidades que caracterizam a paisagem (serras, maciços, planaltos, escarpas) e sua origem se deve, principalmente, às deformações da crosta terrestre promovidas pelas forças internas. Essas forças são responsáveis tanto pelo arranjo dos grandes conjuntos estruturais (morfoestrutura), criados pela tectônica, como pelos tipos de rocha que os sustentam.

Já o modelado (morfoescultura) caracteriza o conjunto das formas ocasionadas pela atuação direta e indireta do clima sobre o relevo (vales, terraços, anfiteatros). “Essas formas variam de acordo com o tipo e intensidade dos processos que a originaram” (COLTRINARI, 1979, p. 55).

Nas décadas de 1940, 1950 e 1960:

[...] a quantificação, a teoria dos sistemas e fluxos e o uso da cibernética (geografia quantitativa) assumem a postura teórica. Valorizam-se a análise espacial e o estudo das bacias de drenagem (Strahler, 1950, 1952, 1954; Gregory e Walling, 1973), ao mesmo tempo em que novas posturas começam a emergir, como a teoria do equilíbrio dinâmico de Hack (1960). Horton estabeleceu leis básicas no estudo de bacias de drenagem, utilizando propriedades matemáticas (CASSETI, 1991, p. 40).

Na década de 1960, o surgimento da Teoria Geológica da Tectônica de Placas, elaborada com participação de geólogos americanos, apresentou amplas contribuições para o entendimento das formas de relevo (FLORENZANO, 2008).

De acordo com esta teoria, as placas tectônicas deslocam-se em diferentes velocidades, umas em direção às outras. Os movimentos das placas geram instabilidades em suas bordas. Os limites entre as placas são áreas onde ocorrem atividades vulcânicas, sísmicas e tectônicas. Essas atividades integram o conjunto de processos denominados endógenos, que, com os processos exógenos, são responsáveis pelas formas do relevo da superfície terrestre (FLORENZANO, 2008, p. 26-27).

Após esse período, a maioria dos trabalhos das décadas de 1960 e 1970 procurou aplicar as teorias até então mencionadas “através de técnicas quantitativas de sofisticação crescente à serviço de uma análise sistemática do relevo” (ABREU, 2003, p. 56).

No Brasil, grosso modo, pode-se dizer que a principal contribuição da formação da teoria geomorfológica está baseada nos postulados de Ab’Saber. Sua obra intitulada de *Um Conceito de Geomorfologia a Serviço das Pesquisas sobre o Quaternário*, publicada no ano de 1969, tem influência nas pesquisas geomorfológicas até os dias atuais (VITTE, 2008). Apresentando suas contribuições fundamentadas na Escola Germânica, Ab’Saber “propôs os níveis da pesquisa geomorfológica, registrando uma grande contribuição a esse campo” (IBGE, 2009, p 23).

No que se refere à elaboração e concepção de um modelo teórico-metodológico para os estudos geomorfológicos no Brasil, é fato que:

[...] a década de 1960 foi fundamental para se construir um verdadeiro paradigma na geomorfologia brasileira. Pois, montou-se uma estrutura teórica, metodológica e interpretativa do relevo e de seus processos, construindo juntamente, uma verdadeira geomorfologia geográfica. Onde a grande marca do modelo é o artigo de 1969 de Aziz, “A geomorfologia a serviço das pesquisas do quaternário” [...] (VITTE; NIELMANN, 2009, p. 47).

Outro período que merece destaque para a ciência geomorfológica e outros ramos científicos, no caso do Brasil, foi a década de 1970, na qual se deu o projeto RADAMBRASIL.

O projeto Radar da Amazônia (RADAM), posteriormente expandido para todo o país como projeto RADAMBRASIL, foi sem dúvida, em nível mundial, um dos maiores já realizados de levantamento de recursos naturais que incluía os temas Geologia, Geomorfologia, solos, vegetação e uso potencial do solo. Durante mais de uma década, a partir de um primeiro, em 1973, foram sendo publicados novos volumes, contendo relatórios e documentação cartográfica (mapas temáticos), recobrando todo o país, perfazendo, hoje, cerca de 40 volumes, cujas edições estão sob a responsabilidade do IBGE (GUERRA; CUNHA 1998, p. 38-39).

As tecnologias e os produtos cartográficos herdados após a Segunda Grande Guerra (1939-1945), e que tinham uso restrito militar, somam hoje importantes contribuições no avanço da geomorfologia contemporânea.

A partir destes novos métodos e técnicas, como a utilização de SIGs, imagens de satélites, ópticas (ASTER) e de radar (SRTM), aliados às ferramentas de geoprocessamento, ampliaram-se as perspectivas e possibilidades de estudos, aumentando consideravelmente a precisão e a qualidade das pesquisas desenvolvidas.

Nas últimas décadas, a comunidade geomorfológica internacional tem se preocupado em definir novos rumos e possibilidades. O evento que ocorreu no Canadá, no ano de 1993, tendo como tema “Geomorfologia: os limites da pesquisa e além”, trouxe perspectivas de estudo sobre o papel do homem como um novo e importante elemento de alteração das paisagens (COLTRINARI, 2000, p. 45-46).

A busca pela compreensão entre homem e meio levou, principalmente nas últimas décadas, a uma releitura das abordagens teórico-metodológicas científicas, pois as concepções clássicas já não podiam explicar determinados fenômenos. Esta crise científica permitiu o nascimento de uma nova abordagem teórico-metodológica, a qual foi denominada de Teoria Geral dos Sistemas.

Em uma concepção mais contemporânea de modelagem do relevo, de acordo com Marques (1994), a influência da Teoria Geral dos Sistemas não pode ser desprezada. Em termos geomorfológicos ela contribuiu para a configuração da teoria do Equilíbrio Dinâmico que considera o relevo como resultado de um constante ajuste entre os processos geomorfológicos – endógenos ou exógenos – e a resistência dos materiais em processamento (MONECHE, 2009, p. 16).

Esta nova abordagem conceitual tem trazido para a geomorfologia importantes e significativos avanços, constituindo-se em um método de grande valia e representando novos campos de aplicação para os estudos, principalmente no entendimento e na interação entre sociedade e natureza.

Os estudos sistêmicos surgem para suprir os diversos problemas encontrados na ciência clássica, mecanicista e reducionista. Eles permitem que novas crenças e valores sejam abordados de uma maneira associada. Com ênfase na inter-relação dos mais variados fatores e elementos, a teoria sistêmica permite uma nova leitura da natureza e uma nova concepção acerca da relação entre homem e meio.

Conforme Neto (2008, p. 69):



A variada gama de problemas ambientais com a qual o homem vem se defrontando a partir das últimas décadas do século XX vêm sendo responsável por um crescente questionamento às bases filosóficas em que se assenta o racionalismo clássico e nas quais se alicerçam os sistemas vigentes de relação homem x natureza que, atualmente, dão sinais claros de crise e esgotamento. No plano científico, isso repercute numa incorporação, cada vez mais crescente, da Teoria Geral dos Sistemas no arsenal teórico-metodológico de diversos ramos do conhecimento, entre eles a Geografia.

Vicente e Perez Filho (2003) destacaram que, somente a partir do século XIX, surgiram as primeiras formulações com ênfase nos estudos sistêmicos. A incapacidade da teoria newtoniana em explicar os processos conservativos e dissipativos de calor levou ao surgimento da teoria da Termodinâmica<sup>2</sup>, apresentada como um grande avanço nessas pesquisas.

Foi somente no início do século XX que surgiram as primeiras tentativas de emprego e divulgação da teoria sistêmica, as quais foram feitas por Bertalanffy. “[...] esse mesmo autor (Ludwing Von Bertalanffy), num seminário de filosofia em Chicago, no ano de 1937, trouxe para a discussão uma primeira tentativa de sistematização filosófica do conceito de sistemas” (VICENTE; PERES FILHO, 2003, p. 329).

A Teoria Geral dos Sistemas Dinâmicos de Bertalanffy buscava uma explicação dos fenômenos não somente no estudo das partes e dos processos isoladamente, mas, também, nos processos e eventos resultantes da interação das partes, apontando para uma nova abordagem e leitura das paisagens (GUERRA; MARÇAL, 2006).

Bertalanffy foi o responsável pela “organização e a divulgação da noção de sistema, por meio da GST ‘*General Systems Theory*’, ao considerar o sistema como um todo irreduzível às partes e a abordagem da problemática da organização por meio da hierarquização em sistema aberto” (CAMPOS, 2010, p. 23-24).

A Teoria Sistêmica representou, também, uma grande ruptura paradigmática, pois trouxe para as ciências uma visão holística e interdisciplinar.

---

<sup>2</sup>Termodinâmica: a termodinâmica é a ciência que trata do calor, do trabalho e daquelas propriedades das substâncias relacionadas ao calor e ao trabalho. A sua base, como a de todas as ciências, é a observação experimental. Na termodinâmica, essas descobertas foram formalizadas por meio de certas leis básicas, conhecidas como primeira, segunda e terceira leis da termodinâmica. Além dessas, a lei zero, que no desenvolvimento lógico da termodinâmica precede a primeira lei, também foi estabelecida (BORGNACKE; SONNTAG, 2009, p. 11).

Esta nova forma de compreender a natureza levou a uma leitura com ênfase nos aspectos conectivos do conjunto, formando, assim, uma unidade.

Neto (2008, p. 74-75) relata que, no âmbito das ciências naturais:

O conceito de geossistema foi concebido entre os muros da Escola Soviética e apresentado no ano de 1962 por Viktor Sotchava, conceito este extraído de uma atmosfera propícia às especulações sistêmicas. A esse respeito Vicente & Perez Filho (2003) informam que o pedólogo russo Dokoutchaev, influenciado pela Escola Alemã, desenvolveu a sua teoria sobre os solos e o conceito de “esfera físico-geográfica”, abordando um conjunto de elementos formadores da paisagem e dando os primeiros fundamentos para a abordagem geossistêmica.

Na Geomorfologia, a Teoria Geral dos Sistemas (TGS) acabou incorporada, tanto na linha epistemológica alemã, como na anglo-americana. Ambas desenvolveram-se com suas particularidades.

A partir da década de 1960, a teoria de Davis começou a dividir espaço com a abordagem analítica de Richard John Chorley (1927-2002), que abordou o conceito de Equilíbrio Dinâmico, alicerçado em bases sistêmicas. Ao contrário da teoria davisiana, Chorley aborda nas suas pesquisas os sistemas abertos (VICENTE; PEREZ FILHO, 2003).

Vicente e Perez Filho (2003, p. 332), ao citar Chorley, enfatizam que o relevo seria o resultado da interação:

[...] onde a dinâmica topográfica resultante do processo de interação constante de seus elementos, através da acomodação estrutural do relevo (forças geo-tectônicas), e seus agentes morfodinâmicos (clima, erosão) no processo de formação da paisagem, é o que constitui o elemento chave para o estudo geomorfológico.

Tricart, ao mencionar os estudos de Chorley, relata:

Para nós o meio natural é um sistema caracterizado por uma interação entre toda uma série de forças diferentes. Esta concepção é a de nosso mestre A. Chorley, que falava, com relação ao assunto, de “combinações” e de “complexos”. Esta concepção é essencialmente dinâmica. As relações entre as diversas forças variam simultaneamente no tempo e no espaço. Originalmente, suas variações são modificações de uma evolução, e no espaço são originalmente diferenciações que geram unidades territoriais. Todos esses sistemas são abertos. Assim como os níveis tróficos em ecologia, eles hierarquizam-se entre si segundo uma “taxonomia”. Assim como os ecossistemas, eles justapõem-se no espaço e podem

ser estudados segundo um ponto de vista “corográfico” (TRICART, 1976, p. 16-17).

A teoria de Davis, perante a análise de sistemas fechados e sua linha anglo-americana, “sofreu mais sensivelmente os impactos das revoluções científicas mais recentes, notadamente a revolução quantitativa, numa abrupta ruptura epistemológica” (NETO, 2008, p.81).

Nas décadas de 1960 e 1970, diversos autores utilizaram a abordagem sistêmica, com destaque para o geossistema, nos estudos geográficos: “[...] Neef (PASSOS, 1998, p. 67), Tricart (RIBEIRO, 1997), Chorley; Kennedy (GREGORY, 1992, p. 224), Hartshorne, Snytko (SANT’ANNA NETO, 1997, p. 159) dentre outros [...]” (VICENTE, 2003, p. 336). Entretanto, foi o geógrafo francês Georges Bertrand (1971) quem, utilizando a abordagem físico/territorial, simplificou e organizou as definições de unidades taxonômicas, denominadas: zona, domínio, região natural, geossistema, geótopos e geofácies.

Na segunda metade da década de 1970, Tricart (1976), com sua abordagem ecodinâmica, também contribuiu com as pesquisas de cunho sistêmico. O autor propôs o estudo das paisagens em três meios morfodinâmicos: os denominados estáveis (pedogênese predomina sobre a morfogênese), intergrades (equilíbrio entre pedogênese e morfogênese) e os meios fortemente instáveis (morfogênese predomina sobre a pedogênese). Esses estudos poderiam ser aplicados a partir de setores mapeáveis em que a estabilidade e instabilidade apresentar-se-iam como fruto da sensibilidade que o ambiente representa frente ao balanço pedogênese/morfogênese (TRICART, 1976).

Diante da proposta de Tricart, Neto (2008, p. 83) acrescenta que:

Vasta coleção de adaptações foi feita a partir do método ecodinâmico de Tricart para fins de apreensão sobre a fragilidade ambiental em diferentes áreas, o que fez da abordagem ecodinâmica um dos recursos mais utilizados nas pesquisas de geomorfologia ambiental levadas a efeito no Brasil, especialmente na USP, com seu referencial permanente na geografia francesa, onde se destacam os trabalhos de Ross (1990; 1994). A abordagem ecodinâmica aparece de maneira contumaz em trabalhos dos mais variados centros nos simpósios de Geografia Física e Geomorfologia, além de outros eventos referentes à ciência geográfica.

Segundo Tricart (1976, p. 42), as pesquisas que abarcaram este ponto de vista dinâmico mostraram-se “[...] indispensáveis para abordar eficazmente, de

maneira interdisciplinar, os problemas de valorização e de ordenação, pois as intervenções humanas que eles implicam modificam necessariamente as dinâmicas naturais”.

Esta nova abordagem representa o entendimento de que as paisagens se encontram em constante mudança. Conforme Tricart (1976, p. 19): “A dinâmica de hoje gera em parte, o quadro fisiográfico onde se exercerá a dinâmica de amanhã”.

Sem dúvida, a evolução da geomorfologia, como ciência, trouxe importantes contribuições para as duas principais abordagens. Nos países de língua inglesa, obteve-se a predominância de um modelo teórico/quantitativo e, nos países do centro europeu, do caráter sistêmico e integrado na leitura dos fenômenos (VILLELA, 2011).

O conhecimento da estrutura e dinâmica das paisagens, como os mais variados processos responsáveis pela esculturação do modelado terrestre, compreende a base da ciência geomorfológica e esboça, nos dias atuais, a preocupação de uma abordagem sistêmica, tanto para a geomorfologia, quanto para os mais variados ramos da ciência geográfica.

## 1.2. BACIA HIDROGRÁFICA: UNIDADE BÁSICA DE ABORDAGEM NOS ESTUDOS GEOGRÁFICOS

São diversas as definições e os conceitos que procuram caracterizar as bacias e sub-bacias hidrográficas (Quadros 02 e 03). Independentemente dessa diversidade, a maioria dos autores aborda de maneira semelhante essa unidade espacial.

Embora diversos estudos tenham empregado o termo “microbacia”, Carmo e Silva (2010, p. 01) destacam que a utilização do termo constitui uma denominação “empírica, imprópria e subjetiva”, a qual deveria ser substituída por sub-bacia hidrográfica, termo considerado mais compatível aos estudos de cunho geográfico.

Santos (2004) utiliza o recorte da bacia hidrográfica como suporte aos estudos de planejamento ambiental em áreas rurais e urbanas, por ser um sistema natural bem delimitado, composto por um conjunto de terras topograficamente drenadas por um curso de água e seus afluentes, cujas interações são associadas. A utilização da bacia hidrográfica como unidade de estudo “[...] permite a integração

multidisciplinar entre diferentes sistemas de planejamento e gerenciamento, estudo e atividade ambiental” (NASCIMENTO, 2008, p. 107-108).

Guerra, Silva e Botelho (2010) ressaltam que, no Brasil, as décadas de 1980 e 1990 são marcadas por diversos trabalhos que têm na bacia hidrográfica sua unidade fundamental de pesquisa, ao contrário das áreas de estudo anteriormente muito utilizadas, como as unidades político-administrativas (distritos, municípios etc.) ou aquelas delimitadas por linhas de coordenadas geográficas, formando quadrículas definidas em cartas topográficas.

Esse crescimento representou uma necessidade de garantir uma melhor preservação e utilização racional dos recursos naturais, principalmente aqueles voltados para a utilização e conservação dos recursos hídricos.

Quadro 02. Diferentes conceitos de bacia hidrográfica encontrados na literatura. (Adaptado de Teodoro, 2007).

Autores	Conceitos de Bacia Hidrográfica
<b>LIMA e ZAKIA, (2000)</b>	São sistemas abertos, que recebem energia através de agentes climáticos e perdem energia através do deflúvio, podendo ser descritas em termos de variáveis interdependentes que oscilam em torno de um padrão e, desta forma, mesmo quando perturbadas por ações antrópicas, encontram-se em equilíbrio dinâmico. Assim qualquer modificação no recebimento e na liberação de energia, ou modificação na forma do sistema, ocorrerá uma mudança compensatória que tende a minimizar o efeito da modificação e restaurar o estado de equilíbrio dinâmico.
<b>FERNANDES, (1999) apud ATTANASIO (2004)</b>	O termo bacia hidrográfica refere-se a uma compartimentação geográfica natural delimitada por divisores de água. Este compartimento é drenado superficialmente por um curso d'água principal e seus afluentes.
<b>BORSATO e MARTONI, (2004)</b>	Definida como uma área limitada por um divisor de águas, que a separa das bacias adjacentes e que serve de captação natural da água de precipitação através de superfícies vertentes. Por meio de uma rede de drenagem, formada por cursos d'água, ela faz convergir os escoamentos para a seção de exutório, seu único ponto de saída.
<b>BARRELLA, W. et. al. (2007)</b>	Conjunto de terras drenadas por um rio e seus afluentes, formada nas regiões mais altas do relevo por divisores de água, onde as águas das chuvas, ou escoam superficialmente formando os riachos e rios, ou infiltram no solo para a formação de nascentes e do lençol freático. As águas superficiais escoam para as partes mais baixas do terreno, formando riachos e rios, sendo que as cabeceiras são formadas por riachos que brotam em terrenos íngremes das serras e montanhas e à medida que as águas do riacho descem, junta-se a outros riachos, aumentando o volume e formando os primeiros rios, esses pequenos rios continuam seus trajetos recebendo água de outros tributários, formando rios maiores até desembocar no oceano.

Quadro 03. Diferentes conceitos de sub-bacia hidrográfica encontrados na literatura (Adaptado de Teodoro, 2007).

Autores	Conceitos de Sub-bacia hidrográfica
<b>SANTANA, (2004)</b>	As bacias podem ser desmembradas em um número qualquer de sub-bacias, dependendo do ponto de saída considerado ao longo do seu eixo-tronco ou canal coletor. Cada bacia hidrográfica interliga-se com outra de ordem hierárquica superior, constituindo, em relação a última, uma sub-bacia. Portanto, os termos bacia e sub-bacias hidrográficas são relativos.
<b>ATTANASIO, (2004)</b>	Unidade física caracterizada como uma área de terra drenada por um determinado curso d'água e limitada, perifericamente, pelo chamado divisor de águas.
<b>ROCHA <i>apud</i> MARTINS <i>et. al.</i>, (2005)</b>	Sub-bacias são áreas entre 20.000 ha e 30.000 ha (200 Km <sup>2</sup> e 300 Km <sup>2</sup> ).
<b>FAUSTINO, (1996)</b>	A microbacia possui toda sua área com drenagem direta ao curso principal de uma sub-bacia, várias microbacias formam uma sub-bacia, sendo a área de uma microbacia inferior a 100 Km <sup>2</sup> .

Sebusiani (2011, p. 260), ao tratar das bacias hidrográficas em meios urbanos, enfatiza: “[...] estas constituem um recorte espacial de importância fundamental para o planejamento urbano, onde quase sempre seu processo de uso e ocupação do solo é desenvolvido de modo espontâneo, raramente fundamentado nas questões ambientais”. Logo:

A importância da Bacia Hidrográfica como unidade de gestão e planejamento advém da sua capacidade de distinguir diversos objetivos, tais como o desenvolvimento econômico, a equidade social, econômica e ambiental e, a sustentabilidade ambiental. Ampliando sua visão apenas territorial passando a ser um espaço em que as relações físicas e humanas podem ser interpretadas (CARMO; SILVA, 2010, p. 03).

As políticas e legislação de gestão e gerenciamento de bacias hidrográficas no Brasil, embora recentes, apresentam importantes transformações nas últimas décadas.

A atual legislação (Lei de Águas, nº 9.433/97) incorpora a bacia hidrográfica como unidade físico-territorial de planejamento e gestão ambiental, identificando a água como um bem econômico, de interesses múltiplos (CUNHA, 2004). Foi a partir desta lei que se criou o Comitê de Bacia Hidrográfica, com instância descentralizada e participativa e representantes dos diferentes setores da sociedade que possuem interesse nessa unidade de estudo.

O modelo de gestão ultimamente adotado é o sistêmico de integração participativa que se caracteriza pelo planejamento estratégico por bacia hidrográfica, a tomada de decisão através de deliberações multilaterais e descentralizadas e o estabelecimento de instrumentos legais e financeiros (CUNHA, 2004, p. 103).

A aplicação da “complexidade sistêmica, em bacia hidrográfica, está cada vez mais sendo utilizada em estudos ambientais, por ajudar a entender os impactos das mudanças no uso da terra e na prevenção das alterações nos sistemas” (CAMPOS, 2010, p. 33). Dessa forma, enfatiza-se que a bacia hidrográfica comporta-se como um sistema complexo, incorporando os fluxos de água e sedimento como seus processos fundamentais e, também, interagindo com outros elementos do sistema na busca pelo equilíbrio (LIMA, 2005).

Nas últimas décadas, o aumento das atividades antrópicas sobre as bacias de drenagem vem colocando em pauta o papel do homem como um importante agente modificador do relevo terrestre. Através dos estudos sistêmicos, o homem passa a se juntar aos diversos elementos que contribuem para a modificação das paisagens, sendo suas ações imprescindíveis para as pesquisas de cunho geográfico. Conforme Campos (2010, p. 135):

[...] a bacia hidrográfica se constitui no espaço de planejamento e de gestão não somente dos recursos hídricos, mas também de suas interações ambientais, em que se procura compatibilizar as múltiplas interações, culturais, econômicas e sociais. A participação do poder público, dos usuários dos recursos naturais para fins econômicos e toda a sociedade, com seus usos múltiplos, é imprescindível na gestão ambiental democrática, que objetiva uma abordagem sistêmica, cuja gestão não desassocie as águas superficiais, subterrâneas e o uso racional dos recursos inerente ao sistema. Assim, a bacia hidrográfica passa a ser considerada como uma totalidade sistêmica, com atuações visando às inter-relações e suas emergências circunstanciais [...].

Considerando o exposto, é relevante mencionar que as atividades humanas contribuem para a modificação na dinâmica hidrológica das bacias hidrográficas e que o uso e a ocupação do solo, em grande parte de forma irregular, promovem a quebra na dinâmica natural desse sistema, na maioria das vezes gerando impactos negativos ao meio ambiente e à sociedade.

A falta ou o modo inadequado de gestão e de planejamento dos ambientes, não considerando o crescimento urbano desordenado, a compactação, impermeabilização e erosão dos solos etc., tanto em áreas urbanas como em áreas

rurais, podem potencializar os mais diferentes processos de degradação e desequilíbrio ambiental, tais como, por exemplo, o assoreamento dos cursos hídricos e a contaminação das águas superficiais e subsuperficiais.

Em caso de bacias de drenagem com grandes obras de engenharia, como as barragens para produção de energia hidrelétrica, os desequilíbrios gerados podem atuar na redução da capacidade da produção, como também na diminuição da vida útil do reservatório (DILL, 2007).

O conceito de bacia hidrográfica, aliado ao estudo da dinâmica dos seus diversos elementos, pode trazer importantes contribuições no entendimento e na evolução dos processos morfogenéticos. Nesse contexto, os processos de circulação de energia e matéria que ocorrem na bacia hidrográfica não estão presentes, apenas, nos canais fluviais e nas planícies de inundação, mas, também, nas vertentes dessa unidade de estudo.

As vertentes de uma bacia hidrográfica, também, podem ser analisadas sob este enfoque sistêmico, pois se constituem em um sistema aberto, onde a entrada e saída de energia e de matéria entre os seus constituintes atuam nos processos que modelam as paisagens. Conforme Meneguzzo e Thomaz (2010, p. 68), “[...] há uma relação entre as vertentes e os canais fluviais, pois, se ocorrer um processo geomorfológico na vertente, certamente o canal também sofrerá alguma mudança”.

A evolução e a dinâmica de uma bacia hidrográfica estarão, sempre, interligadas e dependentes de fatores internos e externos, pois tais fatores representam um conjunto de interações elementares consideradas responsáveis pela sua complexidade sistêmica (CAMPOS, 2010).

Guerra e Cunha (1998, p. 99-100), ao discorrerem sobre a interdependência entre os diversos elementos presentes em uma bacia de drenagem, relatam que:

[...] pode-se considerar que as alterações significativas na composição ambiental de certa porção da bacia de drenagem poderão afetar outras áreas situadas a jusante. Significa, portanto, que os efeitos hidrológicos e geomorfológicos de processos naturais ou antrópicos se vão refletir num determinado ponto de saída de uma bacia de drenagem, podendo propagar-se a jusante por meio de bacias de drenagem adjacentes. Tais aspectos devem ser levados em consideração no planejamento das formas de intervenção humana, mesmo que o interesse do planejador recaia sobre uma área restrita da bacia de drenagem. Sem dúvida alguma, a bacia de drenagem revela-se como uma unidade conveniente ao entendimento da ação dos processos hidrológicos e geomorfológicos



e das ligações espaciais entre áreas distintas que podem afetar tanto o planejamento local como o planejamento regional.

O exemplo para essa complexa relação entre os diversos elementos presentes nas bacias de drenagem é a dinâmica e a interdependência entre o solo e o relevo, que ajudam na compreensão e no entendimento da evolução das paisagens.

Partindo de uma síntese histórica, Queiroz Neto (2010) expõe que sempre houve uma preocupação por parte dos pedólogos em compreender as relações entre os tipos de solos e as formas de relevos. Porém, foi entre o final do século XIX e o início do século XX que Dokutchaev, apesar da importância dada ao clima na formação dos solos, considerou outros elementos, tais como o subsolo, a vegetação, a fauna e o relevo nos estudos de gênese e formação dos solos.

Outro autor que também contribuiu para o entendimento dessa relação entre o solo e o relevo foi Milne (1935, 1936, 1942). Este utilizou o conceito de “catena” para explicar a organização dos solos ao longo das vertentes (QUEIROZ NETO, 2010). Os trabalhos de Milne evidenciam que a mudança nas diferentes formas no relevo é fundamental para a compreensão da distribuição dos solos na paisagem. “Este conceito de catena é uma base fundamental para o desenvolvimento de ferramentas metodológicas que relacionam atributos da paisagem com o solo” (MARTINS *et. al.*, 2007, p. 46).

Greene (1945) também propôs que as sequências de catena, sugeridas por Milne, seriam comuns para os trópicos e estariam relacionadas a horizontes de lixiviação e acumulação, ou seja, os setores a montante seriam de exportação, semelhantes aos horizontes A dos solos, e os setores a jusante seriam de acumulação, como os horizontes B. No entanto, as observações propostas por Greene não obtiveram sequência (QUEIROZ NETO, 2002).

Martins *et. al.* (2007) discutem que, a partir do conceito de catena, surgiram novas abordagens metodológicas que buscavam o entendimento da formação e distribuição dos solos na paisagem, sempre considerando a influência do modelado do relevo na sua formação. Os autores destacam, especialmente, as contribuições desenvolvidas pela escola pedológica francesa, como os trabalhos de Delvigne (1965), Bocquier (1971), Chauvel, (1976) e Boulet, (1978).

Boulet (1978), através da análise estrutural da cobertura pedológica e baseado nos conceitos de catena definidos por Milne, “representa a preocupação

dos pedólogos em compreender a distribuição dos solos nas vertentes e nas paisagens, suas causas e fatores, isto é, procura interpretar os processos responsáveis por essa distribuição” (QUEIROZ NETO, 2002, p. 77).

Campos (2012) relata que nas últimas décadas diversos os autores, a partir de enfoques variados, procuraram entender as relações entre o solo e a paisagem. Merecem destaque os trabalhos de Mcsweeney *et. al.* (1994), Chen *et. al.* (1997) e King *et. al.* (1999), Florinsky *et. al.* (2002) e Park e Burt (2002), Pennock (2003), Iqbal *et. al.* (2005), Pennock e Veldkamp (2006), Briggs *et. al.* (2006), Seibert *et. al.* (2007).

Campos destaca ainda que:

Com o advento de novas tecnologias, atualmente muitos trabalhos tem utilizando ferramentas dos sistemas de informação geográfica para entender e estudar as relações solo-paisagem, nesse sentido Wu *et. al.* (2008) utiliza modelos de elevação digital para relacionar os atributos do solo e a morfologia do terreno. Garrigues *et. al.* (2008) utilizam técnicas estatísticas multivariada para fazer comparações entre conjuntos de variáveis em diferentes posições da paisagem, haja vista que esta técnica permite agruparem variáveis usando critérios de similaridade ou dissimilaridade (CAMPOS, 2012, p. 967).

Diante dessas questões, é fato que a organização do solo na paisagem apresenta importantes relações entre sua organização e distribuição frente aos atributos topográficos. Estudos com esse enfoque auxiliam nos mapeamentos e na classificação dos solos porque permitem “o levantamento de minuciosas análises sobre os processos de gênese e evolução dos sistemas pedológicos” (ROCHA, 2011, p. 16).

Apesar da importância destas pesquisas que abordam e discutem as relações entre solo e paisagem, conforme Campos (2012) ainda são poucos os trabalhos que relacionam a temática na identificação e mapeamento de solos. Para o autor, o entendimento da dinâmica e das relações entre o solo e o relevo nos mapeamentos de solos tem se apresentado como uma nova técnica, que “constitui uma evolução no entendimento das relações solo-geomorfologia e, conseqüentemente, uma ferramenta importante para identificar e mapear áreas de solos homogêneos” (CAMPOS, 2006, p. 104).

Nas mais diversas pesquisas e publicações abordando conceitos e relações entre o solo e o relevo, o fato é que a Pedologia sempre considerou o relevo como um fator de grande importância na formação dos solos, enquanto a Geomorfologia

institui um papel secundário para o solo, considerando-o como um elemento coadjuvante na esculturação do modelado terrestre (QUEIROZ NETO, 2010), e chama atenção para outros elementos da paisagem como, por exemplo, a estrutura e o substrato geológico, a climatologia e a hidrologia.

[...] assim como a Geomorfologia estaria subordinada à Geologia Estrutural, a Pedologia estaria subordinada à Geomorfologia. A proximidade dos geomorfólogos com os pedólogos apareceria desde a alteração das rochas, com a mobilização e as acumulações das partículas e íons: o transporte e acumulação desses materiais constituem preocupações centrais da Geomorfologia Dinâmica e Climática e, nesse sentido, a pedogênese seria um dos elementos da morfogênese (TRICART, 1968, 1977, TRICART e KILLIAN, 1979). O solo raramente proviria da alteração direta das rochas, e a gênese de seu material original passaria por essa etapa do âmbito da Geomorfologia: seria por essa espécie de intermediação (erosão, deposição dos materiais) que a Geomorfologia influenciaria a pedogênese. Além disso, a vertente é uma forma geomorfológica essencial que interfere diretamente na pedogênese, condicionando a circulação e ação da água (QUEIROZ NETO, 2010, p. 02).

A partir da análise e correlação de alguns elementos/fatores como, por exemplo, formas de relevo, grau de declividade, intensidade e direção de fluxo da água no solo, obtêm-se observações básicas para a elaboração de mapeamentos e levantamentos de solo que levem em consideração a influência das diferentes formas de paisagem para sua formação (CAMPOS, 2006).

Mesmo não priorizando o solo como elemento principal na gênese e evolução das formas do relevo, deve-se reconhecer a influência, tanto do relevo para a formação dos solos, como dos solos na esculturação do modelado terrestre. Nesse sentido, verifica-se que “a morfogênese se exerce frequentemente, através dos solos e não diretamente sobre a rocha” (PENTEADO, 1978, p. 07), ou seja:

São as características do solo que comandam a erosão. A estrutura dos solos influi de maneira decisiva sobre o escoamento difuso. Os agregados, sendo pouco estáveis, a erosão os destrói; os poros são tapados em superfície pelos elementos finos liberados e a infiltração é travada. A impermeabilização faz crescer o escoamento superficial e a evolução geomorfológica é profundamente modificada (PENTEADO, 1978, p. 08).

Observa-se, assim, uma estreita relação entre a Pedologia e a Geomorfologia, podendo esses dois ramos científicos atuar de forma conjunta na busca pelo entendimento da dinâmica das paisagens. “A evolução da forma é

acompanhada pela evolução e organização da cobertura pedológica que, juntamente com os processos erosivos, são responsáveis pela sua modelagem” (NOBREGA; CUNHA, 2011, p. 65-66).

Um estudos que conjugue essa temática frente a “uma colaboração estreita entre as disciplinas trará consequências práticas importantes” (PENTEADO, 1978, p. 08).

Martins (2009), em sua tese intitulada *Relação solo-relevo-substrato geológico na planície costeira de Bertioga (SP)*, ao analisar a relação entre as formas de relevo, os solos e os sedimentos, apresentou diferentes padrões na distribuição dos solos em diferentes formas de relevo. Conforme descreve a autora:

Os Espodossolos dominam os terraços marinhos (Atmpa, Atmpb e Atmh) e, secundariamente, aparecem os Neossolos Quartzarênicos (RQ). Nas rampas de colúvio (Arc) e nos terraços colúvio-aluviais altos (Atca) os Cambissolos constituem a classe mais comum, enquanto que nas planícies de maré (Apfm) os Organossolos e Gleissolos se destacam. Nas planícies fluviais (Apf) os Gleissolos e Neossolos flúvicos (RY) dominam as paisagens, enquanto nas depressões paleo ou fluviolagunares (Adfl) os Organossolos constituem a classe de maior representatividade. Na unidade geomorfológica dos depósitos Atfb+Apf ocorrem as classes dos Gleissolos Háplicos, Neossolos Flúvicos e Neossolos Quartzarênicos. Sobre os sedimentos inconsolidados das praias (AP) a morfogênese restringe a evolução dos processos pedogenéticos e a formação de solos (MARTINS, 2009, p.143).

Em outro exemplo da intrínseca relação solo-relevo, Martins *et. al.* (2007) apresentam os seguintes resultados, obtidos na pesquisa intitulada *Relação Solo-Relevo em Vertentes Assimétricas no Parque Nacional da Serra dos Órgãos, RJ*:

Os Neossolos Litólicos são associados localmente a Gleissolos, a afloramentos rochosos e Plintossolos Pétricos associados às porções planálticas, desenvolvidos sobre granitos equigranulares e isotrópicos. Os Cambissolos são associados localmente a Plintossolos e Neossolos Litólicos e ocorrem sobre relevos multiconvexos relacionados com saprolitos de rochas gnáissicas ou de estrutura de fluxo ígneo. Os Latossolos são associados localmente a Argissolos e Chernossolos em depósitos formados em porções deprimidas de vales encaixados e formados por facetas trapezoidais. Estes ambientes refletem o contínuo processo de erosão e de movimentos de massa das porções mais elevadas e a formação de depósitos e intemperização nas porções mais baixas (MARTINS *et. al.*, 2007, p. 59).

Em vista do exposto, conclui-se que os trabalhos que consideram a dinâmica, a distribuição e a relação entre solo/relevo juntamente com os demais fatores (material de origem, temperatura, precipitação, vegetação etc.), amparados, ainda, na unidade da bacia hidrográfica, permitem o conhecimento integrado da paisagem.

### 1.3. GEOMORFOLOGIA E GEOTECNOLOGIAS: SUBSÍDIO AO PLANEJAMENTO DOS ESTUDOS AMBIENTAIS

A representação cartográfica do relevo fornece subsídios para a descrição das formas do relevo, permitindo uma melhor compreensão acerca da dinâmica e evolução do modelado terrestre. Conforme menciona Tricart (1976, p. 32), “a ordenação do território demanda diagnóstico preliminar, destinado a esclarecer as opções. Ainda que não seja o único, as características físicas são um elemento importante a ser considerado”. Para o autor:

Antes dos estudos de zoneamento é preciso conhecer as aptidões dos terrenos para a construção, principalmente os obstáculos que eles impõem, a fim de escolher um tipo de ocupação do solo compatível com estes obstáculos. Não fazê-lo seria aumentar consideravelmente os custos tanto do equipamento urbano quanto da construção. No meio rural, o mesmo ocorre no que diz respeito às terras. O problema coloca-se tanto para a reconversão e intensificação das agriculturas dos países industrializados como para o desenvolvimento dos países insuficientemente equipados (TRICART, 1976, p. 32-33).

De acordo com Guerra e Marçal (2006), a necessidade de estudos voltados para a questão ambiental tem ganhado espaço, tanto no âmbito da ciência geomorfológica, como nos diversos campos do conhecimento científico. Para esses autores, a década de 1980 do século XX apresenta-se como um marco de referência histórica, pois diversos cientistas e entidades ambientalistas do mundo passaram a chamar a atenção da sociedade para a importância da preservação ambiental, visando à garantia da qualidade de vida para a sociedade atual e futura.

Ross (1992) destaca a importância do conhecimento acerca do funcionamento e da inter-relação dos componentes naturais (água, solos, subsolo, clima e cobertura vegetal), juntamente com as formas de relevo, imprescindível para

o planejamento físico-territorial e para os estudos de fragilidade ambiental. O planejamento “[...] deve levar em conta as potencialidades dos recursos e as fragilidades dos ambientes naturais, bem como a capacidade tecnológica, o nível sociocultural e os recursos econômicos da população atingida” (ROSS, 1992, p.17).

Vale destacar que a Geomorfologia é importante para a Geografia, na medida em que auxilia na classificação e no funcionamento da paisagem; “[...] a ‘forma’ do relevo seria o modo como a morfoestrutura se manifesta no espaço, de modo a expressar a dinâmica da morfogênese no terreno” (SANTOS; FORTES; MANIERI, 2009, p. 02).

Para Guerra e Marçal (2006), é através da representação e do mapeamento que ocorrem as contribuições para os estudos geomorfológicos, particularmente aqueles aplicados ao planejamento e à Gestão Ambiental, considerados importantes instrumentos de análise ambiental. Esses instrumentos proporcionam informações que subsidiam propostas de planejamento e preservação em áreas urbanas e rurais.

Com esta proposição, Santos *et. al.* (2006, p. 04) mencionam que

A cartografia geomorfológica é entendida como um importante instrumento na representação do relevo da superfície terrestre e segundo muitos autores (Tricart, 1965; Libault, 1975; Chorley & Haggett, 1975) se constitui num dos principais métodos para o estudo e a pesquisa em geomorfologia, mas também pode ser utilizada no planejamento ambiental (ROSS, 1990), fornecendo informações sobre as potencialidades, vulnerabilidades, restrições e riscos de ocupação e intervenções possíveis na paisagem.

Silva (2010) enfatiza que os estudos de planejamento físico-territorial necessitam considerar tanto os aspectos físicos, quanto os socioeconômicos, pois estes são relevantes para o levantamento de informações geomorfológicas de uma determinada região geográfica, já que o homem possui um papel importante na alteração das paisagens, sejam elas em meios urbanos ou rurais.

Atualmente é cada vez maior a influência da ação antrópica como agente modificador na dinâmica dos processos geomorfológicos “[...] que cada vez mais diversifica e intensifica sua atuação, criando condições de interferir e, até mesmo, controlar processos, criar e destruir formas de relevo” (GUERRA; CUNHA, 1998, p. 26).

As atividades humanas contribuem para a modificação na dinâmica e formação do relevo. O uso e a ocupação do solo, provenientes em grande parte de

forma irregular, promovem a quebra na dinâmica natural desse sistema, na maioria das vezes, gerando impactos negativos ao meio ambiente e à sociedade. De acordo com Ross (1992, p. 17):

As mudanças climáticas espontâneas ou induzidas pelo homem alteram a intensidade da dinâmica geomórfica. Os movimentos da crosta terrestre, como os abalos sísmicos, falhamentos e erupções vulcânicas também interferem na dinâmica do relevo. É, entretanto o homem, o maior predador da natureza, e conseqüentemente, o ser animal que mais se julga capaz de alterar e controlar os ambientes naturais.

Para o conhecimento das diversas formas do modelado terrestre é preciso compreender e explicar sua gênese e sua evolução em diferentes escalas espaciais e temporais. Deste modo, deve-se considerar a diversidade de processos “[...] capazes de criar ou destruir as formas de relevo, de fixá-las num local ou deslocá-las, de ampliar suas dimensões ou reduzi-las, de modelá-las contínua ou descontinuamente, de mantê-las preservadas ou modificá-las” (GUERRA; CUNHA, 1998, p. 25).

Ao representar a compartimentação geomorfológica de um determinado espaço geográfico, deve-se procurar fazer a análise de todos os elementos estruturadores dessa paisagem, tais como a compreensão e a interpretação de seus condicionantes (processos erosivos, uso e ocupação do solo, áreas de degradação, etc.). E, como destaca Lemes (2009, p. 143), “a elaboração de um mapa de compartimentação geomorfológica com esses indicadores necessita de uma metodologia que supra todos estes aspectos apresentando-os de forma sistematizada”.

No que se refere ao processo de uso e ocupação, a compartimentação geomorfológica oferece importantes informações e características do modelado terrestre, principalmente sobre restrições e riscos que uma área possa oferecer. Essas informações são fundamentais para subsidiar a ocupação dos espaços, sejam eles em áreas urbanas ou em áreas rurais.

Para os projetos de gerenciamento ambiental e até mesmo de gestão territorial:

[...] os mapeamentos em base geomorfológica têm sido priorizados e, geralmente, vêm acompanhados de legendas que servem para subsidiar decisões, em níveis pedológicos, climatobotânicos, planialtimétricos e batimétricos, como em nível do uso potencial do

solo, tanto urbano, quanto rural. A base operacional para a delimitação do espaço, em projetos que utilizam metodologias de Estudos de Impactos Ambientais e Relatórios de Impactos Ambientais sobre o Meio Ambiente - EIAS/RIMAS, em sua maioria, apresenta um significativo conteúdo alicerçado em bases geomorfológicas (ARGENTO, 1998, p. 366).

Para os estudos físicos territoriais de gestão e desenvolvimento das paisagens, os estudos geomorfológicos tornam-se indispensáveis, principalmente quando se busca a compreensão da evolução espaço-temporal dos processos que formaram o relevo para o entendimento das fragilidades e potencialidades de um determinado sistema ambiental, ou seja:

O relevo é, desse modo, evocado por muitos autores como elemento significativo na delimitação das unidades de paisagem. Além de ser um dos elementos de fácil percepção visual ele é um dos responsáveis pela estruturação da paisagem em virtude do seu papel na distribuição e organização de outros elementos (NÓBREGA; CUNHA, 2011, p. 65).

[...] a geomorfologia, por definição, identificando, classificando e analisando as formas de relevo da superfície do planeta, sistematiza o conhecimento sobre a forma e a natureza do substrato físico onde se realizam as atividades humanas. Tal sistematização apoia-se em conhecimentos de diversas origens, até mesmo geológicos e biológicos, gerando e representando, em si mesma, conhecimento taxonômico de grande valor pragmático (SILVA, 1998, p. 394).

As pesquisas sobre a fragilidade e/ou vulnerabilidade ambiental, aliada aos estudos geomorfológicos, apresentam-se como importantes ferramentas aos estudos ambientais. Elas fornecem subsídios para a gestão territorial e a elaboração do Zoneamento Ecológico Econômico (ZEE), propondo, assim, zonas associadas não só a um modelo de uso, mas, também, à capacidade de suporte do meio ambiente e à vulnerabilidade ambiental.

Com esses estudos, pode-se mapear, em termos de intensidade e de distribuição espacial, “[...] a susceptibilidade do meio físico, considerando-se os fatores geológicos, geomorfológicos e pedológicos, e as suas respostas às pressões antrópicas” (SANTOS *et. al.*, 2010, p. 93). Esse tipo de estudo, ainda, permite visualizar os diferentes graus de fragilidade presentes no ambiente, de acordo com suas características naturais, servindo como base para o conhecimento de sua adequada utilização.



Segundo Cabral *et. al.* (2011, p. 52), com base em Tamanini (2008):

[...] o conceito de fragilidade ambiental diz respeito à vulnerabilidade do ambiente em sofrer qualquer tipo de dano e está relacionada com fatores de desequilíbrio de ordem tanto natural, expresso pela própria dinâmica do ambiente, como em situações de elevadas declividades e alta susceptibilidades erosiva dos solos, quanto antropogênica, a exemplo do mau uso do solo e de intervenções em regimes fluviais.

Stolle (2008) enfatiza que a fragilidade potencial de uma área pode ser compreendida como a vulnerabilidade natural que um ambiente apresenta em função de suas características físicas, como a declividade e o tipo de solo, características essas intrinsecamente vinculadas à morfologia do relevo. Já a fragilidade ambiental considera, além das características físicas, os graus de proteção que os diferentes tipos de uso do solo e a cobertura vegetal exercem sobre esse ambiente.

A identificação dos ambientes naturais e suas fragilidades potenciais e emergentes proporciona uma melhor definição de diretrizes e ações que deverão ser implementadas em um espaço físico-territorial, servindo de base para o zoneamento e fornecendo subsídios à gestão do território (SPÖRL; ROSS, 2004).

Diante desse contexto, observa-se que o uso e a ocupação dos espaços urbano e rural pela sociedade nem sempre são compatibilizados com a aptidão dos solos. As práticas e as técnicas adotadas, tanto para o uso do espaço urbano, quanto para o do agrícola, muitas vezes se tornam inadequadas, levando a ocupação e a expansão irregular para áreas inapropriadas, como as reservas legais e as matas ciliares. Isso ocasiona, por consequência, a degradação ambiental e a diminuição da qualidade de vida da sociedade inserida nesse ambiente.

Conforme explica Santos (2006, p. 18):

Os riscos ambientais são derivados primordialmente da ocupação irregular dos ambientes dotados de maior vulnerabilidade ambiental, ou seja, na realidade o problema se manifesta pela irracionalidade do processo de ocupação do espaço. Essas áreas, via de regra, são constituídas por áreas legalmente protegidas, onde há precariedade do controle ambiental e conseqüentemente ausência de fiscalização favorecendo a ocupação.

Conforme Cabral *et. al.* (2011), a metodologia da fragilidade ambiental fundamenta-se no princípio de que a natureza apresenta funcionalidade intrínseca

entre suas componentes físicas e bióticas. Este princípio da funcionalidade baseia-se no conceito de *Unidade Ecodinâmica* preconizada por Tricart (1977).

Nesse sentido, as trocas de energia e matéria que ocorrem na natureza realizam-se através de relações em equilíbrio dinâmico, e essas relações são frequentemente alteradas pelas intervenções antrópicas, gerando estados de desequilíbrios temporários ou até mesmo permanentes (ROSS, 1994).

Guerra e Marçal (2006, p. 95) enfatizam que “[...] o surgimento de novas técnicas científicas, a partir do século XX, ajudou a entender que os elementos da natureza, além de relacionarem-se entre si, formam também um todo unitário complexo”. Dessa forma, existe a preocupação em conhecer os mais diversos elementos e como eles se relacionam entre si, auxiliando para uma melhor compreensão do ambiente em que vivemos.

Oliveira (2008) destaca que o mapeamento da fragilidade ambiental, aliado aos estudos em bacias hidrográficas, assume um importante papel no planejamento territorial, pois orienta o tipo de uso mais adequado, com vistas à redução dos impactos causados pela ocupação desordenada, fornecendo subsídios para a implantação de ações, tanto para a prevenção, quanto para a manutenção da correta utilização dos recursos naturais.

Calijuri *et. al.* (2007, p. 3311), ao relatarem sobre a fragilidade ambiental, destacam que:

A ocupação desordenada do meio físico por atividades agrícolas e florestais, sem um planejamento prévio, desconsiderando a capacidade de suporte do meio físico e a fragilidade ambiental a ele associado, aliada à falta de estratégias de manejo conservacionista, tem acelerado o processo de perda do solo superficial, comprometendo a sustentabilidade destas atividades e a quantidade e qualidade dos recursos hídricos, envolvendo, dessa forma, toda a sociedade nessa problemática.

Estudos e investigações voltados para a avaliação do meio físico natural, quando relacionados às intervenções antrópicas, tornam-se de extrema importância para o planejamento e ordenamento do uso do solo, pois contribuem para o desenvolvimento socioeconômico e a conservação do meio ambiente (WIEGAND, 2009).

Frente a esses conceitos, conclui-se que os mapeamentos da fragilidade ambiental, aliado aos estudos geomorfológicos, constituem uma das principais

ferramentas utilizadas pelos órgãos públicos na elaboração do planejamento territorial ambiental.

Esses estudos representam importantes planos de informações, exigindo o conhecimento teórico-conceitual em cartografia temática, SIGs e de sensoriamento remoto. “Nesse sentido, os mapeamentos geomorfológicos se revestem, tecnicamente, da característica de suporte fundamental para execução de projetos de aplicação ambiental” (GUERRA; CUNHA, 1998, p. 387).

O emprego de novas tecnologias voltadas para o estudo das formas de relevo, como a utilização dos MNT (Modelo Numérico do Terreno ou, em inglês, DTM – *Digital Terrain Model*) e do sensoriamento remoto, com destaque para as imagens ópticas (ASTER) e de radar (SRTM), aliados aos mais diversos *softwares* de SIGs do mercado, permitiram uma nova formulação dos procedimentos e técnicas adotados até meados do século XX.

Essas novas ferramentas têm favorecido e agilizado o processo de elaboração de documentos, voltados à cartografia temática, tanto para a geomorfologia, como para os demais ramos da geografia.

O uso de meios como o geoprocessamento por experimentos estatísticos, a cartografia computadorizada, os mais variados *hardwares* e *softwares*, já existentes no mercado nacional e internacional, os diferentes usos do sensoriamento remoto e o emprego de Sistemas de Informações Geográficas – SIGs, revestem-se, hoje, de apoio fundamental para a elaboração de mapeamentos geomorfológicos. Com isso, vê-se ampliado, substancialmente, o poder pragmático da Geomorfologia, que se constitui, assim, em importante subsídio ao planejamento ambiental (GUERRA; CUNHA, 1998, p. 367).

Conforme destaca Florenzano (2008), a Geomorfologia teve um grande aliado a partir do emprego do sensoriamento remoto, tendo como porto de partida a utilização de fotografias aéreas.

Essa técnica permitiu o estudo do relevo com maior detalhe, possibilitando a análise integrada com outros elementos como, por exemplo, uso e cobertura da terra, geologia, hidrologia e monitoramento de áreas de risco. A utilização da estereoscopia permite, ainda, a análise em três dimensões do modelado terrestre, contemplando, assim, a visualização das pequenas feições do relevo e facilitando a observação dos processos morfodinâmicos.

Pelo fato de o relevo ser geralmente bem destacado em fotografias aéreas e imagens de satélite, bem como pela disponibilidade de dados multitemporais que possibilitam o estudo de processos morfodinâmicos, a ciência geomorfológica é uma das mais beneficiadas pela tecnologia de sensoriamento remoto, expandindo seus horizontes à medida que essa tecnologia avança (FLORENZANO, 2008, p. 32).

Na atualidade, a utilização das geotecnologias, como *softwares* SIGs aliado ao sensoriamento remoto, torna-se cada vez mais útil na análise, na visualização e no monitoramento de fenômenos e elementos da superfície terrestre.

O sensoriamento remoto na Geomorfologia, a exemplo da utilização de dados de radar (sensores ativos) como os SRTM, representa um novo panorama frente aos estudos físicos e ambientais, garantindo maior precisão e capacidade de processamento de dados.

Ao contrário dos sensores passivos, o radar emite o seu próprio feixe de ondas eletromagnéticas, captando igualmente o sinal de retorno refletido pelo alvo. Por isto, é considerado um sensor ativo, ou seja, ele próprio gera a sua fonte de radiação, o que lhe garante total independência em relação às condições atmosféricas durante a coleta de dados. Seu desempenho melhora em áreas recobertas por florestas, pois suas ondas eletromagnéticas conseguem atravessar densas coberturas de nuvens (IBGE, 2009, p.121).

As técnicas de sensoriamento remoto, além de serem utilizadas de forma independente e isolada, podem ser agregadas aos mais diferentes planos de informação. Esses estudos, conjugados através de um Sistema de Informação Geográfica, fornecem a possibilidade de um estudo interdisciplinar, com dados e informações sobre pedologia, hidrologia, geologia, biologia etc. Dessa forma, “o potencial de análise do sistema é expandido em consequência desta integração” (IBGE, 2009, p. 117).

O uso dessas novas ferramentas auxilia no estudo dos mais diversos fenômenos, como queimadas, desmatamentos, uso e ocupação do solo, enchentes, deslizamentos, “além de gerar diferentes tipos de mapas (geológico, geomorfológico, de solo, cobertura da terra, expansão urbana, etc.). A maior parte dessas aplicações atende aos interesses da Geografia Física” (FLORENZANO, 2012, p. 146).

Conforme as informações apresentadas no Manual Técnico de Geomorfologia do IBGE, os SIGs podem ser caracterizados como:

[...] um sistema de informações cujos *inputs* primários são dados espaciais georreferenciados; o SIG auxilia na organização desses dados e principalmente na sua integração. Um SIG completo inclui funções de aquisição, codificação, manipulação, armazenamento e recuperação, análise, extração e display dos dados (IBGE, 2009, p. 117).

Os grandes avanços tecnológicos, presenciados nas últimas décadas, permitiram o surgimento de dados e informação com melhores níveis de resoluções espacial, espectral, radiométrica e temporal e, assim, análise e estudo de uma grande variedade de fenômenos ambientais com maior rapidez e precisão (FLORENZANO, 2012). Conforme relata a autora:

Esses dados permitem visualizar o espaço geográfico em três dimensões e, utilizando um SIG, obter, de forma automática, variáveis morfométricas (altitude, declividade, orientação de vertentes, etc.) que são essenciais nos estudos geomorfológicos, pedológicos e ambientais (FLORENZANO, 2005, p. 25).

Destacam-se os produtos gerados a partir do SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*). As imagens SRTM apresentam sensores de visada vertical e lateral, permitindo, assim, a reprodução de imagens georreferenciadas, capazes de representar o relevo terrestre em três dimensões espaciais, latitude, longitude e altitude (SOUZA; SANTOS, 2013).

A missão SRTM, realizada no ano de 2000, orbitou o planeta Terra a uma altitude de 233km, a bordo do ônibus espacial *Endeavour*. A missão abrangeu uma área de aproximadamente 80% de superfícies emersas do planeta, percorrendo uma extensão entre 60° de latitude norte e 54° de latitude sul.

Os dados coletados pela missão SRTM foram gerados pela técnica conhecida como interferometria de radar, em que o sinal emitido é captado por duas antenas separadas a uma distância de 60 metros. Esta técnica permite o cálculo da elevação da superfície terrestre com uma precisão de 16 metros ou 90% de confiança (MIRANDA, 2005).

Esses dados são distribuídos publicamente pela *United States Geological Survey Eros Data Center* (USGS EDC) e encontram-se nos formatos HGT (*Height*), TIFF (*Tag Image File Format*), ARCGRID (*Arc/Info*), BILL (*Band Interleaved by Line*) e GRIDFLOAT (*Floating Point Data*), sendo sua resolução espacial de 30 metros para os EUA e de 90 metros para o restante do planeta (NASA, 2013).

A facilidade de acesso, como também a padronização dos mais variados tipos de dados nos dias atuais, representa um novo marco aos estudos das paisagens no mundo como um todo. “Os dados disponíveis e os recursos existentes sugerem que entramos numa fase desprovida de desafios para a obtenção de dados básicos para o exercício da Geomorfologia” (FLORENZANO, 2008, p. 101-102).

É fundamental, no entanto, ter em mente que as modernas tecnologias disponíveis para a elaboração de mapeamentos temáticos, por si só, não garantem produto eficiente, já que elas servem, apenas, de apoio para melhorar a resolução do mapa final. Uma boa base conceitual em Geomorfologia, uma adequada escolha da legenda associada à escala cartográfica e, ainda, uma eficiente interpretação visual das formas de relevo e de seus respectivos processos geradores são condições que se transformam no alicerce fundamental para a elaboração de um bom mapeamento geomorfológico (GUERRA; CUNHA, 1998, p. 384).

A ciência geomorfológica terá sempre um importante papel, como, também, seu próprio espaço na análise ambiental. A capacidade do geomorfólogo como profissional “[...] responderá pelo quanto poderá oferecer na identificação e interpretação das múltiplas relações que seu objeto de estudo tem com os demais componentes do ambiente” (GUERRA; CUNHA, 1998, p. 45).

Vale destacar, ainda, a importância do controle de campo, etapa esta, fundamental para a validação das variáveis presentes nas cartas e imagens digitais georreferenciadas e elaboradas em ambiente SIG. O controle de campo torna-se fundamental para a confirmação ou revisão, quando necessário, dos planos de informações, como, também, da elaboração da cartografia temática final.

## 2. LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

As bacias hidrográficas do Paraná III (Brasil/Paraguai) (Figura 01) encontram-se situadas na região de fronteira entre o Brasil e o Paraguai, nas regiões Oeste do estado do Paraná, Leste do departamento de Canindeyu e Nordeste do departamento de Alto Paraná. No Brasil, a bacia possui uma área total de 8.707 Km<sup>2</sup>, cerca de 4% da área do estado do Paraná, e uma população estimada em 642.684 habitantes (IBGE, 2004), aproximadamente 6% do total do estado. No Paraguai, esta bacia hidrográfica possui uma extensão de 10.461 Km<sup>2</sup> e uma população estimada de 181.244 habitantes, distribuídos nos distritos (DGEEC, 2002). Nestas bacias hidrográficas está inserida a Hidrelétrica de Itaipu (do Tupy – “pedra que canta”), segunda maior usina do mundo em geração de energia. Esta teve sua origem baseada em acordo internacional sobre o aproveitamento dos recursos hídricos do rio Paraná, criado em abril de 1973 (SEMA, 2010).

As bacias possuem em sua extensão territorial uma área total de 19.168 km<sup>2</sup>, delimitada, ao Norte, pela Área de Proteção Ambiental (APA) Federal das Ilhas e Várzeas do Rio Paraná e pelo Parque Nacional de Ilha Grande e, ao Sul, pelo limite do Parque Nacional do Iguaçu, onde se registra a maior diversidade de organismos.

Do ponto de vista físico, predominam nas unidades hidrográficas do Paraná III (Brasil/Paraguai) as rochas vulcânicas básicas da Formação Serra Geral (Grupo São Bento), que deram origem a uma cobertura pedológica formada por solos muito argilosos como os Latossolos e Nitossolos Vermelhos (Oxisols), Argissolos Vermelhos (Alfissols/Ultisols), além de Neossolos Litólicos (Entisols) classificados no Brasil pela Embrapa (2013) e no Paraguai Oriental por Gorostiaga *et. al.* (1995).

Em alguns setores da área de estudo, sobretudo no extremo Norte, ocorre o Arenito Caiuá, que favorece o surgimento de solos de textura mais arenosa, como os Argissolos na classificação brasileira e os Argissolos (Ultisol e Alfisol) na classificação americana (GOROSTIAGA, 1995).

A presença do arenito Caiuá estende-se, em grande parte, até o limite esquerdo do leito do rio Pirity (leste do Paraguai), como, também, em alguns pontos isolados, compreendendo parte dos departamentos de Alto Paraná e Canindeyú no Paraguai.

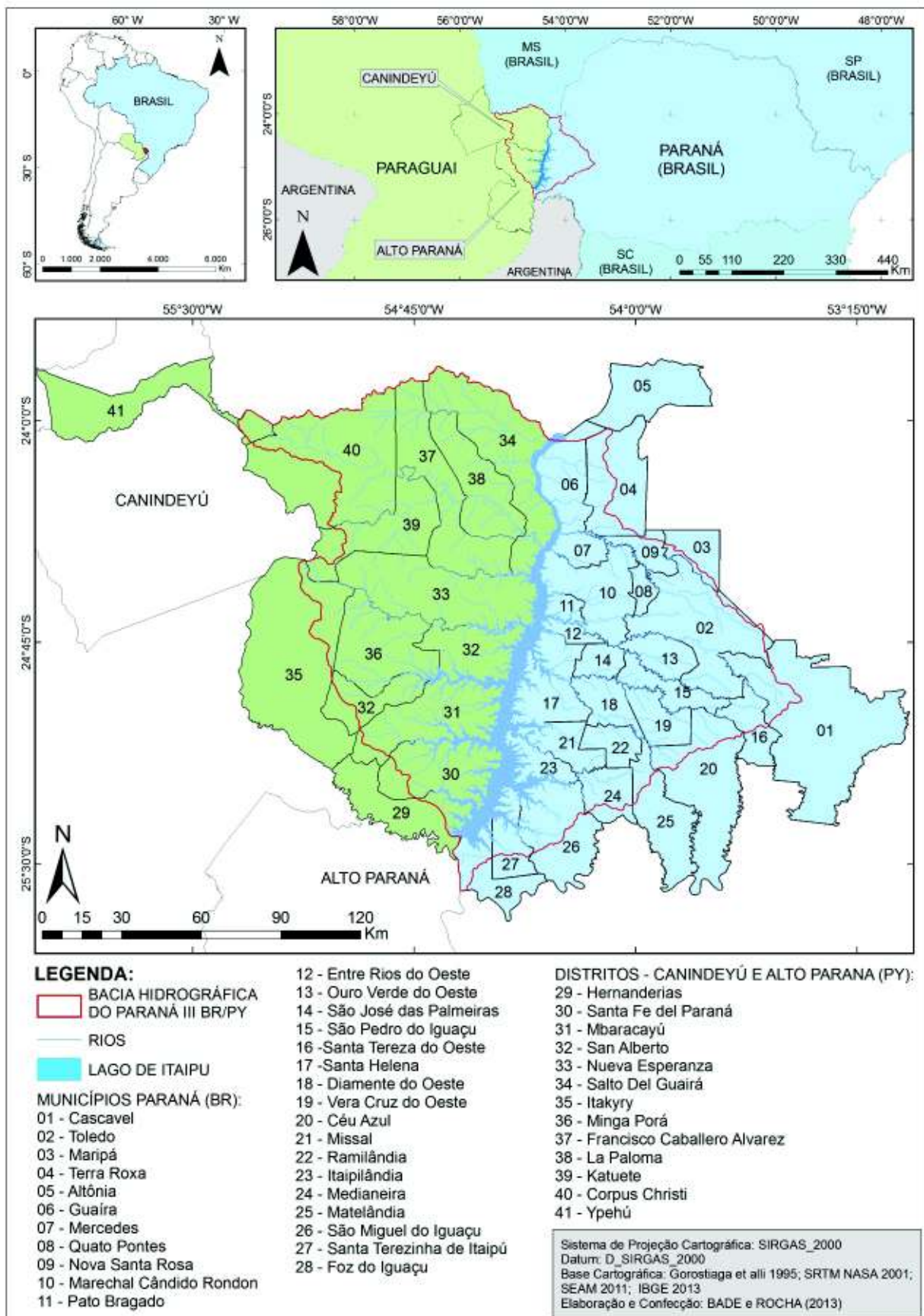


Figura 01. Localização das bacias hidrográficas do Paraná III (Brasil/Paraguai). Organização e Confecção: BADE e ROCHA (2013).



Conforme a classificação climática de Köppen (1900), predomina na região o clima Cfa, subtropical, úmido, mesotérmico com precipitações médias anuais entre 1.600 e 1.700 mm (IAPAR, 1994). Existe tendência de concentração das chuvas durante os meses de verão, mas sem uma estação seca definida. A média das temperaturas dos meses mais quentes é superior a 22°C e a dos meses mais frios é inferior a 18°C.

Os principais afluentes do rio Paraná na área de estudo em território brasileiro são os rios São Francisco, com nascente em Cascavel, o Guaçu, que nasce em Toledo, o São Francisco Falso, que nasce em Céu Azul, e o Ocoí, que nasce em Matelândia (SEMA, 2010). Já os principais afluentes em território Paraguaio são: rio Pirity, o Gasory, Itambey e o rio Limoy (GOROSTIAGA *et. al.*, 1995).

Conforme a classificação proposta por Ross (1992), a área de estudo apresenta, no primeiro nível taxonômico, a unidade morfoestrutural da Bacia Sedimentar do Paraná. No segundo nível, evidenciam-se duas grandes unidades morfoesculturais: a do Terceiro Planalto Paranaense e a do Planalto Serra Geral do Paraguai Oriental.

A bacia sedimentar do Paraná (Figura 02) apresenta-se como uma região sedimentar do continente sul-americano “[...] preenchida por depósitos marinhos e continentais com idades que vão do Siluriano Superior (Formação Furnas) até o Cretácio (Grupo Bauru)” (SANTOS, 2006, p. 10). Estende-se pelo território brasileiro nos estados de Minas Gerais, Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul.

Esta Bacia Sedimentar, também, se estende para a região nordeste da Argentina, Paraguai oriental e norte do Uruguai (OKA-FIORI, 2006). Possui forma ovalada e eixo principal de orientação Norte-Sul em uma área de aproximadamente 1,575,000 Km<sup>2</sup>, sendo 1.750 km de comprimento e 900 km de largura.

Possui seis grandes unidades estratigráficas com intervalos temporais de algumas dezenas de milhões de anos de duração, envelopados por superfícies de discordância de caráter inter-regional. Sua estratigrafia tem espessura em torno de 7 mil metros, com seu depocentro estrutural na região da calha do rio Paraná (MILANI *et. al.*, 2007).

Essas sequências são denominadas de Supersequência Rio Ivaí (litoestratigraficamente relacionada ao Grupo Rio Ivaí, de idade

Ordoviciano/Siluriano), Paraná (Grupo Paraná, Devoniano), Gondwana I (grupos Tubarão e Passa Dois, Pensilvaniano/Permiano), Gondwana II (unidades triássicas), Gondwana III (Grupo São Bento, Jurássico/Cretáceo) e Bauru (Grupo Bauru, Cretáceo).

Ainda segundo Milani *et. al.* (2007, p. 266):

As três primeiras superseqüências são representadas por sucessões sedimentares que definem ciclos transgressivo-regressivos ligados a oscilações do nível relativo do mar no Paleozóico, ao passo que as demais correspondem a pacotes de sedimentitos continentais com rochas ígneas associadas. As unidades formais da litoestratigrafia, quais sejam os grupos, formações e membros comumente utilizados na descrição do arranjo espacial dos estratos da bacia, inserem-se como elementos particularizados neste arcabouço aloestratigráfico de escala regional.

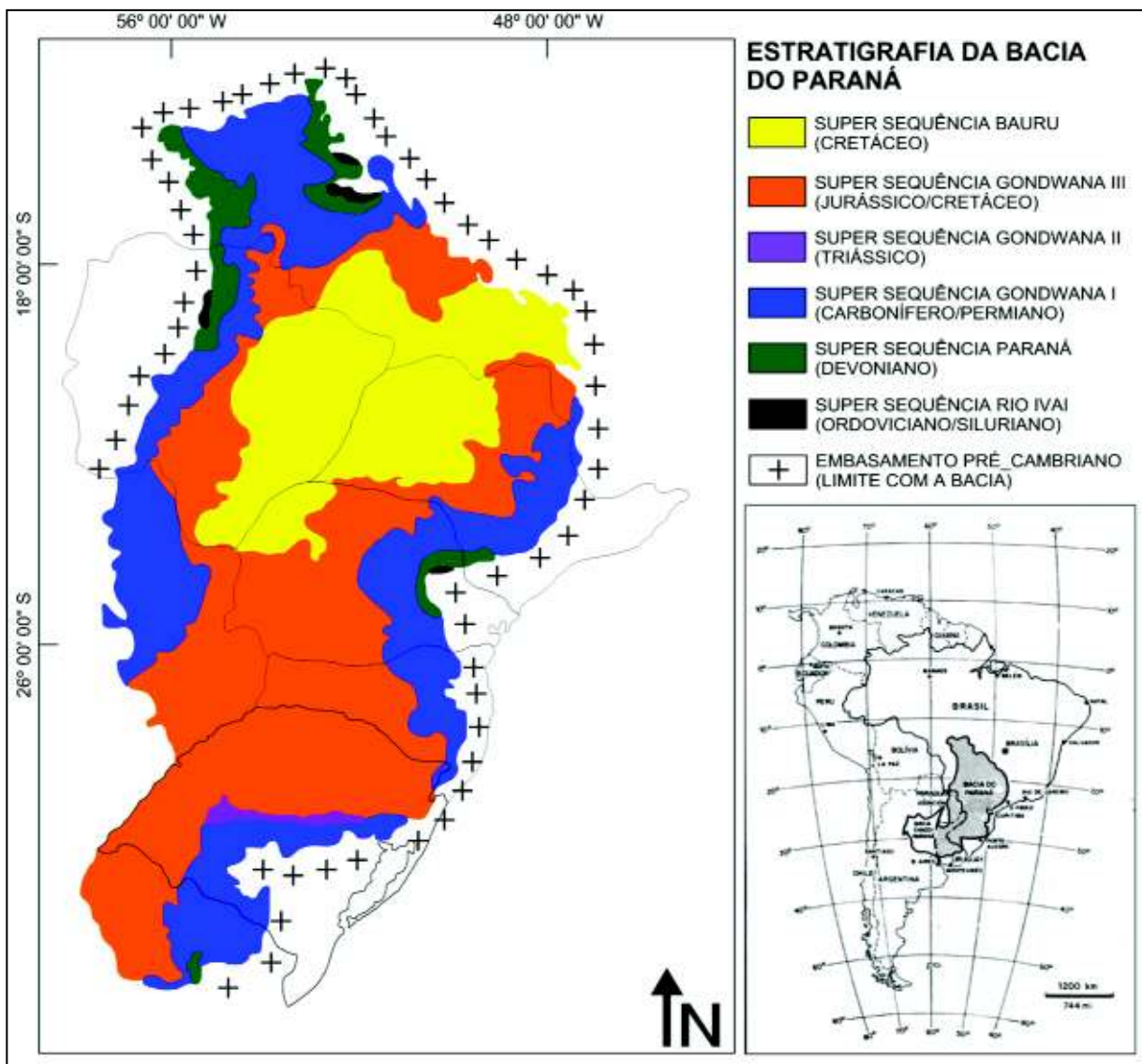


Figura 02. Localização e cronoestratigrafia da Bacia Sedimentar do Paraná. Fonte: Adaptado de Milani (1997). Organização e Confecção: BADE (2013).

No segundo e no terceiro planalto paranaense, predomina a Formação Serra Geral. No Paraguai, nos departamentos de Alto Paraná e Canindeyú, ocorrem, em grande parte, os derrames basálticos da Formação Serra Geral, como, também, afloramentos isolados do arenito Caiuá e os arenitos da Formação Misiones.

O Terceiro Planalto Paranaense apresenta um conjunto de relevos planálticos com inclinação geral para oeste-noroeste, subdividido pelos principais afluentes do rio Paraná, de altitudes médias de cimeira de 1100 a 1250m na Serra da Esperança, declinando para altitudes entre 220 e 300 metros na calha do rio Paraná (JAYME *et. al.*, 2012).

A última unidade estratigráfica do estado do Paraná é o arenito Caiuá e, também, se encontra localizada no terceiro planalto, com deposição iniciada logo após os derrames basálticos. O arenito Caiuá, composto por sedimentos originários do desgaste de unidades geológicas do centro da América do Sul, estende-se por boa parte do Mato Grosso do Sul e do Paraguai Oriental, sem, no entanto, ultrapassar o rio Piquiri.

O Planalto Basalto ou Planalto de Guarapuava, associado ao Terceiro Planalto Paranaense, teve sua formação diretamente ligada ao grande derramamento de lavas ocorrido no Mesozoico (Formação Serra Geral). Seu pico de atividade se deu entre 133 e 127 Ma, embora existam registros desde 140 a 119 Ma (KERSTEN; GALVÃO; LOPES, 2008).

Esse planalto, formado por aproximadamente 32 derrames vulcânicos, modelou a atual paisagem de *Trapp* (degraus), constituída por diversas quedas d'água ao longo do Terceiro Planalto (MAACK, 1961). As Cataratas do Iguazu são um bom exemplo da existência desses degraus do derrame basáltico.

Devido ao baixo teor de sílica, as lavas pouco viscosas da Formação Serra Geral extravasaram através de uma *geoclase* (grande falha), localizada, regionalmente, na atual calha do rio Paraná.

De acordo com Bartorelli (1997, p. 23), o episódio térmico, ocorrido na segunda metade do Cretáceo, conhecido como superpluma, originado no limite do núcleo da Terra com o manto, ocasionou uma intensa atividade vulcânica oceânica e, em menor escala, continental. Essa superpluma originária no núcleo externo, composta, basicamente, por ferro fundido, devido à intensa temperatura, tornou-se mais leve que seu manto superior e, por consequência, ascendeu à superfície rompendo a viscosidade do manto, dando origem à formação Serra Geral.

Conforme Milani *et. al.* (2007, p. 267):

Praticamente nenhuma região da bacia foi poupada pela invasão magmática e, hoje, após mais de 100 Ma de retrabalhamento erosivo, ainda restam cerca de três quartos da área total da bacia recobertos pelas rochas ígneas da Formação Serra Geral, com uma espessura remanescente que se aproxima dos 2.000 m na região do Pontal do Paranapanema (SP).

O Planalto Serra Geral do Paraguai Oriental possui, em média, altitudes que variam de 200 a 400 metros. Em alguns pontos do extremo Norte e Sul do planalto, essas altitudes podem ultrapassar os 800 metros.

O planalto configura-se, estruturalmente, na continuação dos derrames basálticos da Formação Serra Geral que cobrem boa parte do estado do Paraná e outros estados do Brasil e possui uma leve inclinação de Oeste para Sudeste.

No Planalto do Paraguai Oriental, predominam relevos planos a suavemente ondulados e declividades entre 3% e 6%, o que favorece a utilização da agricultura mecanizada (DBENVIRONNEMENT, 2013, p. 12).

O mapa geológico esquemático do Paraguai Oriental (Figura 03) evidencia os derrames basálticos da Formação Alto Paraná ou Serra Geral (Cretáceo), que abrange a maior parcela de área do Planalto. Afloramentos dessa litologia são encontrados em toda a margem direita do rio Paraná, formando uma faixa de direção Norte e Sul. Ao Norte, o basalto extrapola os limites do distrito de Pedro Juan Cabalero e, ao Sul, embora existam algumas interrupções, estende-se além da fronteira com a Argentina (ORUÉ, 1996).

Os derrames basálticos da Formação Alto Paraná encontram-se assentados uniformemente sobre os sedimentos eólicos que compreendem a Formação Misiones. Também são capeados em pontos isolados pelos arenitos da Formação Acaray (arenito Caiuá) (ORUÉ, 1996).

O projeto PAR 83/005 (1986), em seu relatório final concluiu que a constituição mineral dos derrames basálticos da Formação Serra Geral é formada essencialmente por rochas toleíticas de idades entre 127 e 108 Ma (ORUÉ, 1996).

No setor esquerdo do planalto, encontra-se, em menor quantidade, a unidade litológica da Formação Misiones (Jurássico). De acordo com Fariña (2009) e Orué (1996), esta unidade sedimentar, com idades que remontam os períodos Triássico e Jurássico, foi estabelecida pela primeira vez por Harrington (1950), para

designar os arenitos que afloram em Bella Vista e Capitán Bado, ao norte, e Coronel Bogado e Encarnación, ao sul (Figura 03).

Conforme Fariña (2009), a Formação Missiones transgride sobre as demais unidades sedimentares da bacia do Paraná, inclusive sobre o embasamento cristalino. Essa formação aflora numa faixa de direção Norte/Sul, possui larguras entre 20 e 70 km e limita-se ao Norte pelo rio Apa e ao Sul pelo rio Paraná.

No que diz respeito a estudos na região norte-nordeste do país, o projeto Cuenca del Plata (1975) referiu-se aos arenitos Missiones como sendo depósitos do Jurássico Superior que, pelas suas características litológicas, foram formados em ambiente desértico com alguma contribuição fluvial (ORUÉ, 1996, p. 101).

A Formação Missiones com distribuição territorial de aproximadamente 36.197 km<sup>2</sup> estende-se pela borda do planalto basáltico, a partir da Cordilheira de Amambay, chegando ao distrito de Encarnación no extremo sul (ORUÉ, 1996, p. 102). Em pontos isolados desse planalto, ocorrem arenitos da Formação Acaray (Terciário).

A denominação de Formação Acaray, pelo projeto PAR 83/005 (1986), “[...] classificou o material da região de Capitán Bado como correspondendo a sedimentos suprabasálticos e o descreveu como uma unidade constituída essencialmente por arenitos de cor rósea, granulação fina, por vezes, portador de fases micáceas” (ORUÉ, 1996, p. 107).

Os solos derivados dos sedimentos da Formação Acaray (Argissolos e Latossolos de textura média a quase arenosa), devido a essas características, são mais susceptíveis aos processos erosivos e, conseqüentemente, há preocupação com o seu uso e manejo. Orué (1996), ao citar Maack (1962), correlaciona a ocorrência desta litologia a um deserto mesozoico. “Mais tarde, o mesmo autor mencionou tratar-se de arenitos ‘Super Trap’, ao qual denominou de Caiuá, correlacionando-os ainda com as exposições do Paraná e Mato Grosso” (ORUÉ, 1996, p. 107).

Os arenitos da Formação Acaray possuem distribuição limitada, com área de aproximadamente 1.000 Km<sup>2</sup>. As principais áreas de ocorrência são os departamentos de Amambay, Canindeyú e Alto Paraná, mais precisamente nos distritos de Pedro Juan Caballero, Capitán Bado, Curuguay e Salto del Guairá (ORUÉ, 1996).

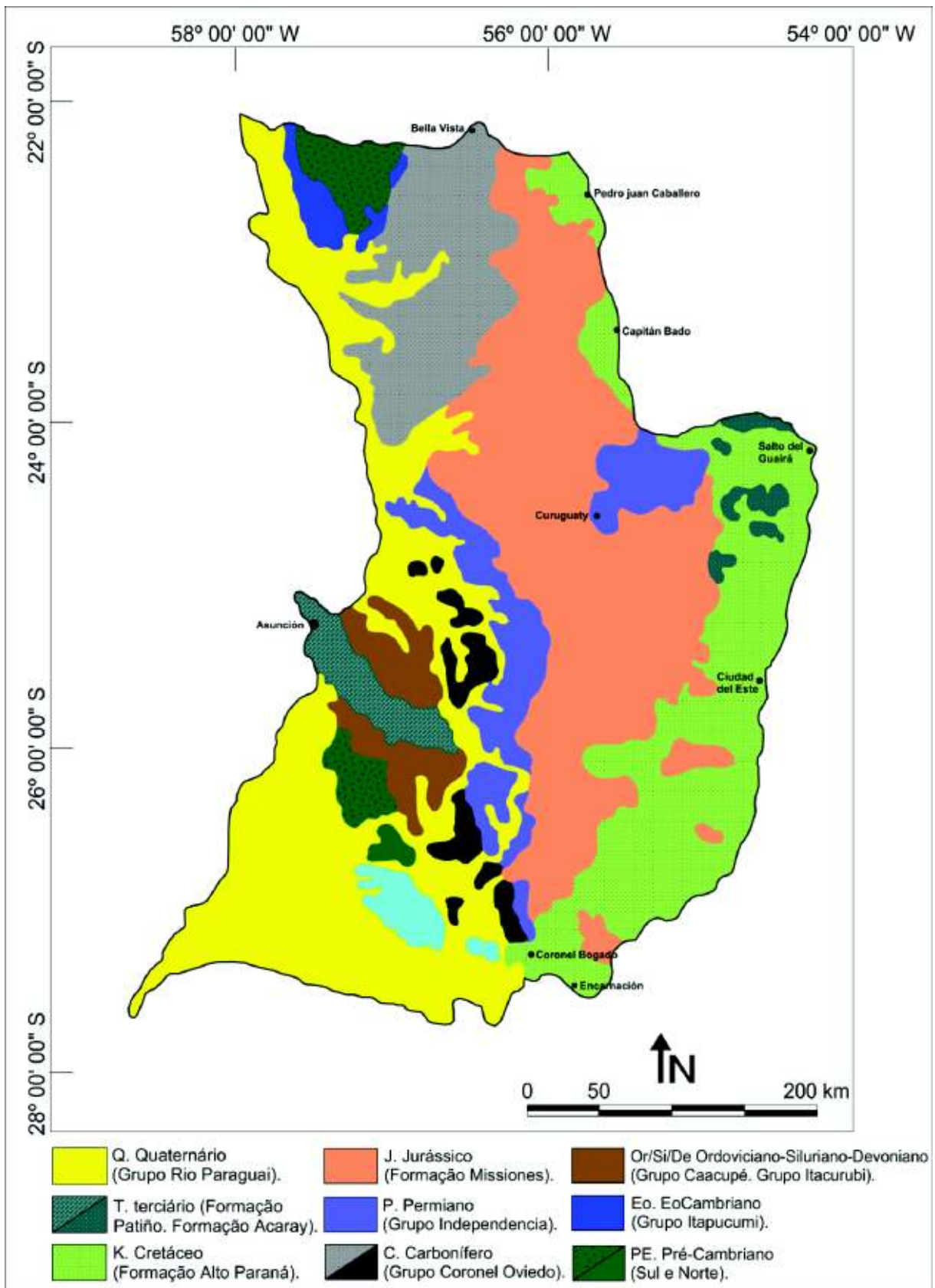


Figura 03. Mapa geológico esquemático do Paraguai Oriental. Fonte: Adaptado de ORUÉ (1996). Organização e Confecção: BADE (2014).

### 3. MÉTODOS E TÉCNICAS

Com o objetivo de identificar e caracterizar as unidades geomorfológicas das bacias do Paraná III (Brasil/Paraguai), com auxílio de geotecnologias, foram desenvolvidas as seguintes etapas: a) análise teórica referente à compartimentação taxonômica do relevo; b) elaboração de cartas básicas; c) elaboração de cartas temáticas e d) elaboração de carta dos compartimentos morfoesculturais.

#### 3.1. TAXONOMIA DO RELEVO

Ross (1992) aplicou em sua metodologia de compartimentação das formas do relevo os conceitos de morfoestrutura e morfoescultura, desenvolvidos pelos russos Guerasimov (1946) e Mecerjakov (1968), e organizou níveis taxonômicos (Figura 04).

Esta proposição da taxonomia é baseada, fundamentalmente, nas formas de relevo e nos seus mais diferentes tamanhos, representados conforme sua gênese e idades, com vistas ao significado morfogenético e às influências estruturais e esculturais no modelado. A taxonomia parte da formação mais antiga (Unidade Morfoestrutural) até a mais recente (formas de processos atuais – ravinas, voçorocas, dentre outros) (AMARAL; ROSS, 2006).

O modelado geomorfológico (morfoestrutura e morfoescultura) apresenta-se como produto da ação dinâmica dos processos endógenos e exógenos que atuaram e continuam atuando. Conforme Amaral e Ross (2006, p. 03), “[...] a utilização dos conceitos de morfoestrutura e morfoescultura, permitem distinguir a diversidade das formas do relevo em grupos genéticos mais importantes”.

Para Guerra e Cunha (1998), a caracterização dos domínios morfoestruturais encontra-se vinculada aos processos de gênese relacionados aos aspectos geotectônicos. Nesses domínios, prevalecem as características geológicas, resultando desse processo os grandes arranjos espaciais. “Esses fatores, em conjunto, geram arranjos regionais de relevo, com formas variadas, mas que guardam relações causais entre si” (GUERRA; CUNHA, 1998, p. 368).

Assim, de acordo com esta metodologia, a compartimentação do relevo apresenta a seguinte ordem:

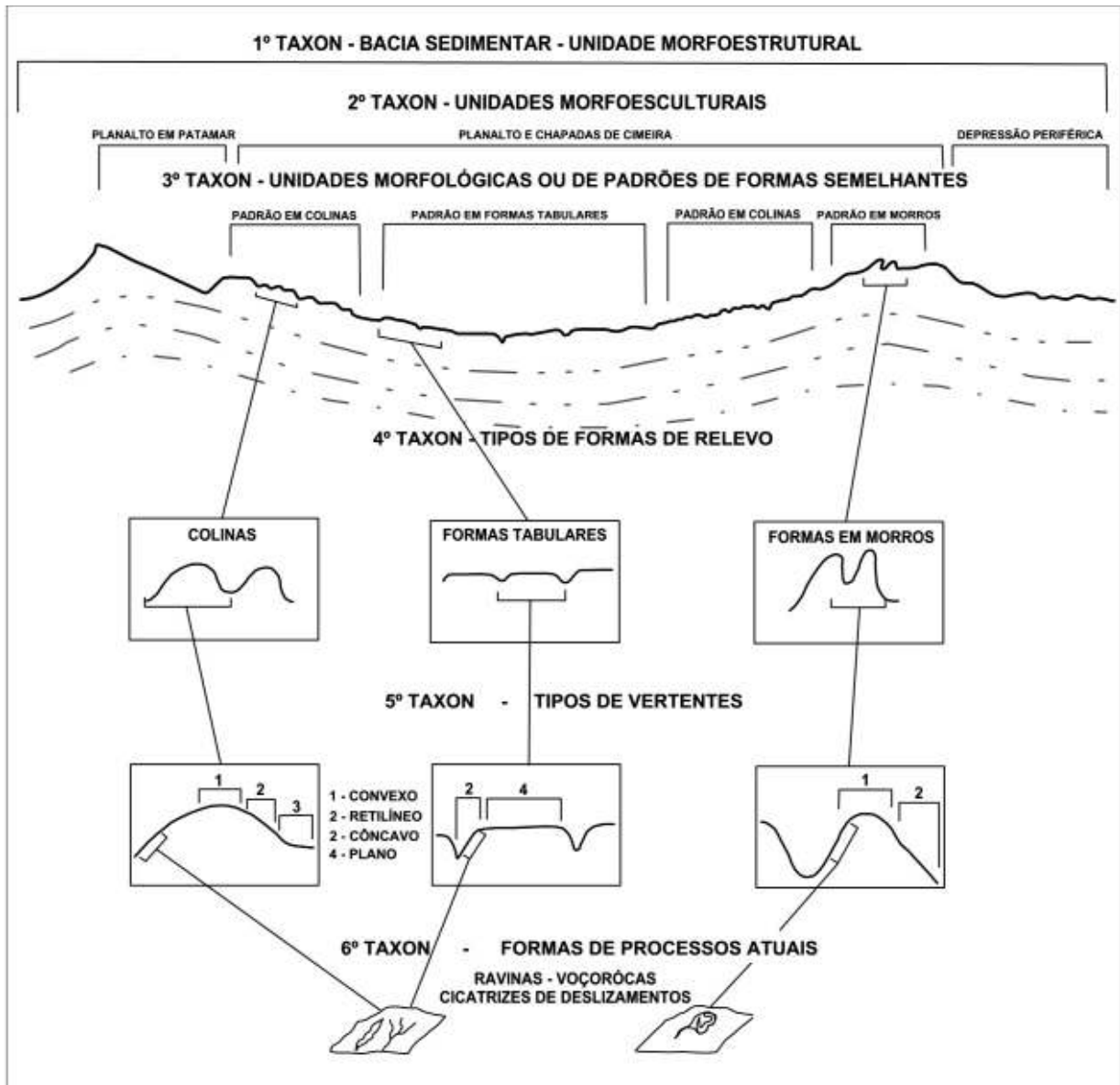


Figura 04. Taxonomia do relevo. Fonte: Adaptado de Ross (1992). Organização: BADE (2013).

- 1º Táxon: grandes unidades tectônicas, como escudos, dobramentos e bacias sedimentares.
- 2º Táxon: unidades morfoesculturais definidas pelo tempo e pelo clima, tais como depressões, planaltos e planícies.
- 3º Táxon: unidades de modelados diferenciadas pelas semelhanças topográficas e pela rugosidade de terreno.
- 4º Táxon: agrupamento de formas semelhantes, que podem ser de acumulação (terraços ou planícies fluviais e marinhas) ou degradação (morros ou cristas).
- 5º Táxon: Tipos de vertentes ou das seções de vertentes.



- 6º Táxon: Ações dos processos erosivos atuais, como voçorocas e ravinas.

Ross (1992) traz como exemplo a morfoestrutura da bacia sedimentar do Paraná. Nesta são encontradas diversas unidades morfoesculturais, ou seja, o primeiro táxon (morfoestrutura) define um determinado padrão de formas grandes do relevo. O segundo táxon (morfoescultura) é representado pelas unidades menores, geradas pela ação climática ao longo do tempo geológico.

Com os mais variados taxons ou categorias de formas de relevo definidos, “[...] pode-se com maior facilidade operacionalizar uma pesquisa geomorfológica tendo como apoio a cartografia das formas do relevo de diferentes tamanhos” (ROSS, 1992, p. 20).

Diante da escala da presente pesquisa (mapa base 1:250.000), a definição dos compartimentos seguiu parcialmente a metodologia abordada, chegando à caracterização e definição até o 3º táxon, pois conforme Ross e Moroz (1997, p. 45) “face a escala de trabalho não se pode representar individualmente os taxons 4º, 5º e 6º que exigem escalas de representação de maior detalhe”.

### 3.2. CARTAS BASE

As cartas base utilizadas na área de estudo em território brasileiro encontram-se em formato digital (Vetorial, *shape file*) e compatível com a escala de 1:250.000. Para a elaboração dessas cartas em território brasileiro foram utilizados os seguintes planos de informação:

- Procedeu-se à delimitação do estado, dos municípios e das principais rodovias do Oeste do Paraná (IBGE, 2013), em formato *shapefile*.

- As informações sobre a cobertura pedológica foram obtidas através do site do ITCG (2013), em formato *shapefile* na escala de 1:250.000.

- A rede hidrográfica foi obtida através do site do ITCG (2013), em formato vetorial (*shapefile*), na escala de 1:250.000. A SRTM, com resolução de 30 metros, refinados pelo projeto TOPODATA (INPE, 2013), foi utilizada em ambas as margens da bacia para melhorar o traçado dos canais de drenagem, encaixando-os conforme condicionamentos visto nas formas do relevo, a partir do formato visual em 3D,

corroborando para realização do mapeamento hidrográfico, aproximadamente na mesma escala (1:250.000).

- Geologia, obtido pela Mineropar (2006), Formato *shapefile*, disponíveis na escala de 1:250.000.

No que diz respeito às cartas base que abrangem a bacia de drenagem em território paraguaio:

- Departamentos, municípios e principais rodovias foram vetorizados e georreferenciados a partir de informações encontradas no site da Secretaria del Ambiente do Paraguai (SEAM, 2011), através do *link* GEOPORTAL – Mapas Temáticos *On Line*.

- A rede hidrográfica em território paraguaio foi vetorizada manualmente a partir da carta de solos de autoria de Gorostiaga *et. al.* (1995), procedimento este realizado com a utilização do software Global Mapper (versão 13.0). O traçado da rede hidrográfica foi corrigido e melhorado com auxílio da SRTM com resolução espacial 30 metros (INPE, 2013), transpondo o mapeamento hidrográfico para uma escala aproximada de 1:250.000.

- Carta de solos da região Oriental do Paraguai, disponível na escala de 1:500.000 de autoria de Gorostiaga *et. al.* (1995) que, posteriormente, foi georreferenciada, vetorizada e compatibilizada para a utilização na escala de 1:250.000.

- Esboço geológico do Paraguai Oriental, elaborado por Fariña (2009) em escala não definida. O esboço foi georreferenciado e vetorizado manualmente em escala compatível de 1:250.000.

### 3.3. CARTAS TEMÁTICAS INTERMEDIÁRIAS

Para a elaboração das cartas intermediárias (hypsométrica, declividade, relevo sombreado e curvatura vertical), foram utilizados os dados da missão SRTM (Shuttle Radar Topography Mission). Estes dados foram refinados da resolução espacial original de 3 arco-segundos (~90m) para 1 arco-segundo (~30m) e encontram-se disponibilizados pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais através do projeto TOPODATA (INPE, 2013). O software utilizado para a confecção dessas cartas foi o ArcGis 9.3 através de sua extensão ArcMap.

Os dados SRTM, abrangendo a bacia de drenagem, foram organizados em mosaico e contemplaram as seguintes cartas: 23s555, 23s54, 24s555, 24s54, 25s555 e 25s54 (formato TIFF).

Conforme destaca Torlay, Victoria e Oshiro (2011, p. 02):

O projeto TOPODATA oferece dados geomorfométricos em cobertura nacional, elaborados pelo INPE a partir dos dados SRTM. Segundo Valeriano (2010) os dados SRTM passaram pelo seguinte tratamento: “o preenchimento das falhas de aquisição, o refinamento da resolução espacial (de 3” para 1”) e, enfim, seu desdobramento em variáveis geomorfométricas e outros insumos derivados”.

A partir da imagem SRTM foi criado o modelo digital de elevação (DEM), possibilitando, dessa maneira, a obtenção de informações tridimensionais da área de estudo (latitude, longitude e altitude), como, também, da carta de declividade, hipsométrica, curvatura vertical e do relevo sombreado.

- Hipsometria: para a elaboração da carta hipsométrica, foi criada, primeiramente, uma estrutura de grade triangular conhecida como TIN (*Triangular Irregular Network*), a partir dos dados SRTM. O primeiro passo para a elaboração do TIN foi a extração das curvas de nível do SRTM através da barra de ferramentas “*3D analyst*”, “*surface analyst*” e, em seguida, o comando “*contour*”. Através dessas etapas, foram geradas curvas de nível em intervalos de 50 metros, sendo esse intervalo melhor compatibilizado com a área de estudo.

Com as curvas de nível geradas utilizou-se, novamente, o comando “*3D analyst*”, “*create modify TIN*” e o comando “*create TIN from features*”. Criado o TIN, em seguida na janela “*layer properties*” foi selecionada a opção “*elevation*” através da janela “*add renderer*”. Na aba “*classification*” foram estabelecidas sete classes altimétricas com intervalos de 100 metros. Essa classificação originou a carta de hipsometria. Por fim, utilizou-se a opção “*color ramp*” referente à escolha das cores padrão para a carta hipsométrica gerada.

- Declividade: a carta de declividade foi elaborada a partir das classes de declividade propostas por Ross (1994), tendo como objetivo demonstrar o ângulo de inclinação (zenital) do relevo em relação a um eixo horizontal. Esta carta também foi gerada através do TIN elaborado no passo anterior. Através da guia “*layers properties*” do TIN gerado, seguiu-se para a opção “*add...*”, “*face slope with graduated color ramp*”, gerando, assim, um novo plano de informação com os dados

de declividade. Após esta etapa, seguiu-se para a definição e o número de classes de declividade predominantes e compatíveis com a metodologia da pesquisa.

Selecionada a opção “*slope*” na guia “*layer properties*”, gerada no passo anterior, seguiu-se para a alternativa “*classification*” e, em seguida, selecionou-se a opção “*classify*”. Na nova janela aberta, através da opção “*method*” no quadrante “*classification*”, escolheu-se a alternativa “*manual*”, sendo escolhidas seis classes de declividade, com base nas classes de declividade propostas por Ross (1994) e apresentadas na seguinte ordem: 0 – 3%, 3 – 6%, 6 – 12%, 12 – 20%, 20 – 30% e > 30%.

A última etapa para a geração da carta de declividade foi estabelecer a classe de cores utilizada para a finalização do mapa. Utilizaram-se cores em degrade, sendo reservadas tonalidades mais intensas para as maiores classes de declividade e tonalidades mais fracas para as menores classes de declividade.

- Relevo sombreado (“*Shaded Relief*”): o plano de informação referente ao relevo sombreado foi editado e gerado através do *software* Envi 5.0, desenvolvido pela Excelis Visual Information Solution, inc. Para este plano, foram utilizadas como base as mesmas informações SRTM, ou seja, os mesmos dados utilizados para gerar as cartas hipsométrica e de declividade.

A partir da carta de relevo sombreado foi possível a identificação, de forma visual, dos diferentes graus de dissecação do relevo (Figura 05). A comparação direta visual permitiu classificar os diferentes padrões de rugosidade do terreno, realçando as regiões de morros, colinas, feições planares etc. (CARVALHO, 2008).

Os dados SRTM foram importados através da opção “*Open As*” > “*Generic Formats*” > “*TIFF/Geo TIFF*”. Aberto o arquivo SRTM, seguiu-se para a aba “*Toolbox*” e na pasta “*Terrain*” utilizou-se a ferramenta “*Topographic Modeling*”. Na janela com o nome “*Topographic Features input DEM*” em “*Select Input Band*”, selecionou-se a opção banda 1 “*Band 1*”, referente ao plano de informação necessário para a criação desta carta. Terminada esta etapa, na janela “*Topo Models Parâmetros*”, foi selecionada, somente, a opção “*Shaded Relief*” e, na guia abaixo, “*Comput Sun Elevation and Azimuth*”, foi utilizado o valor 30 para “*Elevation*” e 45 para “*Azimuth*”.

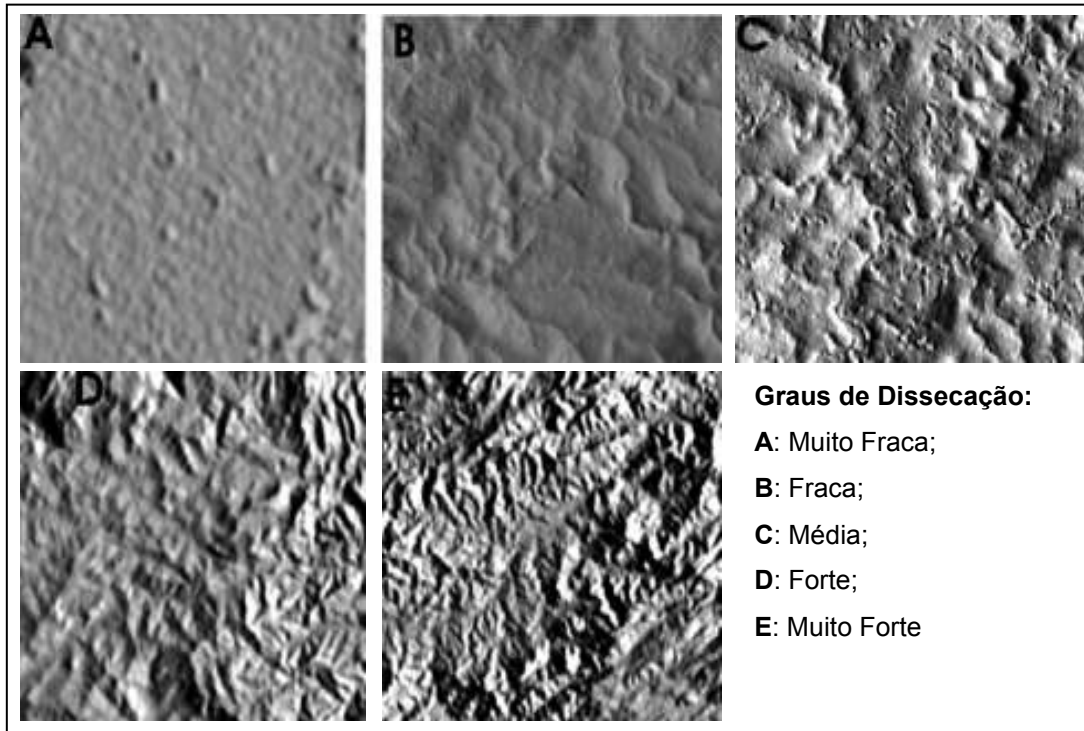


Figura 05. Aspecto da textura nas imagens SRTM sombreadas (*shade-relief*), indicando o grau de dissecação. Adaptado de Carvalho (2008).

O próximo passo foi exportar os dados com o relevo sombreado, automaticamente, para o *software* ArcMap através da opção “*Send to ArcMap*” para, então, finalizar este novo plano de informação.

- Curvatura vertical: a curvatura vertical tem por objetivo expressar o formato de determinada vertente, referindo-se ao caráter convexo/côncavo do terreno (Figura 06). Essa informação “é expressa em diferença de ângulo dividida por distância horizontal, o que pode assumir diferentes unidades” (VALERIANO, 2008, p. 35). O mapeamento da curvatura vertical encontra-se disponível através do site do INPE, para todo o território nacional, com opções de 3 e 5 classes. Conforme a escala da presente pesquisa, optou-se pela utilização da carta de curvatura vertical em 3 classes (relevo côncavo, retilíneo e convexo).

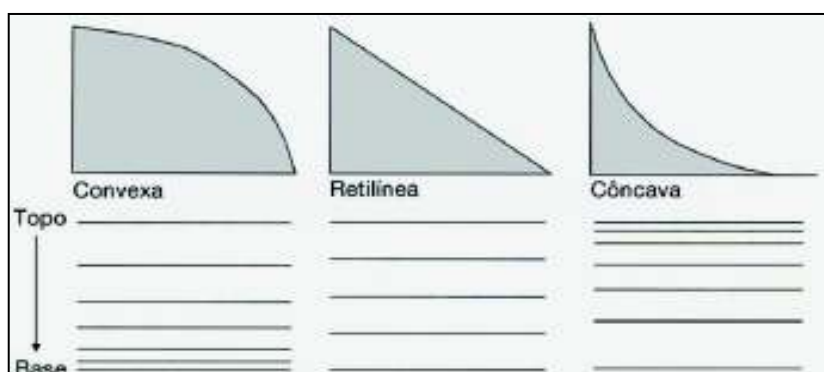


Figura 06. Curvatura vertical e sua expressão em curvas de nível.  
 Fonte: Florenzano (2008, p. 89)

Os dados de curvatura vertical foram baixados em formato GeoTiff (32 bits, com extensão .tif) e, posteriormente editados através da guia ArcMap, do *software* ArcGis 9.3.

### 3.4. CARTA DE COMPARTIMENTAÇÃO GEOMORFOLÓGICA

A metodologia da interpretação das imagens teve como base e critério, contemplando em partes, os trabalhos de Santos *et. al.* (2006) e Oka-Fiori *et. al.* (2006), relatados e utilizados para o mapeamento geomorfológico do Estado do Paraná.

Conforme referido por Ross (1992, p. 25):

A cartografia geomorfológica deve mapear concretamente o que se vê e não o que se deduz da análise geomorfológica, portanto em primeiro plano os mapas geomorfológicos devem representar os diferentes tamanhos de formas de relevo, dentro da escala compatível. Em primeiro plano deve-se representar as formas de diferentes tamanhos e em planos secundários, a representação da morfometria, morfogênese e morfocronologia, que têm vínculo direto com a tipologia das formas.

Nesse contexto, a interpretação dos planos de informação e mapeamento das unidades “[...] define-se pelo reconhecimento dos elementos texturais e estruturais do relevo na imagem, os quais se organizam em zonas homólogas, ou padrões de relevo” (SANTOS *et. al.*, 2006, p. 10).

A compartimentação geomorfológica preliminar foi resultado da análise e comparação dos seguintes planos de informação:

- Carta de declividade;
- Carta hipsométrica;
- Carta de relevo sombreado;
- Carta de curvatura vertical.

Após a elaboração da compartimentação preliminar, gerada através desses planos de informação, partiu-se para a análise e correlação com as seguintes cartas e etapas:

- Rede de drenagem;
- Carta geológica;

- Carta de solos;
- Levantamentos de campo.

A partir desses critérios, a delimitação das unidades (polígonos) foram vetorizadas manualmente através do software Global Mapper v. 13.00, desenvolvido pela Blue Marble Geographics, sem nenhum processo automatizado.

A análise comparativa dos referidos últimos planos de informação, assim como a confirmação em campo das unidades mapeadas, foram fundamentais para a elaboração e confecção da compartimentação das unidades morfoesculturais das bacias hidrográficas do Paraná III (Brasil/Paraguai).

### 3.5. LEVANTAMENTOS DE CAMPO

Os caminhamentos a campo (Figura 07), realizados nos dias 26 e 27/02/2013, 14 e 15/11/2013, 14/12/2013 e 18/01/2014, contemplaram todas as unidades morfoesculturais em território brasileiro (1.1.1A – SM de Toledo, 1.1.1B – SM de Santa Tereza do Oeste, 1.1.1C – SM de Nova Santa Rosa, 1.1.2 – UM de São Francisco, 1.1.3 – UM de Foz do Iguaçu, 1.1.4 – UM de Marechal Cândido Rondon, 1.1.5 – UM de Guaíra) e parcialmente, as unidades em território paraguaio (1.2.1 – UM de Corpus Christi e 1.2.2 – UM de Salto del Guairá).

Em campo, com o auxílio do GPS, foram anotadas as coordenadas (latitude, longitude e altitude), como, também, tomadas fotografias das áreas de interesse. Foram feitas anotações sobre a descrição da paisagem, contemplando as formas predominantes do relevo (formas e comprimento de vertentes, topos e fundos de vale), vegetação e uso do solo, tipos de solos e afloramentos de rochas encontrados nas bacias hidrográficas do Paraná III (Brasil/Paraguai).

Os dados coletados em campo foram lançados nos *softwares* SIGs (ArcGis 9.3 e Global Mapper 13) e correlacionados com a base de dados do mapeamento preliminar das unidades e subunidades morfoesculturais a fim de confirmar ou corrigir possíveis alterações nas unidades mapeadas.

Posteriormente, esses dados foram lançados nos *softwares* SIGs (ArcGis 9.3 e Global Mapper 13) e correlacionados com a base de dados do mapeamento preliminar das unidades e subunidades morfoesculturais a fim de confirmar ou corrigir possíveis alterações nas unidades identificadas.

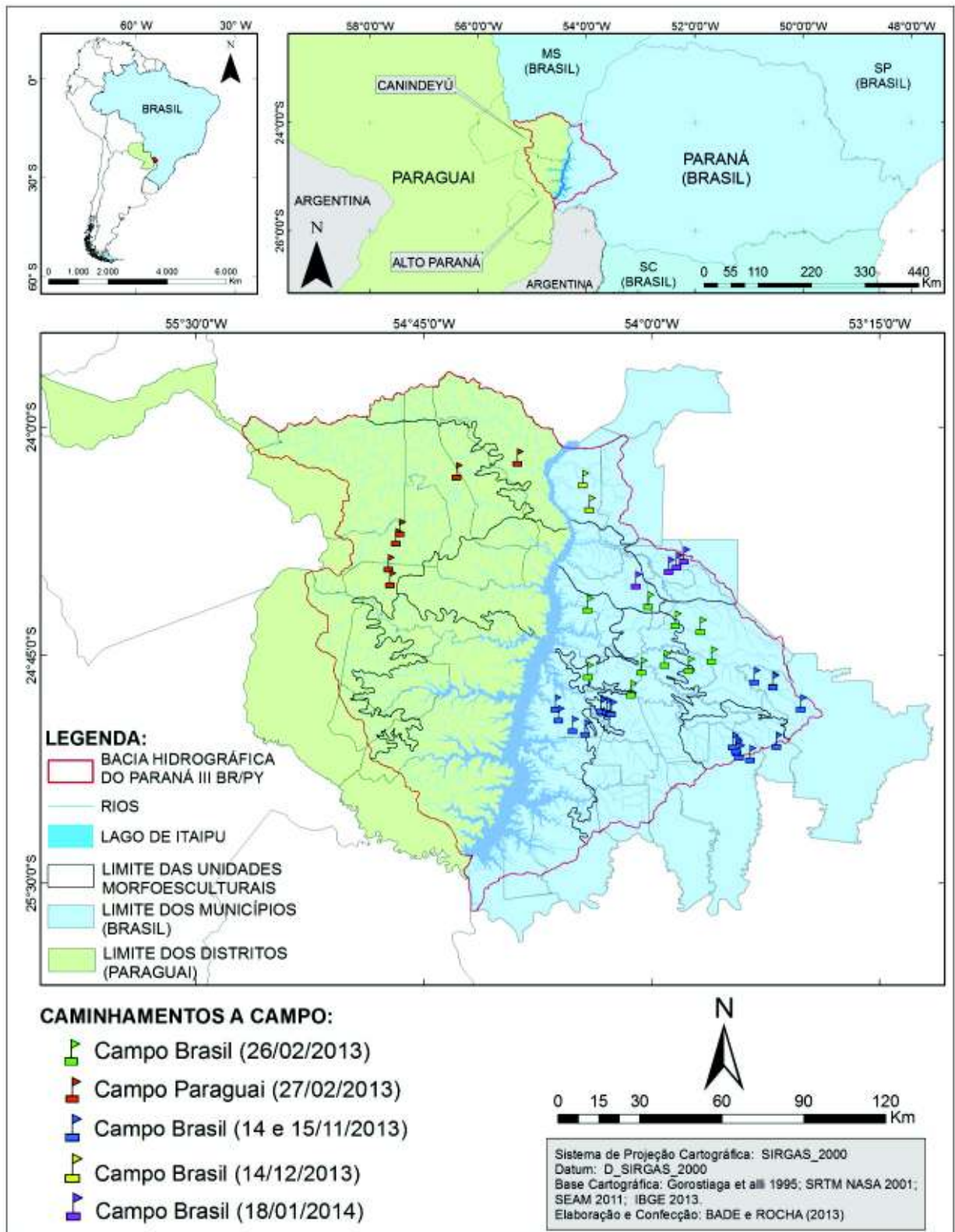


Figura 07. Localização das áreas monitoradas por meio dos caminhamentos a campo das bacias hidrográficas do Paraná III (Brasil/Paraguai). Organização e Confecção: BADE e ROCHA (2013).