



**UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA**

RODRIGO VITOR BARBOSA SOUSA

**ESTUDO SOBRE AS INUNDAÇÕES NO CURSO INFERIOR
DO RIO TIBAGI – PR**

RODRIGO VITOR BARBOSA SOUSA

**ESTUDO SOBRE AS INUNDAÇÕES NO CURSO INFERIOR
DO RIO TIBAGI - PR**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia, área de concentração: Dinâmica Geoambiental, da Universidade Estadual de Londrina, para a obtenção do Título de Mestre.

Orientadora: Prof.^a Dra Mirian Vizintim Fernandes Barros

Londrina
2012

**Catalogação elaborada pela Divisão de Processos Técnicos da Biblioteca Central da
Universidade Estadual de Londrina
Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)**

S725e Sousa, Rodrigo Vitor Barbosa.

Estudo sobre as inundações no curso inferior do rio Tibagi - PR / Rodrigo
Vitor Barbosa Sousa. – Londrina, 2012.
191 f. : il.

Orientador: Mirian Vizintim Fernandes Barros.

Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Estadual de Londrina,
Centro de Ciências Exatas, Programa de Pós-Graduação em Geografia, 2012.
Inclui bibliografia.

1. Geomorfologia – Teses. 2. Hidrologia – Teses. 2. Mapeamento
geomorfológico – Teses. 3. Tibagi, Rio (PR) – Inundações – Teses. 4.
Geoprocessamento – Teses. I. Barros, Mirian Vizintim Fernandes. II.
Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Exatas. Programa de
Pós-Graduação em Geografia. III. Título.

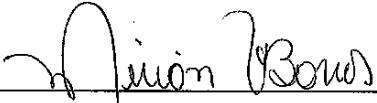
CDU 911.2:551.4

RODRIGO VITOR BARBOSA SOUSA

**ESTUDO SOBRE AS INUNDAÇÕES NO CURSO INFERIOR DO RIO
TIBAGI - PR**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia, área de concentração: Dinâmica Geoambiental, da Universidade Estadual de Londrina, para a obtenção do Título de Mestre.

COMISSÃO EXAMINADORA



Prof.ª Dra Mirian Vizintim Fernandes Barros

Universidade Estadual de Londrina



Prof. Dr. Edvard Elias de Souza Filho

Universidade Estadual de Maringá



Prof. Dr. André Celligoi

Universidade Estadual de Londrina



Rodrigo Vitor Barbosa Sousa
aluno

Londrina, 12 de março de 2012

A Deus e aos meus pais, Antonio
Carlos e Célia, dedico.

AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pela concessão de bolsa, embora por apenas um período *de um ano*, devido a *critérios* estabelecidos pelo curso de pós-graduação Geografia, Dinâmica Espaço – Ambiental / UEL, a saber: *rodízio de bolsa*.

Ao mestrado Geografia, Dinâmica Espaço – Ambiental / UEL, por permitir a realização desse trabalho.

À Prof.^a Dra Mirian Vizintim Fernandes Barros, professora associada ao Departamento de Geociências – CCE / UEL, pela amizade e pela orientação do trabalho.

Aos meus pais, Antonio Carlos e Célia, pelo apoio.

À Karina, minha irmã e ao Rafael, meu irmão, pelo apoio.

Ao Prof. Dr. Osvaldo Coelho Pereira Neto, professor associado ao Departamento de Geociências – CCE / UEL, pelas sugestões referentes às técnicas de sensoriamento remoto orbital e por tomar parte do trabalho no exame de qualificação.

Ao Prof. Dr. André Celligoi, professor associado ao Departamento de Geociências – CCE / UEL, pelas sugestões no que diz respeito ao mapeamento geomorfológico e por aceitar o convite em compor a comissão examinadora do presente trabalho.

Ao Prof. Dr. Edvard Elias de Souza Filho – Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Estadual de Maringá – por aceitar o convite em compor a comissão examinadora do presente trabalho e pelas sugestões apresentadas.

Ao Prof. Dr. Valmir de França, ex-professor do Departamento de Geociências – CCE / UEL, pelas sugestões referentes às técnicas de hidrologia aplicada.

À Prof.^a Dra Deize Dias Lopes, professora associada ao Departamento de Construção Civil – CTU / UEL, pelas sugestões quanto à utilização de técnicas relacionadas à hidrologia aplicada.

Ao Prof. Dr. João Afonso Zavattini, professor associado ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas – IGCE / UNESP, Campus Rio Claro, pelas sugestões apresentadas no início do trabalho.

Ao Prof. Dr. Pedro R. S. Vendrame, professor associado ao Departamento de Geociências da Universidade Estadual de Londrina - CCE / UEL, pelas sugestões na interpretação dos resultados de análise textural e perfil do solo. Ao Jean Carlos Santos Oliveira, graduando em Agronomia e estagiário do Laboratório de Solos CCA / UEL, pela assistência na obtenção dos resultados de análise textural.

Ao Sr. Dorival Pereira Duarte, diretor do Departamento Urbano e Viação e coordenador da Defesa Civil da cidade de Jataizinho – PR, pelas informações concedidas e pelo auxílio nos trabalhos de campo.

Ao Sr. Marcelo Aguiar, funcionário da prefeitura de Jataizinho – PR, pelas informações concedidas e pelo auxílio nos trabalhos de campo.

Ao Instituto Agronômico do Paraná – IAPAR, pelo envio de dados meteorológicos.

Ao Sistema Meteorológico do Paraná – SIMEPAR, pelo envio de dados meteorológicos.

Ao Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, pelo envio de dados meteorológicos.

À Agência Nacional de Águas – ANA, pela disponibilidade de dados meteorológicos e hidrológicos.

Ao Sr. Edson Sakae Nagashima, funcionário do Instituto de Águas do Paraná, extinta Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental – SUADERHSA, pelo envio de dados atualizados de cota fluviométrica e vazão.

À secretária Regina e aos secretários Valter e Anderson, ambos secretários da Pós-Graduação – CCE / UEL, pela assistência nos trâmites burocráticos do curso.

Às secretárias Edna e Regina, do Departamento de Geociências - CCE / UEL, pelo incentivo durante o desenvolvimento da pesquisa.

À Prof.^a Dra. Maria Isabel Borges, professora colaboradora do Departamento de Letras Vernáculas e Clássicas – CCH / UEL, pela correção da gramática.

Registraram-se aqui, meus sinceros agradecimentos, a todas as pessoas e instituições, que contribuíram direta ou indiretamente para a realização desta pesquisa.

"O progresso da ciência e da técnica, contingência fundamental para o desenvolvimento intelectual e material da sociedade, é marcado por uma paradoxal e difícil problemática nos países não desenvolvidos. As instituições de ensino e de pesquisa são as que formam os cientistas e técnicos para atuarem na sociedade e apresentam, ao mesmo tempo, carências de toda ordem. Neste contexto é de se esperar que os trabalhos elaborados em tais instituições apresentem, assim como os profissionais delas oriundos, lacunas ou insuficiências de qualidade; quando ocorre o contrário, o mérito é sobretudo da instituição ou indivíduo que, depreendendo enorme esforço, supera os relevantes obstáculos deparados no difícil caminho da pesquisa científica no mundo não desenvolvido".

MENDONÇA (1994, p.5).

SOUZA, Rodrigo Vitor Barbosa. Estudo sobre as inundações no curso inferior do rio Tibagi – PR. 2012. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina. 2012.

RESUMO

O objetivo do presente trabalho foi realizar um estudo acerca das inundações ocorridas, na área compreendida entre a cidade de Jataizinho e a foz do rio Tibagi, ambas situadas no Estado do Paraná. A metodologia utilizada baseou-se na análise de dados hidroclimáticos, na utilização de técnicas de geoprocessamento, em trabalhos de campo e em mapeamento geomorfológico de áreas sujeitas à inundaçāo na cidade de Jataizinho. A área do espelho d'água, calculada através de operações aritméticas de bandas, especificamente através da técnica denominada subtração do pixel escuro, indicou uma área de 123,1 Km² em 20/02/2005 e 102 Km² em 09/10/2007. A diferença de área, igual a 21,1 Km², foi considerada pequena devido à vazão do rio Paranapanema, em seu médio curso, divisa entre os Estados de Paraná e São Paulo, ser regularizada pela hidrelétrica de Capivara. Ressalta-se que, a construção da hidrelétrica de Capivara alterou a vazão, na foz do rio Tibagi, transformando-a em área de remanso. O mapeamento geomorfológico foi realizado com base em trabalhos de campo e fotointerpretação de fotos áreas e de imagens orbitais. Nesse sentido, verificou-se que as áreas sujeitas à inundaçāo encontram-se, em planícies de inundaçāo, ou ambientes de acumulação fluvial – Apf. Os resultados indicaram que as inundações, na cidade de Jataizinho, estão relacionadas com as características geomorfológicas dos locais susceptíveis à inundaçāo. Apesar de terem sido constatadas evidências de que as inundações não estão relacionadas com o remanso existente, na foz do rio Tibagi, estudos mais aprofundados deverão ser realizados, a fim de corroborar ou refutar esta hipótese.

Palavras-chave: Planície de inundaçāo. Rio Tibagi. Hidrologia. Mapeamento geomorfológico. Geoprocessamento.

SOUSA, Rodrigo Vitor Barbosa. Study regarding the floodings in the lower course of the Tibagi river, Paraná state, Brazil. 2012. 191 f. Dissertation (Master's Degree Dissertation) – Londrina State University, Londrina. 2012.

ABSTRACT

The aim of this paper was to study the flooding occurrence between Jataizinho town and Tibagi river mouth, both located in Paraná state, Brazil. The used methodology was based in the analysis of hydrometeorological data, GIS techniques, field work and geomorphological mapping of areas subject to flooding in Jataizinho town. The area of the water surface was 47.5 mi² (123.1 Km²) in 20/02/2005 and 39.4 mi² (102 Km²) in 09/10/2007. It was calculated through arithmetic operations of bands, specifically through the technique called dark-pixel subtraction. The area variation was 8.1 m² (21,1 Km²), considered a small one due to the fact that the Paranapanema river's discharge in its medium course, which is a borderline between Paraná and São Paulo states, Brazil, is regularized by the Capivara hydroelectric. It is important to point out that the building of Capivara hydroelectric changed the discharge at Tibagi river's mouth, transforming this local in a backwater area. The geomorphological mapping was made through field work and photointerpretation of aerial photos and orbital images. In this sense, was verified that the areas subject to flooding are located in floodplain or, in agreement with the Brazilian literature, in environments of fluvial accumulation – Apf. The results proved that the floods in Jataizinho town are related to the geomorphological characteristics of the areas subject to flooding. Although the results proved that the floods are not related to the backwater at Tibagi river's mouth, future researches, with others methodologies, may be developed in order to corroborate or to refute this hypothesis.

Keywords: Floodplain. Tibagi river. Hydrology. Geomorphological mapping. GIS.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 –	Localização da área de estudo	22
Figura 2 –	Estrutura e organização de um banco de dados geográficos	39
Figura 3 –	Geologia regional da área de estudo	42
Figura 4 –	Modelo Numérico do Terreno – MNT – da área de estudo	46
Figura 5 –	Tipos de solos da área de estudo	48
Figura 6 –	Rede hidrográfica da área de estudo	49
Figura 7 –	Estações meteorológicas e postos pluviométricos selecionados	62
Figura 8 –	Régressão linear para preenchimento de falhas da estação Santa Cruz – 02550003, no mês de agosto	69
Figura 9 –	Régressão linear para preenchimento de falhas da estação Santa Cruz – 02550003, no mês de setembro.....	69
Figura 10 –	Régressão linear para preenchimento de falhas da estação Santa Cruz – 02550003, no mês de outubro	69
Figura 11 –	Régressão linear para preenchimento de falhas da estação Santa Cruz – 2550003, no mês de novembro.....	70
Figura 12 –	Régressão linear para preenchimento de falhas da estação Santa Cruz – 2550003, no mês de dezembro.....	70
Figura 13 –	Análise de Consistência de Dados, no alto e médio curso. Estação Usina Manoel Ribas – 02550015 apresentando mudança de tendência na reta, a partir de 1982.....	72
Figura 14 –	Análise de Consistência de Dados, no alto e médio curso. Posto pluviométrico Santa Cruz – 02550003 substituindo o posto Usina Manoel Ribas - 02550015. Tendência das retas dos três postos apresentando traçado similar	72
Figura 15 –	Análise de Consistência de Dados, no curso inferior. Tendência das retas das duas estações apresentando traçado similar.....	73
Figura 16 –	Localização das estações fluviométricas selecionadas	78
Figura 17 –	Localização dos pontos de controle utilizados para o georreferenciamento das imagens orbitais	93

Figura 18 –	Composições RGB utilizadas para a fotointerpretação das imagens orbitais do satélite CBERS 2B. Órbita 158. Ponto 126. Data de passagem 07/04/2010	95
Figura 19 –	Imagen ilustrando leitura de <i>pixel</i> em trecho do rio Tibagi	100
Figura 20 –	Leitura de <i>pixel</i> com valor zero no histograma de contraste	101
Figura 21 –	Regime pluviométrico. Estação meteorológica de Ibirapuã – 02351011	104
Figura 22 –	Regime pluviométrico. Estação meteorológica de Londrina – 02351003	105
Figura 23 –	Regime pluviométrico. Estação meteorológica de Telêmaco Borba – 02450011	105
Figura 24 –	Regime pluviométrico. Estação meteorológica de Santa Cruz – 02550003	106
Figura 25 –	Regime pluviométrico. Estação meteorológica de Fernandes Pinheiro – 02550025	106
Figura 26 –	Isoietas de precipitação – média histórica anual	109
Figura 27 –	Isoietas de precipitação – primavera	109
Figura 28 –	Isoietas de precipitação – verão	109
Figura 29 –	Isoietas de precipitação – outono	109
Figura 30 –	Isoietas de precipitação – inverno	109
Figura 31 –	Série histórica de precipitação anual. Estação meteorológica de Londrina – 02351003	111
Figura 32 –	Série histórica de precipitação anual. Estação meteorológica de Ibirapuã – 02351011	112
Figura 33 –	Série histórica de precipitação anual. Estação meteorológica de Telêmaco Borba – 02450011	112
Figura 34 –	Série histórica de precipitação anual. Estação pluviométrica de Santa Cruz – 02550003	113
Figura 35 –	Série histórica de precipitação anual. Estação meteorológica de Fernandes Pinheiro – 02550025	113
Figura 36 –	Série histórica de temperatura média. Estação Meteorológica de Londrina – 02351003	114
Figura 37 –	Série histórica de temperatura média. Estação Meteorológica de Ibirapuã – 02351011	114

Figura 38 –	Série histórica de temperatura média. Estação Meteorológica de Telêmaco Borba – 02450011	115
Figura 39 –	Série histórica de temperatura média. Estação Meteorológica de Fernandes Pinheiro – 02550025	115
Figura 40 –	Fluviograma indicando o regime hidrológico do rio Tibagi. Utilizado médias históricas de cada estação (média das médias)	116
Figura 41 –	Fluviograma indicando o regime hidrológico do rio Tibagi e de tributários do curso superior. Utilizado médias históricas de cada estação (média das médias)	118
Figura 42 –	Relação entre regime pluviométrico do baixo curso do Tibagi e regime hidrológico das estações fluviométricas de Jataizinho – 64507000 e de Porto Londrina – 64501000. Utilizado médias históricas (média da média).....	119
Figura 43 –	Relação entre regime pluviométrico do alto curso do Tibagi e regime hidrológico das estações fluviométricas de Jataizinho – 64507000 e de Porto Londrina – 64501000. Utilizado médias históricas (média da média).....	120
Figura 44 –	Relação entre regime pluviométrico do alto, médio e baixo curso do rio Tibagi e regime hidrológico das estações fluviométricas de Jataizinho – 64507000 e de Porto Londrina – 64501000. Utilizado médias históricas (média das médias)	121
Figura 45 –	Fluviograma com valores médios, máximos e mínimos de vazão e cota fluviométrica do rio Tibagi. Estação fluviométrica de Jataizinho – 64507000. Utilizado médias históricas.....	121
Figura 46 –	Fluviograma com valores médios, máximos e mínimos de vazão e cota fluviométrica do rio Tibagi. Estação fluviométrica de Porto Londrina - 64501000. Utilizado médias históricas.....	122
Figura 47 –	Séries normalizadas da estação fluviométrica de Jataizinho – 64507000 – para identificação de anos atípicos	123

Figura 48 –	Séries normalizadas da estação fluviométrica de Tibagi – 64465000 – para identificação de anos atípicos	124
Figura 49 –	Série temporal dos débitos médios da estação fluviométrica de Jataizinho – 64507000	126
Figura 50 –	Série temporal dos débitos médios da estação fluviométrica de Tibagi – 64465000	126
Figura 51 –	Curva de Permanência obtida, através dos dados limimétricos da estação fluviométrica de Jataizinho – 64507000	128
Figura 52 –	Curva de Permanência obtida, através dos dados de vazão da estação fluviométrica de Jataizinho – 64507000	129
Figura 53 –	Curva-Chave da estação fluviométrica de Jataizinho – 64507000	130
Figura 54 –	Área do rio Tibagi, compreendida entre Jataizinho e a foz do rio Tibagi, obtida por meio de operações aritméticas de bandas. Período de águas altas – potamofase – em ano próximo à normalidade. 20/02/2005.....	136
Figura 55 –	Área do rio Tibagi, compreendida entre Jataizinho e a foz do rio Tibagi, obtida por meio de operações aritméticas de bandas. Período de águas baixas – limnofase – em ano próximo à normalidade. 09/04/2005.....	136
Figura 56 –	Área do rio Tibagi, compreendida entre Jataizinho e a foz do rio Tibagi, obtida por meio de operações aritméticas de bandas. Período de águas baixas – limnofase – em ano atípico positivo. 09/06/1998.	137
Figura 57 –	Área do rio Tibagi, compreendida entre Jataizinho e a foz do rio Tibagi, obtida por meio de operações aritméticas de bandas. Período de águas altas – potamofase – em ano próximo à normalidade. 09/10/2007.....	137
Figura 58 –	Hidrógrafa referente à imagem de 09/06/1998. Estação fluviométrica de Jataizinho – 64507000	140
Figura 59 –	Hidrógrafa referente à imagem de 09/04/2005. Estação fluviométrica de Jataizinho – 64507000	140

Figura 60 –	Hidrógrafo referente à imagem de 20/02/2005. Estação fluviométrica de Jataizinho – 64507000	141
Figura 61 –	Hidrógrafo referente à imagem de 09/10/2007. Estação fluviométrica de Jataizinho – 64507000	141
Figura 62 –	Hidrógrafo abrangendo o período de águas altas do rio Tibagi. Estação fluviométrica de Jataizinho – 64507000	143
Figura 63 –	Hidrógrafo abrangendo os períodos de águas altas e águas baixas do rio Tibagi. Estação fluviométrica de Jataizinho – 64507000	144
Figura 64 –	Locais sujeitos à inundação identificados em trabalhos de campo	148
Figura 65 –	Imagens dos pontos sujeitos à inundação verificados em trabalhos de campo	149
Figura 66 –	Imagens dos pontos sujeitos à inundação verificados em trabalhos de campo	151
Figura 67 –	Imagens dos pontos sujeitos à inundação verificados em trabalhos de campo	153
Figura 68 –	Imagens com eventos de inundações na cidade de Jataizinho.....	156
Figura 69 –	Mapeamento geomorfológico realizado com base em fotointerpretação de fotos áreas	159
Figura 70 –	Mapeamento geomorfológico realizado com base em fotointerpretação de fotos áreas e imagens orbitais	160
Figura 71 –	Lagoa em antigo local utilizado para extração de argila	161
Figura 72 –	Estação de tratamento de esgoto da cidade de Jataizinho – PR	161
Figura 73 –	Perfil de solo analisado. Nítida variação de cor, com predominância de tom amarelado, a partir da camada 4 – C4	163
Figura 74 –	Triângulo para classificação das classes texturais do solo, adotado pela Sociedade Brasileira de Ciência do Solo	165
Figura 75 –	Resultados da análise textural. Porcentagem de areia total, silte e argila	166

Figura 76 –	Padrão mosqueado observado na camada 5 – C5	168
Figura 77 –	Mapa clinográfico focando a área em que foi realizado o mapeamento geomorfológico.....	171
Figura 78 –	Modelo Numérico do Terreno – MNT – focando a área em que foi realizado o mapeamento geomorfológico	172
Figuras 79 –	Curvas de nível do sítio urbano de Jataizinho, focando a área em que foi realizado o mapeamento geomorfológico	173
Figura 80 –	Relação entre a cota zero da régua e as cotas topográficas das cotas fluviométricas máximas, da estação fluviométrica de Jataizinho.....	175
Figura 81 –	Relação entre as cotas fluviométricas máximas e a média histórica das cotas fluviométricas máximas, da estação fluviométrica de Jataizinho	176

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Matriz com classes de dissecação.....	44
Tabela 2 –	Matriz com classes de dissecação.....	45
Tabela 3 –	Coordenadas geográficas dos pontos de controle utilizados para o georreferenciamento das imagens orbitais	90
Tabela 4 –	Erro de controle dos pontos utilizados para registro. Satélite CBERS 2B. Mosaico: Órbita 159. Pontos 125 e 126. Data de Passagem: 09/10/2007. Escala 1:374177	91
Tabela 5 –	Erro de controle dos pontos utilizados para registro. Satélite CBERS 2B. Órbita 158. Ponto 126. Data de Passagem: 07/04/2010. Escala 1:437296	91
Tabela 6 –	Erro de controle dos pontos utilizados para registro. Satélite LANDSAT 5. Órbita 222. Ponto 76. Data de Passagem: 09/06/1998. Escala 1:401012	91
Tabela 7 –	Erro de controle dos pontos utilizados para registro. Satélite LANDSAT 5. Órbita 222. Ponto 76. Data de Passagem: 20/02/2005. Escala 1:401012	92
Tabela 8 –	Erro de controle dos pontos utilizados para registro. Satélite LANDSAT 5. Órbita 222. Ponto 76. Data de Passagem: 09/04/2005. Escala 1:401012	92
Tabela 9 –	Valores de corte identificados na leitura de <i>pixel</i>	100
Tabela 10 –	Variáveis obtidas pela fórmula de <i>Sturges</i>	111
Tabela 11 –	Validação da curva-chave indicando a vazão observada e a vazão calculada	131
Tabela 12 –	Valores de cotas fluviométricas e Qcalc a cada 10 cm.....	132
Tabela 13 –	Valores de área do trecho do baixo Tibagi, calculada através de operações aritméticas de bandas	138
Tabela 14 –	Valores de cota e vazão, referentes às datas das imagens orbitais, utilizadas para o cálculo da área do espelho d'água.....	142
Tabela 15 –	Resultados da análise textural. Porcentagem de areia total, silte e argila.....	165
Tabela 16 –	Classes texturais identificadas nas amostras de solo.....	166

Tabela 17 –	Datas que ocorreram as maiores cotas fluviométricas, na estação fluviométrica de Jataizinho – 64507000, no período de 1932 a 2009	176
--------------------	---	-----

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 –	Organograma descrevendo as principais etapas adotadas na pesquisa.....	55
Quadro 2 –	Informações sobre as imagens de satélite utilizadas	58
Quadro 3 –	Fotos aéreas consultadas e utilizadas no mapeamento geomorfológico.....	59
Quadro 4 –	Identificação de falhas nos dados pluviométricos	61
Quadro 5 –	Estações meteorológicas e postos pluviométricos selecionados	63
Quadro 6 –	Informações sobre localização e altitude das estações selecionadas para substituição da estação de Ponta Grossa – 02550024	68
Quadro 7 –	Informações descritivas sobre as estações fluviométricas selecionadas	79
Quadro 8 –	Articulação das cartas topográficas do ITCG e os referentes códigos destas, conforme o IBGE	89
Quadro 9 –	Legenda detalhada da figura 18	96
Quadro 10 –	Legenda detalhada das imagens contidas na figura 65	150
Quadro 11 –	Legenda detalhada das imagens contidas na figura 66	152
Quadro 12 –	Legenda detalhada das imagens contidas na figura 67	154
Quadro 13 –	Legenda detalhada das imagens contidas na figura 68	157

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO.....	21
1.1 RELEVÂNCIA DO TEMA E CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA.....	21
1.2 HIPÓTESES DE TRABALHO	23
1.3 OBJETIVOS	24
CAPÍTULO 2 - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	25
2.1 BASES TEÓRICO-METODOLÓGICAS	25
2.2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	30
CAPÍTULO 3 - ASPECTOS FÍSICO-GEOGRÁFICOS	41
3.1 GEOLOGIA.....	41
3.2 GEOMORFOLOGIA	43
3.3 PEDOLOGIA	46
3.4 HIDROGRAFIA	48
3.5 CLIMA	50
3.6 VEGETAÇÃO	53
CAPÍTULO 4 - MATERIAIS E PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	54
4.1 MATERIAIS UTILIZADOS	56
4.2 BASES CARTOGRÁFICAS.....	56
4.3 OBTENÇÃO DOS DADOS HIDROCLIMÁTICOS	59
4.4 SELEÇÃO DAS ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS E PLUVIOMÉTRICAS	60
4.4.1 Preenchimento de Falhas dos Dados de Precipitação	64
4.4.2 Análise de Consistência de Dados	71
4.4.3 Variáveis Analisadas com os Dados de Precipitação.....	74
4.5 SELEÇÃO DAS ESTAÇÕES FLUVIOMÉTRICAS	77
4.5.1 Preenchimento de Falhas dos Dados Fluviométricos.....	80
4.5.2 Variáveis Hidrológicas Analisadas	81
4.6 TRATAMENTO DE IMAGENS DIGITAIS	86
4.7 CÁLCULO DA ÁREA DO ESPELHO D'ÁGUA	97
4.8 IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS SUJEITAS À INUNDAÇÃO	102

CAPÍTULO - 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	104
5.1 REGIME PLUVIOMÉTRICO	104
5.2 REGIME HIDROLÓGICO E ANOS ATÍPICOS POSITIVOS.....	116
5.3 CURVA DE PERMANÊNCIA	127
5.4 CURVA-CHAVE OU RELAÇÃO COTA-DESCARGA.....	129
5.5 MAPEAMENTO DO ESPELHO D'ÁGUA	133
5.6 IDENTIFICAÇÃO E MAPEAMENTO GEOMORFOLÓGICO DE ÁREAS SUJEITAS À INUNDAÇÃO	146
CAPÍTULO 6 - CONSIDERAÇÕES E RECOMENDAÇÕES	178
REFERÊNCIAS.....	181
BIBLIOGRAFIA CONSULTADA	191

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

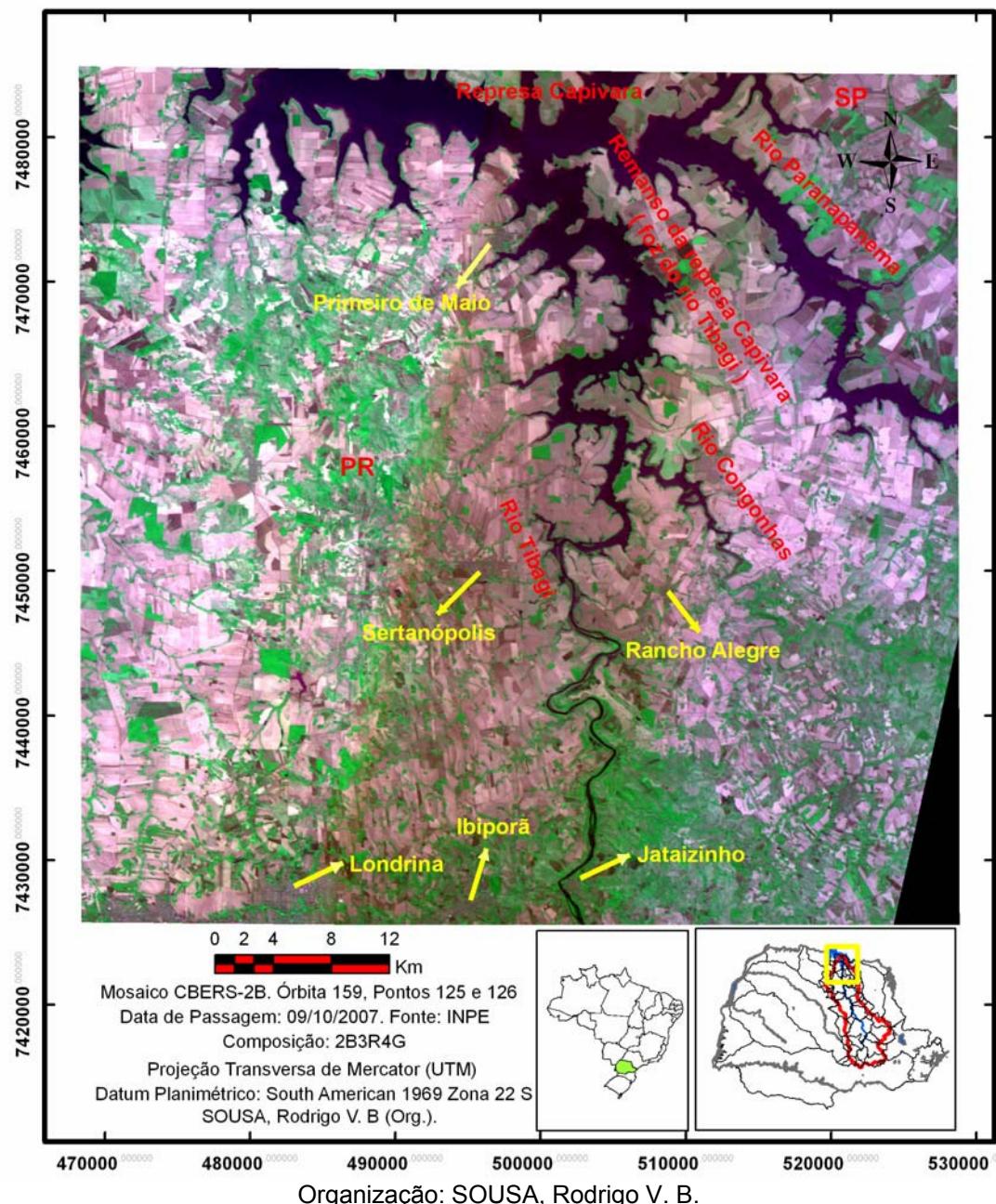
1.1 RELEVÂNCIA DO TEMA E CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA

O rio Tibagi – PR é o principal tributário da margem esquerda do rio Paranapanema, com aproximadamente 550 quilômetros de percurso, inserido em uma bacia hidrográfica com 24.712 Km² de área de drenagem (MAACK, 1981, p.329; FRANÇA, 2002, p.47), ambos constituintes da bacia hidrográfica do rio Paraná.

A operação da hidrelétrica Escola Engenharia Mackenzie - Capivara, no médio Paranapanema, especificamente na bacia hidrográfica do Paranapanema III, divisa entre os Estados de São Paulo e Paraná, a qual viabilizou o surgimento da represa de Capivara; provocou algumas modificações na área do espelho d'água tanto, no rio Paranapanema, como na foz do rio Tibagi. Assim posto, a foz do rio Tibagi foi transformada em área de remanso.

Inserida na área de estudo do presente trabalho, a cidade de Jataizinho – PR, localizada no baixo Tibagi (Figura 1), destaca-se na literatura no que diz respeito à ocorrência de enchentes influenciadas pelo rio Tibagi, antes mesmo da operação da hidrelétrica de Capivara (BADIN, 1992, p.16). Embora existam trabalhos de modelagem hidrológica, na área em questão, não se tem conhecimento de pesquisas desenvolvidas, no baixo Tibagi, a fim de diagnosticar o extravasamento do referido rio em sua planície de inundação, aliando técnicas de interpretação de imagens orbitais a dados hidroclimáticos. A ausência de trabalhos dessa natureza – com o objetivo de melhor avaliar a dinâmica hidrológica, no curso inferior do rio Tibagi, e os problemas sociais decorrentes de enchentes – foi o que justificou o desenvolvimento desta pesquisa.

Figura 1 – Localização da área de estudo.



1.2 HIPÓTESES DE TRABALHO

As imagens orbitais têm sido largamente empregadas no mapeamento de corpos hídricos. Nesse sentido, a literatura mostra que as técnicas de geoprocessamento podem ser consideradas eficazes na identificação de áreas inundáveis.

Dois motivos podem ser destacados como fundamentais para o emprego de técnicas de geoprocessamento no mapeamento de corpos hídricos: 1) o fato das imagens orbitais apresentarem uma visão sinótica do espaço geográfico, não necessitando unicamente de trabalhos de campo para a coleta de dados; 2) por não demandarem volumes altos de recursos financeiros, uma vez que dependendo do objetivo e da escala de trabalho, parte considerável dessas imagens pode ser adquirida gratuitamente, por exemplo, através do acervo de imagens da série LANDSAT e CBERS, disponíveis em INPE (2010).

Autores, como Ward; Trimble (2004, p.386), destacam que estudos de caracterização hidrológica, através da aplicação de técnicas de geoprocessamento, são beneficiados por dados coletados na própria bacia hidrográfica, uma vez que o cruzamento desses dados mostra-se muito proveitoso nas análises.

No que diz respeito aos dados hidroclimáticos, parte-se do pressuposto de que a utilização de uma longa série de dados com 30 anos ou mais, conforme a padronização estabelecida pela Organização Mundial de Meteorologia – OMM – e preferencialmente sem falhas, proporciona resultados mais consistentes. Nesse sentido, a escala temporal dos dados hidrológicos – cota fluviométrica e vazão – foi a mesma adotada para os dados climáticos¹.

¹ A determinação temporal de 30 anos, estipulada pela OMM, pode ser verificada em Mendonça; Danni-Oliveira (2007, p.14) e INMET (2009).

1.3 OBJETIVOS

- Compreender a dinâmica hidrológica do rio Tibagi, no que diz respeito aos processos de inundação, na área situada entre a cidade de Jataizinho e a foz do rio Tibagi, a partir da avaliação de dados hidroclimáticos, quais sejam: regime pluviométrico, distribuição espacial das chuvas, regime hidrológico, dados limimétricos, curva de permanência e curva-chave, em uma série temporal de 30 anos, 1979 a 2008, bem como através de imagens orbitais.
- Calcular a área do espelho d'água do rio Tibagi, compreendida entre o município de Jataizinho e a foz do referido rio, através de operações aritméticas de bandas, em imagens multitemporais pertencentes ao período de águas altas – potamofase – e período de águas baixas – limnofase, em anos atípicos positivos – débitos acima da média – e em anos próximos à normalidade.
- Avaliar o extravasamento do rio Tibagi em áreas adjacentes à cidade de Jataizinho, bem como as inundações influenciadas pelo referido rio, a partir de trabalhos de campo e mapeamento geomorfológico.
- Verificar se as inundações ocorridas, na cidade de Jataizinho, estão relacionadas com o remanso da foz do rio Tibagi.

CAPÍTULO 2

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 BASES TEÓRICO-METODOLÓGICAS

A partir da década de 1940, incrementou-se o desenvolvimento tecnológico e filosófico da Teoria Geral dos Sistemas, discutido por Bertalanffy (1968). Em seu sentido estrito, essa teoria trata das propriedades e das leis dos sistemas, tendo como base a teoria estruturalista, corrente de pensamento no auge daquele período. Um sistema pode ser definido como um modelo consistente formado por um conjunto de elementos em interação (apud PASSOS, 2006, p. 58)².

Uma das maiores dificuldades encontradas, ao considerar um dado fenômeno como sistema, diz respeito à identificação dos elementos, seus atributos e suas relações, a fim de delinear com clareza a extensão abrangida pelo sistema em foco. Ressalta-se que, o elemento é considerado a unidade básica do sistema. Dependendo do fenômeno investigado, o mesmo não estará restrito a um sistema isolado, ao contrário, fará parte de um conjunto maior – universo, o qual compreende o conjunto de todos os fenômenos e eventos. As mudanças e o dinamismo do universo repercutirão no sistema focalizado (CHRISTOFOLLETTI, 1980, p.1).

No estudo da composição dos sistemas, vários aspectos importantes devem ser abordados, tais como: matéria, energia e estrutura. A matéria corresponde ao material que será mobilizado através do sistema, por exemplo, a água e os detritos no sistema hidrográfico e a água em seus vários estados no sistema hidrológico. No tocante à energia, a mesma é subdividida em energia potencial e energia cinética. A primeira corresponde à força inicial que leva ao funcionamento do sistema; a gravidade para o sistema hidrológico. A segunda equivale à energia do movimento, cuja própria força se alia à potencial, podendo-se exemplificar tal processo através do escoamento das águas ao longo dos rios, da movimentação dos fragmentos detriticos ao longo das vertentes e do movimento das águas marinhas ao longo das praias. A energia total é a soma das energias

² O pioneiro na introdução da análise sistemica em estudos geomorfológicos foi Strahler (1950; 1952). Houve contribuições significativas de Hack (1960); Chorley (1962) e Howard (1965) (apud CHRISTOFOLLETTI, 1980, p.1).

potencial e cinética. Quanto à estrutura, diz-se que é constituída pelos elementos e pelas suas relações, expressando-se através do arranjo de seus componentes. Nesse sentido, é prudente atentar-se ao fator de escala, uma vez que um rio é elemento do sistema hidrográfico; todavia, pode ser concebido como sistema em si mesmo. A vertente é elemento no sistema da bacia hidrográfica, porém pode ser sistema em si mesma. Conforme a escala que se deseja analisar, deve-se ter em mente que cada sistema passa a ser um subsistema ou elemento, quando se procura analisar o fenômeno em escala maior. Assim posto, três características das estruturas devem ser observadas: tamanho de um sistema, determinado pelo número de variáveis envolvidas; correlação, indicando o grau pelo qual as variáveis se relacionam; e a causalidade, determinando qual é a variável independente – aquela que controla e a variável dependente – aquela que é controlada (CHRISTOFOLETTI, 1980, p.1).

No que tange ao fluxo de rios, sob ponto de vista da análise sistêmica, Strahler; Strahler (2005, p.464) destacam que o débito de um rio poderá aumentar em resposta a um período de chuva intensa ou derretimento de neve. Entretanto, a resposta é atrasada, tal como o movimento da água dentro dos canais, ao longo do tempo. Esse atraso depende de uma série de fatores; o tamanho da bacia de drenagem é considerado o mais importante. Nesse sentido, bacias de drenagens maiores apresentam um longo atraso. A relação entre descarga e precipitação é muito estudada por meio da hidrógrafa, um gráfico simples no qual são plotadas as vazões diárias em relação ao tempo.

Os autores chamam a atenção para o fato do crescimento das cidades afetarem o fluxo de pequenos rios através de duas formas. A primeira delas deve-se ao aumento da porcentagem de superfícies tornadas impermeáveis pelas construções, ruas, pavimentos, entre outros. Esse processo aumenta o escoamento superficial da cidade em detrimento da recarga, aumentando a frequência de inundações durante fortes chuvas. A segunda deve-se à introdução de galerias pluviais que rapidamente canalizam as águas do escoamento superficial de áreas pavimentadas diretamente para os rios, contribuindo para o aumento de seus débitos. Os dois processos em conjunto reduzem o tempo de escoamento do rio, identificados na hidrógrafa como *lag time*, e aumentam os valores de vazão (STRAHLER; STRAHLER, 2005, p.465). Desse modo, embora seja considerado um

fenômeno natural, a ocorrência de inundações pode ser influenciada pelas atividades antrópicas.

Sendo a inundaçāo uma condição existente quando a vazão de um rio não pode ser canalizada dentro de seu canal normal, Christofoletti (1980, p.83) faz uma distinção entre os tipos de leitos fluviais, que correspondem aos espaços a serem ocupados pelo escoamento das águas. Assim, quanto ao perfil transversal nas planícies de inundaçāo, podem-se distinguir os seguintes tipos de leitos fluviais, ressaltando-se que as delimitações são difíceis de serem traçadas e que há nitidez maior entre o leito menor e o leito maior:

- Leito de vazante: Está incluído, no leito menor, sendo utilizado para o escoamento das águas baixas, constantemente acompanhando o talvegue;
- Leito menor: É bem delimitado, encaixado entre as margens geralmente bem definidas. O escoamento das águas tem a capacidade de impedir o crescimento de vegetação, verificando-se, ao longo do leito menor, trechos mais profundos e mais rasos;
- Leito maior periódico ou sazonal: É regularmente ocupado pelas cheias, no mínimo, uma vez ao ano;
- Leito maior excepcional: É o espaço por onde transbordam as cheias mais elevadas, as enchentes. É submerso em intervalos irregulares, não obrigatoriamente todo o ano;
- Levando-se em conta a litologia local, devem-se ainda distinguir os leitos que cortam rochas coerentes e os que atravessam materiais móveis.

A presente pesquisa baseia-se em França (1998, p.71). Tal autor realizou um mapeamento de zonas inundáveis em períodos de cheia e estiagem, através da interpretação de imagens orbitais. Utilizou canais do visível e infravermelho próximo do sensor TM do satélite LANDSAT 5, em conjunto com dados hidroclimáticos, a saber: regime hidrológico, eventos pluviométricos e fluviométricos extremos. Como área de estudo, trabalhou em um trecho da sub-bacia

do alto curso do rio Paraná, nas proximidades de Porto Rico – PR e Taquaruçu – MS.

Nesse contexto, destaca-se a obra de Pinto *et al.* (1985, p.182), em que os autores avaliaram o processo de inundação em uma seção do alto rio Paraná, compreendida entre a foz do rio Aguapeí e a do Paranapanema, divisa entre os Estados de São Paulo e Mato Grosso do Sul. Para isso, utilizaram-se imagens na faixa do infravermelho próximo, canal 7 do sensor MSS, uma vez que tal banda proporciona melhor contraste entre a água e áreas adjacentes, bem como imagens no canal 5, correspondendo este, ao vermelho da faixa do visível, com o intuito de identificar áreas com baixa densidade de cobertura vegetal. Na tentativa de mapear situações de maior extravasamento do rio, os autores selecionaram datas de passagem do satélite que correspondiam a débitos extremos equivalentes a um intervalo de recorrência de dois episódios por século. Do mesmo modo, realizaram o mapeamento em anos, cujos débitos se encontravam próximos à normalidade e em período de vazante, destacando que foram utilizados somente os débitos médios. O dimensionamento da variação da lâmina d'água do canal foi realizado através de procedimentos de interpretação visual das imagens.

A obra de Novo; Santos (1982, p.381) apresenta um mapeamento geomorfológico, realizado com a finalidade de levantar os fatores morfoestruturais que poderiam explicar a ocorrência de enchentes em determinados trechos do rio Doce, Governador Valadares – MG. Os autores destacam alguns fatores que condicionam o escoamento do rio, dentre esses, o regime hidrológico, fenômeno que está diretamente relacionado ao clima, e o uso da terra, que também condiciona a variação da hidrógrafa de um curso d'água. Com relação à interpretação das imagens, além da análise visual, fez-se o uso da classificação supervisionada de Máxima Verossimilhança – MAXVER. Destacam-se, ainda, as obras de Maio (1980, p.156) e Moreira (2005, p.109), pois apresentaram informações relevantes quanto à escolha dos canais a serem utilizados no mapeamento de corpos hídricos.

O cuidado em utilizar dados hidroclimáticos com o menor número possível de falhas deve-se à leitura dos trabalhos de Zandonadi (2009, p.32) e de Zavatini (1983, p.33). Apesar de apresentarem metodologias e áreas de atuações distintas – Climatologia Dinâmica – a utilização de dados sem falhas, ou com um número reduzido de falhas permeou o desenvolvimento da presente pesquisa e

possibilitou o uso de dados que melhor representassem o real, uma vez que o excesso de falhas e o excesso de preenchimento das mesmas podem distorcer a interpretação dos resultados. Mesmo com todas as ressalvas, o preenchimento de falhas de dados pluviométricos e fluviométricos foi utilizado nas situações em que longas séries de dados apresentaram falhas pontuais.

A análise estatístico-descritiva dos dados hidroclimáticos foi essencial para a interpretação dos resultados. Dessa forma, no que diz respeito às técnicas estatísticas aplicadas à hidrologia e à interpretação do regime hidrológico, as bibliografias básicas utilizadas foram: Tucci (2004), Holtz (1976), ANA (2002), Radesca (1964) e Latrubesse *et al.* (2005), acrescentando-se o fato das duas primeiras obras serem consideradas indispensáveis para a compreensão e execução de técnicas vinculadas à hidrologia aplicada.

Considerando o ciclo hidrológico como um sistema fechado ou sistema em sequência, formado basicamente pelas componentes precipitação, infiltração, escoamento superficial – deflúvio ou *run-off*, evaporação e evapotranspiração, salientando-se que a descarga de águas subterrâneas em cursos de água superficial, como lagos e rios, é denominada de fluxo de base, fenômeno que permite a manutenção desses corpos d’água na época de seca, e apreendendo a bacia hidrográfica como um sistema não-isolado aberto, a presente pesquisa está pautada na Teoria Geral dos Sistemas.

Com relação às diferenças entre os tipos de sistemas existentes, os sistemas não isolados mantêm relações com os demais sistemas do universo no qual funcionam, podendo ser subdivididos em fechados e abertos. Os fechados existem quando há permuta de energia (recebimento e perda), mas não de matéria. O planeta Terra pode ser considerado como um sistema não isolado fechado, pois recebe energia solar e também a perde, por meio da radiação, para as camadas extra-atmosféricas; mas não recebe nem perde matéria de outros planetas ou astros, a não ser em proporção insignificante, quase nula. Quanto aos sistemas não isolados abertos, os mesmos são aqueles em que ocorrem constantes trocas de energia e matéria, tanto recebendo como perdendo. Tais sistemas são os mais comuns, por exemplo, uma bacia hidrográfica, vertente, homem, cidade, indústria, animal, entre outros. No que tange aos sistemas em sequência, diz-se que são compostos por uma cadeia de subsistemas, possuindo tanto magnitude espacial

quanto localização geográfica; são dinamicamente relacionados por uma cascata de matéria ou energia. Nessa sequência, a saída – *output* – de matéria ou energia de um subsistema torna-se a entrada – *input* – para o subsistema adjacente, podendo-se citar o ciclo hidrológico (CHRISTOFOLETTI, 1980, p.3).

Partindo-se do pressuposto que a bacia hidrográfica – *drainage system* ou *watershed* – deva ser entendida como uma rede expandida de canais de escoamento, ou como uma área drenada por determinado rio, ou sistema fluvial, conforme Strahler; Strahler (2005, p.463) e Christofoletti (1980, p.102), as seguintes considerações são feitas pelos dois primeiros autores acerca dos sistemas abertos:

Among natural systems, a river system is also an open flow system. Precipitation provides an **input** and water is **output** to the ocean or lake where the river terminates. Power for the flow of water is provided by the **climate system**, which condenses water above the landscape as rain or snow, and by gravity, which pulls the water downhill (STRAHLER; STRAHLER, 2005, p.25, grifo nosso).

Na sequência, fazendo uma distinção entre sistemas abertos e fechados, asseveram:

What closed flow systems do we encounter in physical geography? One is the hydrologic cycle, which describes global flows of water. The loops in this system are flow paths of water in solid, liquid, and gaseous forms – for example, water moving as solid ice in glaciers, water as a liquid in rivers, streams, or ocean currents, and as a gas as water vapor in flow of moist air (STRAHLER; STRAHLER, 2005, p.25).

2.2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Estabelecidos os objetivos, as hipóteses de trabalho e as bases teórico-metodológicas, procurou-se realizar um levantamento bibliográfico pertinente ao assunto. Serão apresentadas, nesta subseção, as obras que balizaram o desenvolvimento da pesquisa sem, entretanto, esgotar todas as obras revisadas, uma vez que a execução de determinadas etapas metodológicas exigiram a leitura de bibliografias mais específicas.

No que tange ao processo de ocupação indevida de áreas de várzea – planície de inundação, Badin (1992, p.16) aborda, em escala local, o problema de inundações do ribeirão Jataizinho, na vila Frederico Lucarewiski, bairro da cidade de Jataizinho. Afluente da margem direita do rio Tibagi, destaca-se o remanso que

aquele sofre devido à influência direta deste. Localizado em uma área de várzea, o bairro está situado entre as cotas topográficas de 340 m e 355 m de altitude e apresenta declividade abaixo de 2 % em praticamente toda a área. Embora não tenha sido realizado um mapeamento geomorfológico pelo autor, observa-se o levantamento de alguns dados morfométricos importantes, os quais dão indício sobre a susceptibilidade de inundação em algumas áreas, na cidade de Jataizinho. Em estudo realizado por França; Stier (1994) concluiu-se que as cidades de Jataizinho e Tibagi foram as mais atingidas pelas cheias do rio Tibagi (*apud* FRANÇA, 2002, p.55).

Com relação às escalas de análise do clima, Monteiro (1999, p.10) utiliza como exemplo o fenômeno *El Niño* – escala zonal, a seca no nordeste – escala regional e calamidades pluviais e inundações nas metrópoles brasileiras – escala local. São escalas distintas, que estão relacionadas entre si, cujas técnicas e métodos de análise, porém, não devem sobrepor-se de forma equivocada. No que se refere à escala local, Monteiro (1999, p.27) aponta que os climas urbanos são climas locais muito alterados pela ação antrópica.

Se um clima local é um ponto dentro do regional onde uma conjunção de fatores ‘especializa’ uma certa definição climática, nos locais ocupados por cidades, a ocorrência destes ‘fatores’ constitui um espectro bem mais amplo pelas grandes ‘derivações’ introduzidas pelo Homem na edificação urbana. Não apenas pelo ‘edificado’ urbanisticamente, mas pela adição de várias alterações no quadro geoecológico, tais como represas, reservatórios, aterros, desmontes de morros, etc (MONTEIRO, 1999, p.27).

Através de uma série de figuras que ilustram o problema de inundações em metrópoles do sudeste do país, o autor procura relacionar esse fenômeno com as alterações no clima local da cidade, aliado às condicionantes climáticas regionais que favorecem a precipitação abundante no sul e no sudeste do Brasil. Pode-se dizer, entretanto, que, nas pequenas cidades, as alterações efetivadas no meio físico não alteram o clima urbano de forma tão significativa como nas grandes cidades. As intempéries causadas pelas inundações às cidades, nesse sentido, não devem ser atribuídas somente ao aspecto climático urbano e regional, mas sim à organização do espaço geográfico no qual estão situadas. O autor assim prossegue no raciocínio e cita a impermeabilização do solo, a alteração da drenagem natural, a precariedade no sistema de drenagem pluvial, a deficiência de limpeza urbana, a carência de áreas de recarga e os problemas peculiares às

situações de subdesenvolvimento, como alocação da população em áreas de várzea, ou vertentes íngremes de morros. Nesse sentido, assevera:

A compreensão do problema da desorganização dos espaços urbanos sob impactos pluviais concentrados requer montagens de estratégias bem mais complexas. Não poderá advir de enfoques setoriais: meteorológico, hidrológico, urbanístico, mas de todos eles integrados em um sistema cuja alta complexidade exige – do geógrafo – uma perspicácia para montar uma rede de investigação onde – malgrado a inevitável precariedade das fontes de informação – possam ser ‘pinchados’ os mais variados informes capazes de produzir uma ‘aproximação’ à compreensão do fenômeno em foco (MONTEIRO, 1999, p.31).

No que diz respeito ao aspecto de planejamento territorial e gestão de risco, Piperno; Sierra (2010, p.219) apresentam alguns aspectos do trabalho que a equipe de Inundações Urbanas da Faculdade de Arquitetura da *Universidad de la República* – UDELAR – estão desenvolvendo sobre as inundações no Uruguai, considerado um dos principais problemas urbanos.

Conforme Piperno; Sierra (2010, p.220), a existência de situações de risco está relacionada aos problemas de desenvolvimento das diferentes sociedades. As políticas de ordenamento territorial devem considerar o caráter múltiplo do risco. Para os autores, os instrumentos de ordenamento aportam elementos informativos e valorativos para o relacionamento dos desequilíbrios territoriais. Permitem orientar a ação tanto dos órgãos públicos como dos atores privados que incidem no território. Por isso, os estudiosos orientam a ocupação do solo urbano e rural, favorecendo o uso sustentável dos recursos naturais e a redução da vulnerabilidade.

A gestão do risco implica na adoção de políticas, estratégias e de práticas físicas, culturais, institucionais, econômicas, todas elas orientadas a reduzir os riscos de desastres ou minimizar seus efeitos. A gestão deve ser integral, abandonando visões reducionistas que propiciam a fragmentação temporal, espacial e institucional, própria da maioria das atuações. Assim, são indicadas seis medidas para abordar a gestão territorial quanto à existência de situações de risco (PIPERNO; SIERRA, 2010, p.222):

- 1 – abordagem unidimensional / abordagem complexa: É necessária uma avaliação sistemática que reconheça a complexidade do fenômeno, não podendo o mesmo ser

explicado, através da avaliação de apenas um componente. Deve-se analisar o fenômeno, a partir de cada um dos componentes, dos subcomponentes e de suas interações aplicadas segundo cada caso tendendo a respostas interdisciplinares e integradoras;

- 2 – respostas homogêneas / particularidades locais: Cada área da cidade que sofre influência da dinâmica do rio implica relações particulares entre seus componentes, os quais lhe imprimem o caráter de unicidade. Realizar generalizações interpretativas entre as distintas cidades dependerá das características de seus componentes e de suas relações. É necessário reconhecer as particularidades locais em relação às dinâmicas urbanas e do rio. Os programas e as ações a serem desenvolvidos devem reconhecer as particularidades e gerar estratégias, de acordo com as mesmas;
- 3 – práticas tecnocráticas – clientelistas / instâncias participativas: Os programas e as ações devem fortalecer as instâncias locais de participação que contribuam para assegurar o controle social das medidas de gestão e a real apropriação das soluções técnicas;
- 4 – inundação catástrofe / inundação processo: As estratégias a serem aplicadas dever-se-ão desenhar nos momentos sem inundação, permitindo gerar melhorias em relação à situação inicial, considerando o evento como uma oportunidade de desenvolvimento para a cidade em seu conjunto. Os programas e as ações a serem desenvolvidas deverão ser considerados como um processo contínuo, mudando o eixo de análise sob a noção de catástrofe em direção à noção de risco;
- 5 – políticas fragmentadas / políticas integrantes: A ausência de coordenação para analisar as inundações e atuar de maneira integrada determina ineficiência no uso dos recursos públicos. Os programas e as ações a serem executados deverão

contribuir para a criação de políticas públicas integradas mais eficazes, otimizando os escassos recursos;

- 6 – atuações focalizadas nas áreas inundáveis / atuação multiescalar: A conceitualização do espaço do rio como um sistema aberto implica na identificação e análise dos componentes a ele vinculados. Tanto o sistema urbano como o hídrico apresentam características transescalares; por isso, não se deve focar o problema da inundação como uma ameaça somente para a área inundada. Ao contrário, vê-se afetado o resto da cidade direta ou indiretamente, devido ao redirecionamento obrigado de recursos municipais e ao necessário envolvimento de instituições sociais, esportivas, educacionais e de saúde. A casualidade da ameaça encontra-se muitas vezes afastada do espaço impactado, não podendo ser entendida, de um lado, a dinâmica das inundações sem uma análise de toda a bacia hidrográfica; nem, de outro, serem entendidos os processos urbanos ou sociais sem uma investigação dos aspectos territoriais em escala regional ou nacional.

No que diz respeito ao trabalho realizado pelos rios, a saber, transporte, erosão e deposição do material detritico, deve-se destacar a importância desses processos na transformação e modificação do relevo. Especificando essas etapas, o transporte pode ser realizado por solução, suspensão ou saltação. O transporte por solução relaciona-se à carga dissolvida dos cursos d'água composta pelos constituintes intemperizados das rochas. As partículas de granulometria reduzida - silte e argila - carreadas pelo fluxo turbulento do rio, compõem a carga de sedimentos em suspensão, a qual será sedimentada em trechos de águas calmas ou lagos. Quanto ao transporte por saltação, as partículas de granulometria maior – areia e cascalho – são roladas, deslizadas ou saltam ao longo do leito dos rios, formando a carga do leito do rio. É importante destacar que a carga do leito se move mais lentamente em relação ao fluxo da água, pois os grãos deslocam-se de modo intermitente. Devido à variação sazonal das chuvas, logo, dos débitos médios dos rios, a maior parte da carga detritica é transportada durante as fases de cheia e

enchentes, período em que os débitos são mais elevados (CHRISTOFOLETTI, 1980, p.72).

No que tange à erosão fluvial, esta é realizada pelos processos de corrosão, corrasão e cavitação. A corrosão diz respeito aos processos químicos realizados entre a água e as rochas superficiais. A corrasão denota o desgaste pelo atrito mecânico originado pelo impacto das partículas carregadas pela drenagem. Dois tipos de corrasão podem ser identificados: a abrasão, que propicia suave polimento das rochas aflorantes no canal, e a evorsão, originada pelo movimento turbilhonar sobre as rochas no fundo do leito. O terceiro processo, denominado cavitação, ocorre sob condições de velocidades elevadas da água. A gênese desse processo está relacionada às variações de pressão sobre as paredes do canal, fenômeno que facilita a fragmentação das rochas (CHRISTOFOLETTI, 1980, p.74).

Com relação à deposição da carga detrítica carregada pelos rios, tal processo ocorre quando há diminuição da competência ou da capacidade fluvial. Essa diminuição pode ser causada pela redução da declividade ou pelo aumento da carga detrítica. A competência de um rio é mensurada pelo detrito de maior diâmetro transportado como carga de leito. Nas palavras de Bloom (2004, p.215), a competência do rio depende primariamente da velocidade, embora o tipo do canal, o tipo de sedimento e a temperatura da água também possam afetar o processo. Já a capacidade de um rio, refere-se à maior quantidade de detritos de determinado tamanho que um rio pode deslocar como carga de leito. Entre as várias formas originadas pela sedimentação fluvial, pode-se citar a planície de inundação. Denominada também de várzea, a planície de inundação constitui a forma mais comum de sedimentação fluvial, encontrada em drenagens de todas as grandezas. No período de vazante ou águas baixas, a deposição da carga detrítica restringe-se a parcelas do canal fluvial. Entretanto, no período de cheia, com a elevação da cota fluviométrica ocasionando o transbordamento do rio para o leito maior, a deposição de carga detrítica abrange áreas baixas adjacentes ao rio. Com o intuito de melhor definir o termo planície de inundação, Christofoletti (1980, p.76) argumenta:

A planície de inundação é a faixa do vale fluvial composta de sedimentos aluviais, bordejando o curso de água, e periodicamente inundada pelas águas de transbordamento provenientes do rio.

De acordo com Suguio (2003, p.233), as pesquisas relacionadas a modernos depósitos aluviais indicam que eles podem ser classificados em numerosas subfácies, cada uma depositada em um subambiente específico. Do ponto de vista geomorfológico e sob uma perspectiva didática, os depósitos fluviais podem ser subdivididos em três grupos:

- depósitos de canal – formados pela atividade do canal. Incluem-se os depósitos residuais de canal, de barras de meandro, de barras de canais e de preenchimento de canal;
- depósitos marginais – são originados, nas margens dos canais, durante as enchentes; compreendem-se os depósitos de diques marginais ou naturais e de rompimento de diques marginais;
- depósitos de planície de inundação – depósitos essencialmente compostos por sedimentos finos depositados durante as grandes enchentes, quando as águas ultrapassam ou rompem os diques naturais. Esses sedimentos precipitam-se sobre áreas planas que margeiam os canais fluviais. Pode-se afirmar que as planícies de inundação contêm os sedimentos mais finos entre os aluviais.

Entretanto, especialistas da área argumentam que essa separação é equivocada, uma vez que os depósitos de canal e a planície de inundação, são formados pelo mesmo processo. Além disso, a existência de planície de inundação não depende da existência de diques marginais, ou seja, não é preciso que a água do rio rompa um dique natural para que os sedimentos aluviais sejam depositados, em áreas baixas adjacentes ao rio – planície de inundação³.

Quanto à leitura de trabalhos, cujos objetivos principais foram mapear corpos hídricos, identificar áreas inundáveis ou avaliar como os dados de sensores orbitais podem ser utilizados no mapeamento de corpos hídricos, podem-se citar Santos (1986); Pinto *et al.* (1985); Maio (1980); Novo; Santos (1982); Azevedo (2007); Bielenki Júnior *et al.* (2007); Martins *et al.* (2007); Mendes *et al.* (2008); Sousa *et al.* (2009); França (1998) e Carvalho *et al.* (2009). Dessas obras,

³ Prof. Dr. Edvard Elias de Sousa Filho, professor do Programa de Pós-Graduação em Geografia, da Universidade Estadual de Maringá (Informação Verbal).

atenção especial foi dada à França (1998); Novo; Santos (1982) e Pinto *et al.* (1985), todas utilizadas na estruturação da base teórico-metodológica.

A utilização de geotecnologias, como o geoprocessamento e o sensoriamento remoto, vem demonstrando uma importância muito relevante no desenvolvimento de pesquisas geográficas. Desse modo, o geoprocessamento pode ser definido como um conjunto de tecnologias voltadas à coleta e ao tratamento de informações espaciais com um objetivo específico. Conforme Moreira (2005, p.256), o geoprocessamento pode ser compreendido como:

[...] a utilização de técnicas matemáticas e computacionais para tratar dados obtidos de objetos ou fenômenos geograficamente identificados ou extrair informações desses objetos ou fenômenos, quando eles são observados por um sistema sensor.

As atividades que envolvem esta tecnologia são executadas por sistemas específicos para cada aplicação. Uma diferenciação deve ser feita entre o termo Sistemas de Informação Geográfica (SIG) ou *Geographic Information System (GIS)*, e o termo geoprocessamento, utilizados muitas vezes como sinônimos. De acordo com INPE (2009a), o geoprocessamento é o conceito mais abrangente e representa qualquer tipo de processamento de dados georreferenciados; enquanto um SIG processa dados gráficos e não gráficos – alfanuméricos – com ênfase em análises espaciais e modelagens de superfícies.

Os Sistemas de Informação Geográfica – SIGs – processam dados referenciados geograficamente ou georreferenciados, desde a sua coleta até a geração de saídas, na forma de mapas convencionais, relatórios, arquivos digitais, entre outros. Deve-se prever recursos para sua estocagem, gerenciamento, manipulação e análise.

A obra de Miranda (2005, p.23) apresenta uma quantidade significativa de definições de SIG, as quais segundo o autor, apresenta-se de forma controvérsia. Nesse sentido, o SIG pode ser definido em seis grupos: a) aquele que enfatiza o aspecto sistema informatizado; b) aquele que, além do sistema informatizado, abrange equipamentos; c) aquele que é específico; d) aquele que destaca a empresa, ou a instituição, ou o banco de dados; e) aquele que destaca mapas e análise espacial.

Assim, Miranda (2005, p.25) destaca que a definição de SIG como sistema informatizado talvez seja a maioria na literatura. Para os adeptos desse grupo, a melhor definição de SIG seria um sistema de computador que coleciona, edita, integra e analisa informação relacionada à superfície da Terra.

A definição de SIG, proposta por Burrough; McDonnell (1998), demonstra-o como ferramenta, a qual deve ser entendida como um conjunto poderoso de ferramentas para coletar, armazenar, recuperar sob demanda, transformar e mostrar dado espacial do mundo real.

Muitos são os estudos que tratam da aplicação de SIG. Por exemplo, Martin (1996, p.31) demonstra o crescimento dos estudos de SIG nos aspectos socioeconômicos, utilizando-se, em sua argumentação, a aplicação do SIG nos dados censitários do Reino Unido. O autor faz uma crítica aos estudos de cunho ambiental, que utilizam o SIG como ferramenta, pois geralmente não enquadram os fenômenos sociais em suas análises.

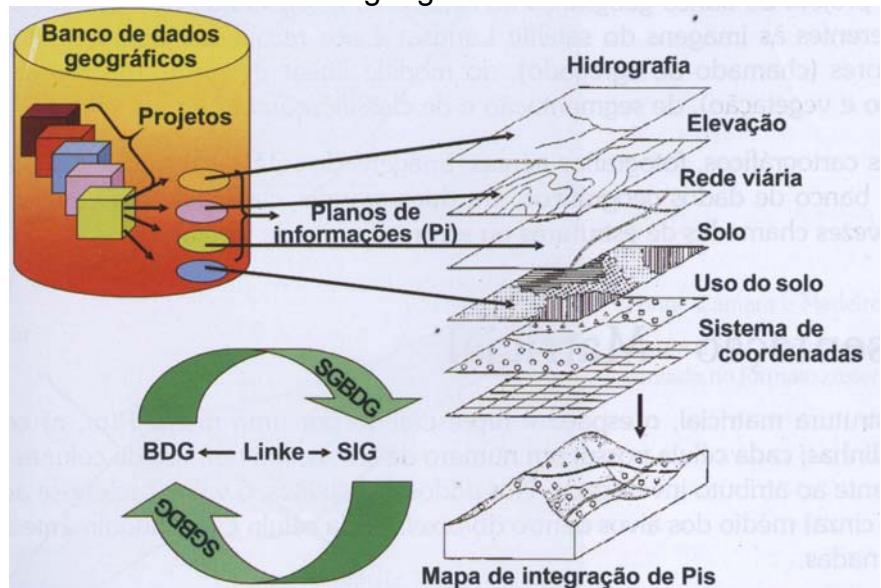
Longley *et al.* (2005, p.347) demonstram uma série de aplicações de SIG utilizadas no planejamento, no suporte de decisões e na modelagem de problemas ambientais e sociais. Acrescentam que tais aplicações podem ser de escala global, voltadas à agricultura, por exemplo; de escala nacional, como na reconstrução da África do Sul e de escala local, como no monitoramento ambiental. Destacam, ainda, que os temas mais contemporâneos de aplicação do SIG dizem respeito às áreas da saúde, da política, do uso do solo, da agricultura e do monitoramento ambiental. Coletivamente, tais aplicações demonstram um raio de abrangência do SIG nos fenômenos sociais e ambientais.

Câmara; Monteiro [entre 1990 e 2009, p.2] asseveram que, do ponto de vista da aplicação, utilizar um SIG implica na escolha de representações computacionais mais adequadas, para capturar a semântica de seu domínio de aplicação. Contudo, do ponto de vista da tecnologia, desenvolver um SIG significa oferecer o conjunto mais amplo possível de estruturas de dados e algoritmos capazes de representar a grande diversidade de concepções do espaço. Levando-se em conta que os dados em um SIG são estruturados em um banco de dados geográficos – BDG, Moreira (2005, p.260) argumenta que o banco de dados ou base de dados deve ser entendido como um conjunto de arquivos estruturados, cujo objetivo é facilitar o acesso a algumas informações que descrevem determinadas

entidades do mundo real. Entretanto, o autor alerta que seja feita uma distinção entre banco de dados e BDG. Este difere-se do banco de dados convencional, pois, além de informações alfanuméricas, agrupa também informações de localização geográfica.

De acordo com Moreira (2005, p.260), para obter a estruturação dos dados dentro do BDG, é preciso realizar a atividade denominada modelagem de dados. Esta especifica o conjunto de aplicações necessárias para estruturar corretamente os dados armazenados. No caso do sensoriamento remoto, o banco de dados geográficos é estruturado na forma de projetos. Cada um desses projetos contém as informações espaciais e não espaciais – alfanuméricas – armazenadas, conforme sua categoria, em planos de informação – Pis (Figura 2).

Figura 2 – Estrutura e organização de um banco de dados geográficos.



Fonte: Moreira (2005, p.261).

No software SPRING 5.0, o processo de modelagem de um banco de dados geográficos consiste em estender a hierarquia de especialização definida pelo modelo, criando classes derivadas de geoobjeto, cadastral, rede, temático, modelo numérico de terreno e dados sensori remoto.

Com relação às técnicas de geoprocessamento, INPE (2009b) destaca que a edição de dados vetoriais é a maneira mais precisa para representar um objeto geográfico, utilizando-se, para tal, segundo Câmara; Monteiro [entre 1990

e 2009, p.7], entidades básicas como: pontos, linhas e áreas – polígonos – para definir as classes temáticas, objetos geográficos e amostras.

Diferenciando os termos sensoriamento remoto e geoprocessamento, pode-se dizer que o primeiro é parte de todo um conjunto de técnicas que forma o geoprocessamento. Nesse sentido, com relação ao sensoriamento remoto, Florenzano (2002, p.9) coloca que esta é a tecnologia que proporciona a obtenção de imagens e outros tipos de dados, da superfície terrestre, através da captação e do registro da energia refletida ou emitida pela superfície terrestre. O sensoriamento refere-se à obtenção dos dados; enquanto remoto, significa que a obtenção é feita à distância, sem contato físico entre o sensor e a superfície terrestre. Novo (2002, p.1), assim, define o termo sensoriamento remoto:

[...] é a utilização de sensores para a aquisição de informações sobre objetos ou fenômenos sem que haja contato direto entre eles. Os sensores seriam os equipamentos capazes de coletar energia proveniente do objeto, convertê-la em sinal passível de ser registrado e apresentá-lo em forma adequada à extração de informações.

CAPÍTULO 3

ASPECTOS FÍSICO-GEOGRÁFICOS

3.1 GEOLOGIA

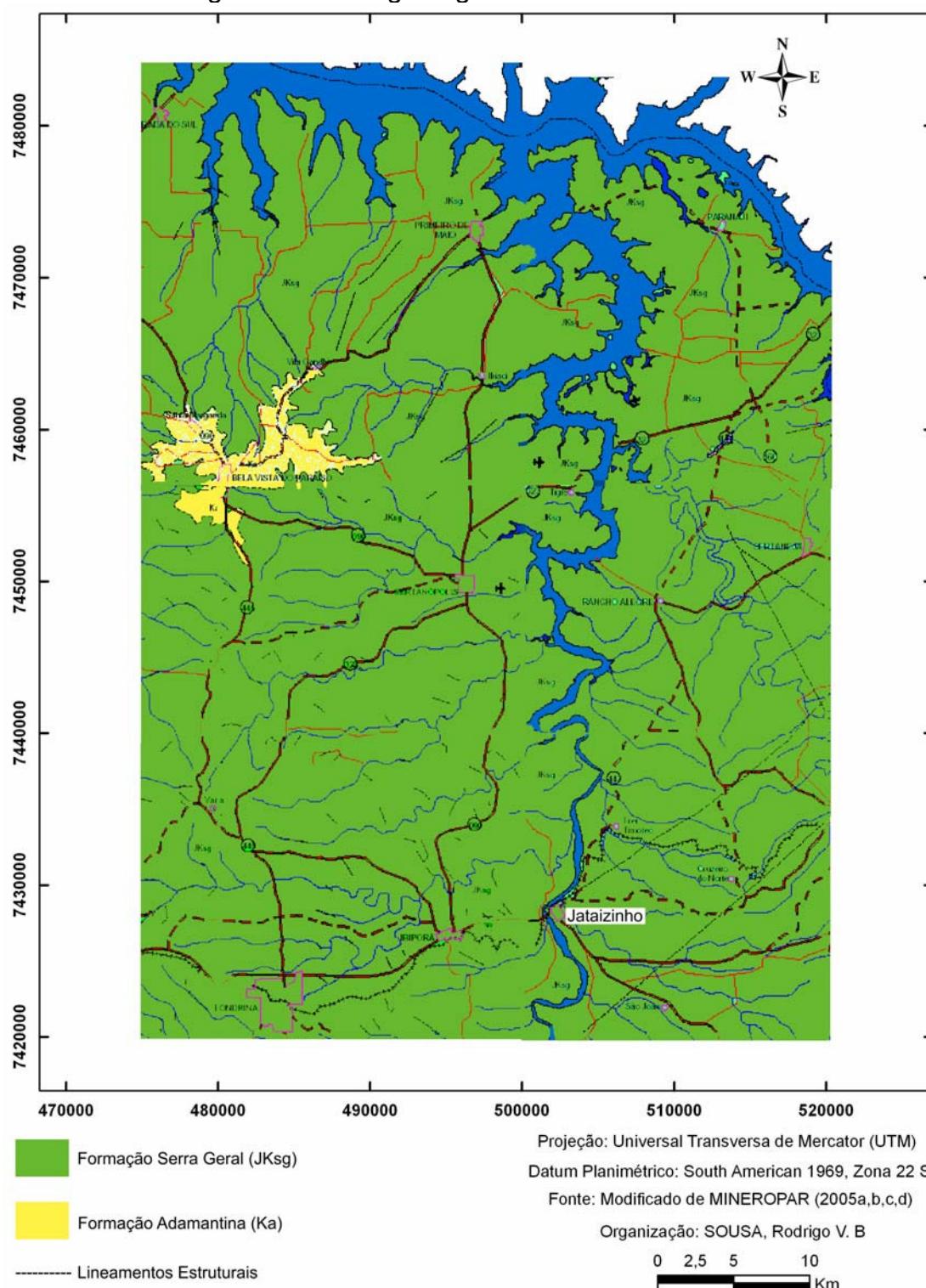
No que tange à geologia regional, a unidade morfoestrutural a qual assenta-se a área de estudo é a Bacia Sedimentar do Paraná. As formações geológicas que afloram em superfície são: Formação Serra Geral, pertencente ao Grupo São Bento, e Formação Adamantina, pertencente ao Grupo Bauru.

A Formação Serra Geral – JKsg é constituída por rochas magmáticas extrusivas, basicamente basaltos toleíticos. Originadas na Era Mesozóica, período Neojurássico, a datação das rochas é de aproximadamente 140 m.a atrás. Estudos mostram que as espessuras das rochas podem atingir entre 450 m e 600 m; entretanto, perfurações da Petrobrás, no território paranaense, revelaram espessuras de até 1199m (PETRI; FÚLFARO, 1983, p.235; DNPM, 1984, p.347; MAACK, 1981, p.420; MINEROPAR, 2001, p.15).

Quanto à Formação Adamantina – Ka, sua ocorrência, na porção inferior da bacia hidrográfica do rio Tibagi, limita-se às imediações do município de Bela Vista do Paraíso. Segundo Soares *et al.* (1980), essa formação é composta especialmente por bancos de arenitos de granulação fina a muito fina, possuindo uma estratificação cruzada e bancos alternados, com lamitos, siltitos e arenitos lamíticos maciços ou com acamamento plano-paralelo grosseiro. De idade cretácea superior, possui bancos de sedimentos que variam de 2 a 20m de espessura (apud PINSE, 2002, p.35)⁴. A geologia regional pode ser observada na figura 3.

⁴ Conforme a cronologia da história geológica da Terra, o período correspondente à Era Cretácea, especificamente o Cretáceo Superior, corresponde ao Quaternário, 1,8 m.a até os dias de hoje (TEIXEIRA, *et al.* 2003, p.559).

Figura 3 – Geologia regional da área de estudo.



3.2 GEOMORFOLOGIA

As unidades morfoesculturais identificadas na área de estudo são o Planalto de Londrina, onde se situa o município de Jataizinho e o Planalto do Médio Paranapanema, podendo-se tomar como referência os municípios de Sertanópolis e Primeiro de Maio.

Baseando-se em mapeamentos geomorfológicos os quais utilizaram como base cartográfica as folhas topográficas na escala de 1:250.000 – Presidente Prudente SF – 22 – Y – B; Marília SF – 22 – Z – A; Londrina SF – 22 – Y – D e Cornélio Procópio SF – 22 – Z – C, constata-se que a classe de declividade predominante no Planalto de Londrina é inferior a 12%, apresentando dissecação média. O relevo denota gradiente de 840 m, com altitudes variando entre 340 m e 1180 m. Especificamente na folha de Cornélio Procópio SF – 22 – Z – C, na qual está localizado o município de Jataizinho, o gradiente é de 640 m, com altitudes variando entre 340 m e 980 m. As formas de relevo predominantes são topos alongados, vertentes convexas e vales em V (MINEROPAR, 2006, p.20).

Quanto ao Planalto do Médio Paranapanema, este apresenta dissecação fraca, sendo a declividade predominante inferior a 6%. No que diz respeito ao relevo, denota gradiente de 260 m, com altitudes variando entre 340 m e 600 m. Nas proximidades da foz do rio Tibagi, tomando-se como referência o município de Primeiro de Maio, na folha Presidente Prudente SF – 22 – Y – B, o gradiente cai para 80 m, com altitudes oscilando entre 340 m e 420 m; enquanto na margem direita da foz, tomando-se a carta topográfica de Marília SF – 22 – Z – A, o gradiente é de 160 m, com altitudes oscilando entre 340 m e 500 m. As formas de relevo predominantes são topos aplaniados, vertentes convexas e vales em V (MINEROPAR, 2006, p.20).

É importante ressaltar, que o termo dissecação, procura expressar quanto uma dada vertente está entalhada por uma drenagem, exigindo do pesquisador a obtenção de alguns parâmetros morfométricos como, por exemplo, distância interfluvial média ou densidade de drenagem, estando a escolha desses parâmetros na dependência da metodologia a ser adotada.

Com base no estudo realizado pelo IBGE (2009, p.43), as dissecações podem ser classificadas como: homogênea, estrutural e em ravina. A dissecação homogênea ocorre em litologias diversas, não apresenta controle estrutural marcante e é caracterizada pela presença de morros, colinas e interflúvios tabulares. A dissecação estrutural é marcada por evidente controle estrutural em rochas fortemente deformadas, sendo caracterizada pela ocorrência de inúmeras cristas, vales e sulcos estruturais. Observam-se padrões de drenagem condicionados por lineamentos estruturais ou acamamento estratigráfico como, por exemplo, padrões treliça, paralelo e retangular. Quanto à dissecação em ravina, trata-se de uma dissecação caracterizada pela alta densidade de incisões, resultantes principalmente da erosão pluvial, sob a forma de escoamento concentrado.

Para a representação da dissecação do relevo, Ross (1992, p.27) faz uma adaptação da metodologia adotada no Projeto Radambrasil. Correlaciona os valores de dimensão interfluvial média e grau de entalhamento e apresenta-os em uma matriz (Tabela 1). Adotando um raciocínio similar, IBGE (2009, p.48) construiu uma matriz, utilizando em vez da dimensão interfluvial média, o valor da densidade de drenagem. Este parâmetro deve ser compreendido como a razão do comprimento total dos canais, pela área da bacia hidrográfica (Tabela 2).

Tabela 1 – Matriz com classes de dissecação.

Grau de Entalhamento dos Vales (Classes)	Dimensão Interfluvial Média				
	Muito Grande (1) (>1500 m)	Grande (2) (1500 a 700 m)	Média (3) (700 a 300 m)	Pequena (4) (300 a 100 m)	Muito Pequena (5) (<100 m)
Muito Fraco (1) (< 10 m)	11	12	13	14	15
Fraco (2) (10 a 20 m)	21	22	23	24	25
Médio (3) (20 a 40 m)	31	32	33	34	35
Forte (4) (40 a 80 m)	41	42	43	44	45
Muito Forte (5) (> 80 m)	51	52	53	54	55

Fonte: Ross (1992, p.27). Organização: SOUSA, Rodrigo V. B.

Tabela 2 – Matriz com classes de dissecação.

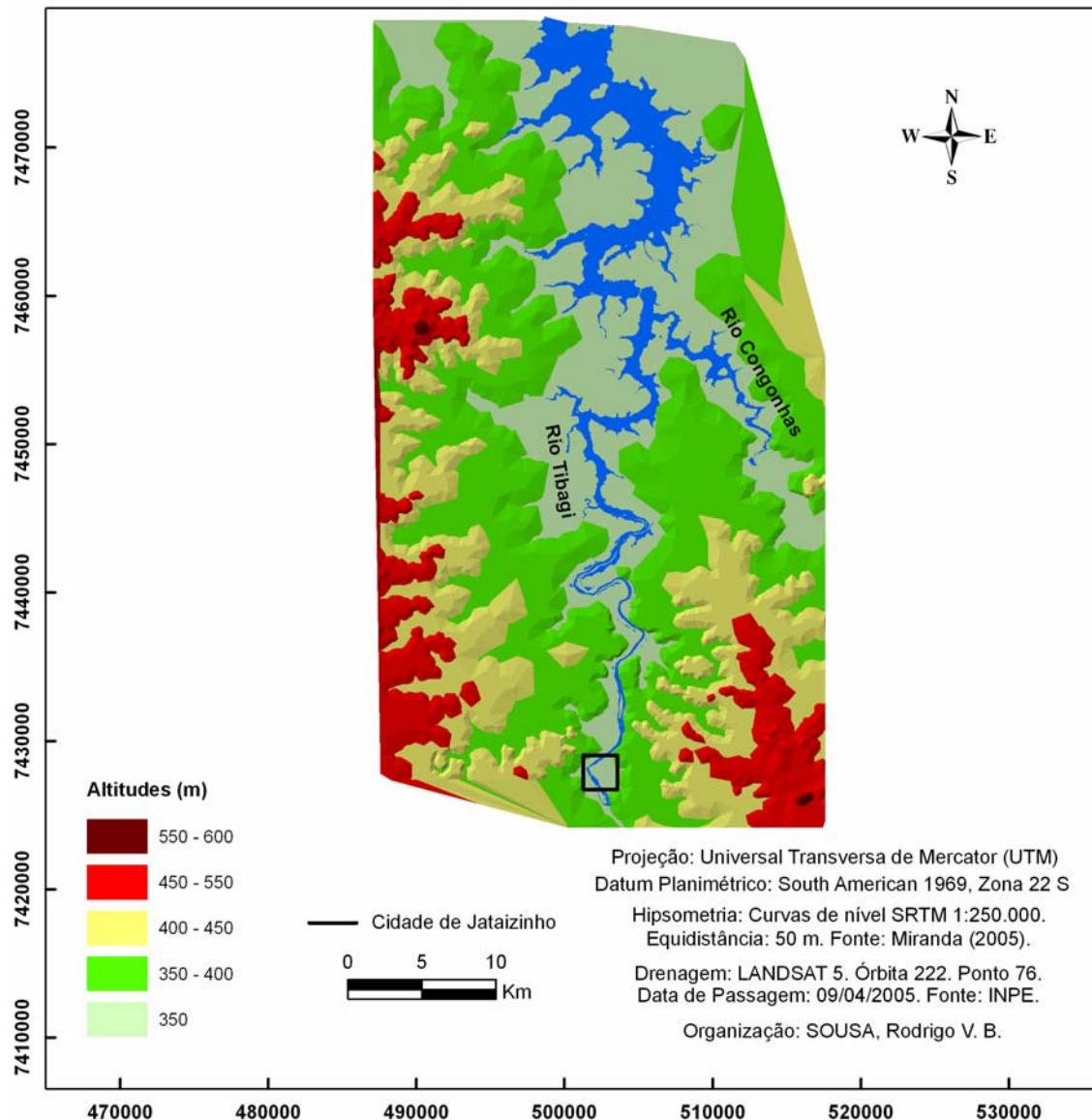
Aprofundamento das Incisões (2º Dígito)	Densidade de Drenagem (1º Dígito)				
	Muito Grosseira	Grosseira	Média	Fina	Muito Fina
Muito Fraco	11	21	31	41	51
Fraco	12	22	32	42	52
Médio	13	23	33	43	53
Forte	14	24	34	44	54
Muito Forte	15	25	35	45	55

Fonte: IBGE (2009, p.48). Organização: SOUSA, Rodrigo V. B.

A fim de visualizar a feição do relevo e identificar os valores de altitudes predominantes na área de estudo, construiu-se um Modelo Numérico do Terreno – MNT, utilizando-se como base as curvas de nível da *Shuttle Radar Topography Mission - SRTM* ou Missão Topográfica Radar *Shuttle*, na escala de 1:250.000, disponibilizadas por Miranda (2005).

Assim, desde o município de Jataizinho até a foz do rio Tibagi, tomando-se como referência os locais adjacentes ao referido rio, verificam-se altitudes entre 350 m e 450 m (Figura 4); enquanto os valores de declividade concentram-se entre 0% e 10%, estando de acordo com a literatura consultada.

Figura 4 - Modelo Numérico do Terreno – MNT – da área de estudo



Pelo fato de o sítio urbano de Jataizinho apresentar áreas sujeitas à inundação, realizou-se um mapeamento geomorfológico, visando identificar a relação exercida pelo tipo de relevo sobre os locais susceptíveis a esse fenômeno. Todavia, o mapeamento, incluindo-se um novo MNT e um mapa clinográfico, será apresentado nos resultados da pesquisa.

3.3 PEDOLOGIA

Quanto ao grau de evolução do solo, verifica-se, de maneira pouco expressiva na área de estudo, solos do tipo GLEISSOLOS HÁPLICOS indiscriminado, com textura argilosa (ITCG, 2008d). Estes são solos hidromórficos,

constituídos por material mineral, que apresentam horizonte glei dentro de 150 cm da superfície do solo, imediatamente abaixo de horizontes A ou E – com ou sem gleização – ou de horizonte hístico (JACOMINI, 2008, p.168)⁵. São de origem aluvial ou colúvio-aluvial de natureza diversa. Aparecem em locais, cujo relevo é plano, ocupando os ambientes mais baixos da paisagem; podem sofrer inundações frequentes em áreas de vegetação formada por florestas de várzea e em campos de várzea (STIPP, 2002, p.42).

Um dos tipos de solos que abrange vários municípios da área investigada são os LATOSOLOS VERMELHOS, com variedades eutroférica – a predominante – distroférica, eutrófica, distrófica e textura argilosa (ITCG, 2008d). Os LATOSOLOS são solos constituídos por material mineral, com horizonte B latossólico imediatamente abaixo do horizonte A. Conforme Bognola *et al.* (2002, p.56), são solos muito evoluídos em função do alto grau de intemperismo sofrido pelo material de origem. Em consequência, predominam na sua constituição os óxidos de ferro e de alumínio e os minerais de argila do grupo da caulinita (1:1). Devido à alta estabilidade, juntamente com uma alta porosidade, boa permeabilidade e ao relevo suavemente ondulado, esses solos possuem uma elevada resistência à erosão.

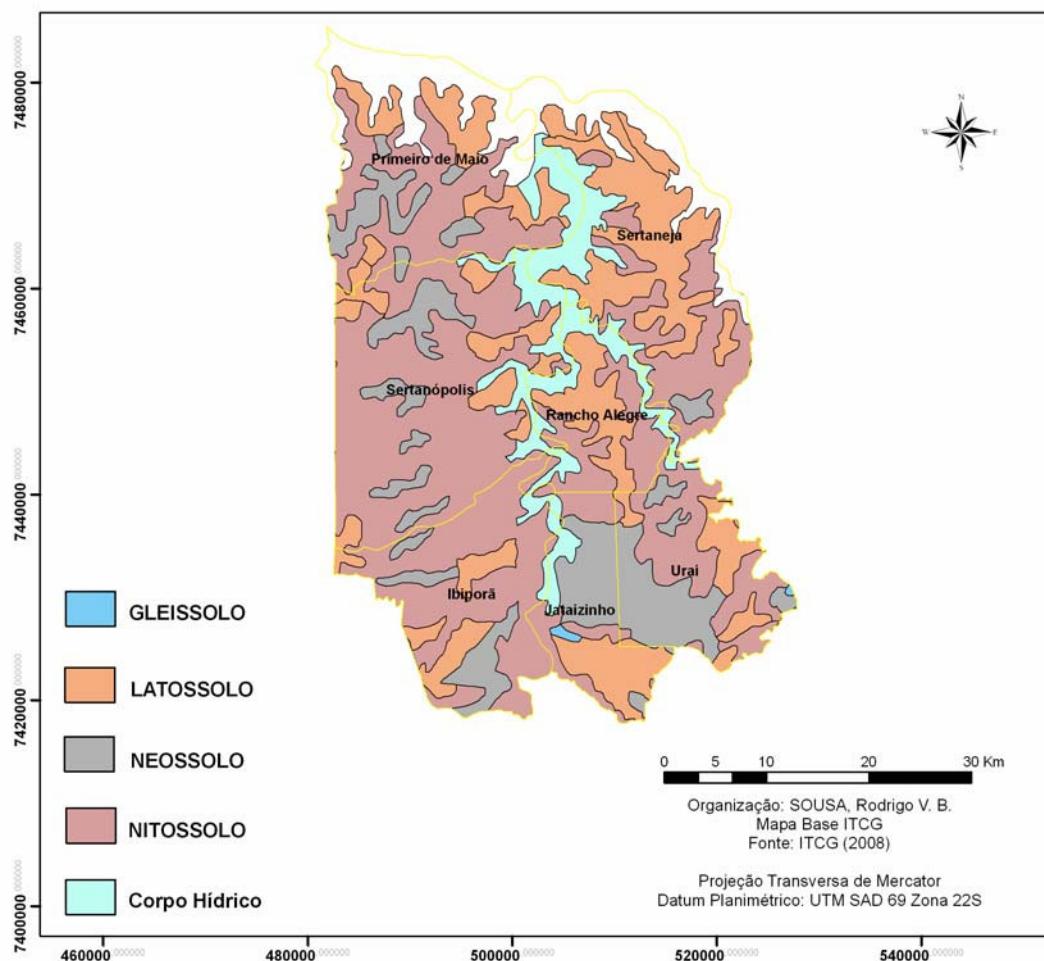
Outro tipo de solo que ocorre, na área de estudo, são os NEOSSOLOS LITÓLICOS, com o predomínio da variedade eutrófica, de textura média a argilosa (ITCG, 2008d). Segundo Stipp (2002, p.41), são solos jovens e incipientes, possuindo horizonte A diretamente sobre a rocha consolidada, ou um horizonte C pouco espesso. Ocorrem tanto em relevo suavemente ondulado e escarpado, como em relevo fortemente ondulado e montanhoso. São originados de diferentes materiais. No Paraná, são formados principalmente por rochas eruptivas básicas e intermediárias, rochas ígneas ácidas, folhelhos, filitos e arenitos.

Os NITOSSOLOS VERMELHOS da variedade eutroférico, ou seja, com alta fertilidade natural, destacam-se na área de estudo. São solos minerais, não hidromórficos, bem drenados, profundos, com presença de horizonte B nítico; ou seja, apresenta cerosidade, com pequeno gradiente textural, com sequência de horizontes A, Bt, C e textura argilosa (BOGNOLA *et al.*, 2002, p.71). Também são solos ricos em sesquióxidos de ferro e alumínio e derivados de rochas eruptivas

⁵ Horizonte hístico, equivale a um horizonte constituído predominantemente por matéria orgânica.

básicas (STIPP, 2002, p.66). Os tipos de solos identificados na área de estudo podem ser averiguados na figura 5.

Figura 5 - Tipos de solos da área de estudo.

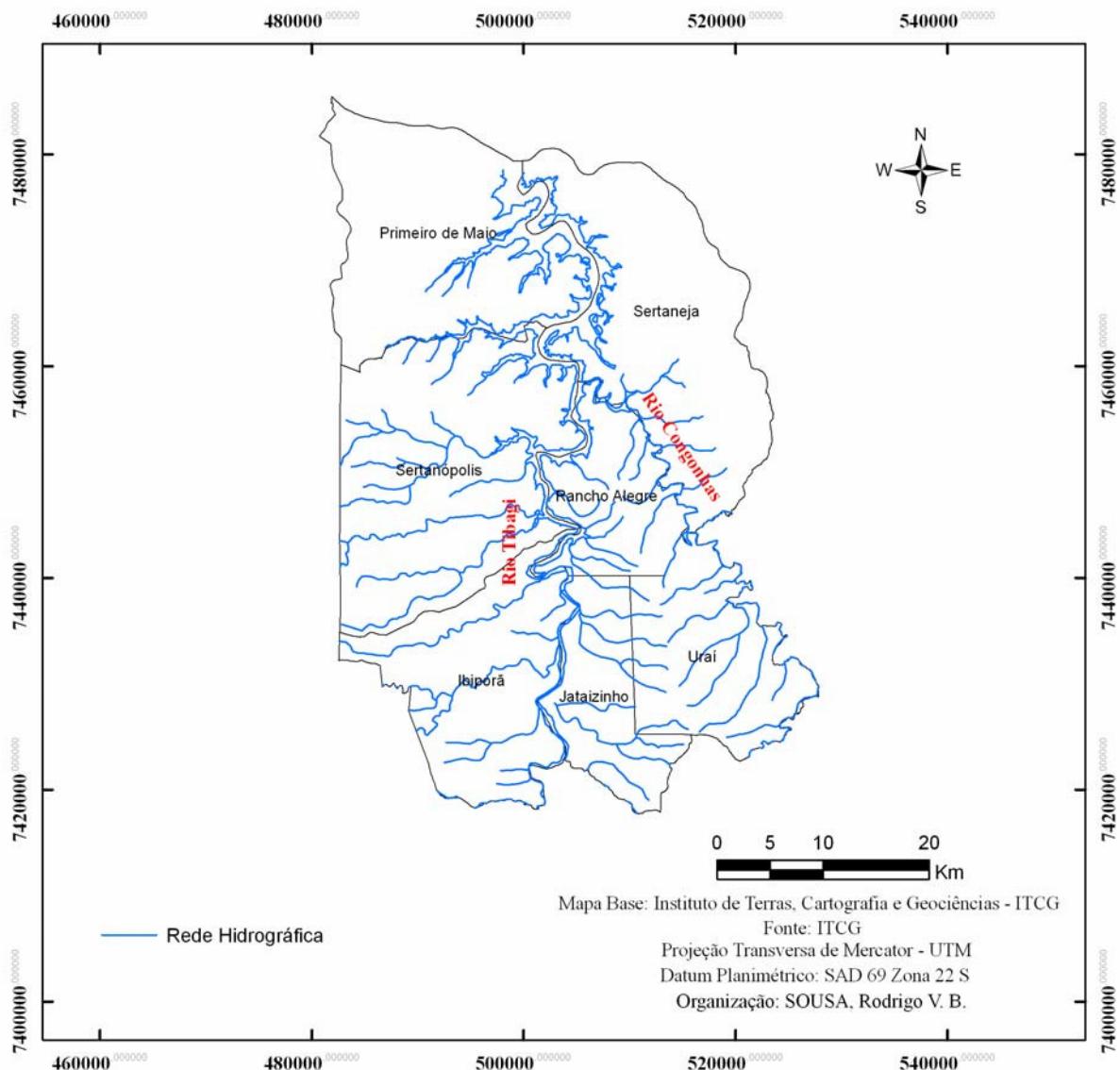


3.4 HIDROGRAFIA

A área de estudo localiza-se, no curso inferior da bacia hidrográfica do rio Tibagi, sendo este o principal tributário da margem esquerda do rio Paranapanema, com aproximadamente 550 quilômetros de percurso e 24.712 Km² de área de drenagem, ambos constituintes da bacia hidrográfica do rio Paraná (MAACK, 1981, p.329; FRANÇA, 2002, p.47). Abrangendo o primeiro, o segundo e o terceiro planalto paranaense, limita-se ao norte com a bacia do rio Paranapanema, a leste com as bacias dos rios Cinzas e Itararé, a sudeste com a bacia do rio Ribeira, ao sul com a bacia do rio Iguaçu, a oeste com a bacia do rio Ivaí e a noroeste com a bacia do rio Pirapó, possuindo no total 65 tributários principais (FRANÇA, 2002,

p.47). A direção preferencial de fluxo do rio Tibagi, segundo a análise de mapas de hidrografia, dá-se no sentido SE-NW; enquanto o padrão de drenagem evidenciado, conforme a classificação de Christoforetti (1980, p.105), é do tipo paralelo, decorrente entre outros fatores, dos controles estruturais existentes na área. A rede hidrográfica da área de estudo pode ser averiguada na figura 6.

Figura 6 – Rede hidrográfica da área de estudo.



3.5 CLIMA

Considerado o aspecto físico-geográfico mais dinâmico, a análise do clima não se restringiu à escala terciária ou local. Ao contrário, a avaliação do regime pluviométrico, do regime hidrológico e da variação sazonal das chuvas, bem como sua espacialização demandou uma análise climática em escala secundária ou regional de toda a bacia hidrográfica.

Dentre os aspectos físico-geográficos, ao clima foi dada atenção especial, uma vez que o clima – especificamente a precipitação e sua variação no espaço – deve ser entendido como entrada de energia no sistema de qualquer bacia hidrográfica, responsável por grande parte da dinâmica hidrológica de um rio. Evidentemente, ao ser encarada como um sistema, os aspectos geomorfológicos e geológicos incidem de forma significativa no arranjo do padrão de drenagem dos rios de uma bacia hidrográfica, bem como em sua dinâmica hidrológica, viabilizando, por exemplo, o extravasamento do rio em uma seção transversal e em outra não.

Embora o sul do Brasil esteja inserido aproximadamente entre os paralelos 20°S e 32°S, não apresenta climas temperados típicos, mas sim climas do tipo subtropical. No que se refere à dinâmica atmosférica regional, os sistemas atmosféricos atuantes, na região sul brasileira, são: Massa Tropical Atlântica – mTa; Massa Polar Atlântica – mPa; Massa Equatorial Continental – mEc; e Massa Tropical Continental – mTc (MONTEIRO, 1968, p.117).

Baseando-se no sistema de classificação de Köppen, verifica-se, no alto curso da bacia hidrográfica do rio Tibagi, tomando-se como referência os municípios de Ponta Grossa, Fernandes Pinheiro, Santa Cruz e Castro, um clima do tipo Cfb – clima úmido, com chuva durante todo o ano e verão moderadamente quente. No médio curso, considerando-se os municípios de Telêmaco Borba, Ortigueira e Curíuva, um clima ora Cfb, ora Cfa; enquanto no curso inferior, levando-se em conta os municípios de Londrina, Jataizinho, Primeiro de Maio e Apucarana, o clima é do tipo Cfa – clima úmido, com chuva durante todo o ano e verão quente. Entretanto, devido ao aumento de altitude, municípios, como Apucarana, também apresentam um clima do tipo Cfb. As temperaturas médias no alto, médio e baixo curso são 18°C, 19,5°C e 21°C; enquanto as médias pluviométricas, utilizando-se a mesma sequência são, 1550 mm, 1700 mm e 1600 mm (MENDONÇA, 2002, p.65).

A região meridional do Brasil, conforme Monteiro (1962, p.38), apresenta chuvas bem distribuídas durante o ano inteiro, sendo esta a única região do país em que verifica-se precipitações nivais.

Todavia, Monteiro (1962, p.38) argumenta que o noroeste do Paraná e o oeste de São Paulo constituem-se em uma área de transição climática, não apresentando, desse modo, as características climáticas fidedignas ao clima do Brasil meridional. Por esse motivo, há dificuldade em realizar-se uma precisa classificação climática dessa área. Monteiro (1968, p.117) acrescenta que tal faixa de transição climática, situada na parte mais setentrional da região sul brasileira, estende-se às regiões adjacentes nos sentidos leste e centro-oeste. Atuam, ao norte, principalmente os sistemas intertropicais; e ao sul os extratropicais.

A partir de tais obras, Zavatini (1983, p.12), tendo como área de estudo as cidades de Araçatuba, Presidente Prudente e Londrina, e Mendonça (1994, p.103) a cidade de Londrina, entendem que esta situa-se sob tal área de transição climática, considerada o limite sul dessa faixa transicional. Estando o município de Jataizinho localizado próximo ao município de Londrina, a leste, e situando-se sobre o mesmo paralelo, pode-se afirmar que Jataizinho encontra-se sob essa faixa transicional.

Mesmo se encontrando sob uma área de transição climática, Londrina, bem como todo o Brasil meridional podem, segundo a classificação de Strahler (1951), ser enquadrados no grupo dos climas controlados por massas de ar tropicais e polares (apud MONTEIRO, 1968, p.157). Estendendo-se aproximadamente entre os paralelos de 20°S e 30°S, Strahler; Strahler (2005, p.248) subdividem os tipos climáticos da região sul brasileira em dois grupos: um pertencente ao Grupo I – Climas de Latitude Baixa, denominado clima litorâneo de monção e ventos alísios, e o segundo, pertencente ao Grupo II – Climas de Latitude Média, denominado clima subtropical úmido.

Conforme Strahler; Strahler (2005, p.246), o clima litorâneo de monção e ventos alísios é um clima quente com estação chuvosa muito úmida. Ocorre em regiões litorâneas, que são influenciadas por ventos alíseos ou pela circulação de monção. Podem-se citar o Vietnã e Bangladesh como bons exemplos de ocorrência desse tipo climático. No que concerne ao clima subtropical úmido, pode-se dizer que apresenta verão quente e úmido, com inverno ameno e ampla

distribuição de chuva durante todo o ano. Como exemplo de ocorrência, pode-se citar o sudeste dos Estados Unidos e da China.

Retomando a questão do fenômeno de monção, Monteiro (1968, p.156) assevera que, não existindo, a rigor, uma inversão completa da circulação no decorrer do ano, não é absurdo falar, em relação ao sul do Brasil, na existência de uma monção quente de verão, devido à frequência das descontinuidades do nordeste, produtoras de ondas de calor e de fortes chuvas convectivas; alternada por uma monção fria durante o inverno, gerada pela atuação dos sistemas extratropicais, produtoras de grandes resfriamentos, mas também precedidas por fortes precipitações frontais.

Todavia, analisando o trabalho de Mendonça (1994, p.106), verifica-se que a disposição nordeste-norte-noroeste da abertura da parte a jusante da bacia hidrográfica do rio Tibagi direciona os fluxos de ventos, os quais são preferencialmente de leste e nordeste, provenientes da alta subtropical 30° S ou anticiclone semifixo do atlântico, o qual dá origem à massa tropical atlântica – mTa – principal sistema atmosférico que atua na definição climática regional, seguida do anticiclone migratório polar, o qual origina a massa polar atlântica – mPa. O direcionamento desses fluxos de ventos é condicionado pela configuração geomorfológica, especialmente pelas calhas dos rios Tibagi e Paranapanema. O ramo oceânico da mPa aproveita igualmente a mesma compartimentação geomorfológica em suas incursões de inverno; enquanto o ramo continental da mPa, a mEc e a mTc o utilizam vindo de oeste, sudoeste e noroeste.

Em estudo realizado por Wagner *et al.* (1989), cujo objetivo foi analisar a direção preferencial dos ventos, no Estado do Paraná, verifica-se que mesmo no inverno, quando há aumento dos ventos provenientes de sudoeste e sudeste devido às incursões da mPa, ocorre maior participação dos ventos provenientes de leste e nordeste. Este fato deixa evidente que não há ocorrência do fenômeno de monção, na região meridional do Brasil, uma vez que não há inversão completa dos fluxos de ventos nos distintos períodos sazonais.

3.6 VEGETAÇÃO

Segundo Maack (1981, p.246), a vegetação natural dominante, na área do curso inferior da bacia hidrográfica do rio Tibagi, era a mata pluvial tropical, uma variação da mata pluvial-tropical do litoral, rica em palmeiras, destacando-se a *Euterpe edulis*, conhecida como palmito. A gradativa transição para o caráter subtropical relaciona-se à altitude, ocorrendo a formação das matas de araucária (*Araucaria angustifolia*) acima de 500 m. Conforme Torezan (2002, p.105), a vegetação originalmente dominante era a floresta estacional semidecidual, a qual formava um contínuo com a floresta ombrófila densa – floresta atlântica – sendo por isso, considerada parte do bioma das florestas tropicais.

De acordo com Barros; Mendonça (2000, p.85), o Estado do Paraná apresentava áreas com matas nativas, em torno de 84 %, em 1895; e em 1987, detinha apenas uma estimativa de 2,5 %. Destaca-se que a bacia hidrográfica do rio Tibagi sofreu um intenso processo de fragmentação e desmatamento, ao longo do século XX, principalmente após as décadas de 1930 e 1940, devido às circunstâncias econômicas vivenciadas no período, aliando-se o fato de possuir solos férteis, uma elevada aptidão agrícola, bem como condições climáticas favoráveis à lavoura. As matas pluviais foram substituídas inicialmente, nos interflúvios, por cafezais e, nos vales fluviais, por pastagens e demais culturas. Atualmente predominam as culturas temporárias e a pecuária. Nesse sentido, Torezan (2002, p.105) atesta que atualmente a paisagem é formada por pequenos fragmentos de matas, ocorrendo, de forma mais significativa, a presença de mata natural / secundária a oeste do rio Tibagi, entre 2 % e 4 % da área outrora ocupada por matas.

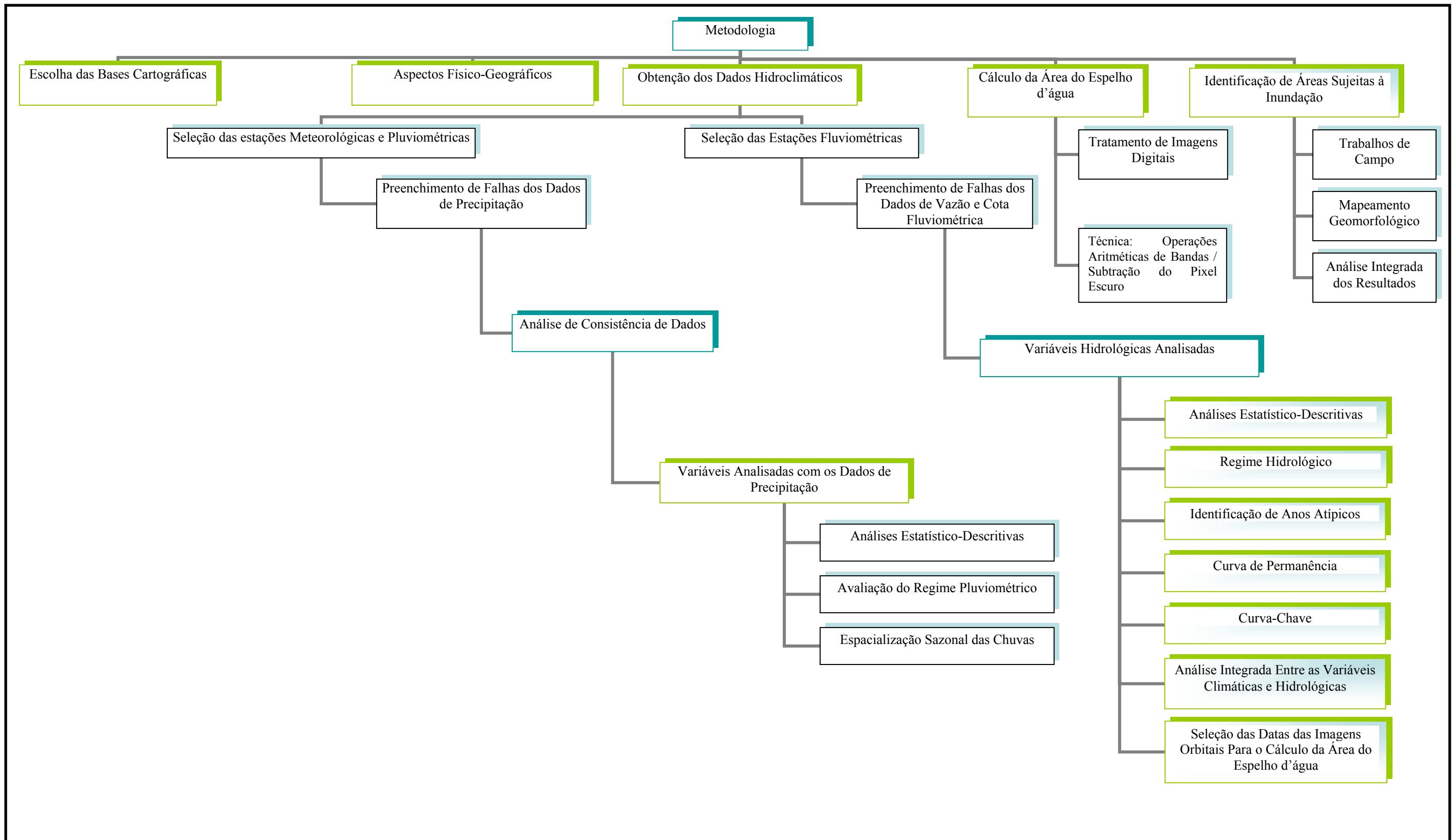
O capítulo seguinte discorrerá sobre a metodologia empregada na presente pesquisa.

CAPÍTULO 4

MATERIAIS E PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A metodologia utilizada pautou-se pela interpretação de parâmetros hidroclimáticos, pela fotointerpretação de imagens orbitais e fotos aéreas, em trabalhos de campo, em mapeamento do espelho d'água e em mapeamento geomorfológico. O ano inicial da análise dos dados pluviométricos, bem como das imagens de satélite e fotos aéreas deu-se após o início das atividades da hidrelétrica Escola Engenharia Mackenzie - Capivara, ou seja, com a foz do rio Tibagi alterada. Quanto aos dados de vazão e cota fluviométrica, a fim de se estabelecer um regime hidrológico consistente, fez-se o uso de dados anteriores à construção da referida hidrelétrica. A seleção de anos atípicos positivos – débitos acima da média – para o mapeamento do espelho d'água foi feita após o ano de construção da mesma. A fim de melhor estruturar a metodologia adotada e facilitar o entendimento desta, construiu-se um organograma descrevendo as principais etapas (Quadro 1). Na sequência da leitura, a metodologia apresenta-se de forma detalhada.

Quadro 1 – Organograma descrevendo as principais etapas adotadas na pesquisa.



4.1 MATERIAIS UTILIZADOS

Para a aquisição dos dados hidroclimáticos, utilizaram-se os softwares Hidro 1.0.8 e HIDRO-PLU 3.2. Para a aplicação das técnicas de geoprocessamento, utilizaram-se os seguintes softwares: GeoPosCalc, ProGriD, AutoCad, ArcView 9.3, Surfer 8.0 e SPRING 5.0. Parte considerável da pesquisa foi realizada no Laboratório de Geoinformática, situado no Laboratório de Apoio à Pesquisa e Pós-Graduação – LAPP / UEL.

Durante os trabalhos de campo, utilizou-se máquina fotográfica para o registro das imagens dos locais visitados e GPS de navegação para a obtenção das coordenadas geográficas. Para a execução dos trabalhos de campo, foram utilizados transporte próprio e transporte da prefeitura de Jataizinho, sempre com o acompanhamento de funcionário da prefeitura. Ressalta-se que, houve apoio financeiro do programa de Pós-Graduação, *Geografia, Dinâmica Espaço-Ambiental / UEL*, para custear parte dos gastos com combustível e refeição durante a realização dos trabalhos de campo.

4.2 BASES CARTOGRÁFICAS

As bases cartográficas utilizadas para a identificação da área de estudo, delimitação da bacia hidrográfica do rio Tibagi, localização das estações meteorológicas, localização das estações fluviométricas, espacialização das isoetas de precipitação, apresentação dos aspectos físico-geográficos, mapeamento do espelho d’água do rio Tibagi e mapeamento geomorfológico de áreas sujeitas à inundação na cidade de Jataizinho foram adquiridas, via download, junto ao Instituto de Terras, Cartografia e Geociências – ITCG (2009), ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE (2010) e no Laboratório de Hidrogeologia do Departamento de Geociências / UEL, neste, especificamente fotos aéreas na escala de 1:25.000.

Parte da base cartográfica, especificamente os mapas do ITCG, foi adquirida na extensão shapefile (*.shp), utilizada tanto no SPRING 5.0, como no Arc View 9.3. Desse modo, os mapas já digitalizados e georreferenciados foram mapas relacionados aos recursos hídricos e às unidades territoriais. Subdividindo essas

duas categorias, fez-se o uso dos seguintes mapas: mapa das bacias hidrográficas, onde está representada a delimitação das principais bacias hidrográficas do Paraná; mapa da hidrografia, onde é apresentado o canal principal de cada uma das principais bacias hidrográficas do Paraná e tributários de menor ordem; mapa de solos e o mapa de divisão política-administrativa do Paraná - 2007. Através desses mapas, ora sobrepondo os mesmos, ora priorizando um em detrimento do outro, pôde-se representar de forma adequada as informações pretendidas.

Para a espacialização das estações meteorológicas e fluviométricas, elaborou-se um Banco de Dados Geográfico – BDG – através do *software Arc View 9.3*. Adotou-se o sistema de projeção UTM e o *Datum* planimétrico SAD 69 em todas as bases cartográficas utilizadas. No que diz respeito às etapas de pré-processamento e vetorização das imagens, estas foram realizadas no SPRING 5.0. A etapa de pós-processamento, a elaboração de carta clinográfica e modelo numérico do terreno – MNT – foram executados no Arc View 9.3.

Sabendo-se que o *datum* planimétrico e o sistema de projeção utilizados foram respectivamente, *South American 1969* e UTM Zona 22 S, as coordenadas geográficas das estações meteorológicas, pluviométrica e fluviométricas, representadas em graus, minutos e segundos, foram convertidas para UTM, através do software *GEOPos Calc 1.0.0.3*. Em situações que as coordenadas geográficas apresentavam-se em graus e décimos de graus, foram convertidas para graus, minutos e segundos, através do *software* em questão e de uma calculadora científica, a fim de evitar erros nos cálculos. Após a constatação de que as duas ferramentas apresentaram os mesmos resultados, as coordenadas, já em graus, minutos e segundos, foram convertidas para UTM, através do *software GEOPos Calc 1.0.0.3*.

No que concerne aos dados orbitais, fez-se o uso de imagens dos satélites LANDSAT 5 e CBERS 2B, selecionadas através de critérios estabelecidos para a presente pesquisa, os quais serão discutidos no decorrer da leitura. Informações das imagens orbitais, como data de imageamento, órbita, ponto, satélite, sensor, resolução espacial, resolução temporal, largura da cena e porcentagem de cobertura de nuvens, podem ser observadas no quadro 2.

Quadro 2 - Informações sobre as imagens de satélite utilizadas.

Imageamento	Órbita	Ponto	Satélite	Sensor	RE (m)	RT	LC (Km)	CN (%)
09/06/1998	222	76	LANDSAT 5	TM	30	16	185	10
20/02/2005	222	76	LANDSAT 5	TM	30	16	185	10
09/04/2005	222	76	LANDSAT 5	TM	30	16	185	0
09/10/2007	159	125	CBERS 2B	CCD	20	26	113	0
07/04/2010	158	126	CBERS 2B	CCD	20	26	113	0

RE = resolução espacial dos canais utilizados; RT = resolução temporal (dias); LC = largura da cena; CN = cobertura máxima de nuvens nos quadrantes da cena. Organização: SOUSA, Rodrigo V. B.

Quanto às fotos aéreas utilizadas para o mapeamento geomorfológico, todas se apresentaram em tons de cinza, com escala de 1:25.000. As informações dos referidos materiais podem ser averiguadas no quadro 3.

Quadro 3 - Fotos aéreas consultadas e utilizadas no mapeamento geomorfológico

Data	Número	Quadrícula	Faixa	LV	Escala	Empresa	Uso
1980	18129	s/n	s/n	E-W	1:25.000	AERODATA	M
1980	18130	s/n	s/n	E-W	1:25.000	AERODATA	M
1980	18024	SF – 22 – Z – C – I	B - 21 - III	E-W	1:25.000	AERODATA	C
1980	18025	SF – 22 – Z – C – I	B - 21 - III	E-W	1:25.000	AERODATA	C
1980	18026	SF – 22 – Z – C – I	B - 21 - III	E-W	1:25.000	AERODATA	C

LV = linha de voo; M = mapeamento; C = consulta; s/n = sem número. Organização: SOUSA, Rodrigo V. B.

4.3 OBTEÇÃO DOS DADOS HIDROCLIMÁTICOS

Os dados de precipitação foram obtidos via ofício e termo de compromisso, que atestaram a utilização desses dados apenas para fins científicos das seguintes instituições: Instituto Agronômico do Paraná – IAPAR, Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, Sistema Meteorológico do Paraná – SIMEPAR e, com o auxílio do software Hidro 1.0.8, por meio do banco de dados do Sistema de Informação Hidrológica – *hidroweb* – ANA (2005a).

Quanto aos dados das estações fluviométricas, especificamente débitos e registros limimétricos, foram adquiridos junto à ANA (2005a) e ao Instituto de Águas do Paraná, extinta Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental – SUDERHSA.

A localização dos municípios que possuíam estações meteorológicas, pluviométricas e fluviométricas foi verificada junto ao IAPAR (2009), ao Instituto Ambiental do Paraná – IAP (1993) e à ANA (2005a).

4.4 SELEÇÃO DAS ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS E PLUVIOMÉTRICAS

Após a obtenção dos dados das estações meteorológicas e pluviométricas, o primeiro passo foi plotar todas as estações no mapa base, a fim de eliminar aquelas que porventura encontravam-se fora dos limites da bacia hidrográfica do Tibagi. A partir da localização apenas das estações contidas na bacia hidrográfica do Tibagi, passou-se para a análise dos dados diários e mensais de precipitação, na escala temporal de 30 anos, compreendido entre 1979 a 2008.

Com base em Zandonadi (2009, p.32), foram construídos quadros com uma escala cromática, cujo objetivo foi auxiliar a visualização das falhas dos dados de precipitação. Como exemplo, pode-se observar a estação de Castro 02450010_83813 (Quadro 4). Por fim, foram selecionadas apenas as estações que contemplavam a série temporal de 30 anos, compreendido entre 1979 a 2008, e que apresentaram o menor número possível de falhas (Figura 7 e Quadro 5).

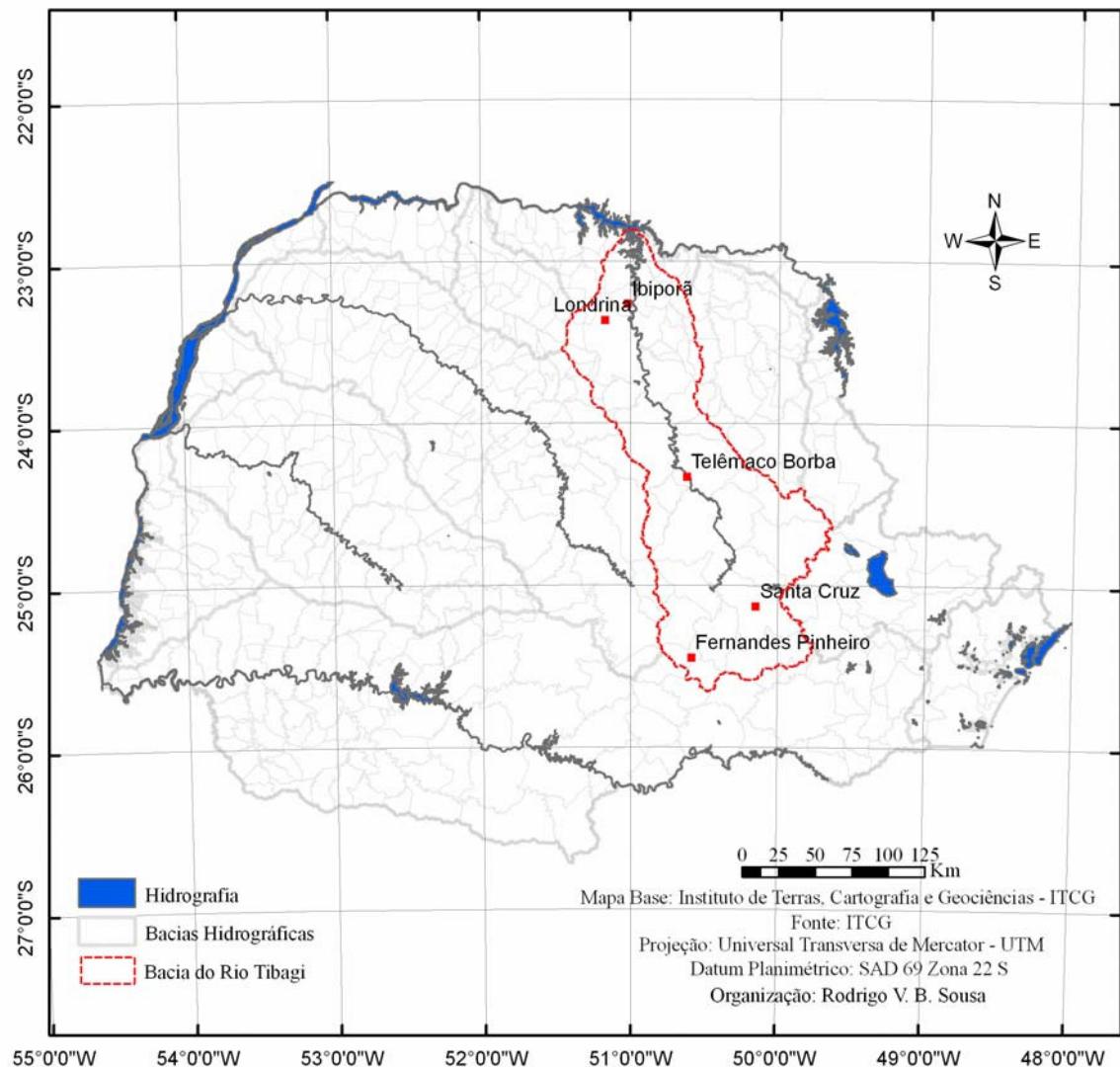
Quadro 4 - Identificação de falhas nos dados pluviométricos.

Ano	Mês											
	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
1979	3	4	6	10	17	21	23	16	13	9	3	8
1980	7	5	5	14	8	18	13	12	9	5	3	2
1981	6	8	17	6	9	13	8	7	10	11	2	9
1982	17	8	2	1	7	16	8	5	18	19	13	14
1983												
1984							1					
1985												
1986	1											
1987									1			
1988					2							31
1989	1											31
1990	1	2						2			1	31
1991	1	1	2	3	4	4			31	1	31	
1992	3	1			2	2	2		1	10	30	31
1993												
1994												
1995										18	4	
1996												
1997											5	
1998												
1999												
2000												
2001												
2002							1			1	2	2
2003	1				1	1		30	30	31	30	1
2004	2	1		2			1		1	2		2
2005	5	1	4	2	1	1	1					
2006												
2007												
2008												

 	meses com nenhum dia de falha
 	meses com até 10 dias de falhas
 	meses com mais de 10 dias de falhas ou sem informação

Organização: SOUSA, Rodrigo V. B.

Figura 7 - Estações meteorológicas e postos pluviométricos selecionados.



Quadro 5 - Estações meteorológicas e postos pluviométricos selecionados.

Nome	Código	Coordenadas Geográficas (UTM)		Responsável	Operadora	Município	Altitude (m)
		X (<i>longitude</i>)	Y (<i>latitude</i>)				
Ibiporã	02351011	498295,342014081	7426950,82466625	IAPAR	IAPAR	Ibiporã	484
Londrina	02351003	482966,149941329	7415870,64212026	IAPAR	IAPAR	Londrina	585
Telêmaco Borba	02450011	538888,494596763	7308805,11079904	IAPAR	IAPAR	Telêmaco Borba	768
Santa Cruz	02550003	585682,791238848	7220008,74293170	ANA	SUDERHSA	Ponta Grossa	790
Fernandes Pinheiro	02550025	541891,666752053	7185147,68715721	IAPAR	IAPAR	Fernandes Pinheiro	893

Organização: SOUSA, Rodrigo. V. B.

Nenhuma das estações meteorológicas do IAPAR selecionadas para análises estatístico-descritivas apresentaram falhas. Deve-se destacar que, embora as estações meteorológicas do SIMEPAR tenham apresentado uma boa série de dados, a saber: Telêmaco Borba – 024205037, Ponta Grossa – 025135001 e Fernandes Pinheiro – 025275035, estas apresentaram dados somente a partir do ano 2000, uma vez que tratavam-se de estações automáticas que passaram a substituir as estações convencionais do IAPAR.

Outro aspecto que deve ser mencionado diz respeito à escolha do posto pluviométrico de Santa Cruz – 02550003, operado pela SUDERHSA, cujo objetivo foi compensar a estação de Ponta Grossa – 02550024, operada pelo IAPAR, já que esta apresentou dados somente até 2002. A quantidade de estações meteorológicas e pluviométricas selecionadas foi considerada o suficiente para a análise do regime pluviométrico e da espacialização das chuvas na bacia do Tibagi. Devido à escassez de tempo, não foram investigados outros postos pluviométricos operados pela SUDERHSA.

Apesar de não terem sido utilizados dados de precipitação do INMET para análises posteriores, devido ao excesso de falhas ou incompatibilidade de escala temporal, vale destacar a imensa dificuldade em adquirir dados meteorológicos junto à referida instituição. A morosidade no envio de dados de precipitação e temperatura pela instituição, com sede em Brasília – DF, de apenas três estações: Nova Fátima – 02350008, Castro – 02450010-83813 e Ivaí, contabilizou quatro meses e cinco dias. Em contrapartida, esta demora foi compensada pela prontidão e eficiência das instituições paranaenses.

4.4.1 Preenchimento de Falhas dos Dados de Precipitação

Para o preenchimento de falhas mensais dos dados de precipitação, utilizou-se o Método de Regressão Linear, discutido por Bertoni; Tucci (2002, p.183). Tal método consiste em uma análise de correlação entre os dados do posto com falhas e um posto de referência com características climáticas e geográficas similares. Desse modo, os critérios adotados para a

escolha da estação de referência foram: altitude, localização e ausência ou menor quantidade de falhas⁶.

A análise de correlação, representada pelo coeficiente de correlação (r^2), tem por objetivo correlacionar duas variáveis averiguando a intensidade ou nível de associação entre as mesmas. Para a utilização do Método de Regressão Linear, os dados dos dois postos utilizados no gráfico devem ser completos. Desse modo, os eixos das ordenadas e das abscissas devem apresentar escalas temporais iguais e não apresentar falhas. Conforme Triola (2005, p.396), o objetivo principal da regressão linear é descrever a relação entre duas variáveis, através do gráfico e da equação que representam a relação. Esta reta é chamada de *reta de regressão* e sua equação, de *equação de regressão*.

De acordo com Lanna (2004, p.101), a regressão linear simples relaciona duas variáveis, descrita por uma função do tipo geral $Y = f[X]$. Quando esta função é retilinearizada, ela assume a forma $Y = A.X + B$. Os coeficientes da reta, incluindo-se o coeficiente de correlação, podem ser obtidos diretamente no gráfico. O valor de B será o de y, quando x = 0, encontrando-se sobre o eixo das coordenadas. O valor de A é a tangente do ângulo que a reta ajustada faz com a horizontal. Os valores de A e B também podem ser obtidos pelo método dos mínimos quadrados, teoricamente descrito pela equação 1.

$$(\bar{y} - y)/s_y = [s_{xy}/(s_x \cdot s_y)] \cdot (\bar{x} - x)/s_x = r_{xy} \cdot (\bar{x} - x)/s_x \quad (1)$$

Outros autores, como Ward; Trimble (2004, p.19), destacam que os coeficientes b, a e r podem ser obtidos respectivamente pelas equações 2, 3 e 4.

$$b = n(\sum xy) - (\sum x)(\sum y) / n(\sum x^2) - (\sum x)^2 \quad (2)$$

sendo:

n = número de mensurações.

⁶O preenchimento de falhas é indicado apenas para falhas mensais ou anuais, pois o preenchimento de falhas diárias torna-se dificultoso devido à grande variação espacial e temporal da precipitação para os eventos nessa escala de tempo (BERTONI; TUCCI, 2002, p.183).

$$a = \bar{y} - b \cdot \bar{x} \quad (3)$$

sendo:

\bar{y} = média dos valores de y;

\bar{x} = média dos valores de x.

$$r = n(\sum xy) - (\sum x)(\sum y) / \sqrt{n(\sum x^2) - (\sum x)^2} \cdot \sqrt{n(\sum y^2) - (\sum y)^2} \quad (4)$$

As etapas realizadas para aplicação do Método de Regressão Linear podem ser descritas da seguinte forma:

- No ambiente *Excel*, construiu-se um gráfico de dispersão, cujo eixo das ordenadas – variável independente (x) – apresentou os dados da estação utilizada como referência; enquanto o eixo das abscissas – variável dependente ou variável resposta (y) – os dados da estação com falhas;
- com o gráfico de dispersão construído, foi verificado se os dados estavam realmente nos seus respectivos eixos, a fim de não obter resultados equivocados;
- na sequência, traçou-se uma reta de tendência obtendo-se, a partir desta, a função para o preenchimento das falhas. As variáveis envolvidas na função que o próprio *software* determina, através da reta de tendência, são: coeficiente de x (tangente do ângulo que a reta faz com a horizontal); coeficiente de interseção (valor de y, quando x for zero) e R quadrado (r^2) (coeficiente de correlação);
- para estimar o valor de precipitação a ser preenchido, substituiu-se o (x) da função pelo valor da precipitação mensal ou anual da estação de referência;
- o período utilizado para o preenchimento das falhas foi de 13 anos, estando compreendido entre 1979 e 1991. Este intervalo de dados mensais e ininterruptos foi utilizado nos dois eixos dos gráficos, ordenadas e abscissas. Destaca-se

que, para a construção da regressão linear, é imprescindível a utilização de dados ininterruptos nos dois eixos do gráfico.

Pelo fato da estação Ponta Grossa – 02550024, operada pelo IAPAR, ter apresentado dados ininterruptos entre, 1979 até julho de 2001, não abrangendo, desse modo, o período de 30 anos; optou-se pela escolha de uma estação com características climáticas similares, a fim de substituir a referida estação. Assim, descartou-se a hipótese de preencher os dados faltantes da estação Ponta Grossa – 02550024, pelo fato desta apresentar, 7 anos e 5 meses, de falhas.

Para a escolha da estação substituta foram analisados dados de 17 estações, na bacia hidrográfica do Tibagi, em um raio de 30 Km, a partir da estação Ponta Grossa – 2550024. A escolha do raio de 30 Km e não de um raio superior foi uma maneira de localizar as estações, cujas características climáticas fossem próximas da estação de Ponta Grossa 2550024. A localização das referidas estações foi realizada, através do software HIDRO-PLU – Programa de Homogeneização de Dados Pluviométricos, desenvolvido pela ANEEL *et. al.* (2000); enquanto os dados de precipitação foram adquiridos junto à ANA (2005a).

De um total de 17 estações pesquisadas, apenas 3 estavam em operação. Assim, as estações selecionadas foram: Santa Cruz – 02550003, Usina Manoel Ribas – 02550015 e Catanduva de Fora – Ronca Porco – 02450024. De posse das coordenadas geográficas das estações, plotou-se as mesmas em um mapa base. Os critérios utilizados para a escolha das estações, já mencionados no início desta subseção, foram: localização, altitude e ausência ou menor quantidade de falhas nos dados. A adoção desses critérios baseou-se em Monteiro (1962, p.38), que destaca o fato de a distribuição das chuvas sofrer influência significativa dos fatores locais, geralmente a orientação que as linhas do relevo assumem em relação à propagação das correntes atmosféricas regionais. As informações das estações podem ser observadas no quadro 6.

Quadro 6 – Informações sobre localização e altitude das estações selecionadas para substituição da estação Ponta Grossa – 02550024.

Estação	Código	Altitude (m)	Amplitude* (m)	Vertente**	Distância*** (Km)
Catanduva de Fora-Ronca Porco	02450024	1000	120	Direita	29,4
Santa Cruz	02550003	790	90	Direita	16,4
Usina Manoel Ribas	02550015	870	10	Direita	11,4

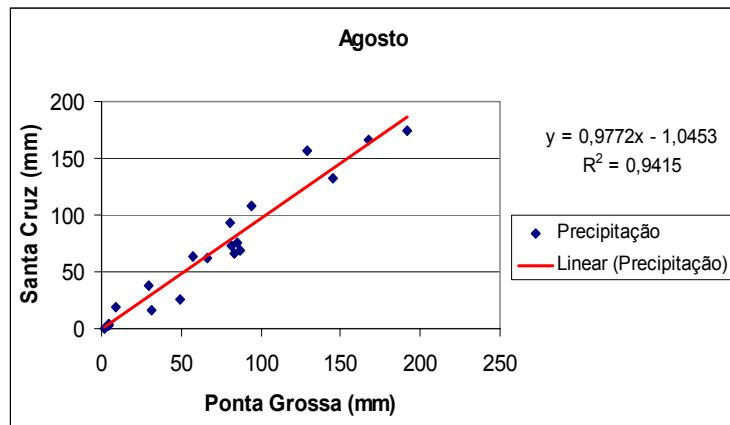
(*) diferença de altitude em relação à estação Ponta Grossa 2550024. (**) localização relativa na vertente direita do Tibagi. (***) Distância da estação de Ponta Grossa 2550024. Altitude da estação de Ponta Grossa 2550024 = 880 m. Organização: SOUSA, Rodrigo V. B.

Escolheu-se a estação Usina Manoel Ribas – 02550015, operada pela SUDERHSA, pois apresentou características mais próximas da estação Ponta Grossa – 02550024. Entretanto, após o preenchimento das falhas, observaram-se baixos valores de coeficiente de correlação, principalmente nos meses de fevereiro e dezembro.

Outro ponto negativo detectado nos dados da estação Usina Manoel Ribas – 02550015 foi que, após a realização da Análise de Consistência de Dados, verificou-se mudança na tendência da reta. Explicações mais detalhadas sobre a Análise de Consistência de Dados serão realizadas na subseção 4.4.2.

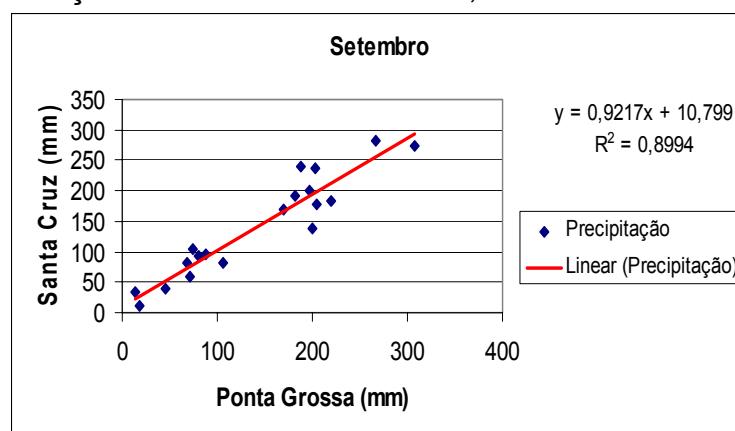
Devido a esses motivos, optou-se pela escolha da estação Santa Cruz – 02550003, também operada pela SUDERHSA. Quanto aos gráficos de regressão linear, estes podem ser visualizados nas figuras de 8 a 12. Salienta-se que para o preenchimento das falhas existentes, na estação de Santa Cruz, foi utilizada como referência a própria estação de Ponta Grossa – 02550024, operada pelo IAPAR. O intervalo de dados utilizado para o preenchimento das falhas esteve compreendido, entre 1979 e 1991, pois, a partir de 1992, a estação Santa Cruz passou a apresentar falhas.

Figura 8 – Regressão linear para preenchimento de falhas da estação Santa Cruz – 02550003, no mês de agosto.



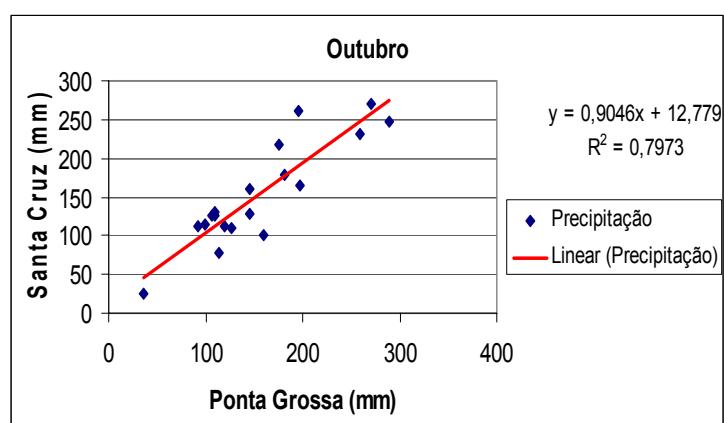
Fonte: ANA (2005a); IAPAR. Período: 1979 a 2001.
Organização: SOUSA, Rodrigo V. B.

Figura 9 – Regressão linear para preenchimento de falhas da estação Santa Cruz – 02550003, no mês de setembro.



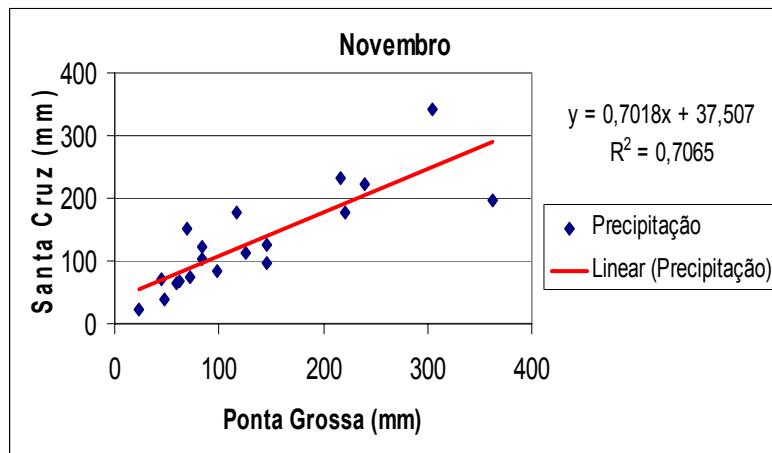
Fonte: ANA (2005a); IAPAR. Período: 1979 a 2001.
Organização: SOUSA, Rodrigo V. B.

Figura 10 – Regressão linear para preenchimento de falhas da estação Santa Cruz – 02550003, no mês de outubro.



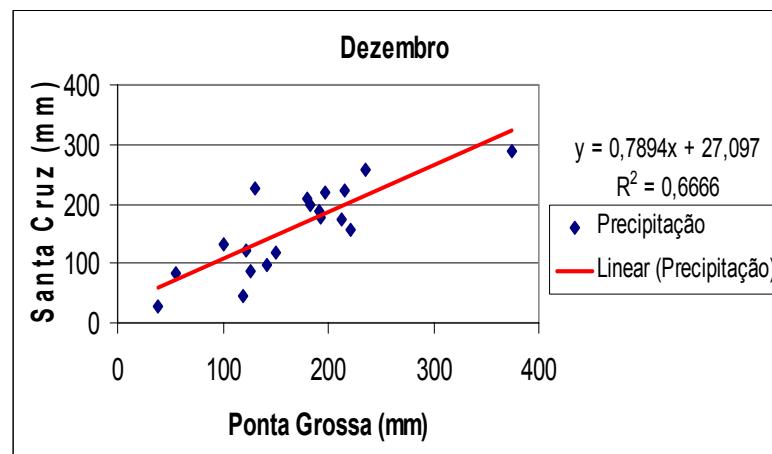
Fonte: ANA (2005a); IAPAR. Período: 1979 a 2001.
Organização: SOUSA, Rodrigo V. B.

Figura 11 – Regressão linear para preenchimento de falhas da estação Santa Cruz – 2550003, no mês de novembro.



Fonte: ANA (2005a); IAPAR. Período: 1979 a 2001.
Organização: SOUSA, Rodrigo V. B.

Figura 12 – Regressão linear para preenchimento de falhas da estação Santa Cruz – 2550003, no mês de dezembro.



Fonte: ANA (2005a); IAPAR. Período: 1979 a 2001.
Organização: SOUSA, Rodrigo V. B.

Analisando os gráficos de regressão linear, constata-se que o coeficiente de correlação oscilou entre 0,66 e 0,94. Desse modo, todos os coeficientes de correlação apresentaram valores positivos. As correlações mais altas, próximas a 1, também são evidenciadas pela disposição da nuvem de pontos, uma vez que parte significativa das precipitações localiza-se próxima à reta de tendência, apresentando-se mais dispersas, no mês de dezembro. Isso mostra que, mesmo havendo uma diferença altimétrica de 90 m entre as estações Ponta Grossa – 025500024 e Santa Cruz – 02550003, os fatores que

condicionam as precipitações em ambas as estações são os mesmos, desde que tomada como base uma escala regional ou secundária, e não uma escala microclimática. Todavia, Monteiro (1962, p.32) destaca a influência dos fatores geográficos em escala local, que incidem na precipitação, por exemplo, a direção de vertentes. O preenchimento de falhas dos dados de precipitação foi uma etapa necessária, a fim de não deixar lacunas na espacialização da precipitação, através de mapas de isoietas.

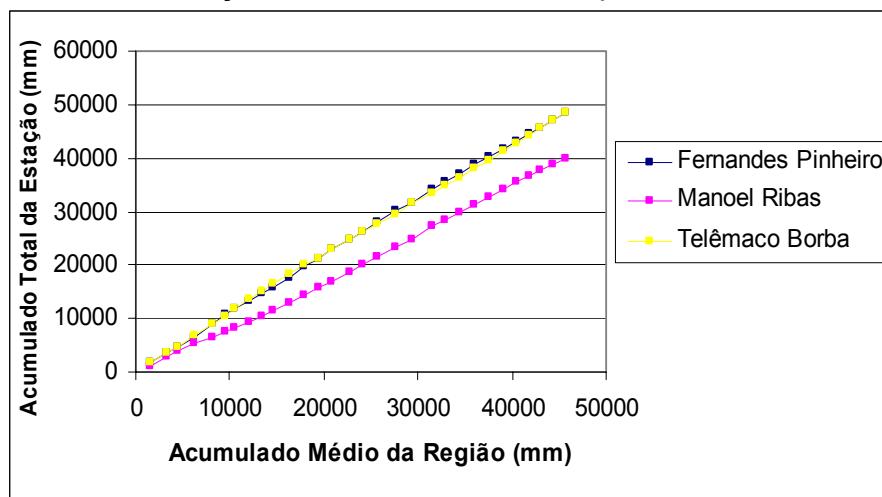
Conforme Lanna (2004, p.101), o coeficiente de correlação tem seu valor máximo igual a 1, indicando um perfeito ajuste da relação a uma tendência retilinear crescente ou positiva. Ele terá seu valor mínimo igual a -1, indicando um perfeito ajuste ao mesmo tipo de tendência, todavia, decrescente ou negativa. Quanto mais próximo de zero for o valor deste coeficiente, pior será o ajuste das variáveis a uma tendência retilinear. Maiores informações sobre os tipos de correlação linear podem ser averiguadas em Triola (2005, p.383).

4.4.2 Análise de Consistência de Dados

Para a Análise de Consistência dos Dados, ou seja, para a averiguação da homogeneidade dos dados, adotou-se o método da Dupla Massa ou Curva Duplo Acumulativo, discutido por Bertoni; Tucci (2002 p.186) e Holtz (1976, p.15). De forma sintética, esse método procura ilustrar, através de um gráfico cartesiano (X; Y), a relação entre o acumulado médio da região – eixo das ordenadas – e o acumulado do posto analisado – eixo das abscissas. A relação é dada, através de uma reta, de tal modo que mudanças bruscas na reta indicam inconsistências nos dados registrados.

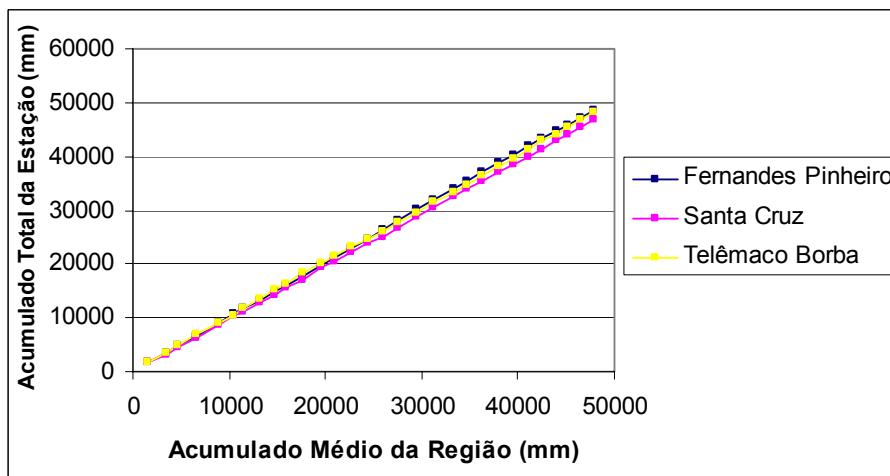
A homogeneidade dos dados deve ser realizada, a partir do agrupamento dos dados com características climáticas regionais iguais. Desse modo, a Análise de Consistência de Dados foi dividida em dois grupos: um com dados de postos localizados, no alto e médio curso da bacia hidrográfica do Tibagi, e outro com os dados de postos localizados, no curso inferior (Figuras 13 a 15).

Figura 13 - Análise de Consistência de Dados, no alto e médio curso. Estação Usina Manoel Ribas – 02550015 apresentando mudança de tendência na reta, a partir de 1982.



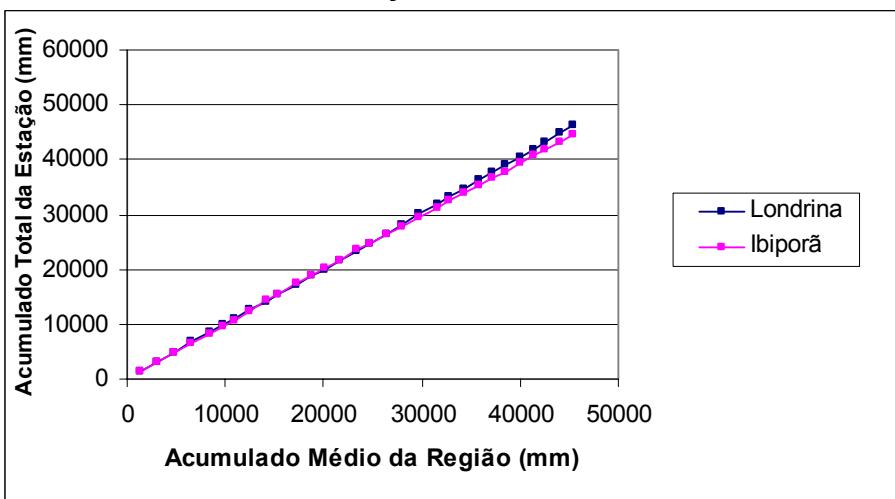
Fonte: ANA (2005a); IAPAR. Período: 1979 a 2008. Organização: SOUSA, Rodrigo V. B.

Figura 14 - Análise de Consistência de Dados, no alto e médio curso. Posto pluviométrico Santa Cruz – 02550003 substituindo o posto Usina Manoel Ribas - 02550015. Tendência das retas dos três postos apresentando traçado similar.



Fonte: ANA (2005a); IAPAR. Período: 1979 a 2008. Organização: SOUSA, Rodrigo V. B.

Figura 15 - Análise de Consistência de Dados, no curso inferior. Tendência das retas das duas estações apresentando traçado similar.



Fonte: IAPAR. Período: 1979 a 2008. Organização: SOUSA, Rodrigo V. B.

Analizando o gráfico da figura 13, verifica-se que, até o ano de 1981, o posto Usina Manoel Ribas – 02550015 apresentou um traçado na reta de tendência similar às outras duas estações. Todavia, a partir de 1982, o posto passou a apresentar mudança no traçado, provocando perda, no total acumulado para o ano de 2008, de 8625 mm em relação à estação de Fernandes Pinheiro – 02550025 e de 8327 mm para a estação de Telêmaco Borba – 02450011.

Essa mudança mostrou-se muito brusca, principalmente pelo fato de ambas as estações estarem situadas sob condições climáticas iguais. Devido a essa mudança de tendência dos totais acumulados do posto Usina Manoel Ribas – 02550015, optou-se não pelas correções dos valores, como sugerido por Bertoni e Tucci (2002, p.188), mas pela substituição do posto. Assim, realizou-se a Análise de Consistência de Dados com o posto Santa Cruz – 02550003, que apresentou um traçado na reta de tendência mais próximo aos outros dois postos da região, como verificado na figura 14.

A mudança de tendência, segundo Bertoni; Tucci (2002, p.186), pode estar relacionada à presença de erros sistemáticos, mudança nas condições de observação ou na existência de uma causa física real, como alteração climática, no local, devido à presença de reservatórios artificiais.

4.4.3 Variáveis Analisadas com os Dados de Precipitação

Após o preenchimento das falhas e a análise de consistência dos dados de precipitação, passou-se para as análises estatístico-descritivas, avaliação do regime pluviométrico e espacialização sazonal das chuvas.

As análises estatístico-descritivas resumiram-se a medidas de tendência central, como médias mensais e históricas de precipitação e temperatura, análise de tendência dos totais anuais de precipitação; e medidas de dispersão ou variabilidade como desvio padrão – *DESVPAD* – dos totais anuais de precipitação. Todos esses cálculos foram realizados na planilha *Microsoft® Excel*.

A média de tendência central, ou simplesmente média, pode ser considerada a medida de tendência central mais utilizada, o que, entretanto, não a torna mais eficaz. Dependendo do critério que o pesquisador utiliza, outras medidas de tendência central podem ser utilizadas, a saber, média ponderada, média de frequência, mediana e moda. Embora não exista receita para estimar a melhor medida de tendência central, Gerardi; Silva (1981, p.48); Triola (2005, p.50) apresentam vantagens e desvantagens de algumas dessas medidas. A média pode ser obtida através da equação (5):

$$\bar{x} = \sum x / n \quad (5)$$

sendo:

\bar{x} = média;

x= valores individuais;

n = número de valores em uma amostra ou população.

Conforme Triola (2005, p.56), o desvio padrão é considerado a medida de variação mais importante e utilizada. Conceitualmente, o desvio padrão de um conjunto de valores amostrais deve ser entendido como uma medida de variação dos valores em torno da média. De acordo com Triola (2005, p.50), o desvio padrão pode ser expresso pela equação (6):

$$s = \sqrt{\sum(x - \bar{x})^2 / n - 1} \quad (6)$$

sendo:

s = desvio padrão;

x = valor individual;

\bar{x} = média.

n = número de valores em uma amostra ou população.

Segundo Monteiro (1971, p.6), a definição de regime difere-se da definição de ritmo, uma vez que esta implicitamente conduz à noção de habitual. Assim, o ritmo seria as variações mensais dos elementos climáticos, verificadas ao longo do ano; enquanto uma repetição das variações mensais em vários e sucessivos anos, ou seja, ao longo de uma série de dados, seria o regime.

Para a confecção dos mapas de isoietas utilizou-se o *software Surfer 8.0*, ressaltando que tanto os softwares SPRING 5.0, *Arc View 9.0* quanto o *Surfer 8.0* trabalham com a extensão *shapefile (*.shp)*, havendo, dessa forma, compatibilidade na transferência dos dados, isto é, possuem escalabilidade.

No ato da elaboração dos mapas de isoietas, aderiu-se o método geoestatístico *krigagem* para a interpolação dos dados. De acordo com Landim; Sturaro (2002, p.2), a geoestatística calcula estimativas dentro de um contexto regido por um fenômeno natural, com distribuição no espaço. Desse modo, supõe que os valores das variáveis, consideradas como regionalizadas, sejam espacialmente correlacionados. Devido a esta característica, é muito aplicada para efetuar estimativas e/ou simulações de variáveis em locais não amostrados. De uma forma geral, a metodologia geoestatística procura extrair de uma aparente aleatoriedade dos dados coletados, as características estruturais probabilísticas do fenômeno regionalizado, ou seja, uma função de correlação entre os valores situados numa determinada vizinhança e direção no espaço amostrado, na qual a *krigagem* é considerada o método de estimativa básico.

Landim; Sturaro (2002, p.4) acrescentam que, no processo básico da *krigagem*, a estimativa é feita para determinar um valor médio em um local não amostrado. Todavia, pode-se também fazer estimativas baseadas em valores que

se situam abaixo ou acima de um determinado nível de corte – *cutoff*. Este procedimento, estabelecido para vários níveis de corte – percentis, decis e/ou quartis, por exemplo – de uma distribuição acumulada, conduzirá à estimativa de vários valores dessa distribuição, em um determinado local, cuja função pode ser ajustada.

A fim de se obter a quantidade de classes de precipitação, bem como o intervalo entre uma classe e outra, fez-se o uso da fórmula de *Sturges*, discutido por Gerardi; Silva (1981, p.34) e Ramos; Sanchez (2000, p.26), representada pela equação (7).

$$k = 1 + 3,3 \log n \quad (7)$$

sendo:

k = número de classes;

n = número total de observações;

\log = logaritmo para a base 10.

Após a obtenção de k , ressaltando que as amostras utilizadas foram as médias históricas de precipitação em milímetros, o intervalo das classes foi definido por uma operação matemática: a razão da amplitude total das amostras por k (Equação 8).

$$h = At / k \quad (8)$$

sendo:

h = intervalo de classe;

At = amplitude total;

K = número de classes.

4.5 SELEÇÃO DAS ESTAÇÕES FLUVIOMÉTRICAS

As estações fluviométricas de todos os municípios pertencentes à bacia hidrográfica do Tibagi foram selecionadas junto à ANA (2005a). No ato da escolha das estações e de suas respectivas séries históricas de cota fluviométrica e vazão, utilizaram-se as seguintes variáveis, durante o acesso ao banco de dados do Sistema de Informação Hidrológica – *hidroweb*: tipo de estação; código da sub-bacia – 64; código da bacia principal – 6 – representando a bacia hidrográfica do Paraná. Conforme DNAEE (1996), a sub-bacia 64 é a área de drenagem do rio Paraná, compreendida entre a confluência do rio Paranapanema, inclusive, e a confluência do rio Iguaçu, exclusive.

Após a identificação das estações, no banco de dados, verificou-se a presença ou não de dados de cota fluviométrica e vazão. Nos casos afirmativos, realizou-se o *download* dos arquivos Access, convertidos na sequência para as extensões (*.txt) e (*.xls) respectivamente, a fim de serem importados e manipulados no *software* Hidro 1.0.8.

De posse dos códigos, nomes e coordenadas geográficas de cada estação, estas foram plotadas em um mapa base, com o intuito de observar a distribuição espacial, na bacia hidrográfica. Descartadas as estações que se encontraram fora dos limites da bacia, provavelmente devido ao cadastramento errado das coordenadas geográficas, foram mapeadas 83 estações.

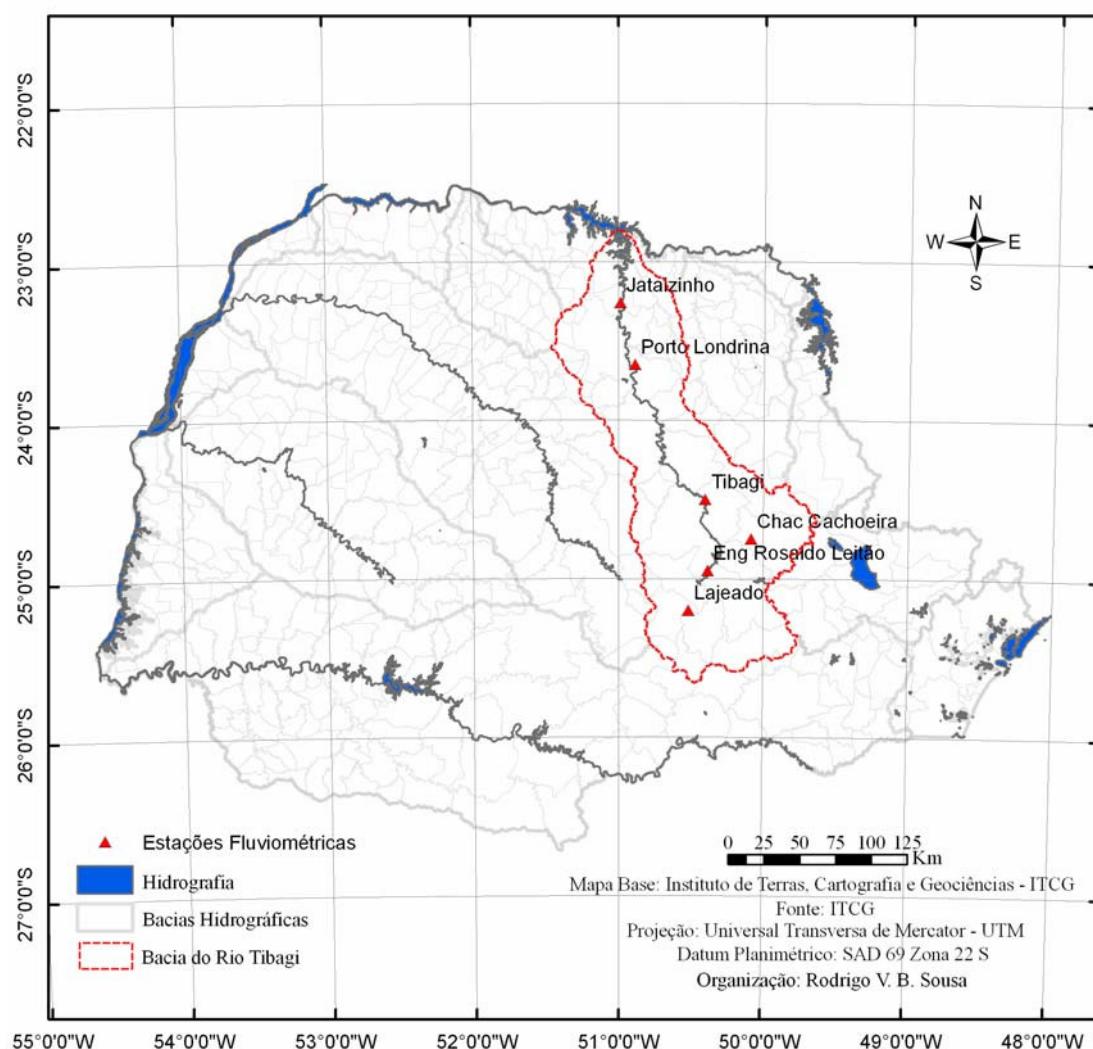
Devido à grande quantidade de estações, elegeram-se aquelas que possuíam uma área de drenagem maior, ou seja, as mais representativas, bem como aquelas situadas próximas ao rio principal da bacia, o rio Tibagi. Desse montante, foram escolhidas 43 estações.

Entretanto, uma nova classificação foi realizada com o objetivo de identificar as estações com um período de dados mais significativos. Devido ao excesso de falhas, nas estações fluviométricas, inicialmente foram selecionadas as que apresentaram uma série de dados – período – superior a 20 anos. Assim, de um total de 43 estações, selecionaram-se 15. Na sequência, essa classificação foi mais refinada, escolhendo-se as estações que apresentaram uma série de dados de 30 anos ou mais, bem como uma periodicidade até o ano de 2009.

Todavia, as estações 64442800 e 64477600, apesar de apresentarem uma série de 29 anos, foram selecionadas para a análise devido à boa sequência de dados sem falhas.

O objetivo disso foi padronizar a escala temporal dos dados das estações meteorológicas, pluviométricas e fluviométricas e também privilegiar estações fluviométricas que apresentassem dados mais atuais. Ao todo foram selecionadas 6 estações fluviométricas (Figura 16 e Quadro 7).

Figura 16 – Localização das estações fluviométricas selecionadas.



Quadro 7 - Informações descritivas sobre as estações fluviométricas selecionadas.

Código	Nome	Município	Rio	Altitude (m)	AD (Km2)	Coordenadas (UTM)	X	Y	Cota*	Vazão*	Responsável	Operadora	Período
64442800	Lajeado	Imbituva	Rio Imbituva	780	1319	548694	7212809	29	29	ANA	SUDERHSA	1981-2009	
64447000	Engenheiro Rosaldo Leitão	Ponta Grossa	Rio Tibagi	780	5731	562254	7240438	34	34	ANA	SUDERHSA	1976-2009	
64477600	Chácara Cachoeira	Castro	Rio Iapó	970	1604	592690	7262414	29	29	ANA	SUDERHSA	1981-2009	
64465000	Tibagi	Tibagi	Rio Tibagi	750	8948	560789	7290273	78	78	ANA	SUDERHSA	1932-2009	
64501000	Porto Londrina	São Jerônimo da Serra	Rio Tibagi	400	18768	511898	7384509	32	32	ANA	SUDERHSA	1978-2009	
64507000	Jataizinho ANEEL/CESP	Jataizinho	Rio Tibagi	336	21955	501591	7427873	78	78	Duke Energy	Duke Energy	1932-2009	

(*) Período (em anos) dos dados de cota fluviométrica e vazão. AD = Área de drenagem; 1 = Estação 64507000 atualmente é operada pela empresa Duke Energy conforme Edson Sakae Nagashima, funcionário do Instituto das Águas do Paraná: Fonte: Modificado de ANA (2005a).

Organização: SOUSA, Rodrigo V. B.

Pelo fato de muitas estações fluviométricas não estarem atualizadas até 2009, solicitou-se ao Instituto das Águas do Paraná o envio de dados atualizados. Destaca-se que, desde 13 de outubro de 2009, tal autarquia, vinculada à Secretaria Estadual do Meio Ambiente, passou a substituir a SUDERHSA. Em alguns casos, antes de descartar a utilização de uma dada estação, foram verificados se realmente não havia dados atualizados ou se, de fato, elas estavam desativadas como, as estações 64440000 – Santa Cruz; 64475000 – Castro; 64490000 – Salto Mauá, não utilizadas, pois realmente constavam como desativadas. Outro caso específico é o da estação 64460000 – Bom Jardim que, apesar de ter uma boa sequência de dados até o ano de 2000, foi interrompida por falta de observador. Quanto às estações utilizadas, houve a necessidade de se adquirir dados atualizados para todas, a maior parte a partir de 2006. Ressalta-se, ainda, que a curva de descarga da estação 64442800 foi revisada e alterada, modificando-se consequentemente os dados de toda a série da estação⁷.

4.5.1 Preenchimento de Falhas dos Dados Fluviométricos

Para o preenchimento das falhas utilizou-se o método denominado soma de vazões (ANA, 2002, p.42), descrito através da equação 9.

$$Q_d = \sum_{i=1}^N \alpha_i Q_{id} \quad (9)$$

sendo:

Q_d = vazão da estação calculada para o dia d ;

Q_{id} = vazão da estação i para o dia d ;

α_i = coeficiente multiplicativo adimensional de ajuste das vazões ($\alpha_i = R$);

N = Número de estações somadas.

O não preenchimento de falhas pelo método de curva de descarga ou pelo método de transferência (ANA, 2002, p.42) deve-se,

⁷ Todas as atualizações foram obtidas via e-mail por Edson Sakae Nagashima em nome do Instituto das Águas do Paraná (edson-nagashima@aguasparana.pr.gov.br), terça-feira, 14 de setembro de 2010, 14h:23min (informação verbal).

respectivamente, aos seguintes motivos: não terem sido construídas curvas-chaves das estações e dificuldade de ter encontrado estações de referência a jusante e a montante das estações com dados faltantes.

4.5.2 Variáveis Hidrológicas Analisadas

Investigaram-se as seguintes variáveis hidrológicas:

- análises estatístico-descritivas de vazão e cota fluviométrica;
- regime hidrológico;
- identificação de eventos extremos, através do índice de anomalia, discutido por Nery *et al.* (1998, p.131);
- curva de permanência;
- curva-chave.

As análises estatístico-descritivas resumiram-se às medidas de tendência central como: médias mensais e históricas de vazão e cota fluviométrica; medidas de dispersão ou variabilidade como: desvio padrão. Todos esses cálculos foram realizados na planilha *Microsoft® Excel*.

O regime hidrológico foi estimado para todas as estações fluviométricas, utilizando-se como padrão o ano hidrológico. Para a classificação do tipo de regime, utilizou-se, como bibliografia básica, Radesca (1964, p.537) e Latrubesse *et al.* (2005, p.191). No que diz respeito aos dados de cota fluviométrica, estes foram avaliados apenas para as estações da área de estudo, localizadas no curso inferior do rio Tibagi. Dessa forma, analisaram-se cotas fluviométricas das estações Jataizinho – 64507000 e Porto Londrina – 64501000.

A identificação dos eventos atípicos positivos de vazão, ou seja, acima da média, teve por objetivo identificar os anos em que a média dos débitos anuais se mostraram mais afastados da média histórica, partindo-se do pressuposto de que, nesses anos, o extravasamento do rio Tibagi, em seu baixo curso, foi mais acentuado. A avaliação conjunta dos valores de vazão e cota fluviométrica foi extremamente importante para a construção dessa hipótese, uma

vez que as vazões máximas e cotas fluviométricas máximas, apresentaram forte correlação ao longo das séries analisadas. Com base em Nery *et al.* (1998), a obtenção dos episódios fluviométricos atípicos realizou-se, através da equação (10).

$$\overline{X_a} - \overline{X} / \sigma \quad (10)$$

sendo:

$\overline{X_a}$ = média anual;

\overline{X} = média histórica;

σ = desvio padrão.

Segundo Tucci (2004, p.603), a curva de permanência relaciona a vazão ou nível de um rio e a probabilidade de ocorrerem valores maiores ou iguais aos representados na ordenada. Collischonn; Tassi (2008, p.170) argumentam que a curva de permanência, expressa a relação entre a vazão e a frequência com que esta vazão é superada ou igualada, podendo ser construída a partir de dados diários ou mensais. Em geral, a frequência dos débitos ou cotas fluviométricas é expressa em porcentagem, apresentando-se, em alguns casos, em escala logarítmica.

A utilização da curva de permanência é importante para muitos estudos, dentre alguns: os que visam determinar vazões mínimas de referência para outorga de uso de recursos hídricos, determinadas normalmente pelos parâmetros Q_{7,10} – vazão mínima, com duração de 7 dias consecutivos e período de retorno de 10 anos, ou, Q₉₅ – parcela, em que uma vazão é igualada ou superada em 95% do tempo. Pelo fato de estar vinculado aos períodos críticos de oferta de água, o conhecimento das vazões mínimas de uma bacia hidrográfica – obtidas pela curva de permanência – é extremamente importante em estudos de disponibilidade hídrica para os diversos usos consuntivos. Toma-se como referência o trabalho desenvolvido por (ANA, 2005b, p.1).

Conforme Pinto (1976, p.170), em estudos energéticos, costuma-se definir como energia primária da usina o equivalente a uma potência disponível entre 90 e 100% do tempo. Nos casos em que a curva de permanência apresenta

uma queda abrupta próxima ao valor de 97%, devido à ocorrência de alguns raros períodos de seca excepcional, costuma-se utilizar a frequência correspondente a essa queda brusca para estipular a energia primária. O autor ainda destaca a importância dessa ferramenta para a comparação de bacias hidrográficas com características distintas, colocando em evidência os efeitos do relevo, da vegetação, do uso da terra e da precipitação sobre a distribuição das vazões. Por fim, muitos são os trabalhos de biogeografia e ecologia que utilizam a curva de permanência para o estudo da ictiofauna em períodos de águas altas – potamofase – e águas baixas – limnofase.

Representada de forma gráfica, a mesma foi construída, através da metodologia empírica discutido por Tucci (2004, p.603), porém com algumas modificações no tocante à determinação e à apresentação das classes utilizadas no histograma. Salienta-se que, somente após a construção do histograma de freqüência, o gráfico da curva de permanência pode ser obtido. Assim, as classes dispostas no eixo das ordenadas não foram apresentadas em escala logarítmica, mas em porcentagem da frequência acumulada relativa. Do mesmo modo, os valores de cota fluviométrica ou vazão, dispostos no eixo das abscissas, não foram apresentados em escala logarítmica, e sim em cm e m^3/s , respectivamente.

A não utilização da escala logarítmica deve-se ao fato dessa técnica dificultar a interpretação do fenômeno abordado. Considera-se neste trabalho que a leitura de uma curva de permanência é muito mais simplificada e mais didática, quando os fenômenos são apresentados em suas escalas de medida, ou seja, (cm) ou (m) para os dados limimétricos, (m^3/s) para os dados de vazão e porcentagem para a frequência de cota fluviométrica ou vazão. A curva de permanência não foi obtida diretamente, por meio do software Hidro 1.0.8, pois o Banco de Dados do Sistema de Informação Hidrológica – ANA – não estava atualizado até o ano de 2009. Desse modo, houve a necessidade de construir o gráfico diretamente no ambiente *Microsoft® Excel*. Tal fato demandou mais tempo, uma vez que a construção do histograma, e do gráfico da curva de permanência não foi automática, assim como ocorre no Hidro 1.0.8.

No que diz respeito à curva-chave ou relação cota-descarga, pode-se dizer que essa técnica permite calcular a descarga – Q – correspondente

a uma dada altura de água – h . A curva-chave pode ser representada de três formas, geralmente associadas: a) representação gráfica, b) fórmula matemática, c) tabela de calibragem. Sendo a representação gráfica a mais utilizada, pode ser apresentada: no padrão internacional, baseando-se em uma função do tipo $h = f(Q)$, na qual os valores da altura da água são dispostos no eixo das abscissas, ou no padrão francês, baseando-se em uma função do tipo $Q = f(h)$, em que os valores de vazão são dispostos no eixo das abscissas (CHEVALLIER, 2004, p.510). O último padrão foi o adotado na presente pesquisa.

Para a construção de uma curva-chave é necessário utilizar uma série de medidas diárias de vazão e cota fluviométrica, abrangendo distintos níveis de água distribuídos entre os períodos de vazante e cheia, de tal modo que quanto maior o número de medições, melhor será o resultado. O objetivo principal da curva-chave, diz respeito à extrapolação de vazões não abrangidas pelas medições diretas. Todavia, a extrapolação da curva-chave não deve ser efetuada sem um cuidadoso estudo das condições locais no que diz respeito às mudanças do tipo de controle para as maiores vazões, por exemplo, alteração acentuada da calha do rio (PINTO; HOLTZ, 1976, p.182).

Uma alternativa a ser utilizada para que a extrapolação da curva-chave não apresente resultados equivocados, diz respeito à construção da curva-chave em períodos sazonais distintos: uma curva-chave para o período de águas altas e outra para o período de águas baixas, técnica não adotada na presente pesquisa⁸. Subentende-se que para a adoção dessa alternativa é necessário que seja avaliado o regime hidrológico anteriormente à construção da curva-chave.

Do ponto de vista do planejamento territorial, a relação cota-descarga pode ser considerada uma técnica extremamente útil, uma vez que, determinando-se o nível do rio, pode-se estimar sem maiores complicações a vazão do mesmo. Fazendo-se uma análise dos eventos hidrológicos críticos ocorridos, em um dado lugar, a curva-chave pode ser utilizada para a emissão de alerta à Defesa Civil. Outra técnica indispensável a municípios com problemas de

⁸ Prof.^a Dra. Deize Dias Lopes, professora associada ao Departamento de Construção Civil – CTU – 2011 – (Informação verbal).

inundação, como é o caso de Jataizinho, é utilizar em conjunto com a curva-chave, uma análise do período de retorno dos eventos hidrológicos críticos.

Para o cálculo da vazão através da curva chave, utilizou-se a equação exponencial discutida por Chevallier (2004, p.516); Pinto; Holtz (1976, p.190), (Equação 11).

$$Q = a (h-h_0)^b \quad (11)$$

sendo:

Q = descarga / vazão;

a = variável da equação obtida através da construção da regressão;

b = variável da equação obtida através da construção da regressão;

h = cota;

h_0 = cota no instante em que vazão for zero.

Salienta-se que, a relação cota-descarga pode ser apresentada em escala logarítmica, através da equação (12). Todavia, pelo fato das duas equações terem apresentado resultados de vazões praticamente iguais, adotou-se apenas a equação exponencial.

$$\log Q = \log a + b \log h - h_0 \quad (12)$$

sendo:

Q = descarga / vazão;

a = variável da equação obtida através da construção da regressão;

b = variável da equação obtida através da construção da regressão;

h = cota;

h_0 = cota no instante em que vazão for zero.

A construção da curva-chave foi realizada no ambiente *Microsoft® Excel*, ressaltando-se que, para a construção da curva-chave nesse *software*, deve-se utilizar uma regressão do tipo potência e não do tipo linear. Entretanto, verificou-se que, somente se fazendo uso das variáveis estimadas pela

regressão, os valores mais altos de cota fluviométrica e vazão apresentavam-se pouco ajustados junto à reta de tendência. Nesse sentido, fez-se o uso da ferramenta *SOLVER*, disponibilizada no ambiente *Microsoft® Excel*, cujo objetivo é otimizar o cálculo de variáveis de equações. As variáveis ajustadas pela referida ferramenta foram: a, b e h₀.

Com o intuito de construir uma curva-chave bem ajustada, procurou-se eliminar os valores que se apresentaram muito afastados da reta de tendência, uma vez que a permanência desses dados poderia influenciar na estimação das variáveis da equação. Desse modo, foram obtidos os desvios quadráticos entre a vazão observada e a vazão calculada, através da equação 13. Quando os desvios quadráticos se apresentaram muito elevados, retiraram-se os valores de cota fluviométrica e vazão correspondentes ao desvio. Os desvios quadráticos estiveram compreendidos principalmente entre 1 e 2.

$$(Q_{\text{obs}} - (a(h-h_0)^b))^2 \quad (13)$$

sendo:

Q_{obs} = vazão observada (registrada pelo observador);

$a(h-h_0)^b$ = Q_{calc} (vazão calculada pela curva-chave).

4.6 TRATAMENTO DE IMAGENS DIGITAIS

A análise dos dados digitais ocorre em quatro fases distintas, segundo Moreira (2005, p.273), a saber: pré-processamento, transformação de dados digitais, classificação e pós-processamento. Entretanto, segundo Novo (2002, p.218), a análise dos dados digitais ocorre em três fases: pré-processamento, realce e classificação. Adotou-se na presente pesquisa a divisão estabelecida pelo primeiro autor.

Para as etapas de pré-processamento, classificação e cálculo da área do espelho d'água, utilizou-se o software SPRING 5.0.4. Para a realização das etapas de pós-processamento, como geração de cartas temáticas, arte final

do mapeamento, inserção de símbolos, legendas, tamanho do papel, entre outros, adotou-se o referido *software*, bem como o *Arc View 9.3*.

Antecedendo o pré-processamento das imagens, realizaram-se as seguintes etapas:

- análise das cenas *LANDSAT* e *CEBERS* em INPE (2010);
- obtenção das imagens, através do pedido de imagens ao INPE;
- transformação das imagens *GeoTIFF* para SPG, no módulo IMPIMA, do SPRING 5.0;
- criação do banco de dados geográficos – BDG – no SPRING 5.0;
- criação dos projetos no SPRING 5.0;
- modelagem do BDG no SPRING 5.0;
- criação dos Planos de Informações – Pis no SPRING 5.0.

No que concerne especificamente às etapas de pré-processamento, realizaram-se as etapas a seguir:

- composição da imagem RGB;
- contraste de imagem;
- registro da imagem;
- redução da dimensionalidade.

Na sequência, serão apresentadas algumas considerações sobre estas.

- **Composição RGB**

Cada canal utilizado na composição de uma imagem contém informações dos alvos, em uma determinada faixa do espectro eletromagnético – EEM. Na presente pesquisa, utilizaram-se canais do visível e infravermelho próximo – IP, exceto o canal correspondente à faixa espectral 0,4 µm a 0,5 µm, que refere-se ao comprimento de onda da cor azul da região do visível. Devido ao

fato deste canal apresentar atenuação atmosférica, de acordo com Moreira (2005, p.234), verificou-se na prática que não havia uma boa composição da imagem quando este fora utilizado. Ressalta-se que, sempre quando necessário, as imagens foram analisadas em modo monocromático.

- **Contraste de Imagem**

A técnica de realce de contraste tem por objetivo melhorar a qualidade das imagens sob a percepção do olho humano. Constitui-se em uma transferência radiométrica, a qual possibilita aumentar a discriminação visual entre os objetos presentes nas imagens. O realce de contraste modifica os níveis de cinza ou os valores digitais de uma imagem, de modo a destacar determinadas informações espectrais, melhorando sua qualidade visual. O método utilizado para a aplicação da técnica de contraste foi o linear, no qual o histograma é construído a partir de uma regressão linear simples (SANTOS *et al.*, 2010, p.42).

- **Registro de imagem**

O registro da imagem pode ser entendido como a etapa em que ocorre o georreferenciamento da imagem. Tal etapa deve ser realizada com o máximo de precisão possível, visando minimizar os erros de localização dos alvos sobre a superfície terrestre.

Conforme D'Alge (199?); INPE (2009a) e Moreira (2002, p.275), o registro – correção geométrica ou geocodificação – visa atribuir à imagem orbital características de escala e projeção próprias de mapas. Em outras palavras, o registro é uma transformação geométrica que relaciona coordenadas da imagem – linha e coluna – com coordenadas geográficas – latitude e longitude – incluindo-se o sistema de projeção e o datum planimétrico adequados. Tem o objetivo de eliminar distorções existentes, na imagem, causadas no processo de formação desta, pelo sistema sensor, e por imprecisão dos dados de posicionamento da plataforma – aeronave ou satélite.

Para o georreferenciamento das imagens, utilizaram-se como referência arquivos vetoriais originalmente na extensão (*.dwg), porém convertidos para a extensão (*.dxf), especificamente, as rodovias apresentadas em cartas topográficas na escala de 1:250000 (Quadro 8). O *download* fora

realizado em ITCG (2009). O sistema de projeção e o sistema geodésico utilizados, especificamente, o *datum* planimétrico ou horizontal foram: Projeção Universal Transversa de Mercator – UTM – e *South American Datum* ou *Datum Para América do Sul* – SAD 69 Zona 22 S.

Quadro 8 – Articulação das cartas topográficas do ITCG e os referentes códigos destas, conforme o IBGE.

Articulação das cartas topográficas – ITCG – 1:250.000	Código da carta segundo IBGE – 1:250.000
MIR 486	Marília. FOLHA SF-22-Z-A
MIR 496	Londrina. FOLHA SF-22-Y-D
MIR 497	Cornélio Procópio. FOLHA SF-22-Z-C
MIR 485	Presidente Prudente FOLHA SF-22-Y-B

Pelo fato de as cartas topográficas estarem referenciadas com o *datum* planimétrico Córrego Alegre – MG, os pontos de controle nelas obtidos foram convertidos para SAD69, por meio do *software* ProGrid 1.1, desenvolvido por IBGE (2008)⁹. Os parâmetros de entrada foram criteriosamente selecionados, baseando-se nas informações contidas nas cartas topográficas, e não foi detectado nenhum erro durante a conversão dos dados.

A não utilização do *datum* planimétrico Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas – SIRGAS 2000 – deve-se ao fato das demais bases cartográficas utilizadas, neste trabalho, ainda estarem oficialmente referenciadas em SAD69, visto que o momento atual é de transição entre o *datum* SAD69 para o *datum* SIRGAS 2000. Como boa parte das demais bases cartográficas foram obtidas nas extensões (*.shp); (*.dxf) e (*.dwg), a conversão de *datum* dos polígonos e linhas, por exemplo, cotas topográficas, tornar-se-ia mais demorada em relação à conversão de alguns pontos específicos, bem como demandaria a utilização de outros *softwares*. Embora seja perfeitamente cabível a migração de SAD69 para SIRGAS 2000, inclusive das bases cartográficas oficiais

⁹ O *software* ProGrid é obtido gratuitamente em IBGE (2009a). Antes de realizar o *download*, bem como efetuar as operações de conversão, recomenda-se a leitura das instruções contidas no arquivo *Leia-me*, do manual e do guia do usuário. Atualmente esse tem sido um dos *softwares* mais utilizados para a conversão de *datum* planimétrico no Brasil.

disponibilizadas atualmente, optou-se por não realizar essa tarefa, com o intuito de otimizar o tempo em outras etapas da pesquisa¹⁰.

De um montante de 9 pontos de controle previamente elencados, utilizaram-se 5 pontos para cada imagem, e suprimiram-se 4 pontos (Tabela 3), destacando-se que, no ato do georreferenciamento, utilizou-se o grau de polinômio 1. A diferença em metros entre as coordenadas geográficas nos dois *datuns* foi obtida através da equação (14), de tal modo que aplicando-se a referida equação separadamente para cada par de coordenadas, ou seja, para cada *datum*, tem-se o resultado, subtraindo-se os valores das raízes.

$$\sqrt{e^2 + n^2} \quad (14)$$

sendo:

$e = x(\text{longitude})$;

$n = y(\text{latitude})$.

O erro individual de cada ponto de controle e erro de controle geral das imagens podem ser averiguados nas tabelas 4 a 8. A espacialização dos pontos de controle pode ser visualizada na figura 17.

Tabela 3 - Coordenadas geográficas dos pontos de controle utilizados para o georreferenciamento das imagens orbitais.

PC	X - CA	Y - CA	X - SAD69	Y - SAD69	Dist (m)
PC1	475345,3833	7466836,0637	475341,052	7466872,192	35,8
PC3	526345,9967	7470945,2719	526341,944	7470981,246	35,6
PC6	511313,0171	7439906,5661	511308,857	7439942,246	35,3
PC8	482196,8536	7432234,2648	482192,408	7432269,980	35,4
PC9	517419,5509	7464265,6679	517415,504	7464301,561	35,5

PC = Ponto de Controle; CA = Córrego Alegre; Dist = Distância em metros entre as coordenadas dos dois *datuns*. Organização: SOUSA, Rodrigo V. B.

¹⁰ O Projeto Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS) contam com a participação de países da América Latina e Caribe. No contexto deste projeto, foram estabelecidas duas redes de referência para o continente, uma estabelecida em 1995 e outra em 2000. A partir destas redes, de precisão científica, serão apoiadas as redes nacionais americanas (IBGE, 2009c). Maiores informações sobre o projeto SIRGAS podem ser adquiridas em SIRGAS (2009) e em artigos científicos disponibilizados em IBGE (2009a).

Tabela 4 - Erro de controle dos pontos utilizados para registro.
 Satélite CBERS 2B. Mosaico: Órbita 159. Pontos 125 e 126. Data
 de Passagem: 09/10/2007. Escala 1:374177

Pontos Controle	Erro X	Erro Y	Controle	Erro (m)
PC1	-1,094	-1,042		
PC3	-0,112	-0,973		
PC6	-2,364	-2,183		
PC8	1,695	1,384		
PC9	1,874	2,813		
			2,442	49

Organização: SOUSA, Rodrigo V. B.

Tabela 5 - Erro de controle dos pontos utilizados para registro.
 Satélite CBERS 2B. Órbita 158. Ponto 126. Data de Passagem:
 07/04/2010. Escala 1:437296

Pontos Controle	Erro X	Erro Y	Controle	Erro (m)
PC1	-1,112	-1,033		
PC3	0,499	-0,432		
PC6	-2,452	-2,208		
PC8	1,887	1,514		
PC9	1,178	2,160		
			2,260	46

Organização: SOUSA, Rodrigo V. B.

Tabela 6 - Erro de controle dos pontos utilizados para registro.
 Satélite *LANDSAT* 5. Órbita 222. Ponto 76. Data de Passagem:
 09/06/1998. Escala 1:401012

Pontos Controle	Erro X	Erro Y	Controle	Erro (m)
PC1	-0,431	-1,065		
PC3	-0,443	0,491		
PC6	-0,898	-2,340		
PC8	0,560	1,807		
PC9	1,211	1,107		
			1,692	50

Organização: SOUSA, Rodrigo V. B.

Tabela 7 - Erro de controle dos pontos utilizados para registro.
 Satélite *LANDSAT 5*. Órbita 222. Ponto 76. Data de Passagem:
 20/02/2005. Escala 1:401012

Pontos Controle	Erro X	Erro Y	Controle	Erro (m)
PC1	-0,493	-0,917		
PC3	-0,693	0,198		
PC6	-1,015	-2,000		
PC8	0,593	1,497		
PC9	1,608	1,222		
			1,631	49

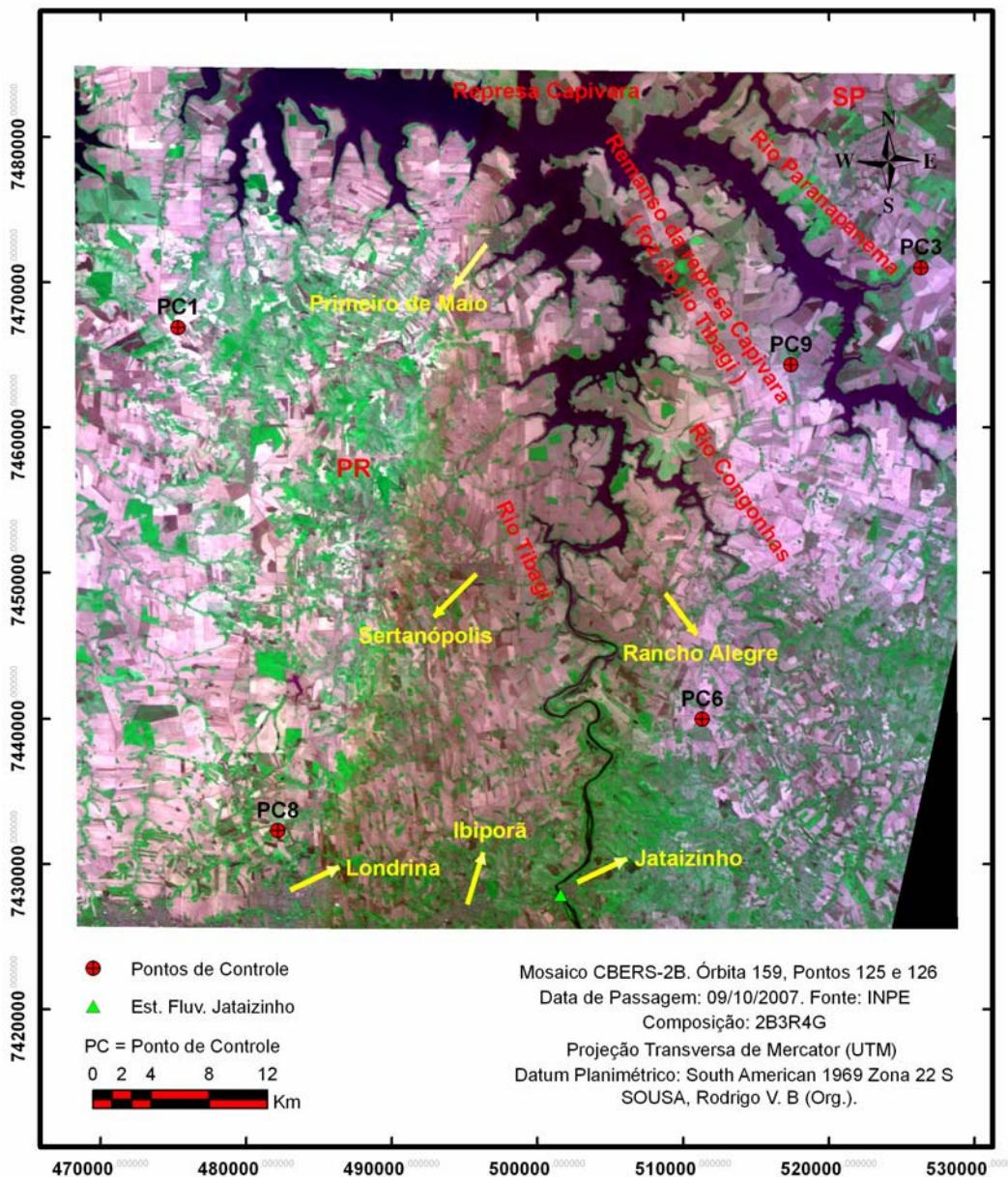
Organização: SOUSA, Rodrigo V. B.

Tabela 8 - Erro de controle dos pontos utilizados para registro.
 Satélite *LANDSAT 5*. Órbita 222. Ponto 76. Data de Passagem:
 09/04/2005. Escala 1:401012

Pontos Controle	Erro X	Erro Y	Controle	Erro (m)
PC1	-0,415	-0,867		
PC3	-0,236	-0,020		
PC6	-0,879	-1,876		
PC8	0,590	1,369		
PC9	0,941	1,354		
			1,429	43

Organização: SOUSA, Rodrigo V. B.

Figura 17 - Localização dos pontos de controle utilizados para o georreferenciamento das imagens orbitais.



Dada a escala em que as imagens foram georreferenciadas ou geocodificadas, o registro das imagens mostrou-se satisfatório, apresentando as imagens CBERS 2B, erro de até 2,4 pixels, com média de erro igual a 47,5 m; enquanto as imagens LANDSAT 5 apresentaram erro de até 1,7 pixel, com média de erro igual a 47,3 m. A média geral do erro de controle entre todas as imagens foi 47 m.

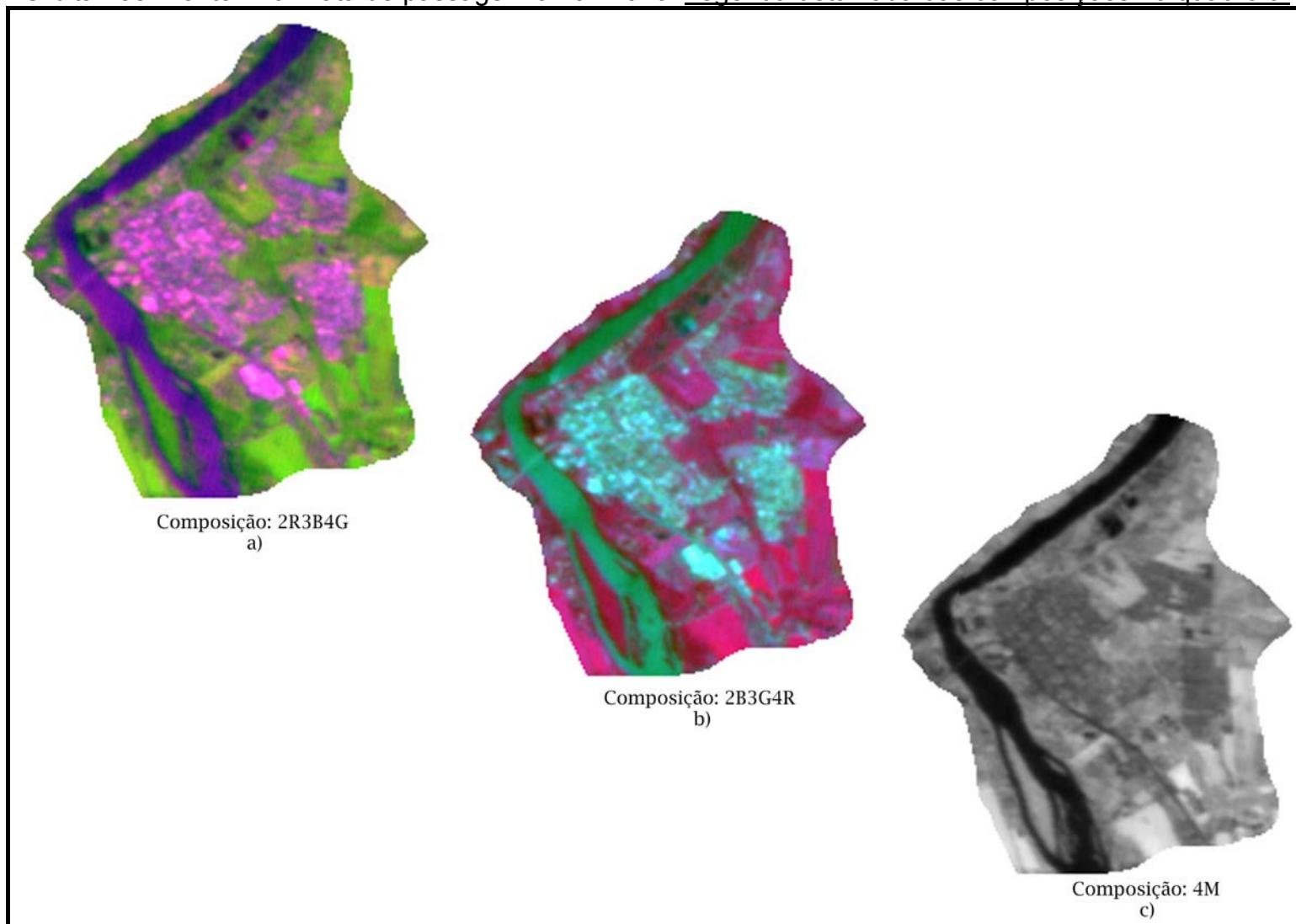
- **Redução de dimensionalidade**

A redução da dimensionalidade é um artifício que visa recortar somente a área de interesse em uma cena de imageamento orbital. Tal procedimento permite, além de recortar somente a área de interesse contribuindo para a estética do mapeamento a ser desenvolvido, a redução do tamanho do arquivo e consequentemente do tempo de processamento computacional¹¹.

No ato da fotointerpretação das imagens orbitais do satélite CBERS 2B, utilizaram-se dois canais do visível e um do infravermelho próximo, adotando-se a composição 2R3B4G. Sempre que houve a necessidade de ressaltar a vegetação, principalmente em fundos de vale, bem como os ambientes urbanos, aplicou-se a composição 2B3G4R. Para discriminar com maior precisão os ambientes aquáticos ou as áreas de várzea, utilizou-se o canal 4M, ou seja, em modo monocromático (Figura 18). Da mesma forma, sempre que julgado conveniente, utilizaram-se os demais canais em modo monocromático. Ressalta-se que, a banda pancromática, canal 5, com comprimento de onda eletromagnética entre 0,51 µm e 0,73 µm, isto é, do canal 2 do visível ao canal 4 do infravermelho próximo, não apresentou uma boa composição com os demais canais. Por isso não fez-se o uso desta no presente trabalho. Na composição RGB das imagens do sensor TM do satélite LANDSAT 5, além do canal 4, referente à faixa espectral do infravermelho próximo, fez-se o uso do canal 5 – infravermelho médio – que opera entre os comprimentos de ondas 1,55 µm e 1,75 µm.

¹¹ Informações mais detalhadas podem ser averiguadas em Moreira (2005, p.276).

Figura 18 – Composições RGB utilizadas para a fotointerpretação das imagens orbitais do satélite CBERS 2B. Órbita 158. Ponto 126. Data de passagem 07/04/2010. Legenda detalhada das composições no quadro 9.



Organização: SOUSA, Rodrigo V. B.

Quadro 9 - Legenda detalhada da figura 18.

Descrição Composição	17 a)	17 b)	17 c)
<i>Área urbana</i>	Ambiente urbano representado pela cor magenta (processo aditivo na formação de cor 2R + 3B devido ao reflexo no comprimento dessas ondas) e pela cor azul.	Ambiente urbano representado pela cor ciã (processo aditivo na formação de cor 2B + 3G devido ao reflexo no comprimento dessas ondas).	Ambiente urbano representado em tom de cinza mais escuro em relação à vegetação, denotando, desse modo, que a vegetação tem maior capacidade de refletir radiação IP.
<i>Vegetação</i>	Vegetação representada pela cor verde (reflexo da radiação IP), com textura rugosa para área florestada e textura lisa provavelmente para área de pastagem ou agrícola.	Vegetação representada pela cor vermelha (reflexo da radiação IP), com textura rugosa para área florestada e textura lisa provavelmente para área de pastagem ou agrícola.	Vegetação com textura fina reflete mais do que vegetação com textura rugosa.
<i>Corpo hídrico</i>	Corpo hídrico em tom azulado (reflexo do canal 3 do visível) devido à presença de matéria em suspensão na água (sedimento, flora aquática, enfim). Em alguns pontos, nas adjacências das margens dos rios e ilhas e em lagos, apresenta-se na cor magenta (processo aditivo 2R + 3B), muito provavelmente devido à maior quantidade de sedimentos, inclusive bancos de areia. Não há como discernir se há maior quantidade de sedimento ou matéria orgânica, através desta composição RGB. Para chegar a essa conclusão, seria necessário adotar outros procedimentos metodológicos: análise de sedimentos e matéria orgânica em amostras de água. Entretanto, a literatura referente a sensoriamento remoto, recomenda o uso do canal 2 do visível, para a identificação de sedimentos em suspensão presentes em corpos hídricos.	Corpo hídrico em tom verde (reflexo do canal 3 do visível) devido à presença de matéria em suspensão na água (sedimento, flora aquática, enfim). Em alguns pontos, nas adjacências das margens dos rios e ilhas e em lagos, apresenta-se na cor ciã (processo aditivo 2B + 3G), muito provavelmente devido à maior quantidade de sedimentos, inclusive bancos de areia. No que diz respeito à distinção entre sedimentos e matéria orgânica, segue-se o raciocínio da imagem 17a.	Corpo hídrico em tom preto (absorção do IP).
<i>Solo</i>	Solo exposto representado em tom avermelhado, denotando o canal 2 da faixa do visível, sensibilidade ao reflexo de solo / sedimento.	Solo exposto representado pela cor azul, denotando o canal 2 da faixa do visível, sensibilidade ao reflexo de solo / sedimento.	Solo em tom de cinza mais claro que ambiente urbano e mais escuro em relação à vegetação com textura fina.

Organização: SOUSA, Rodrigo V. B.

Baseando-se em Santos (1986); Pinto *et al.* (1985); Maio (1980) e Novo; Santos (1982) a escolha do canal que opera na região do infravermelho próximo – IP – se deve ao fato desse comprimento de onda do espectro eletromagnético, de $0,77\mu\text{m}$ a $0,89\mu\text{m}$, ser absorvido pela água, permitindo uma melhor visualização de corpos hídricos, uma vez que a energia refletida para o sensor é baixa, com valores de *pixel* igual ou próximo a zero. Ressalta-se que, quando há interferência atmosférica, os valores são alterados. Além de corpos hídricos, as áreas de várzea, devido à presença de solo úmido, ou áreas agrícolas em que o solo encontra-se úmido pelo processo de irrigação, podem ser identificadas com facilidade.

No que concerne ao canal 3, este foi escolhido pelo fato de operar, principalmente, no comprimento de onda da radiação vermelha do visível – $0,63\mu\text{m}$ a $0,69\mu\text{m}$ – apresentando a vegetação verde, densa e uniforme, grande absorção de energia, logo, baixo valor de *pixel*. De acordo com a literatura existente, esta banda permite bom contraste: a) entre áreas ocupadas com vegetação, solo exposto, estradas e áreas urbanas; b) entre diferentes tipos de cobertura vegetal, como campo, cerrado, florestas e cultivos distintos; c) no mapeamento da drenagem, através da visualização de mata galeria e entalhe dos cursos dos rios em regiões com pouca cobertura vegetal; d) na delimitação de mancha urbana, incluindo novos loteamentos, devido à alta reflexão de energia para o sensor¹².

4.7 CÁLCULO DA ÁREA DO ESPELHO D'ÁGUA

O mapeamento do espelho d'água no baixo Tibagi, a partir da cidade de Jataizinho até a foz do referido rio, foi realizado através de técnicas de sensoriamento remoto e de geoprocessamento. Para o cálculo da área do espelho d'água, utilizaram-se imagens do sensor CCD do satélite CEBERS 2B e imagens do sensor TM do satélite LANDSAT 5. Ressalta-se que, o primeiro sensor apresenta uma resolução espacial de 20 m; enquanto o último, uma resolução espacial de 30 m. Na prática, o sensor CCD tem um ganho de 500 m^2

¹²Maiores informações consultar INPE (2010).

por *pixel*, fato que muito contribui para a discriminação dos alvos, consequentemente para a interpretação das imagens.

A escolha desses sensores baseou-se no fato de essas imagens serem disponibilizadas gratuitamente, nas datas dos anos atípicos de vazão, nas datas desejadas, na porcentagem de cobertura de nuvens das cenas e na qualidade das imagens – ausência de ruído, *striping*, discriminação de alvos, entre outros. Informações das imagens de satélite, como data de imageamento, órbita, ponto, satélite, sensor, resolução espacial, resolução temporal, largura da cena e porcentagem de cobertura de nuvens, foram apresentadas no quadro 2.

Os satélites que fazem parte da série *LANDSAT* são os *LANDSAT 1, 2, 3*, a partir do ano de 1972; *LANDSAT 4*, a partir de 1982, e *LANDSAT 5*, a partir de 1984 e o *LANDSAT 7*, a partir de 1999. O *LANDSAT 4* e *5* operavam com as mesmas características, utilizando sensores *TM – Thematic Mapper* – apresentando resolução espacial igual a 30 metros, exceto para o canal termal, equivalente a 120 m de resolução espacial. Além do sensor *TM*, acrescenta-se que o *LANDSAT 4* também fazia uso do sensor *MSS*. Ao contrário do *LANDSAT 4*, o *LANDSAT 5* opera até os dias atuais, ultrapassando, em muitos anos, a vida útil prevista (FLORENZANO, 2002, p.27). No que diz respeito ao satélite CBERS 2, o mesmo foi colocado em órbita no ano de 2003 e o CBERS 2B, em 2007.

A área do espelho d'água, em anos atípicos positivos e próximos à normalidade, foi determinada através de operações aritméticas de bandas, descrita pela equação (15). De forma específica, utilizou-se a técnica denominada subtração do *pixel* escuro, discutida por Chavez Jr (1988, p.459), a qual é utilizada para correção atmosférica em análise histórica de áreas.

$$C = Ganho \cdot A + offset \quad (15)$$

sendo:

C = operação;

Ganho = valores de pixels multiplicados na banda;

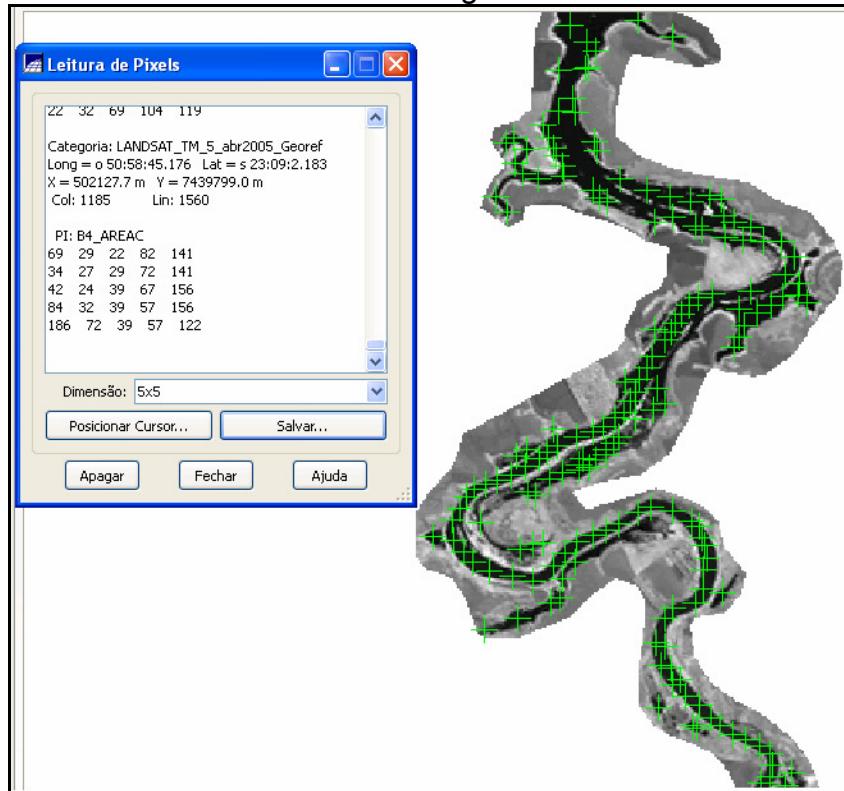
A = banda utilizada na operação;

offset = valores de pixels adicionados da banda.

Em modo monocromático, utilizou-se a banda 4 que trabalha no comprimento de onda do infravermelho próximo – IP – para o cálculo da área do rio, pois, como discutido anteriormente, a água tem a capacidade de absorver a radiação infravermelha, facilitando a discriminação do alvo na imagem.

Nesse sentido, a água tende a apresentar-se em tom preto, ou quando parcialmente absorvida, em tons de cinza mais escuro, embora nem sempre com valores de *pixel* igual a zero, devido às condições atmosféricas. Por assim dizer, o primeiro passo foi transformar os valores de todos os *pixels* da água em zero. Para tal, realizaram-se leituras de *pixel* ao longo do alvo de interesse, cuja finalidade foi determinar o valor de corte para a aplicação da operação aritmética de banda. As leituras foram realizadas de forma sistemática no centro do rio e em suas bordas, e o valor de cada *pixel* foi apresentado em uma matriz 5x5, técnica que viabilizou a identificação do valor de corte, isto é, o valor máximo de *pixel* que deveria ser subtraído da banda, para que os *pixels* da água passassem a ser zero (Figura 19). Os valores de corte identificados podem ser visualizados na tabela 9.

Figura 19 - Imagem ilustrando leitura de *pixel* em trecho do rio Tibagi.



Data do imageamento: 22/02/2005, Canal 4, órbita 222, ponto 76.
 Valor de corte = 39. Imagem obtida, por meio do software SPRING
 5.0. Organização: SOUSA, Rodrigo V.

Tabela 9 - Valores de corte identificados na leitura de *pixel*

Imageamento	Órbita	Ponto	Satélite	Valor de Corte
09/06/1998	222	76	LANDSAT 5	40
22/02/2005	222	76	LANDSAT 5	67
09/04/2005	222	76	LANDSAT 5	39
09/10/2007	159	125 e 126	CBERS – 2B	85

Organização: SOUSA, Rodrigo V. B.

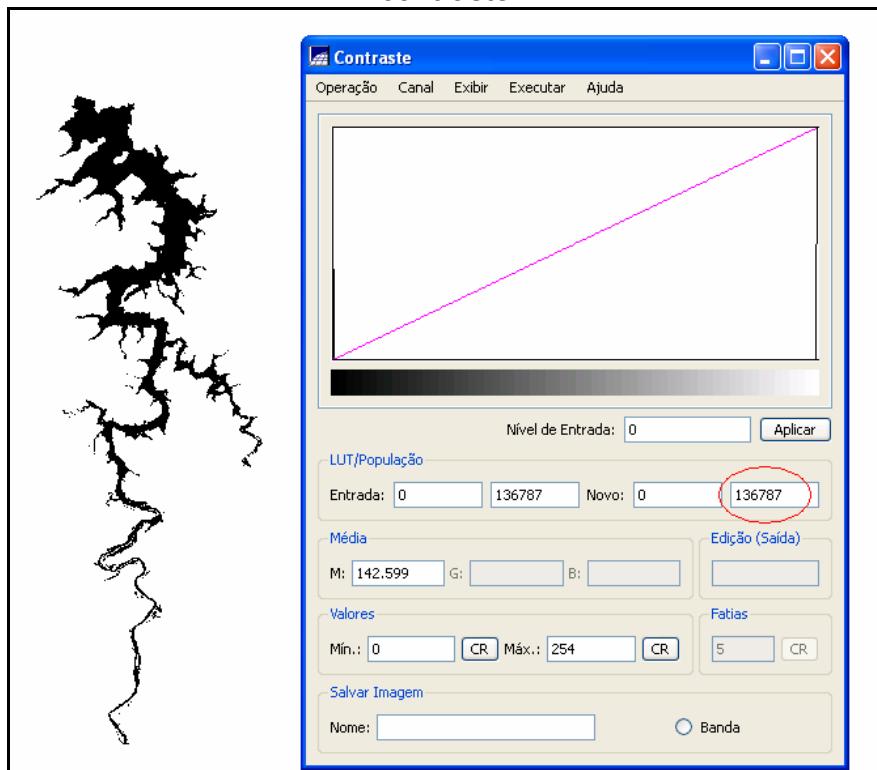
Na prática, o valor de ganho foi 1, pois não houve interesse em aumentar os valores dos *pixels* das imagens. Quanto ao valor de corte, trata-se da variável offset, de tal modo que, inserido com valor negativo na equação, a regra de sinais permitiu a subtração da quantidade de *pixels* desejada. Gerou-se, assim, uma nova banda denominada OP1.

Com o intuito de melhorar a representação visual da imagem, realizou-se na sequência a mesma operação aritmética, porém utilizando-se a

banda com os valores de *pixels* recalculados, banda OP1. Nessa nova operação, alterou-se a variável – ganho – adicionando-se o valor positivo de 256 e o valor zero na variável – *offset*. Essa técnica possibilitou que apenas a área preenchida por água fosse apresentada em uma nova banda, pois os *pixels* com valores, a partir de 1 passaram a apresentar tons de cinza igual a 256, ou seja, branco, não podendo os demais alvos, além da água – *offset* igual a zero – serem visualizados na tela.

Na sequência, identificou-se a quantidade de *pixels* com valor zero, no histograma de contraste da imagem, e multiplicou-se o montante pela área do *pixel* da imagem. Nesse caso, foram obtidos 900 m² para as imagens LANDSAT e 400 m² para as imagens CBERS, uma vez que as resoluções espaciais dos satélites utilizados são respectivamente: 30 m e 20 m (Figura 20).

Figura 20 - Leitura de *pixel* com valor zero no histograma de contraste.



Satélite LANDSAT 5. Órbita 222. Ponto 76. Data de passagem: 20/02/2005.
Composição: 4 (M). Imagem obtida, por meio do software SPRING
5.0.Organização: SOUSA, Rodrigo V. B.

4.8 IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS SUJEITAS À INUNDAÇÃO

Para a identificação de áreas sujeitas à inundação, na cidade de Jataizinho, realizaram-se trabalhos de campo, com o intuito de coletar informações e documentos que atestassem a ocorrência desse fenômeno.

O mapeamento geomorfológico foi uma das etapas realizadas na identificação de áreas sujeitas à inundação. Outrossim, além de técnicas de geoprocessamento, como vetorização, fez-se o uso de fotointerpretação de fotos áreas e imagens orbitais. No que diz respeito à aerofotogrametria, os instrumentos e materiais utilizados, a saber, estereoscópio de espelhos, bem como os pares de fotos aéreas na escala de 1:25.000, foram obtidos no Laboratório de Hidrogeologia do Departamento de Geociências / UEL. No ato da confecção do *overlay*, a fim de extrair as feições de interesse das fotos aéreas, optou-se por utilizar transparência de retroprojetor em vez de papel vegetal, técnica que facilitou muito o mapeamento. A delimitação das planícies de inundação foi realizada, por meio da identificação da quebra negativa dos relevos e pela feição e textura dos alvos. As fotografias aéreas utilizadas foram identificadas no quadro 3.

Para o georreferenciamento das fotos aéreas, utilizaram-se pontos de controle obtidos, na imagem de satélite CBERS 2B, órbita 158, ponto 126, ano 2010. Na sequência, a imagem foi utilizada em conjunto com as fotos aéreas para a vetorização das feições de interesse, bem como para a extração de informações ausentes nas fotos aéreas, por exemplo, solo úmido, nas adjacências dos locais susceptíveis à inundação. Pelo fato de a referida imagem de satélite ter apresentado erro de controle no georreferenciamento de 2,2 *pixels*, considerado baixo em função da escala de georreferenciamento: 1:437.296, obteve-se um bom georreferenciamento das fotos aéreas.

A construção de Modelo Numérico do Terreno – MNT – e de carta clinográfica foi baseada na estrutura *Triangulated Irregular Network - TIN* ou Rede Irregular Triangular. A malha triangular *TIN* é uma estrutura do tipo vetorial, com topologia do tipo *nó-arco*. Representa uma superfície, através de um conjunto de faces triangulares interligadas, baseada na triangulação de *Delaunay*, com pontos

de observação ou nós espaçados irregularmente. Para cada um dos três vértices da face do triângulo, são armazenadas as coordenadas de localização – x, y – e o atributo z, com o valor de elevação ou altitude. A estrutura *TIN* foi desenvolvida para a modelagem de elevação digital, apresentando mais eficiência para muitos tipos de cálculos, por exemplo, declividade de relevo. Além de cartas clinográficas, a estrutura *TIN* é muito utilizada para gerar mapas de relevo sombreado, mapas de contorno, perfis e diagramas de blocos – MNT (CÂMARA; MONTEIRO entre 1990 e 2009, p.27; MIRANDA, 2005, p.302).

CAPÍTULO 5

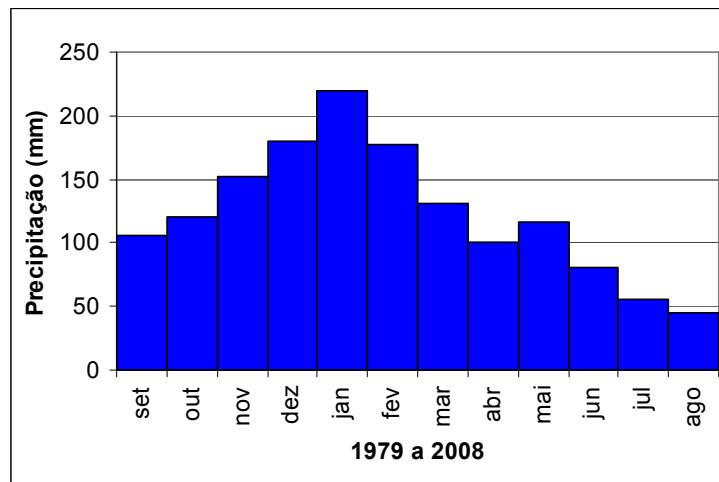
RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 REGIME PLUVIOMÉTRICO

O regime pluviométrico foi avaliado, tomando-se como referência o ano hidrológico de cada estação meteorológica ou posto pluviométrico, e não a cronologia do calendário anual. Nesse sentido, o mês inicial do regime pluviométrico foi setembro, considerado o mês de retomada das chuvas; enquanto agosto foi o mês de encerramento do ano hidrológico, uma vez que nele verificaram-se os índices pluviométricos mais baixos.

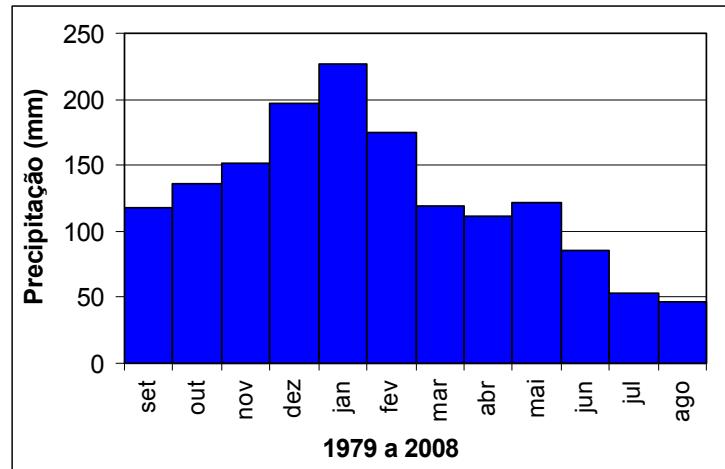
Deve-se ressaltar que, o regime pluviométrico está relacionado com o tipo de clima atuante em cada lugar, estando o mês inicial e o final do regime a ele vinculados. O regime pluviométrico pode ser observado nos pluviogramas a seguir (Figuras 21 a 25).

Figura 21 - Regime pluviométrico. Estação meteorológica de Ibirapuã - 02351011.



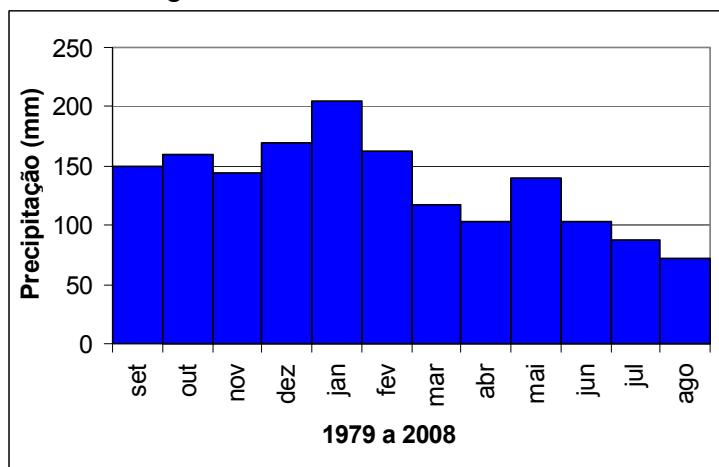
Fonte: IAPAR. Período: 1979 a 2008. Organização:
SOUSA, Rodrigo V. B.

Figura 22 - Regime pluviométrico. Estação meteorológica de Londrina - 02351003.



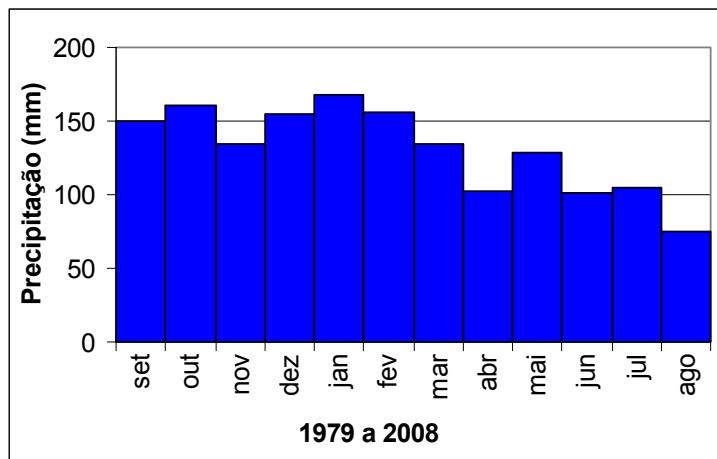
Fonte: IAPAR. Período: 1979 a 2008. Organização:
SOUSA, Rodrigo V. B.

Figura 23 - Regime pluviométrico. Estação meteorológica de Telêmaco Borba - 02450011.



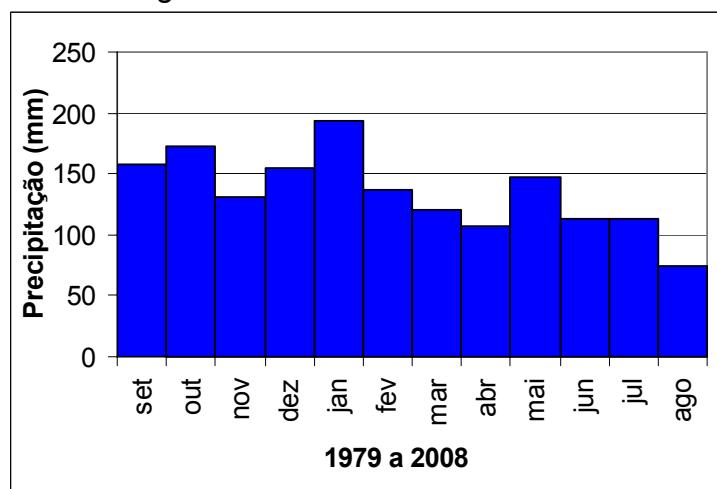
Fonte: IAPAR. Período: 1979 a 2008. Organização:
SOUSA, Rodrigo V. B.

Figura 24 - Regime pluviométrico. Estação meteorológica de Santa Cruz - 02550003.



Fonte: ANA (2005a). Período: 1979 a 2008. Organização: SOUSA, Rodrigo V. B.

Figura 25 - Regime pluviométrico. Estação meteorológica de Fernandes Pinheiro - 02550025.



Fonte: IAPAR. Período: 1979 a 2008. Organização: SOUSA, Rodrigo V. B.

Em ambas as localidades, os meses mais chuvosos e secos são, respectivamente, janeiro e agosto. O município de Londrina particulariza-se em relação aos demais, pois, neste, os dois períodos apresentam-se de forma mais contundente. A partir de março, há um decréscimo da precipitação com aumento novamente, embora modesto, no mês de maio. A retomada de chuva, em ambas as regiões, inicia-se com a primavera, no final de setembro. Todavia, até o mês de outubro, as médias são mais representativas nas estações localizadas, no

centro-sul da bacia, para, em novembro, tornarem-se mais elevadas, em Londrina e Ibirapuã, região setentrional da bacia, cuja localização é mais próxima da faixa intertropical. De forma geral, o período chuvoso estende-se de setembro a março; enquanto o período mais seco se prolonga de abril a agosto. Destaca-se que, não há ausência de chuva em nenhum mês, ao longo do ano.

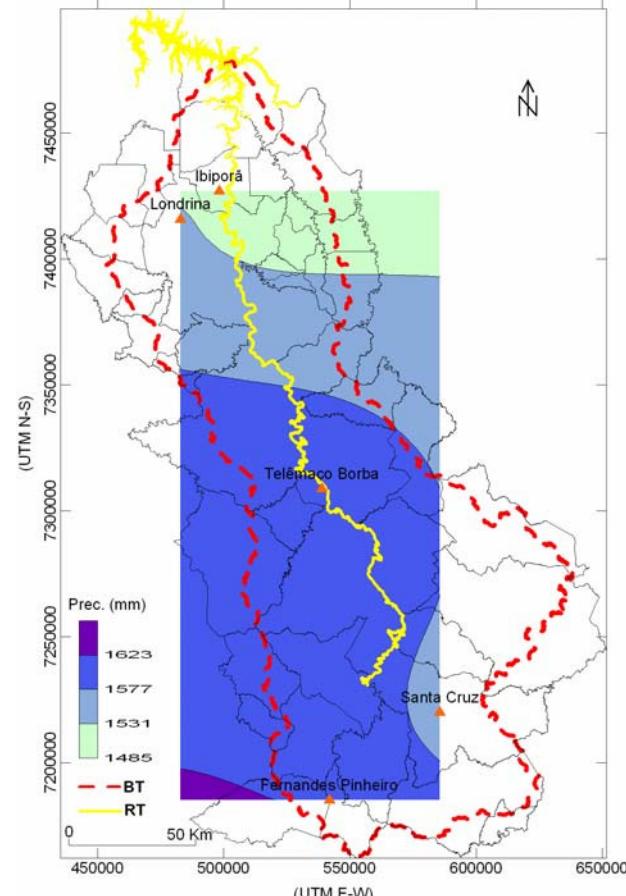
Devido à dinâmica climática que condiciona o regime pluviométrico, na região meridional brasileira, o curso inferior do Tibagi, representado pelas estações meteorológicas de Londrina e Ibirapuã, possui um verão com índices pluviométricos mais elevados. Já o médio e o alto curso do Tibagi, representados pelas estações meteorológicas de Telêmaco Borba, Santa Cruz e Fernandes Pinheiro, possuem um inverno mais chuvoso em relação ao curso inferior do Tibagi. Salienta-se que, devido a fatores geográficos, como latitude e altitude, bem como à dinâmica climática, a estação meteorológica de Fernandes Pinheiro denota o inverno mais chuvoso dentre todas analisadas.

Conforme Monteiro (1968, p.142), as chuvas de verão, na região sul, advêm de participação menos frequente da mPa, de participação da mTa durante toda estação e da interação entre mEc e mTc. Porém, a mPa continua a atuar, e segundo Corrêa *et al.* (1982, p.5), as chuvas de verão, em Londrina, decorrem da conjunção de dois fatores: do semiestacionamento da mPa e da ocorrência de chuvas de convergência trazidas pelas correntes perturbadas de oeste. Destaca-se, ainda, o fato de Londrina encontrar-se sobre uma área de transição climática, onde, ao norte, o clima é controlado por massas equatoriais e tropicais e, ao sul, por massas polares e tropicais, fato já discutido nos aspectos físico-geográficos, na subseção 3.5.

Apenas para efeito didático, a divisão sazonal aqui estabelecida não respeitou os limites dos equinócios e solstícios, mas sim o calendário anual. Quanto aos anos entendidos como secos, estes devem ser relativizados, pois, segundo Schröder (1956, p.226), um mês ou uma estação sazonal só deve ser considerado absolutamente seco quando não há precipitação alguma. No caso investigado, a terminologia ano seco deve ser encarada como um período de precipitação mais reduzida.

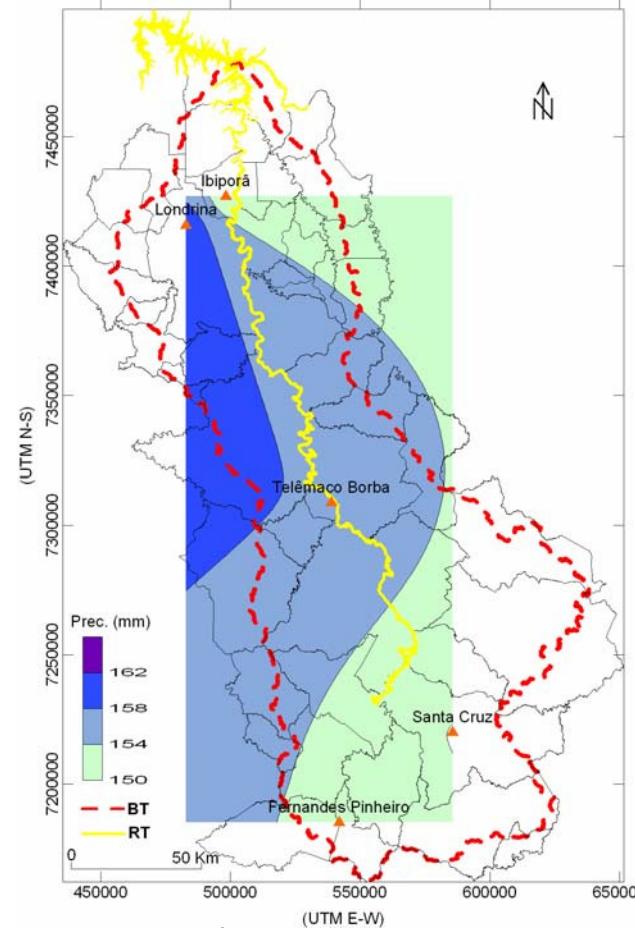
Com o intuito de espacializar as precipitações, na bacia hidrográfica do Tibagi, construíram-se mapas de isoetas, utilizando-se como referência as médias históricas anuais e sazonais de precipitação (Figuras 26 a 30).

Figura 26 - Isoetas de precipitação - média histórica anual¹³.



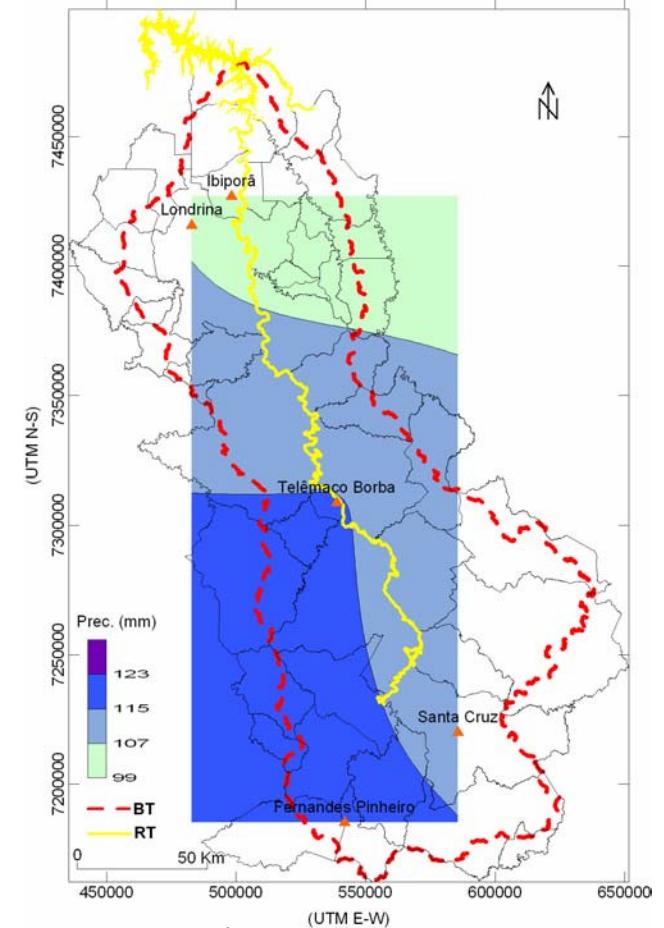
Fonte: ITCG, IAPAR, Instituto de Águas do Paraná. Organização: SOUSA, Rodrigo V B.

Figura 27 - Isoetas de precipitação – primavera.



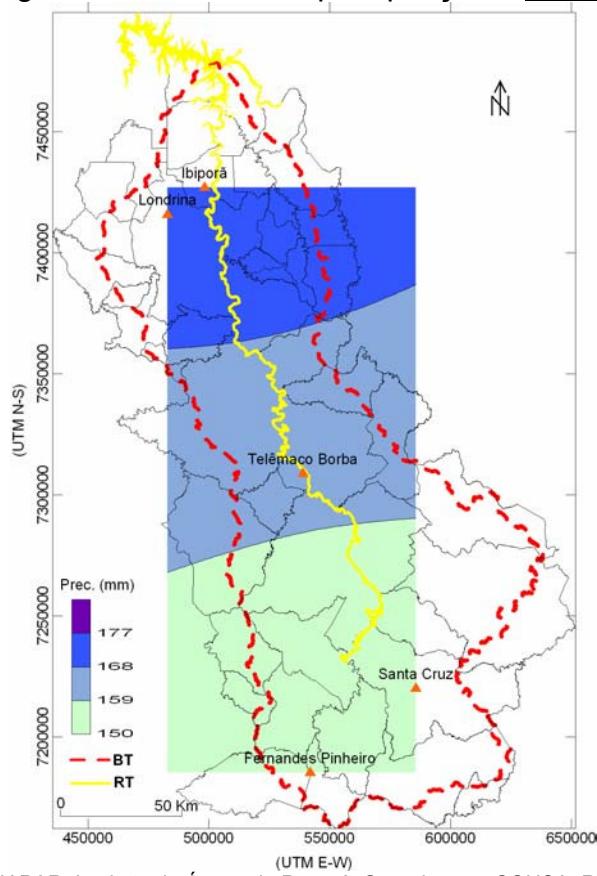
Fonte: ITCG, IAPAR, Instituto de Águas do Paraná. Organização: SOUSA, Rodrigo V B.

Figura 29 - Isoetas de precipitação – outono.



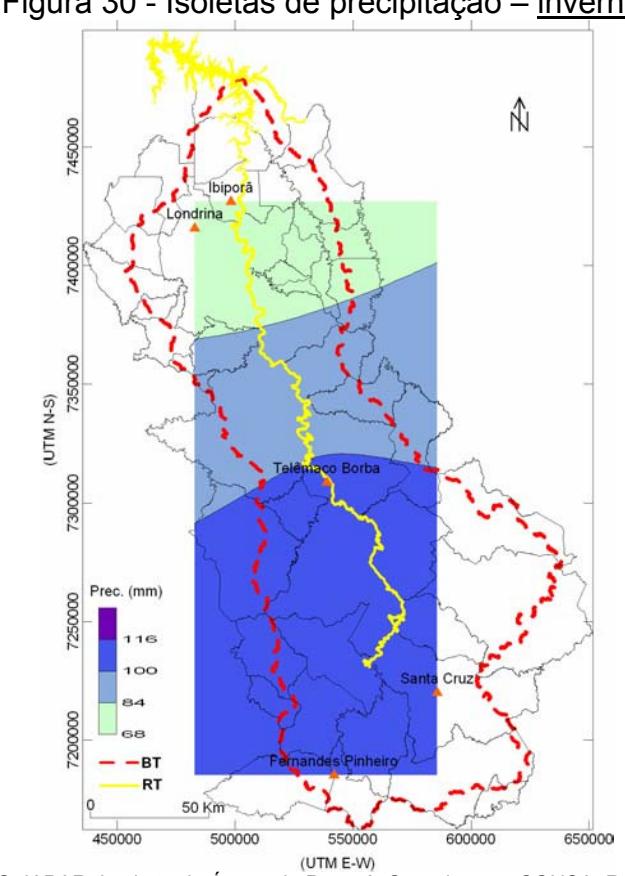
Fonte: ITCG, IAPAR, Instituto de Águas do Paraná. Organização: SOUSA, Rodrigo V B.

Figura 28 - Isoetas de precipitação – verão.



Fonte: ITCG, IAPAR, Instituto de Águas do Paraná. Organização: SOUSA, Rodrigo V B.

Figura 30 - Isoetas de precipitação – inverno.



Fonte: ITCG, IAPAR, Instituto de Águas do Paraná. Organização: SOUSA, Rodrigo V B.

¹³ Isoetas de precipitação – média histórica anual e sazonal. Período: 1979 a 2008. Prec.(precipitação); BT(Bacia do rio Tibagi); RT(rio Tibagi e parte do rio Paranapanema à jusante). Sistema de projeção e Datum planimétrico: UTM e SAD 69 Zona 22 S.

As isoietas de precipitação média refletem os resultados identificados no regime pluviométrico, apresentando a porção centro-sul da bacia médias mais elevadas em relação à região do baixo Tibagi. Esse fato atesta um clima de caráter mais úmido nas regiões do médio e principalmente do alto curso. Condiciona-se o regime hidrológico do baixo curso também às precipitações do médio e alto Tibagi, e não somente às chuvas do baixo curso. No cômputo geral, a região do curso inferior do Tibagi apresenta médias que oscilam de 1485 mm a 1577 mm anuais; enquanto o médio e alto curso, médias entre 1577 mm e 1623 mm anuais ou superiores.

Sazonalmente, a primavera apresenta precipitações distribuídas, ao longo da bacia, de forma mais equilibrada. O centro-norte mostra-se um pouco mais chuvoso, alcançando cifras até 162 mm em Londrina.

No verão, há um decréscimo das chuvas de norte para sul, sendo a porção setentrional da bacia a mais chuvosa. Tomando-se Londrina e Ibirapuã como referências, as precipitações superam o volume de 177 mm, contra 159 mm dos municípios mais a montante, Santa Cruz e Fernandes Pinheiro.

No outono, ao contrário, a porção meridional da bacia é a mais chuvosa, com precipitações de até 123 mm; enquanto a porção setentrional é a mais seca, com médias entre 99 mm e 107 mm. Todavia, mesmo havendo essa inversão na distribuição das chuvas, deve-se destacar que o volume precipitado é inferior ao da primavera e do verão.

No inverno, persiste a distribuição das chuvas, percebida ao longo do outono. A diferença reside no fato do volume precipitado ser ainda menor, não ultrapassando 116 mm, na porção meridional, e 84 mm, na porção setentrional.

As classes e seus intervalos, obtidos pela fórmula de *Sturges*, podem ser averiguados na tabela 10.

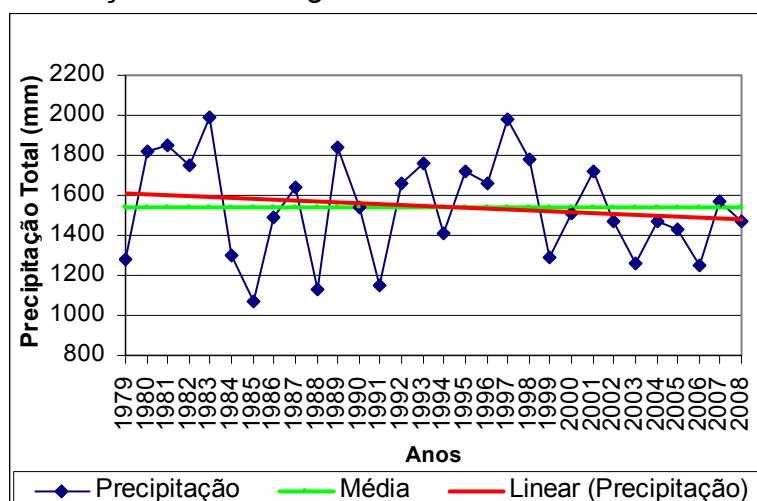
Tabela 10 - Variáveis obtidas pela fórmula de Sturges.

Isoietas	Máxima (mm)	Mínima (mm)	At (mm)	K	h (mm)
média	1622	1485	137	3	46
primavera	161,3	149,8	11,5	3	4
verão	176,2	150,3	25,9	3	9
outono	122,1	99,1	23,0	3	8
inverno	115,3	68,8	46,5	3	16

At = amplitude; K = número de classe; h = intervalo de classe. Organização: SOUSA, Rodrigo V. B.

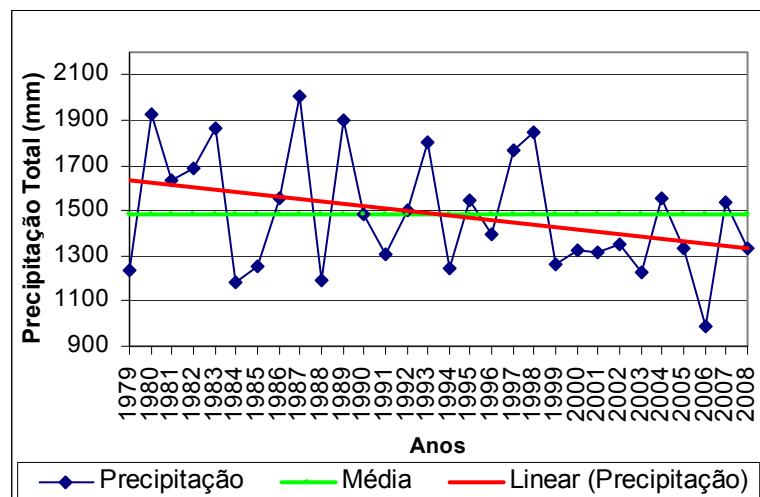
Analizando a série histórica dos totais anuais de precipitação, observou-se uma tendência negativa em todas as estações meteorológicas e postos pluviométricos; enquanto para os dados de temperatura média observou-se uma tendência positiva (Figuras 31 a 39).

Figura 31 – Série histórica de precipitação anual.
Estação meteorológica de Londrina – 02351003.



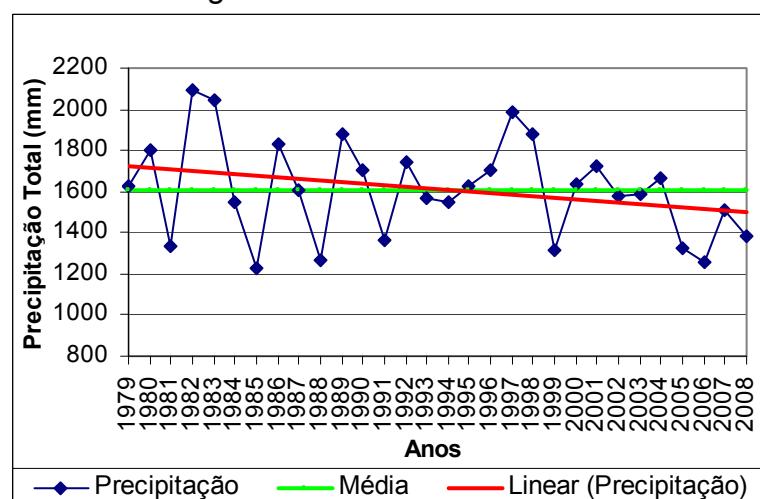
Fonte: IAPAR. Período: 1979 a 2008. Organização: SOUSA, Rodrigo V. B.

Figura 32 – Série histórica de precipitação anual. Estação meteorológica de Ibiporã - 02351011.



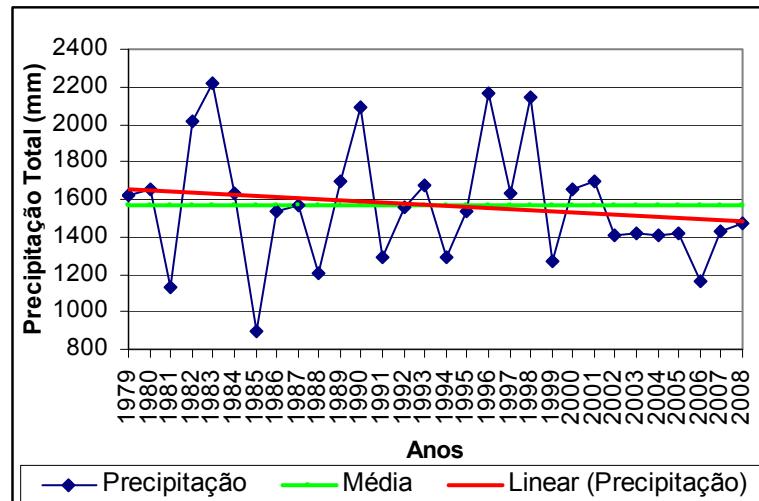
Fonte: IAPAR. Período: 1979 a 2008. Organização: SOUSA, Rodrigo V. B.

Figura 33 – Série histórica de precipitação anual. Estação meteorológica de Telêmaco Borba - 02450011.



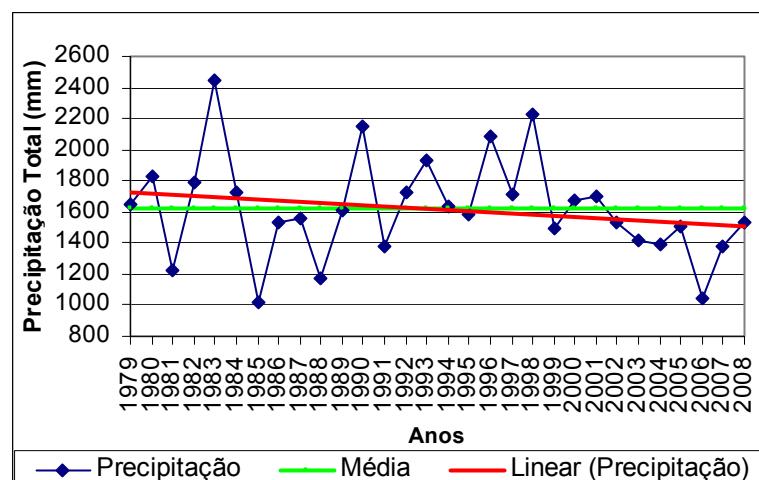
Fonte: IAPAR. Período: 1979 a 2008. Organização: SOUSA, Rodrigo V. B.

Figura 34 – Série histórica de precipitação anual.
Estação pluviométrica de Santa Cruz – 02550003.



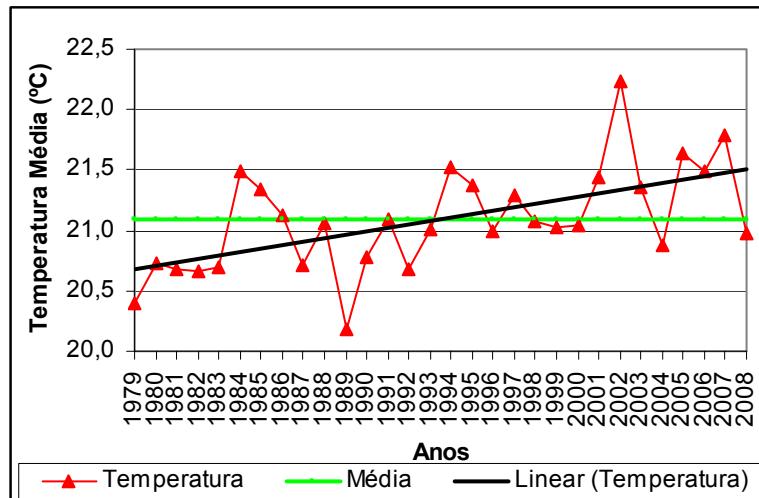
Fonte: ANA (2005a). Organização: SOUSA, Rodrigo V. B.

Figura 35 – Série histórica de precipitação anual.
Estação meteorológica de Fernandes Pinheiro – 02550025.



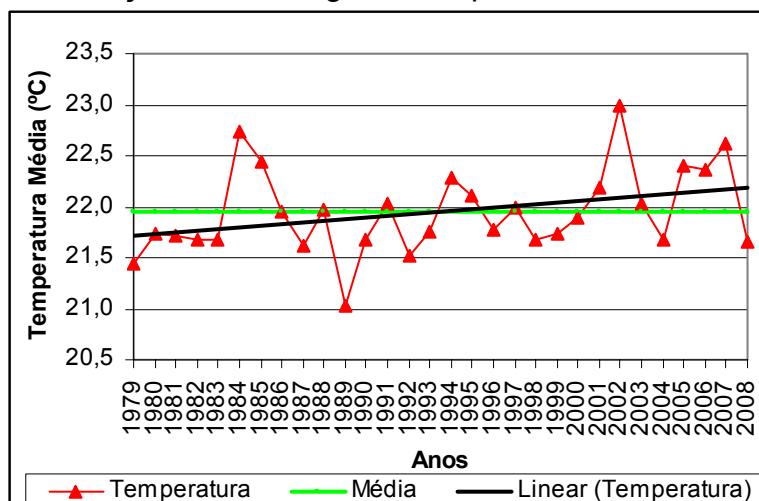
Fonte: IAPAR. Organização: SOUSA, Rodrigo V. B.

Figura 36 – Série histórica de temperatura média.
Estação Meteorológica de Londrina – 02351003.



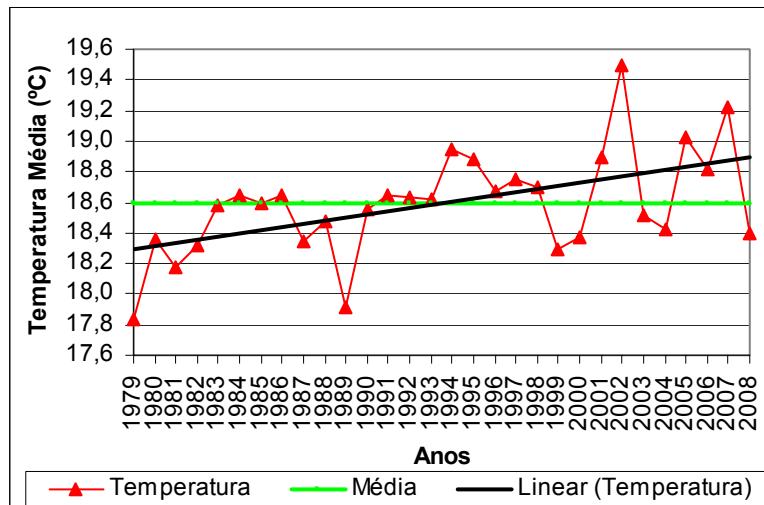
Fonte: IAPAR. Período: 1979 a 2008. Organização: SOUSA,
Rodrigo V. B.

Figura 37 – Série histórica de temperatura média.
Estação Meteorológica de Ibiporã - 02351011.



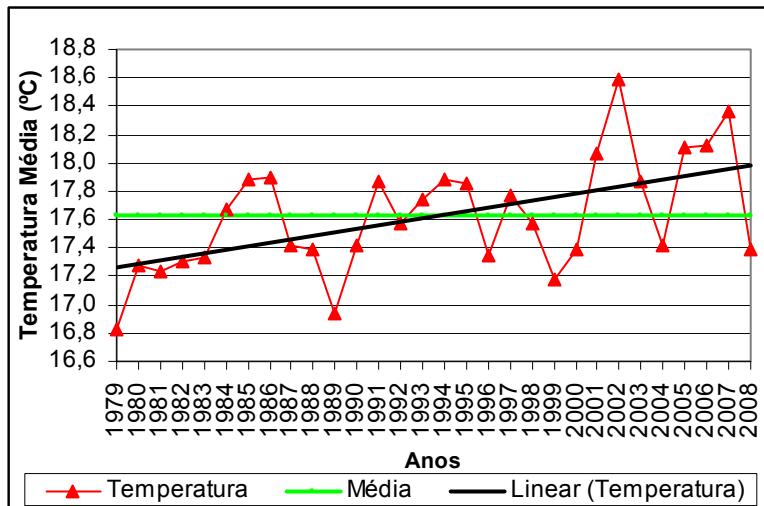
Fonte: IAPAR. Período: 1979 a 2008. Organização: SOUSA,
Rodrigo V. B.

Figura 38 – Série histórica de temperatura média.
Estação Meteorológica de Telêmaco Borba - 02450011.



Fonte: IAPAR. Período: 1979 a 2008. Organização: SOUSA, Rodrigo V. B.

Figura 39 – Série histórica de temperatura média.
Estação Meteorológica de Fernandes Pinheiro - 02550025.

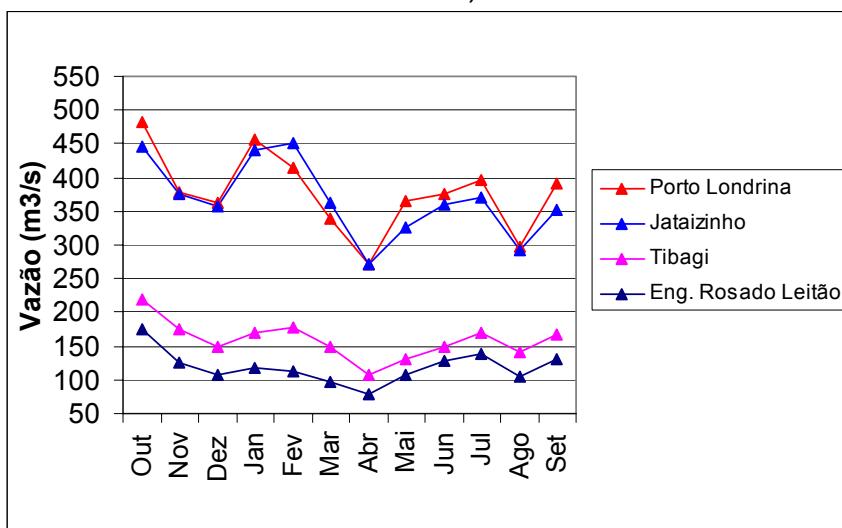


Fonte: IAPAR. Período: 1979 a 2008. Organização: SOUSA, Rodrigo V. B.

5.2 REGIME HIDROLÓGICO E ANOS ATÍPICOS POSITIVOS

Para a avaliação do regime hidrológico do rio Tibagi, foram construídos fluviogramas com as médias históricas de vazão, sendo que o período dos dados de cada uma das estações, já foi apresentado no quadro 7. Analisando o gráfico (Figura 40), observa-se que a primavera e o verão apresentam os maiores débitos. Em oposição, o outono e o inverno apresentam débitos menores, sendo o inverno a estação que possui as menores vazões.

Figura 40 – Fluviograma indicando o regime hidrológico do rio Tibagi. Utilizado médias históricas de cada estação (média das médias).



Fonte: ANA (2005a). Períodos: Porto Londrina = 1978-2009; Jataizinho = 1932-2009; Tibagi = 1932-2009; Eng. Rosado Leitão = 1976-2009.
Organização: SOUSA, Rodrigo V. B.

Entretanto, os picos de vazão não se limitam ao verão, nitidamente oposto ao regime tropical típico, conforme Pardê (1956), comumente encontrado nos rios brasileiros, preponderante na maior parte da bacia hidrográfica do Paraná (*apud* RADESCA, 1964, p.548). Difere-se também dos regimes subtropicais, uma vez que apresenta três picos de vazão durante o ano, a saber, outubro, janeiro ou fevereiro, e julho. Constatase, dessa forma, que as chuvas de outono e inverno, mais significativas, na porção sul da bacia hidrográfica do Tibagi, devido a um clima mais úmido, influenciam diretamente o regime hidrológico do rio Tibagi, inclusive em seu baixo curso, mais seco, representado pelas estações fluviométricas de Porto Londrina e Jataizinho. Destaca-se o fato dos débitos registrados, nas estações de

Porto Londrina e Jataizinho, serem maiores, uma vez que a área de drenagem é maior.

Baseando-se em Pardê (1956) e Latrubesse *et al.* (2005), o regime hidrológico do rio Tibagi enquadraria nos regimes complexos e variáveis dos grandes rios. Sobre essa classificação Pardê (1956) assevera:

Nem sempre os cursos d'água apresentam o mesmo regime da nascente à foz. É muito comum, principalmente nos grandes rios, o regime ir-se transformando conforme o curso d'água principal vai atravessando regiões climaticamente diversas e recebendo contribuições de seus afluentes com regimes por vezes opostos em virtude do clima das regiões que atravessam. É a hidrologia complexa e variável (apud RADESCA, 1964, p.559).

Assim posto, a bacia hidrográfica do Tibagi está situada sob diferentes condições climáticas, desde a nascente até a foz do rio principal. As considerações acerca desse assunto foram efetuadas na subseção 3.5.

Analisando-se o regime hidrológico, verifica-se incompatibilidade nos valores de vazão entre as estações de Jataizinho – 64507000 e Porto Londrina – 64501000. A estação fluviométrica de Jataizinho é a mais próxima à foz do rio Tibagi, logo, não deve apresentar vazões inferiores às vazões registradas na estação fluviométrica de Porto Londrina, uma vez que esta se situa à montante daquela. Em outras palavras, a área de drenagem da estação fluviométrica de Jataizinho é maior em detrimento àquela verificada na estação de Porto Londrina. Esta constatação mostra que os dados em questão não são seguros. As causas que propiciam maiores vazões, na estação fluviométrica de Porto Londrina, nos meses de outubro, janeiro, maio, junho, julho e setembro, podem estar relacionadas à falha humana, durante o registro dos dados, ou defeito nos aparelhos¹⁴.

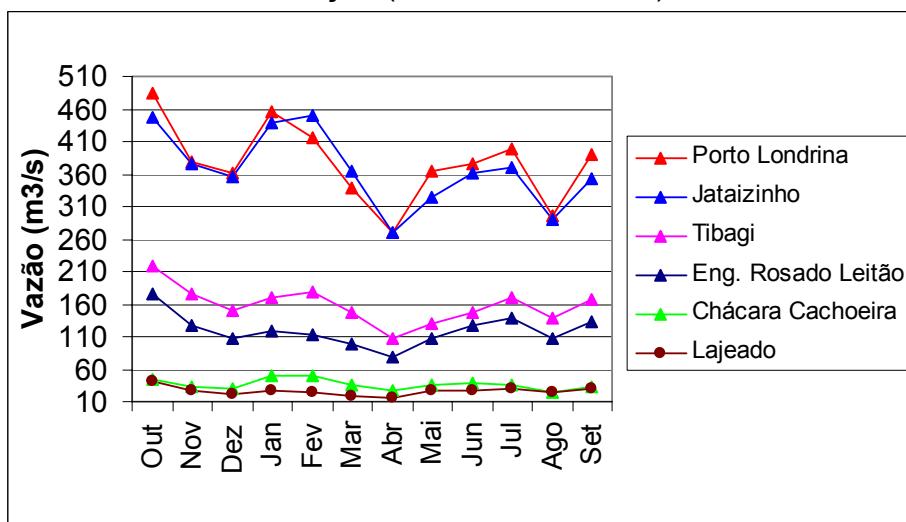
Atendo-se aos valores da estação fluviométrica de Jataizinho, uma vez que esta estação é a mais próxima da área de estudo, as vazões alcançam valores de 447 m³/s no mês de outubro, 450 m³/s no mês de fevereiro e 369 m³/s no mês de julho. Destaca-se que setembro, embora seja o mês de retomada das chuvas, apresenta débitos não superiores ao mês de julho, em todas as estações

¹⁴ De acordo com o Prof. Dr. Edvard Elias de Souza Filho, professor do Programa de Pós-Graduação em Geografia, da Universidade Estadual de Maringá, o aumento da vazão da estação fluviométrica de Porto Londrina em detrimento da estação fluviométrica de Jataizinho, não tem relação com mudança no padrão de drenagem, regularização de vazão, ou atividade de mineração – extração de areia – no leito do rio (Informação Verbal).

fluviométricas. Nesse sentido, no que concerne à vazão, setembro deve ser entendido como um mês de transição do período de águas baixas para o de águas altas.

No alto curso, tomando-se a estação de Tibagi - 64465000 como referência, os débitos são reduzidos a menos de $\frac{1}{2}$, se comparados com a estação de Jataizinho - 64507000, que registra volumes de $219 \text{ m}^3/\text{s}$ em outubro, $177 \text{ m}^3/\text{s}$ em fevereiro e $171 \text{ m}^3/\text{s}$ em julho. Ainda no alto curso, desta vez analisando os valores da estação de Engenheiro Rosado Leitão - 64447000, a redução dos débitos persiste, acrescentando-se o fato de que em janeiro essa redução chega a $\frac{1}{3}$, equivalendo a um volume de $119 \text{ m}^3/\text{s}$. Destaca-se o fato da referida estação fluviométrica, apresentar a vazão média no mês de julho, superior ao mês de janeiro. Também verifica-se esse aspecto, na estação Lajeado - 64442800, localizada em um tributário do alto curso do rio Tibagi. De modo geral, a estação de Lajeado, localizada no rio Imbituva, e a estação Chácara Cachoeira – 64477600, situada no rio Iapó, ambos tributários do Tibagi, apresentam um regime hidrológico próximo ao do Tibagi (Figura 41). A diferença reside na amplitude dos períodos secos e chuvosos, menos contrastantes nessas estações fluviométricas, devido ao fato de estarem localizadas, em tributários de menor ordem, e pelo motivo dos referidos rios não atravessarem regiões que apresentam condições climáticas distintas.

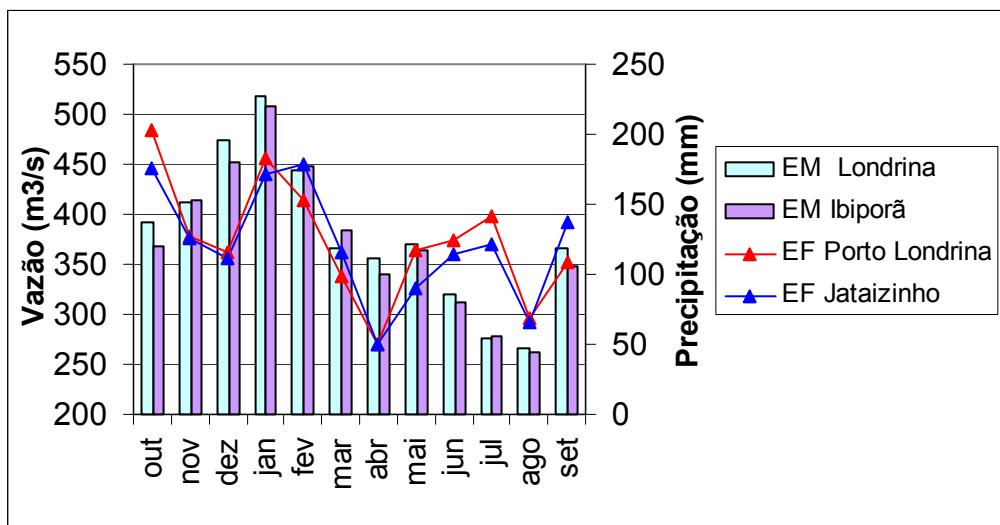
Figura 41 – Fluiograma indicando o regime hidrológico do rio Tibagi e de tributários do curso superior. Utilizado médias históricas de cada estação (média das médias).



Fonte: ANA (2005a). Períodos: Porto Londrina = 1978-2009; Jataizinho = 1932-2009; Tibagi = 1932-2009; Eng. Rosado Leitão = 1976-2009; Chácara Cachoeira = 1981-2009; Lajeado = 1981-2009. Organização: SOUSA, Rodrigo V. B.

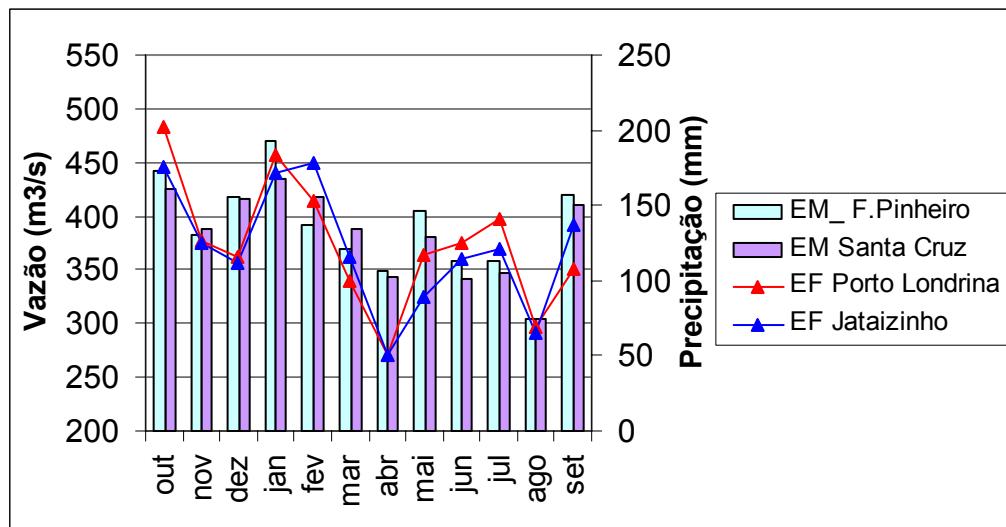
Quanto ao período de águas baixas, observa-se no geral, a ocorrência de um no outono, no mês de abril – sendo este o mês em que os débitos são menores – e um no final do inverno, em agosto. Na estação de Jataizinho, o mês de abril registra 271 m³/s, quase metade dos débitos em outubro. Em agosto, os débitos aumentam um pouco, chegando a 291 m³/s. Analisando os valores de vazão e de precipitação em um único gráfico (Figuras 42 e 43), verifica-se que há uma correlação entre os regimes pluviométrico e hidrológico.

Figura 42 - Relação entre regime pluviométrico do baixo curso do Tibagi e regime hidrológico das estações fluviométricas de Jataizinho – 64507000 e de Porto Londrina – 64501000. Utilizado médias históricas (média da média).



Fonte: ANA (2005a); IAPAR. EM = estação meteorológica (mm). EF = Estação fluviométrica (m³/s). Período EM: 1979 a 2008. Período EF Porto Londrina: 1978 a 2008; EF Jataizinho: 1932 a 2008. Organização: SOUSA, Rodrigo V. B.

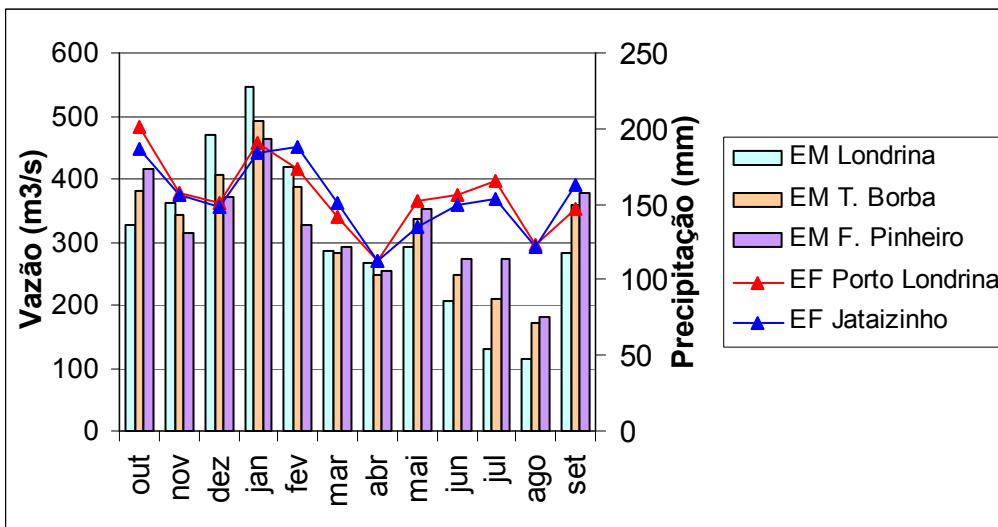
Figura 43 - Relação entre regime pluviométrico do alto curso do Tibagi e regime hidrológico das estações fluviométricas de Jataizinho – 64507000 e de Porto Londrina – 64501000. Utilizado médias históricas (média da média).



Fonte: ANA (2005a); IAPAR. EM = estação meteorológica (mm). EF = Estação fluviométrica (m^3/s). Período EM: 1979 a 2008. Período EF Porto Londrina: 1978 a 2008; EF Jataizinho: 1932 a 2008. Organização: SOUSA, Rodrigo V. B.

Percebe-se que os picos de cheia, no baixo Tibagi, especificamente, nos meses de outubro e julho, são fortemente influenciados pelas precipitações a montante da bacia hidrográfica do Tibagi. Embora não tenham sido utilizados dados de estações fluviométricas do médio curso, devido à ausência de longas séries sem falhas, pode-se dizer que as precipitações sazonais apresentam as mesmas características do alto curso, diferenciando-se apenas as chuvas de verão, mais afeitas ao baixo curso (Figura 44).

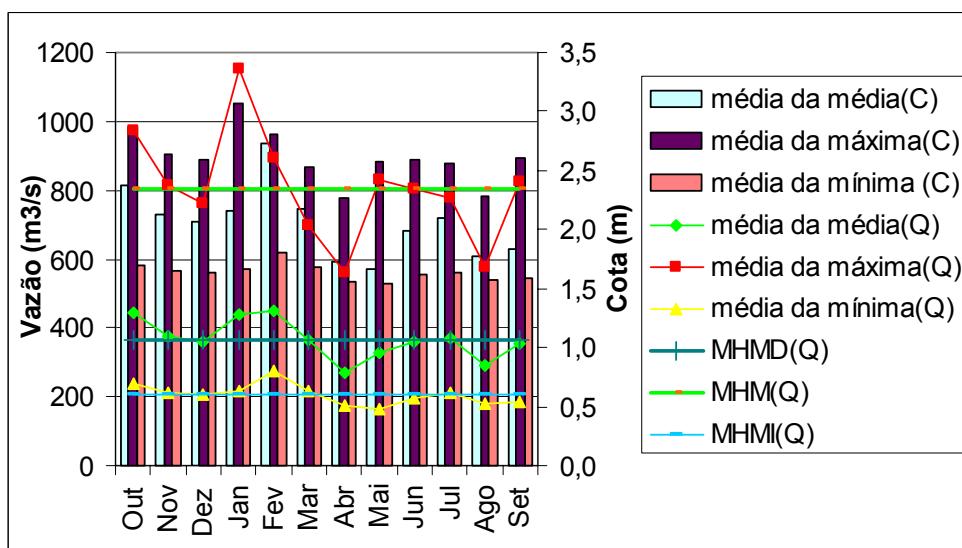
Figura 44 - Relação entre regime pluviométrico do alto, médio e baixo curso do rio Tibagi, e regime hidrológico das estações fluviométricas de Jataizinho – 64507000 e de Porto Londrina – 64501000. Utilizado médias históricas (média das médias).



Fonte: ANA (2005a); IAPAR. EM = estação meteorológica (mm). EF = Estação fluviométrica (m³/s). Período EM: 1979 a 2008. Período EF Porto Londrina: 1978 a 2008; EF Jataizinho: 1932 a 2008. Organização: SOUSA, Rodrigo V. B.

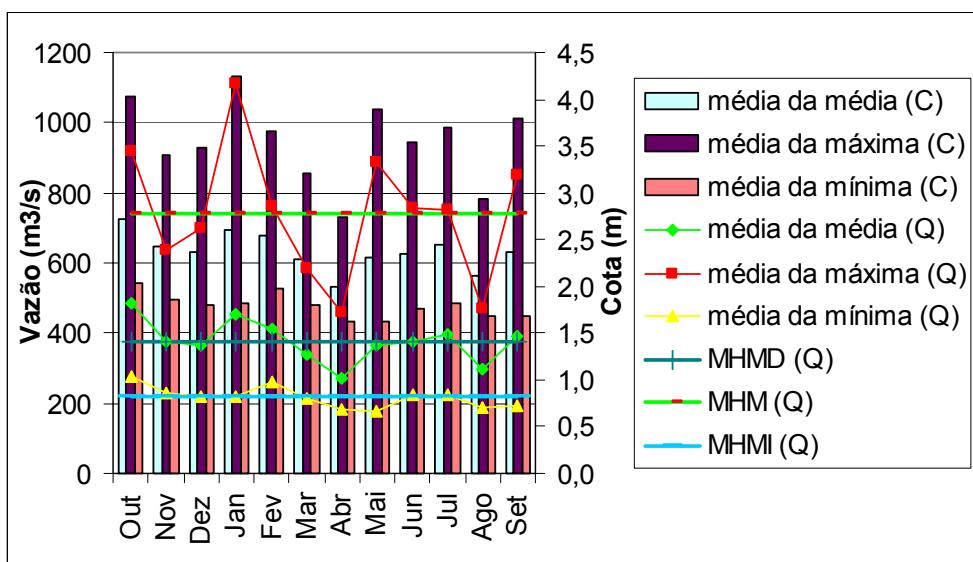
Uma atenção maior foi dada aos parâmetros hidrológicos do baixo curso do Tibagi, uma vez que se trata da área de estudo da presente pesquisa. Desse modo, analisou-se não apenas os valores médios de vazão e cota fluviométrica, mas também os valores máximos e mínimos (Figuras 45 e 46).

Figura 45 - Fluiograma com valores médios, máximos e mínimos de vazão e cota fluviométrica do rio Tibagi. Estação fluviométrica de Jataizinho – 64507000. Utilizado médias históricas.



Fonte: ANA (2005a). Período 1932 a 2008. C = cota fluviométrica; Q = vazão; MHMD (Q) = média histórica da vazão média; MHM (Q) = média histórica da vazão máxima; MHMI(Q) = média histórica da vazão mínima. Organização: SOUSA, Rodrigo V. B.

Figura 46 - Fluviograma com valores médios, máximos e mínimos de vazão e cota fluviométrica do rio Tibagi. Estação fluviométrica de Porto Londrina - 64501000. Utilizado médias históricas.



Fonte: ANA (2005a). Período: 1978 a 2008. C = cota fluviométrica; Q = vazão; MHMD (Q) = média histórica da vazão média; MHM (Q) = média histórica da vazão máxima; MHMI(Q) = média histórica da vazão mínima. Organização: SOUSA, Rodrigo V. B.

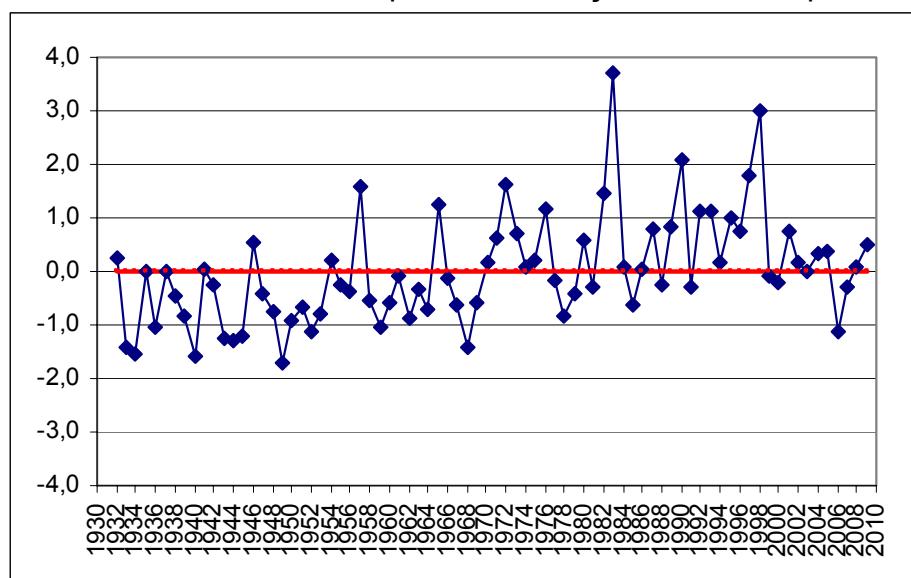
A análise dos gráficos demonstra a nítida correlação entre cota fluviométrica e vazão em ambas as estações. Embora a estação fluviométrica de Jataizinho apresente os débitos médios mais elevados, em fevereiro e outubro, é no mês de janeiro que se registram os picos máximos de vazão e cota fluviométrica. O mês de abril, analisando todo o conjunto dos dados, registra os menores valores, coerente com o regime hidrológico realizado, através dos débitos médios. Entretanto, embora abril apresente os menores valores de vazão e cota fluviométrica, a média das mínimas atesta pequeno decréscimo do débito, em maio, bem como redução de 1 cm na régua. De um modo geral, a média das mínimas de cota fluviométrica e vazão, apresenta certa regularidade durante o ano, sendo fevereiro o mês com as mínimas mais elevadas devido ao grande volume de chuva, em janeiro e ao longo de fevereiro.

Em termos numéricos, a média das máximas, em janeiro, na estação fluviométrica de Jataizinho, atinge débitos de 1151 m³/s e cota fluviométrica de 3,1 m. Após a identificação do mês de ocorrência das maiores vazões e cotas fluviométricas, elegeu-se o ano mais representativo para a escolha das imagens orbitais, especificamente, o mais atípico acima da média. Para tal, utilizaram-se as séries normalizadas de vazão das estações fluviométricas que apresentaram os maiores períodos, a saber, Jataizinho – 64507000 e Tibagi – 64465000, ambas com

um período de 78 anos: de 1932 a 2009. Todavia, a escolha das imagens baseou-se, principalmente, nos dados da estação fluviométrica de Jataizinho, uma vez que a área do espelho d'água a ser calculada se encontrava próxima à referida estação, situada no curso inferior do rio Tibagi.

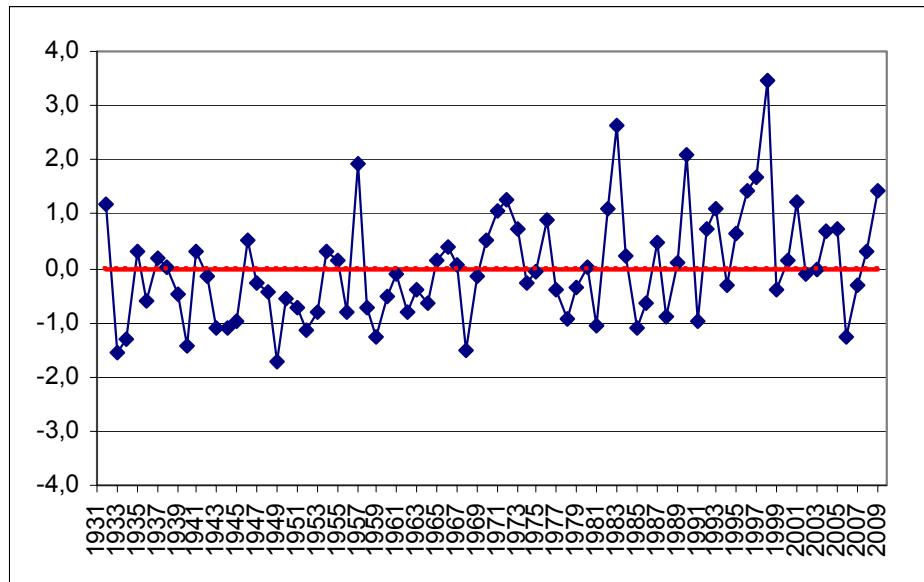
Além disso, salienta-se que estatisticamente o ideal é que todas as estações tenham a mesma escala temporal, pois mudanças bruscas podem refletir resultados muito distintos. Devido a esse motivo, optou-se por não identificar anos atípicos em todas as estações fluviométricas, tampouco nos dados de precipitação, tendo em vista que a escala temporal entre as estações fluviométricas de Jataizinho – 64507000 e Tibagi - 64465000 e os dados de precipitação de todas as estações meteorológicas e postos pluviométricos não estavam compatíveis. As séries normalizadas de vazão podem ser averiguadas nas figuras 47 e 48.

Figura 47 – Séries normalizadas da estação fluviométrica de Jataizinho – 64507000 – para identificação de anos atípicos.



Período: 1932 a 2009. Organização: SOUSA, Rodrigo V. B.

Figura 48 – Séries normalizadas da estação fluviométrica de Tibagi – 64465000 – para identificação de anos atípicos.



Período: 1932 a 2009. Organização: SOUSA, Rodrigo V. B.

Devido às imagens da série LANDSAT serem disponibilizadas, a partir de 1975, pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, e pelo fato da represa de Capivara ter sido formada após a operação da hidrelétrica Escola Engenharia Mackenzie – Capivara, no ano de 1975, priorizou-se a escolha de anos atípicos positivos, a partir desta data¹⁵. Pelo fato de a construção da hidrelétrica ter alterado completamente a paisagem e o padrão da drenagem, na foz do Tibagi, imagens anteriores a 1975 seriam incompatíveis, no presente momento, para a avaliação da área de transbordamento do rio.

Os anos atípicos positivos, mais afastados da normalidade, foram: 1983, 1990 e 1998, com a ocorrência dos maiores episódios, em 1983 e 1998. Embora não tenha sido realizado propriamente um estudo de climatologia dinâmica, pode-se inferir que a ocorrência desses eventos extremos está relacionada com o fenômeno El Niño. Segundo Mendonça; Danni-Oliveira (2007, p.192), foram registrados 12 eventos do El Niño no século XX: 1941-1942, 1951, 1953, 1957-1958, 1965, 1969, 1972-1973, 1976, 1982-1983, 1986, 1991, 1997-1998; e mais um no

¹⁵ De acordo com GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO (2009) a hidrelétrica Escola Engenharia Mackenzie – Capivara – foi inaugurada em 1978. Todavia, conforme alguns sites comerciais, como NEVES FILHO (2011) foi no ano de 1975 que ocorreu o fechamento das comportas, iniciando o processo de inundação em municípios do Paraná e São Paulo, a saber: Primeiro de Maio, Porecatu, Alvorada do Sul, Taciba e Iepê, os dois últimos pertencentes ao Estado de São Paulo. Analisando algumas imagens orbitais, obtidas em INPE (2010), constatou-se que, em 1975, a represa de Capivara ainda não havia sido formada. Entretanto, a imagem de 11/11/1976, órbita 238, ponto 76, demonstra que a represa já estava formada.

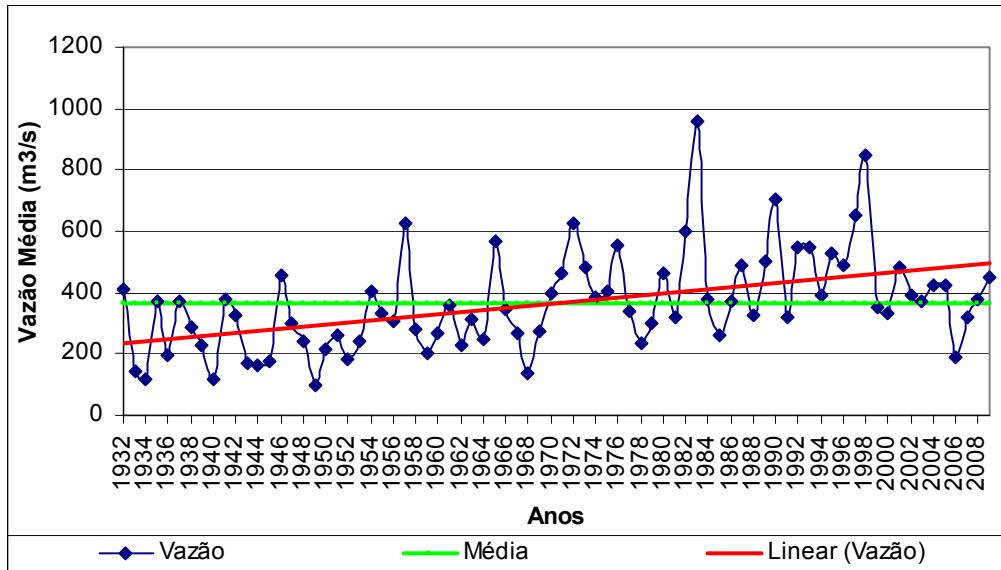
século XXI, em 2002-2003. Vale destacar que a estação fluviométrica de Tibagi – 64465000 indica que a atipicidade do ano de 1998 foi superior à do ano de 1983.

Pelo fato de o ano de 1983 ter sido o mais extremo, escolheu-se este para o cálculo da área do espelho d'água do rio Tibagi. Como segunda opção, antevendo as dificuldades a serem encontradas na escolha da imagem, por exemplo, qualidade da imagem, cobertura de nuvens, ou não recobrimento da área desejada na data estipulada, selecionaram-se os anos de 1990, 1992, 1993, 1997 e 1998.

Para contrastar o extravasamento do rio, em anos atípicos positivos, com períodos de águas altas e águas baixas, em anos próximos à normalidade, elegeu-se o ano de 2008 e, como segunda opção, os anos de 2005 e 2007. Ressalta-se que, nenhum dos três anos apresentaram valores de atipicidade superior a 1, e que foram escolhidos anos próximos à normalidade mais recentes. A utilização das imagens, tanto do satélite LANDSAT 5, como do CBERS 2B foi condicionada pela disponibilidade destas no catálogo de imagens do INPE.

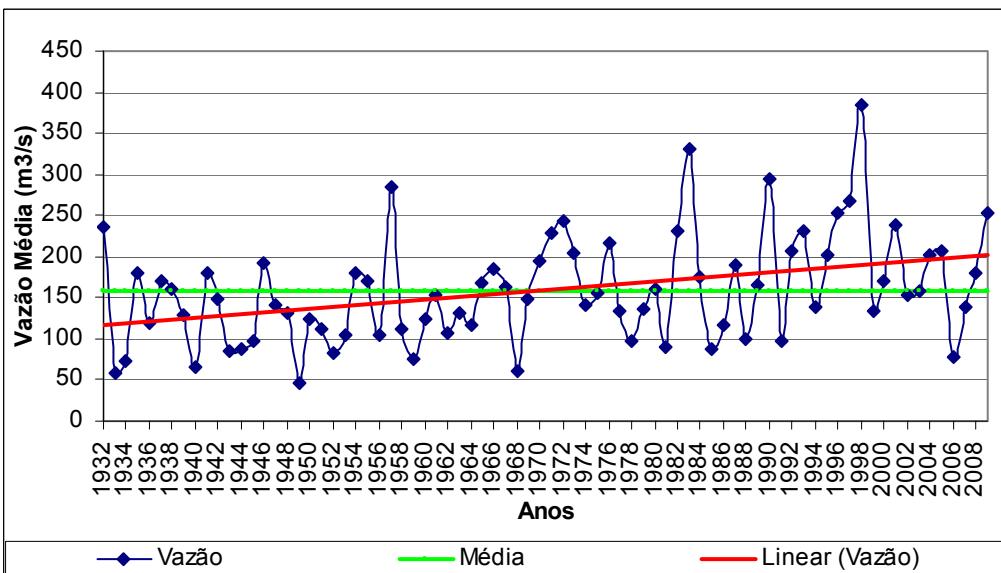
Fazendo uma análise da série histórica dos débitos médios, nas estações fluviométricas de Jataizinho – 64507000 e Tibagi - 64465000, verificou-se uma tendência positiva nas vazões, fenômeno oposto à série histórica de precipitação média (Figuras 49 e 50). A respeito dessa temática, Tucci; Clarke (1996) e Muller *et al.* (1998) apontam a não estacionariedade das séries hidrológicas afluentes à Itaipu, ou seja, está havendo, ao longo do tempo, mudança das propriedades estatísticas das séries hidrológicas. Destaca-se na segunda obra, que o aumento das vazões, na bacia hidrográfica do Paraná, decorre não apenas por causa de possíveis variações climáticas, mas também pela mudança no uso do solo (apud ANA, 2005, p.27).

Figura 49 – Série temporal dos débitos médios da estação fluviométrica Jataizinho – 64507000.



Fonte: Instituto de Águas do Paraná. Período: 1932 a 2009. Organização: SOUSA, Rodrigo V. B.

Figura 50 – Série temporal dos débitos médios da estação fluviométrica de Tibagi – 64465000.



Fonte: Instituto de Águas do Paraná. Período: 1932 a 2009. Organização: SOUSA, Rodrigo V. B.

Vale destacar que, dentre as 12 bacias hidrográficas brasileiras, segundo a atual classificação da ANA (2006, p.8), a bacia hidrográfica do Paraná, conforme ANA (2005, p.77), destaca-se em primeiro lugar em termos de vazão de

retirada e vazão de consumo¹⁶, totalizando respectivamente 30 % e 23 % dos recursos hídricos superficiais do país para os diversos usos consuntivos¹⁷. Salienta-se, ainda, que dos 179000 m³/s de vazão média anual dos rios brasileiros, as reservas renováveis dos aquíferos têm participação de 24 % no escoamento médio dos rios e 49 % da vazão de estiagem¹⁸.

5.3 CURVA DE PERMANÊNCIA

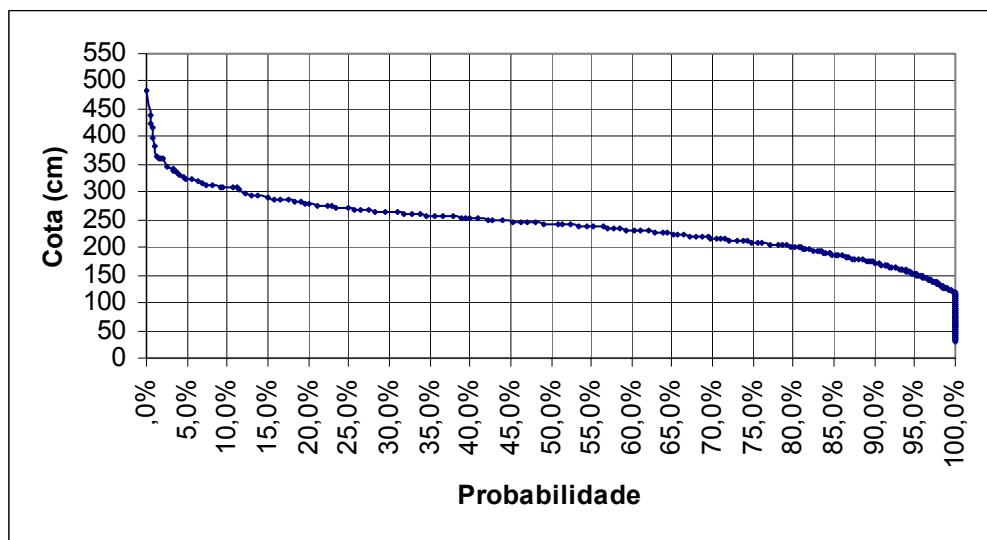
Utilizando-se a série histórica dos dados limimétricos da estação fluviométrica de Jataizinho, construiu-se uma curva de permanência no ambiente *Microsoft® Excel*, cujo objetivo era identificar a cota fluviométrica predominante, ao longo do ano. Nesse sentido, verifica-se que as cotas fluviométricas, entre 90 % e 95 % do tempo, se encontram entre 1,72 m e 1,50 m. As cotas que ocorrem, entre 50 % e 90 % do tempo, estão compreendidas entre 2,43 m e 1,72 m. A probabilidade de ocorrência de cota igual a 3,03 m é reduzida a 11,3 %; enquanto as cotas mais extremas, a partir de 3,46 m até 4,84 m, estão situadas entre 2,46 % e 0,11 % do tempo (Figura 51).

¹⁶ De acordo com ANA (2005b, p.9), a demanda de água equivale à vazão de retirada, ou seja, ao volume total de água captada, destinada a atender os diversos usos consuntivos. Entretanto, para se ter conhecimento do volume de água efetivamente utilizado, deve-se estimar outros dois parâmetros, a saber: vazão de retorno e vazão de consumo. Aquela é o produto da vazão de retirada pelo coeficiente de retorno determinado para cada tipo de consumo. Esta é a diferença entre a vazão de retirada e a vazão de retorno. Muitos estudos utilizam os coeficientes de retorno adotados pela ONS (2003) - Operador Nacional de Sistema Elétrico, quais sejam: abastecimento urbano – 0,8; abastecimento rural – 0,5; abastecimento industrial – 0,8; irrigação – 0,2; criação de animais 0,2 (apud ANA, 2005b, p.9).

¹⁷ Informações mais detalhadas sobre vazões de retirada e vazões de consumo, nas diferentes bacias hidrográficas do Brasil, podem ser averiguadas em ANA (2005b p.77-81). No respectivo estudo, os usos consuntivos considerados para o cálculo das demandas foram: demanda urbana atendida, demanda urbana não atendida, demanda rural, criação animal, demanda industrial e demanda de irrigação. Informações sobre os diferentes usos consuntivos também podem ser averiguadas em Tucci et al. (2001, p.57).

¹⁸ Além da recarga, a zona saturada do aquífero também é formada pelas denominadas reservas hídricas subterrâneas. Costa (1997, p.347, grifo nosso) as classificam em quatro: reservas reguladoras, reservas permanentes ou seculares, reservas totais ou naturais, reservas de exploração ou recursos. As reservas reguladoras representam a quantidade de água livre armazenada pelo aquífero, ao longo de uma recarga, submetidas ao efeito do ritmo sazonal. Na prática, pode-se dizer que a quantidade de água armazenada, tanto para a recarga quanto para a reserva reguladora é a mesma. O que muda na realidade é o emprego do termo, pois reserva reguladora ou qualquer outro tipo de reserva são conceitos de caráter econômico, uma vez que visam quantificar o volume de água a ser explorado. Reservas reguladoras e reservas renováveis podem ser entendidas como sinônimos. As reservas permanentes ou seculares constituem as águas acumuladas que não variam em função das precipitações e permitem uma exploração mais importante. As reservas totais ou naturais equivalem à junção das reservas permanentes e reguladoras. As reservas de exploração ou recursos constituem a quantidade máxima de água que poderia ser explotada de um aquífero, sem riscos de prejuízos ao manancial.

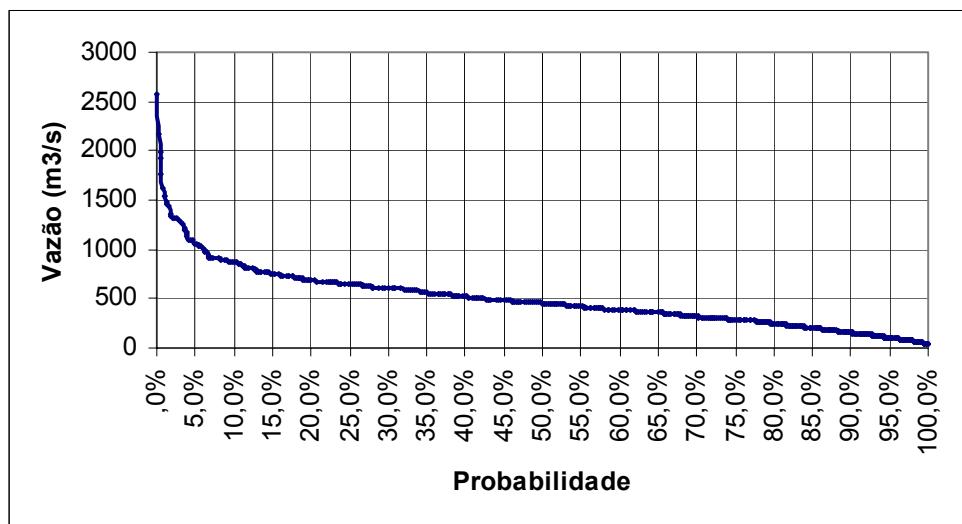
Figura 51 – Curva de Permanência obtida, através dos dados limimétricos da estação fluviométrica de Jataizinho – 64507000.



Fonte: Instituto de Águas do Paraná. Utilizado médias mensais. Período: 1932 a 2009. Organização: SOUSA, Rodrigo V. B.

A curva de permanência também foi construída com os dados de vazão. Nesse sentido, a vazão mínima de referência para outorga de uso de recursos hídricos – Q_{95} – é de $102 \text{ m}^3/\text{s}$, embora no Estado paranaense, o parâmetro utilizado é o $Q_{7,10}$ – vazão mais baixa em sete dias consecutivos, com período de retorno igual a dez anos. O Q_{90} equivale a $152 \text{ m}^3/\text{s}$, de tal modo que a vazão existente, entre 50 % e 90 % do tempo – Q_{50} a Q_{90} , varia de $456 \text{ m}^3/\text{s}$ a $152 \text{ m}^3/\text{s}$. As vazões mais extremas, a partir de $1059 \text{ m}^3/\text{s}$ até $2575 \text{ m}^3/\text{s}$, têm uma probabilidade de ocorrerem entre 5 % e 0,2 % do tempo (Figura 52).

Figura 52 – Curva de Permanência obtida, através dos dados de vazão da estação fluviométrica de Jataizinho – 64507000.



Fonte: Instituto de Águas do Paraná. Utilizado médias mensais. Período: 1932 a 2009. Organização: SOUSA, Rodrigo V. B.

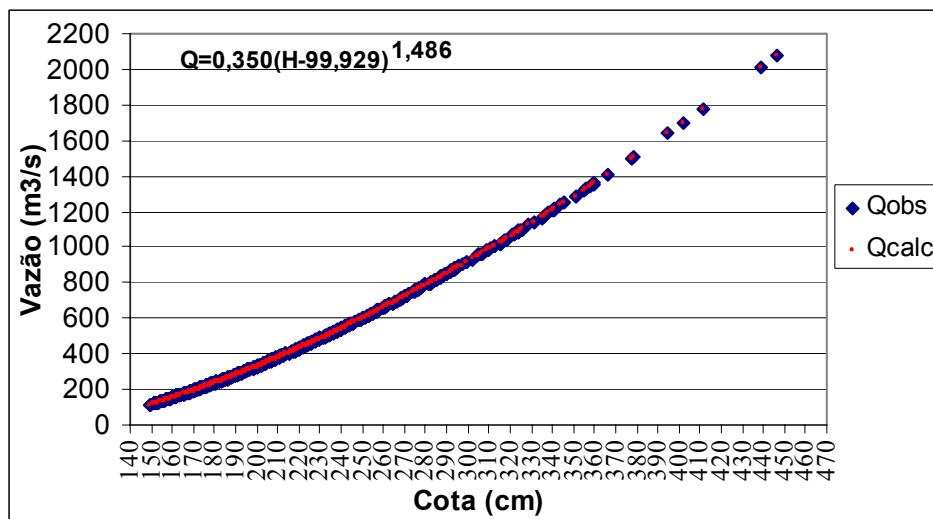
5.4 CURVA-CHAVE OU RELAÇÃO COTA-DESCARGA

A relação cota-descarga pode ser evidenciada na figura 53. Pelo fato de não haver transbordamento do rio Tibagi sobre áreas extensas, como será constatado em breve, não houve a necessidade de construir curva-chave, em períodos distintos, a saber: períodos de águas altas e períodos de águas baixas. Outrossim, construiu-se apenas uma curva-chave para os distintos períodos sazonais. Após a construção da relação cota-descarga, elaborou-se uma tabela de validação dos valores de descarga. Sabendo-se que o conjunto total da população foi de 1067 pares de cota fluviométrica e vazão, utilizou-se uma amostra de 10%, ou seja, 106 pares de cota e vazão, para a construção da tabela de validação (Tabela 11).

Fazendo-se uma análise dos eventos hidrológicos críticos, ocorridos em um dado lugar, a curva-chave pode ser utilizada para a emissão de alerta à Defesa Civil, uma vez que, determinado o nível do rio, pode-se estimar sem maiores complicações a vazão. Assim posto, do ponto de vista do planejamento territorial, a curva-chave pode ser considerada uma técnica extremamente útil, desde que, ao ser construída, sejam tomadas as devidas precauções para a sua extração. Outro aspecto positivo da curva-chave, diz respeito ao seu uso para o preenchimento de falhas nos valores de vazão.

A curva-chave estabelecida na presente pesquisa pode ser utilizada com segurança, pois, como será observado a seguir, as vazões calculadas foram muito próximas e, em algumas situações, idênticas às vazões observadas. Denota-se assim, que as variáveis da equação estão bem ajustadas.

Figura 53 – Curva-chave da estação fluviométrica de Jataizinho – 64507000.



Fonte: Instituto de Águas do Paraná. Período de 2001 a 2005. Qobs = vazão observada; Qcalc = vazão calculada. Organização: SOUSA, Rodrigo V. B.

Tabela 11 - Validação da curva-chave indicando a vazão observada e a vazão calculada.

H	Qobs	Qcalc	230	486	485
190	282	281	237	525	524
192	291	290	270	723	722
188	273	272	262	674	672
185	257	258	290	853	852
182	243	245	271	730	728
181	241	240	264	683	685
179	232	231	254	625	624
180	237	236	251	604	606
183	250	249	244	566	564
183	250	249	238	532	530
183	248	249	231	489	490
179	232	231	224	454	452
177	224	223	222	443	441
176	217	218	215	403	404
174	211	210	207	363	363
173	205	206	192	289	290
171	198	197	195	303	304
170	192	193	184	254	253
169	190	189	182	245	245
169	190	189	180	234	236
176	217	218	179	230	231
190	280	281	175	213	214
196	310	309	173	207	206
219	424	425	170	194	193
207	365	363	170	192	193
196	310	309	169	188	189
174	209	210	164	170	169
170	192	193	165	174	173
171	196	197	163	166	165
165	174	173	166	178	177
164	170	169	164	168	169
166	178	177	163	166	165
164	170	169	164	168	169
164	170	169	162	160	162
164	170	169	169	188	189
163	164	165	179	230	231
162	160	162	177	224	223
160	155	154	173	205	206
158	147	146	168	186	185
180	234	236			
179	232	231			
178	228	227			
176	217	218			
175	213	214			
170	192	193			
172	200	202			
240	543	541			
241	546	547			
238	528	530			
234	506	507			

Qobs = descarga medida (m^3/s); H = cota fluviométrica (cm); Qcalc = descarga calculada (m^3/s). Organização: SOUSA, Rodrigo V. B.

Em seguida, estipulou-se uma tabela com os valores de cota fluviométrica e Q_{calc} – vazão calculada – com um intervalo de 10 cm de variação, do nível do rio Tibagi (Tabela 12). As cotas utilizadas para a obtenção de Q_{calc} estiveram compreendidas entre a média da mínima e a média da máxima, apresentadas nos fluviogramas anteriores. Ressalta-se que, para a obtenção da vazão ou extração da curva-chave, o valor da cota fluviométrica a ser utilizado na equação, deverá ser em centímetros e não em metros.

Tabela 12 – Valores de cotas fluviométricas e Q_{calc} a cada 10 cm.

H (cm)	H (m)	Q_{calc} (m ³ /s)	Diferença de Vazão a cada 10 cm (m ³ /s)	Diferença Média por Grupo (m ³ /s)*
140	1,4	84		
150	1,5	117	33	
160	1,6	154	37	36
170	1,7	193	39	
180	1,8	236	43	
190	1,9	281	45	45
200	2	328	47	
210	2,1	378	50	
220	2,2	430	52	
230	2,3	485	55	54
240	2,4	541	56	
250	2,5	600	59	
260	2,6	660	60	
270	2,7	722	62	
280	2,8	786	64	
290	2,9	852	66	65
300	3	919	67	
310	3,1	988	69	
320	3,2	1059	71	
330	3,3	1131	72	
340	3,4	1205	74	
350	3,5	1281	76	75
360	3,6	1357	76	
370	3,7	1436	79	
380	3,8	1515	79	
390	3,9	1596	81	
400	4	1679	83	
410	4,1	1763	84	
420	4,2	1848	85	85
430	4,3	1934	86	
440	4,4	2022	88	
450	4,5	2111	89	

(*) Os valores de diferença média por grupo devem ser utilizados apenas para efeito didático, uma vez que o valor de Q_{calc} é o valor exato. H = cota fluviométrica; Q_{calc} = descarga calculada. Organização: SOUSA, Rodrigo V. B.

A partir da tabela anterior, é possível observar que há um aumento progressivo dos débitos, porém não linear. Junto aos valores de Qcalc, verifica-se a diferença de vazão a cada 10 cm, em que foi possível identificar 6 grupos e a diferença média de vazão por grupo. Entretanto, a diferença média de vazão por grupo deve ser estabelecida apenas para fins didáticos, uma vez que os valores de Qcalc são os resultados corretos. Entre a menor e a maior cota fluviométrica apresentadas na tabela, 140 cm a 450 cm, intervalo que corresponde às médias máximas e médias mínimas identificadas no regime hidrológico, tem-se uma diferença de 2027 m³/s ou 2.027.000 l/s.

5.5 MAPEAMENTO DO ESPELHO D'ÁGUA

Tomando-se como referência a estação fluviométrica de Jataizinho – 64507000, houve a impossibilidade de utilizar imagens dos anos de 1983 e 1990, o principal e o terceiro ano com vazão mais atípica acima da média. As imagens foram selecionadas com base no regime hidrológico da estação fluviométrica de Jataizinho, principalmente nas médias máximas de cota fluviométrica e vazão, bem como nos índices de atipicidade de vazão da referida estação.

Dentre os vários motivos que contribuíram para que não houvesse imagens disponibilizadas dos referidos anos, destacam-se: o excesso de chuvas e consequentemente de nuvens. Este fenômeno impossibilita o imageamento realizado pelo satélite, uma vez que parte considerável das ondas do espectro eletromagnético que atuam, nos sensores dos satélites de recursos terrestres – visível, 0,4 µm a 0,7 µm; infravermelho próximo, 0,7 µm a 1,3 µm; infravermelho médio, 1,3 µm a 2,5 µm; e infravermelho distante, 2,5 µm a 1 mm – são bloqueadas pelo excesso de vapor d'água disposto na atmosfera, sendo refletida para o sensor antes mesmo de chegar à superfície.

Outro motivo que pode ter contribuído para não haver imagens de 1983 disponíveis, conforme INPE (2010b), talvez esteja relacionado ao problema de sincronização das linhas de varreduras no sensor *MSS*, a bordo do LANDSAT 3, detectado no início de 1979. A literatura indica que a Agência Espacial Norte Americana – NASA executou uma série de testes durante o período de 8 a 24 de abril de 1979, para tentar corrigir a falha. Entretanto, o problema tornou-se

frequente, ficando comprometidas cerca de 20 % a 40 % de todas as imagens MSS então adquiridas. Acrescentando-se o fato de também não haver imagens no catálogo do INPE referente ao *LANDSAT 4* e sabendo-se que o *LANDSAT 5* entrou em operação no ano de 1984, esse motivo é perfeitamente aceitável.

Do mesmo modo, tentou-se sem sucesso identificar imagens de períodos representativos – meses com as médias máximas de cota fluviométrica e vazão – de anos atípicos positivos, a saber, 1992, 1993 e 1997, todos com índice de atipicidade acima de 1. Ressalta-se que foi detectada uma imagem do mês de março – período de águas altas – no ano de 1997, órbita 222, ponto 26, porém apresentando nuvens sobre o alvo de maior interesse, o rio Tibagi. Embora a quantidade fosse pouco representativa, a presença de nuvens influenciaria no cálculo da área de extravasamento do rio. Nesse sentido, utilizaram-se imagens que não ultrapassaram 10 % de cobertura de nuvem em nenhum quadrante.

Dos anos atípicos de vazão identificados, ou seja, com um índice de atipicidade acima de 1, obtiveram-se imagens apenas do ano de 1998. Todavia, o mês mais representativo no referido ano foi junho, período de águas baixas, porém o quinto mês em que as médias máximas de cota fluviométrica e vazão são mais acentuadas. Ciente da baixa representatividade da imagem para o cálculo da área do espelho d'água do rio, a única alternativa foi utilizar imagens de um ano próximo à normalidade, em períodos de águas altas – potamofase – e águas baixas – limnofase. Nesse sentido, utilizou-se o ano normal de 2005, com um índice de atipicidade igual 0,36. As imagens obtidas foram referentes ao mês de fevereiro, período de águas altas e terceiro mês em que as médias máximas de cota fluviométrica e vazão são mais elevadas, e ao mês de abril, período de águas baixas, que apresenta os registros de cota fluviométrica e vazão mais baixos. Utilizou-se também o ano normal de 2007, com um índice de atipicidade igual a -0,28, de tal modo que a imagem obtida foi do mês de outubro, segundo mês em que as médias máximas de cota fluviométrica e vazão são mais elevadas, inferior apenas ao mês de janeiro. Houve a tentativa de serem utilizadas imagens de anos próximos à normalidade mais recentes, por exemplo, 2008 e 2009; entretanto, as imagens referentes a períodos de águas baixas e águas altas foram pouco representativas.

No que concerne à área do espelho d'água, obtida por meio de operações aritméticas de bandas, os resultados podem ser visualizados nas figuras 54 a 57 e na tabela 13.

Figura 54 – Área do rio Tibagi, compreendida entre Jataizinho e a foz do rio Tibagi, obtida por meio de operações aritméticas de bandas. Período de águas altas – potamofase – em ano próximo à normalidade: 20/02/2005.

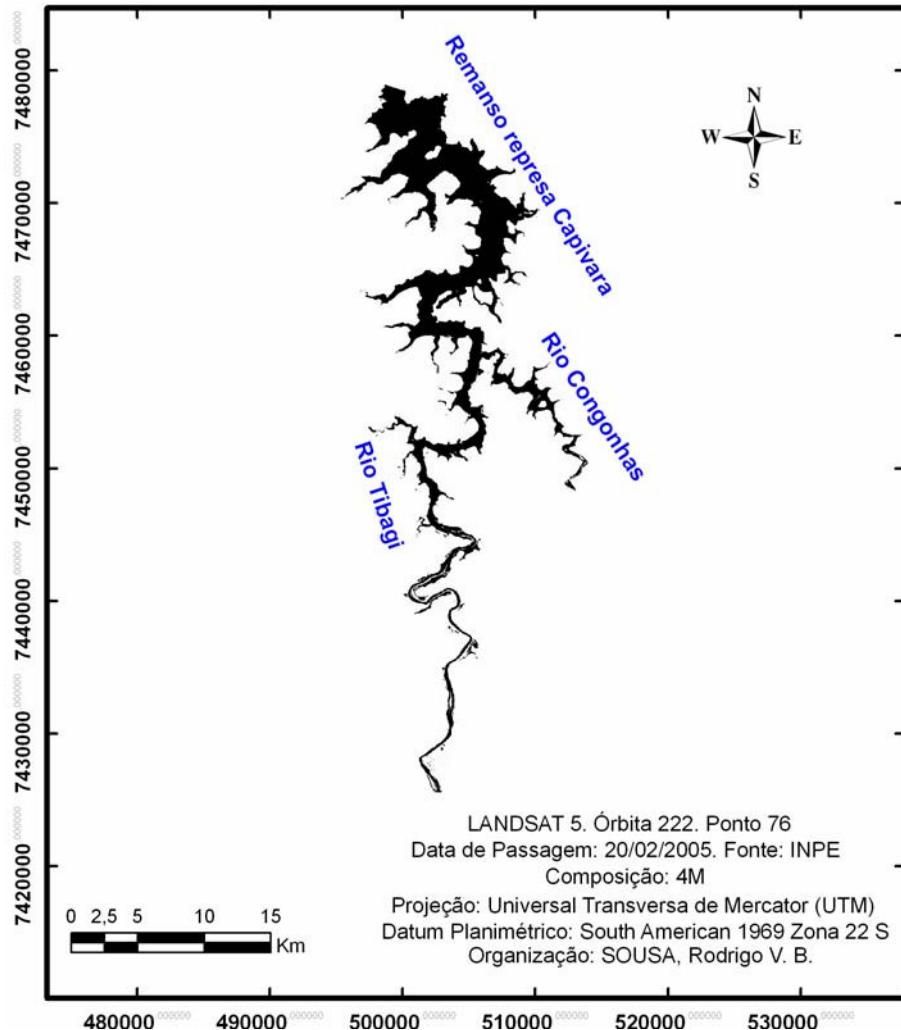


Figura 55 – Área do rio Tibagi, compreendida entre Jataizinho e a foz do rio Tibagi, obtida por meio de operações aritméticas de bandas. Período de águas baixas – limnofase – em ano próximo à normalidade: 09/04/2005.

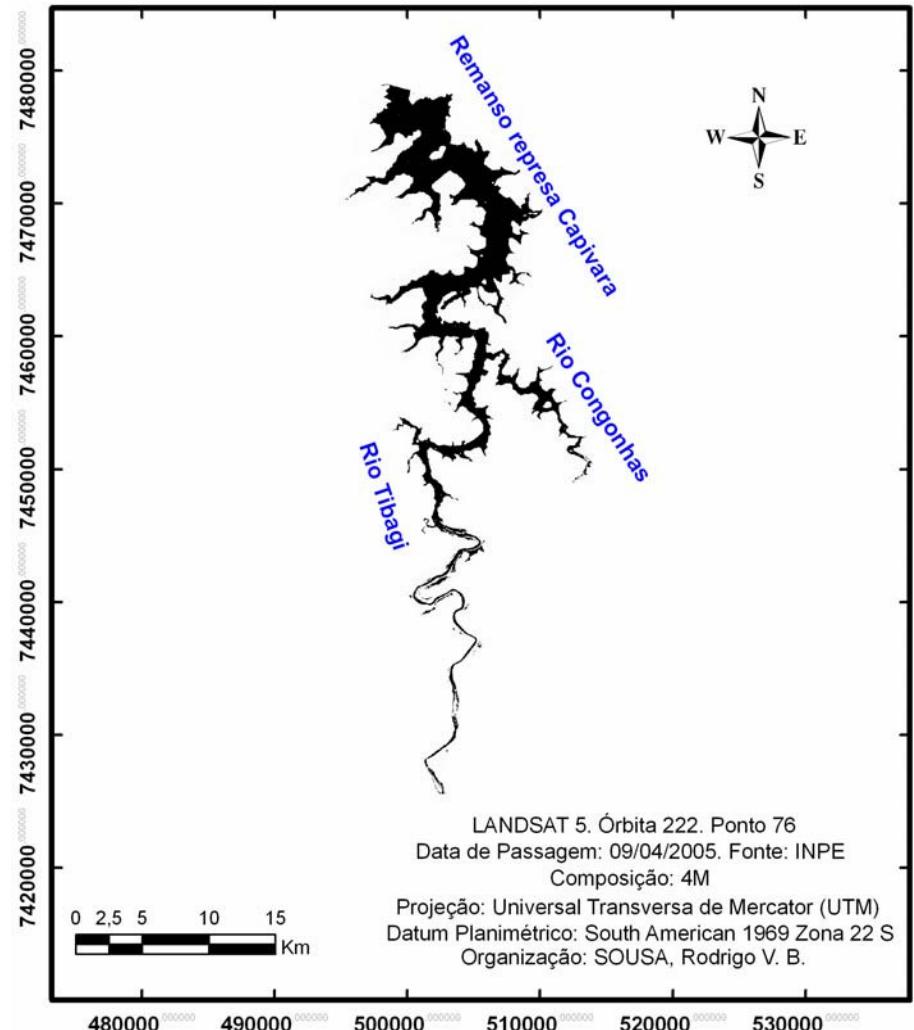


Figura 56 – Área do rio Tibagi, compreendida entre Jataizinho e a foz do rio Tibagi, obtida por meio de operações aritméticas de bandas. Período de águas baixas – limnofase – em ano atípico positivo: 09/06/1998.

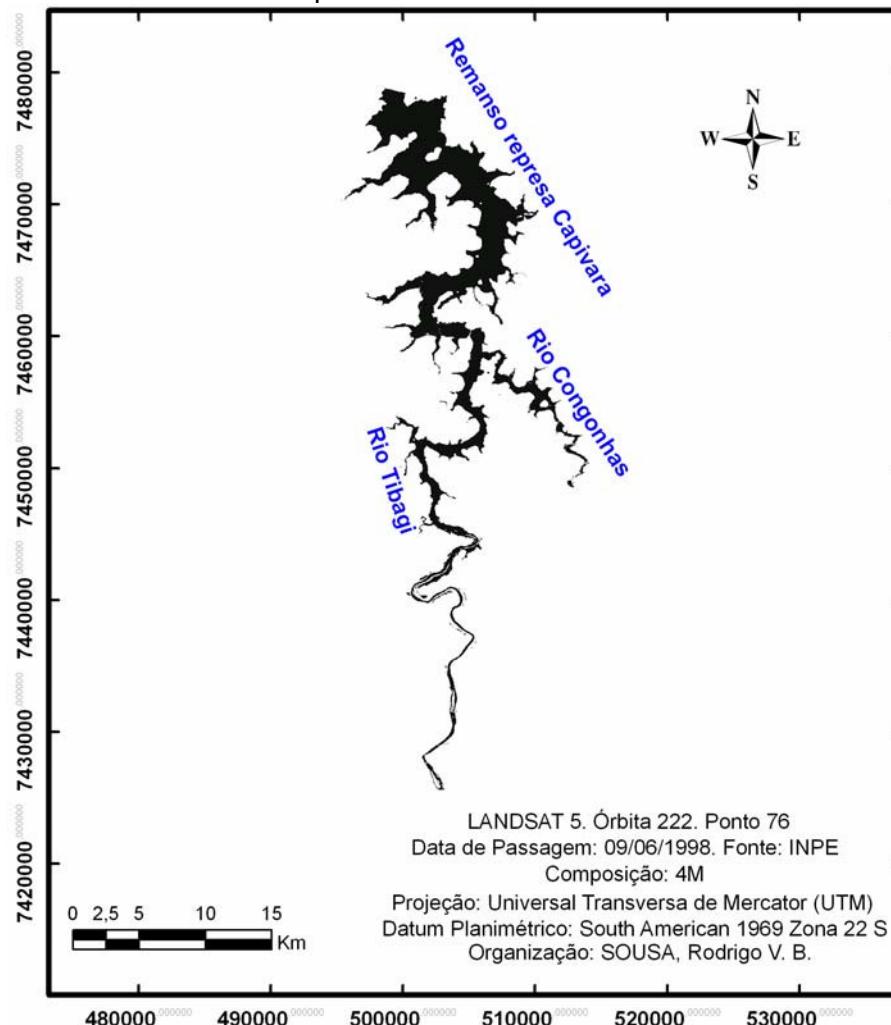


Figura 57 – Área do rio Tibagi, compreendida entre Jataizinho e a foz do rio Tibagi, obtida por meio de operações aritméticas de bandas. Período de águas altas – potamofase – em ano próximo à normalidade: 09/10/2007.

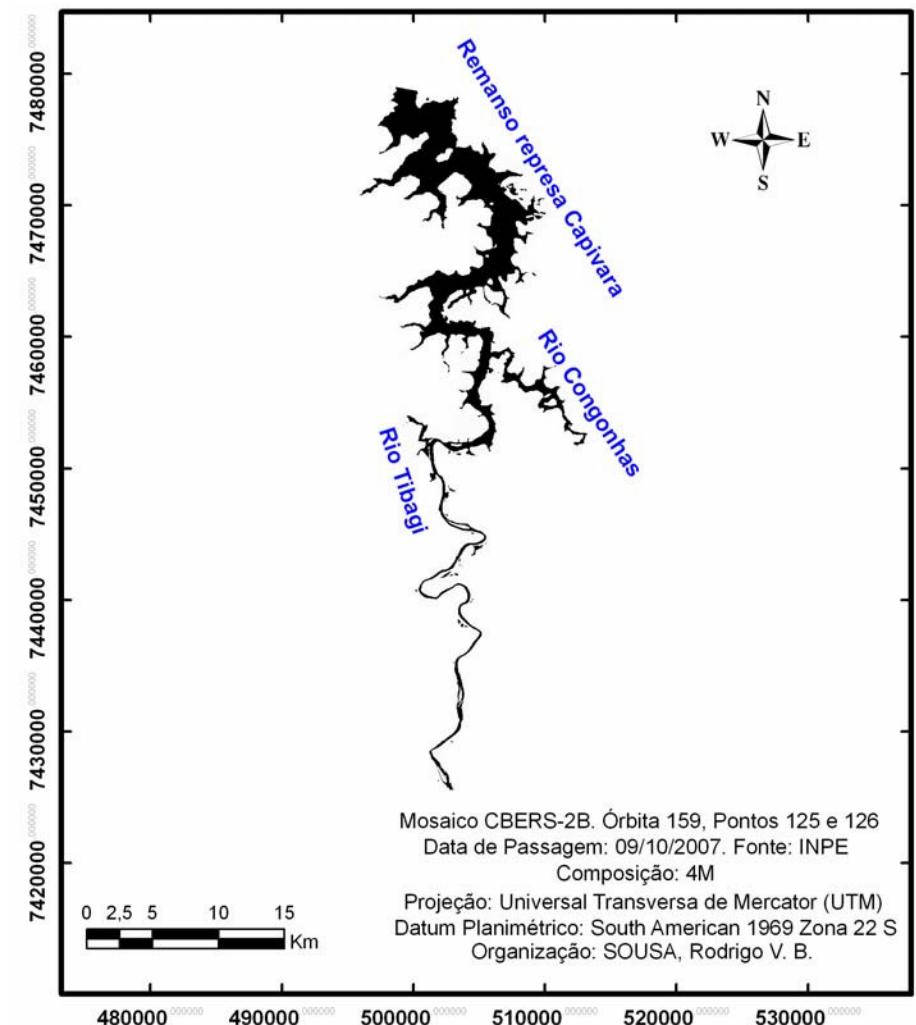


Tabela 13 – Valores de área do trecho do baixo Tibagi, calculada através de operações aritméticas de bandas.

Imageamento	Órbita	Ponto	Satélite	Área Pixel (m)	Pixel Zero	Área (Km²)
09/06/1998	222	76	<i>LANDSAT 5</i>	900m ²	127746	115 Km ²
09/04/2005	222	76	<i>LANDSAT 5</i>	900m ²	127000	114,3 Km ²
20/02/2005	222	76	<i>LANDSAT 5</i>	900m ²	136771	123,1 Km ²
09/10/2007	159	125 e 126	CBERS 2B	400m ²	255073	102 Km ²

Organização: SOUSA, Rodrigo V. B.

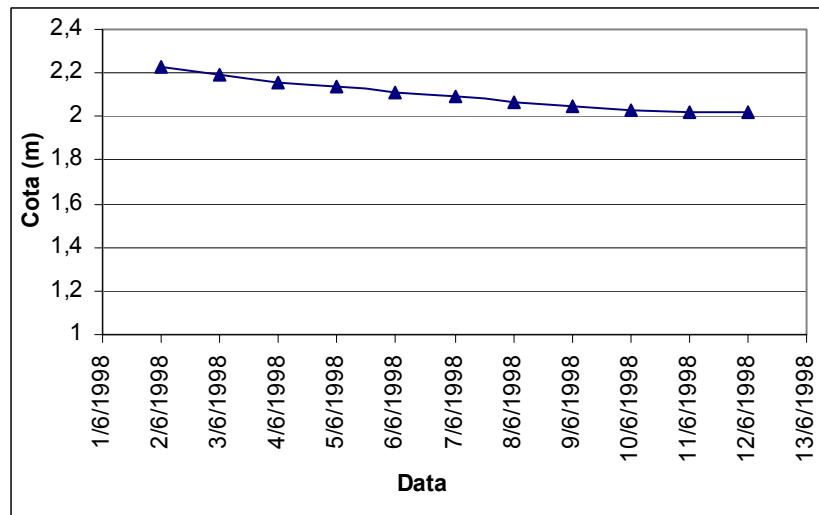
Analisando os resultados do ano de 2005, próximo à normalidade, observa-se que o mês de fevereiro foi o que apresentou a maior área de extravasamento em relação às demais, com 123,1 Km²; enquanto o mês de abril do mesmo ano apresentou a segunda menor área, com 114,3 Km², coadunando nesse sentido, com as médias máximas de cota fluviométrica e vazão registradas na estação fluviométrica de Jataizinho - 64507000. As cotas fluviométricas do rio Tibagi, em fevereiro e março, referentes às imagens de 2005 foram respectivamente 1,92 m e 1,87 m.

Quanto ao ano atípico de 1998, constata-se que a área de 115 Km², em junho, mostrou-se próxima ao mês de abril de 2005, apresentando um acréscimo de 0,7 Km² ou 700.000 m², ou ainda, de 70 ha. A cota fluviométrica do rio Tibagi, na data da imagem de 1998, foi 2,05 m, apresentando um aumento no nível do rio de 18 cm em relação à imagem de abril de 2005. Deve-se ressaltar que, além do ano de 1998 ter sido um ano atípico positivo, o mês de junho apresenta picos máximos de vazão e de cota fluviométrica superiores aos meses de dezembro, março e abril, fenômeno fortemente relacionado às chuvas de outono e inverno da região meridional da bacia hidrográfica do Tibagi.

Mesmo outubro sendo o segundo mês do ano em que as médias das máximas de cota fluviométrica e vazão apresentam-se mais elevadas, a área do rio estimada em 09/10/2007, com 102 Km² e cota fluviométrica de 1,46 m foi considerada a menor área entre os quatro meses investigados. Na sequência, serão realizadas maiores considerações sobre este episódio.

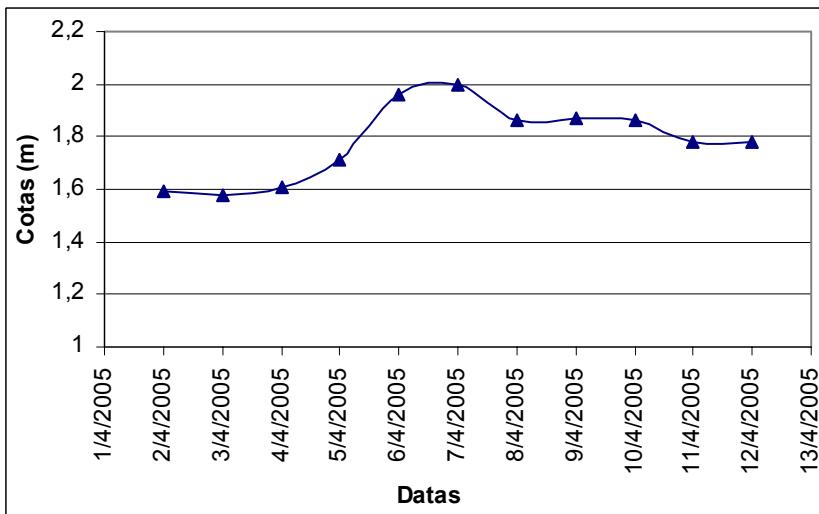
Para cada uma das datas das imagens orbitais, construiu-se uma hidrógrafa, abrangendo os dados limimétricos diários do mês correspondente. Com o intuito de assegurar se o nível fluviométrico encontrava-se estável, verificaram-se os 7 dias anteriores e os 3 dias posteriores à data da imagem, critério adotado por Comunello *et al.* (2003, p.2464). As hidrógrafas podem ser observadas nas figuras 58 a 61.

Figura 58 – Hidrógrafo referente à imagem de 09/06/1998.
Estação fluviométrica de Jataizinho – 64507000.



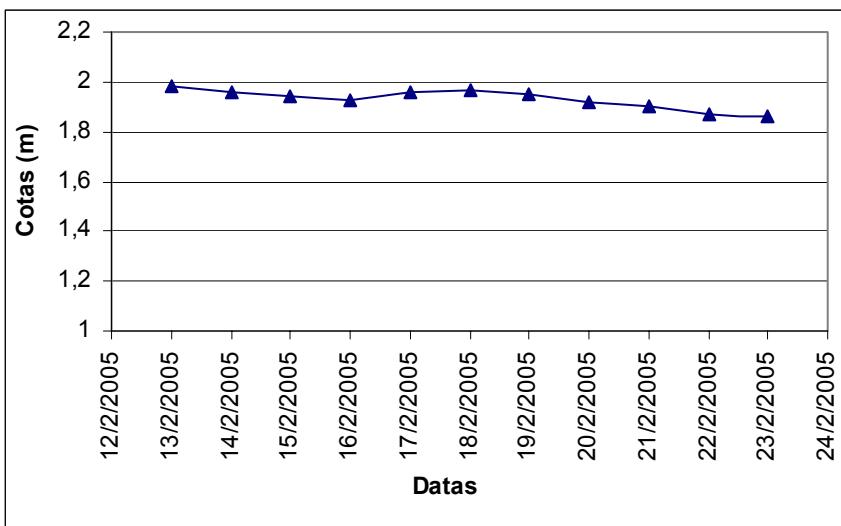
Fonte: Instituto de Águas do Paraná. Cota zero da régua = 336
m. Organização: SOUSA, Rodrigo V. B.

Figura 59 – Hidrógrafo referente à imagem de 09/04/2005.
Estação fluviométrica de Jataizinho – 64507000.



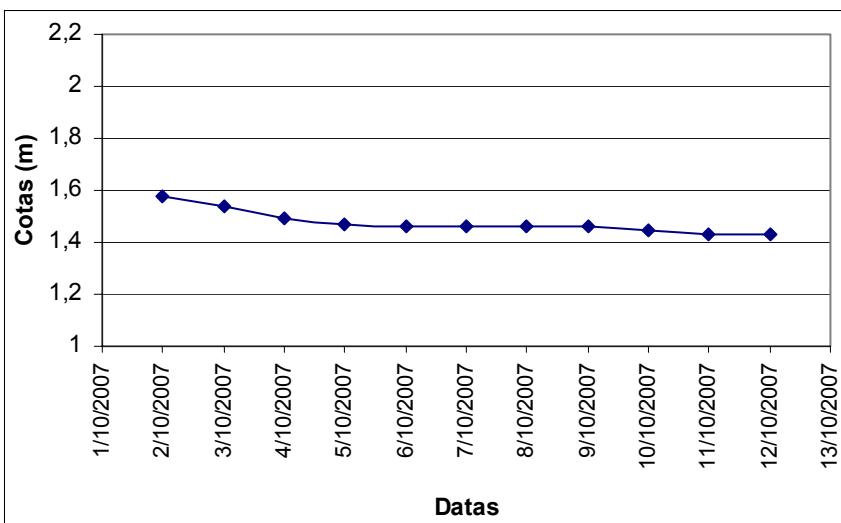
Fonte: Instituto de Águas do Paraná. Cota zero da régua = 336
m. Organização: SOUSA, Rodrigo V. B.

Figura 60 – Hidrógrafo referente à imagem de 20/02/2005.
Estação fluviométrica de Jataizinho – 64507000.



Fonte: Instituto de Águas do Paraná. Cota zero da régua = 336
m. Organização: SOUSA, Rodrigo V. B.

Figura 61 – Hidrógrafo referente à imagem de 09/10/2007.
Estação fluviométrica de Jataizinho – 64507000.



Fonte: Instituto de Águas do Paraná. Cota zero da régua = 336
m. Organização: SOUSA, Rodrigo V. B.

Assim posto, não se verificou instabilidade nos níveis fluviométricos – ascensões ou quedas bruscas. Apenas no gráfico correspondente a 09/04/2005, apresentando a referida data cota fluviométrica de 1,87 m, observou-se uma variação de 40 cm e 20 cm, no sexto e sétimo dia, em relação ao primeiro dia. Entretanto, a variação não foi acentuada, sendo possível inferir por meio da forma da hidrógrafa, conforme Manoel Filho (1997, p.17), que houve participação do fluxo de base, escoamento subsuperficial – interfluxo – e precipitação sobre o canal, no

referido intervalo. Ressalta-se que, não foi objetivo do trabalho decompor as variáveis envolvidas no hidrograma, quais sejam: volume precipitado sobre a bacia, escoamento superficial, escoamento subsuperficial e precipitação efetiva.

As cotas fluviométricas do rio Tibagi, nas datas das imagens orbitais, estiveram compreendidas entre 1,45 m e 2,05 m, acima da cota zero da régua, sendo o valor da cota zero igual a 336 m acima do nível do mar; enquanto as vazões calculadas, por meio da curva-chave – Q_{calc} , estiveram compreendidas entre 103 m^3/s e 352 m^3/s . Conforme as curvas de permanência, as cotas fluviométricas registradas nas hidrógrafas apresentaram uma probabilidade de ocorrência entre 78 % e 96 %; enquanto as vazões entre 65% e 95%. O valor mais alto do nível do rio Tibagi, 2,05 m, deu-se no mês de junho de 1998. Deve-se destacar que, esse foi um ano atípico positivo, com a ocorrência de *El Niño*, além de o fato do aumento do nível do rio, no referido mês, possuir relação com as chuvas de outono e inverno, mais abundantes na porção meridional da bacia hidrográfica do Tibagi. Todos os valores de cota fluviométrica, vazão e área do espelho d'água, referentes às datas das imagens orbitais, podem ser averiguados na tabela 14.

Tabela 14 – Valores de cota fluviométrica e vazão, referentes às datas das imagens orbitais, utilizadas para o cálculo da área do espelho d'água.

Data	H (cm)	H (m)	Q_{obs} (m^3/s)	Q_{calc} (m^3/s)	Área (Km^2)
09/6/1998	205	2,05	352	353	115
09/4/2005	187	1,87	266	267	114,3
20/2/2005	192	1,92	289	290	123,1
9/10/2007	145	1,45	103	100	102

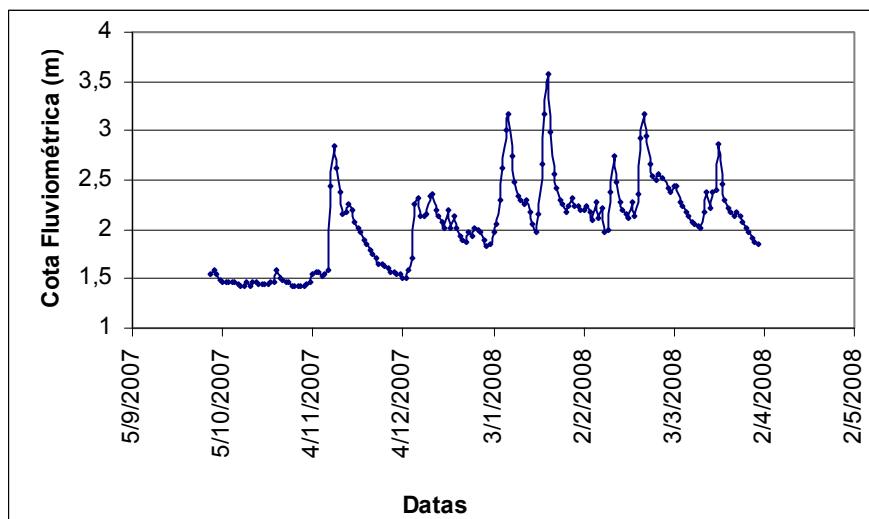
Fonte dos dados de H e Q_{obs} : Hidroweb – ANA; Instituto de Águas do Paraná. H = cota fluviométrica; Q_{obs} = vazão observada; Q_{calc} = vazão calculada. Organização: SOUSA, Rodrigo V. B.

Da análise conjunta das informações contidas na tabela 15, verifica-se que a data de 20/02/2005, apesar de ter apresentado a maior área – 123,1 Km^2 – não registrou a maior cota fluviométrica e vazão. Utilizando-se um raciocínio inverso, observa-se que a data de 09/06/1998, apesar de ter registrado a maior cota fluviométrica e consequentemente o maior débito, não apresentou a maior área. Essa controvérsia é explicada pelo fato da vazão, na foz do rio Tibagi, ser uma vazão regularizada pela hidrelétrica de Capivara, situada no médio Paranapanema.

Outra evidência que atesta o fato da vazão, na foz do rio Tibagi, ser uma vazão regularizada, diz respeito ao débito de 09/10/2007. Foi constatado nos

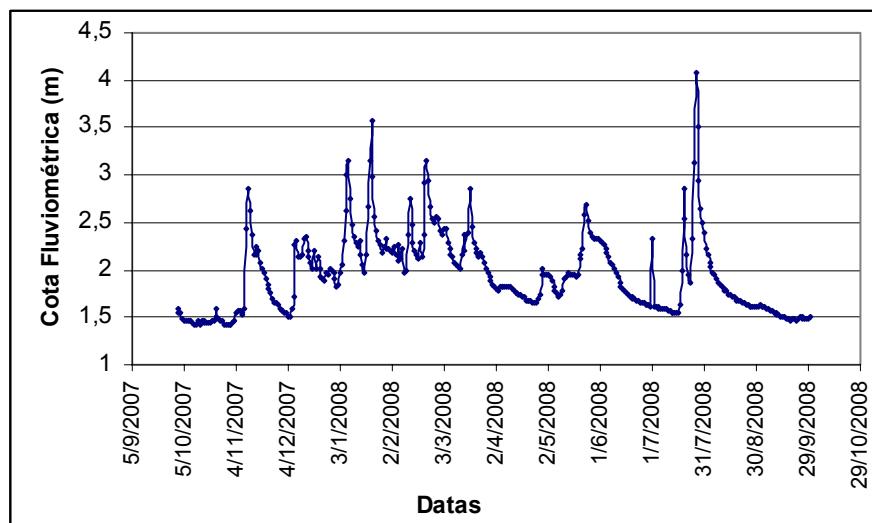
fluviogramas médios de vazão, que a retomada do período de águas altas, tem início no mês de outubro. Entremes, os valores de cota fluviométrica, vazão e área do espelho d'água, na referida data, foram os menores dentre todas as datas. A vazão liberada pelo vertedor da hidrelétrica de Capivara, no período de águas baixas, não permite que a área do espelho d'água, em outubro, aumente de forma significativa. Isso porque, outubro é um mês de transição entre os dois períodos: águas altas e águas baixas, e o mês em que se inicia o processo de acumulação de água no reservatório. Além disso, mesmo o período chuvoso se iniciar, no mês de setembro, as precipitações tornam-se realmente expressivas, no mês de janeiro. As hidrógrafas a seguir, (Figuras 62 e 63), ilustram bem essa situação.

Figura 62 – Hidrógrafo abrangendo o período de águas altas do rio Tibagi. Estação fluviométrica de Jataizinho – 64507000.



Período 01/10/2007 a 30/03/2008. Cota zero da régua = 336 m. Fonte: Instituto de Águas do Paraná. Organização: SOUSA, Rodrigo V. B.

Figura 63 – Hidrógrafo abrangendo os períodos de águas altas e águas baixas do rio Tibagi. Estação fluviométrica de Jataizinho – 64507000.



Fonte: Instituto de Águas do Paraná. Cota zero da régua = 336 m.
Período 01/10/2007 a 30/03/2008. Organização: SOUSA, Rodrigo V. B.

A partir do exposto, os seguintes pontos devem ser destacados:

- Por meio da análise conjunta dos dados de cota fluviométrica, vazão e área do espelho d'água, constatou-se que a vazão, na foz do rio Tibagi, é regularizada;
- as precipitações que ocorrem, em abril e junho, apresentam volumes praticamente iguais, nas porções central e meridional da bacia e ligeiro aumento, em abril, na porção setentrional; motivos que colaboram para que a área do rio, nos dois meses, sejam similares. Ressalta-se que, a imagem do mês de junho foi de um ano atípico positivo, com a ocorrência de El Niño e não de um ano próximo à normalidade;
- a análise das imagens orbitais não evidenciou aumento significativo da área do rio, nas imediações da cidade de Jataizinho, que indicasse nesse local, a ocorrência de remanso propriamente dito¹⁹.

¹⁹ Segundo ANA (2001), pode-se definir remanso como a elevação do perfil longitudinal da superfície da água de um rio, acima do seu nível normal devido à presença de uma obstrução artificial ou natural. Água represada ou retardada no seu curso em comparação ao escoamento normal ou natural.

- tudo indica que o trasbordamento do rio Tibagi, nas proximidades de Jataizinho, é fruto da dinâmica natural do rio, possuindo intrínseca relação com o clima, especialmente o regime pluviométrico, bem como com os fatores geomorfológicos;
- entretanto, conforme especialistas da área, o remanso a jusante, pode denotar alguns efeitos a montante. Isso porque, o aumento da cota fluviométrica, na represa, pode acarretar mudança no gradiente hidráulico entre a área represada e Jataizinho, logo, diminuição da velocidade de fluxo do rio. Embora difícil de estar ocorrendo, isso só seria possível de ser comprovado calculando-se o gradiente hidráulico entre a área represada e um nível de base do rio, nas adjacências de Jataizinho. Para tal, haveria a necessidade de novos trabalhos de campo²⁰;
- constatou-se que o limite máximo do remanso, no rio Tibagi, atinge aproximadamente a latitude 7440000. Esta latitude abrange os municípios de Rancho Alegre, Sertanópolis e a porção norte dos municípios de Jataizinho e Ibiporã. Porém, entre as latitudes 7450000 e 7440000, o represamento não é constante durante todo o ano;
- destaca-se, ainda, que, apesar do remanso não alcançar o sítio urbano de Jataizinho, o mesmo alcança o norte dos municípios deste e de Ibiporã. Os relatórios técnicos da Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL corroboram esta informação, uma vez que os municípios adjacentes ao rio Tibagi: Primeiro de Maio, Sertaneja, Sertanópolis, Rancho Alegre, Ibiporã e Jataizinho, são contemplados por Compensações Financeiras pela Utilização dos Recursos Hídricos – CFURH (ANEEL, 2007, 2011).

²⁰ Prof. Dr. Edvard Elias de Sousa Filho, professor do Programa de Pós-Graduação em Geografia, da Universidade Estadual de Maringá (Informação Verbal).

- o limite máximo do remanso, no rio Tibagi, não pôde ser identificado com exata precisão, uma vez que as imagens do mês de janeiro, mês que apresenta o maior volume de chuva, bem como os maiores picos de vazão e cota fluviométrica, não estão disponíveis no catálogo de imagens do INPE, com as referidas datas selecionadas na pesquisa;
- a diferença de área do espelho d'água entre as datas que apresentaram a maior e menor área, a saber, 20/02/2005 e 09/10/2007, é de 21,1 Km² ou 2110 ha. Levando-se em consideração que essa diferença deve ser distribuída por toda a drenagem mapeada, pode-se afirmar que a diferença é pequena, uma vez que representa 17 % da maior área calculada;
- a variação do espelho d'água ocorre principalmente, na área represada do rio Tibagi, a jusante da estação fluviométrica de Jataizinho – 64507000.

5.6 IDENTIFICAÇÃO E MAPEAMENTO GEOMORFOLÓGICO DE ÁREAS SUJEITAS À INUNDAÇÃO

Na cidade de Jataizinho, existem duas situações no que concerne à ocorrência de inundação. A primeira diz respeito ao transbordamento natural do rio Tibagi para o leito maior, ocupado de forma irregular, principalmente por chácaras, nas quais residem, em grande maioria, famílias de classe média. A segunda ocorre dentro da área urbana, sendo a origem do fenômeno o remanso que o ribeirão Jataizinho, tributário do rio Tibagi, sofre em decorrência do aumento do nível deste²¹.

É na segunda situação em que os danos sociais e econômicos são mais contundentes, ocasionando perdas materiais para o município e para as famílias de bairros pobres como: o bairro Frederico Lukarewisk e Vila Bernardes. O último é considerado o ponto mais crítico, com ocorrência inclusive de óbitos. Conforme informações concedidas por funcionários da prefeitura de Jataizinho, o

²¹ Informação concedida por Dorival Pereira Duarte, Diretor do Departamento Urbano e Viação e Coordenador da Defesa Civil da cidade de Jataizinho (Informação Verbal).

prejuízo causado à cidade em janeiro de 2010, em decorrência de inundações, superou o montante de um milhão de reais²².

Devido à falta de recursos humanos, em situações de emergência, é a Defesa Civil de Ibirapuã quem dá apoio à prefeitura de Jataizinho, ressaltando que aquele o município também tem problemas decorrentes de inundações. Existem vários motivos que dificultam uma melhor avaliação dos danos ocorridos na cidade, devido, por exemplo, à desatualização do cadastro de registro de enchentes entre os anos de 1998 e 2004, sendo o mesmo reativado em 2005. A falta de recursos financeiros para compra de equipamentos e melhoria de obras públicas é outro empecilho para minimizar os danos advindos de eventos hidrológicos críticos. Nesse sentido, foi enviado ao Ministério da Integração um projeto com informações do NOPRED – Notificação Preliminar de Desastres – e AVADAN – Avaliação de Danos. Entretanto, embora o projeto tenha sido deferido, até o presente momento o município ainda não obteve um respaldo financeiro. Ressalta-se, ainda, que o NOPRED foi embasado no decreto municipal 012/2010 e no decreto estadual 6349/2010, publicado no Diário Oficial do Paraná em 26/02/2010 – edição nº 8168²³.

Em suma, pode-se dizer que muitas áreas foram ocupadas irregularmente como: áreas de várzea, fundos de vale e leitos de transbordamento de rios, atualmente consideradas Áreas de Preservação Permanente – APP. Ressalta-se que, áreas topograficamente mais elevadas, como o sítio urbano da cidade, são poupadadas dos danos ocasionados pelas inundações. Os transtornos vivenciados na cidade são reflexos de administrações públicas anteriores e atual que permitiram e permitem a ocupação de áreas indevidas.

Dentre os vários episódios de enchentes, a enchente de 1997 foi uma das piores registradas na cidade de Jataizinho. Segundo informações de ambos os funcionários da prefeitura que auxiliaram os trabalhos de campo, bem como relato de moradores, o nível do rio Tibagi chegou a proporções poucas vezes vistas na cidade. De acordo com os registros do Instituto de Águas do Paraná, o mês de janeiro de 1997, apresentou a segunda maior cota fluviométrica – cota máxima – no período de 1932 a 2009, a saber, 8,11 m. Salienta-se que, o ano de 1997 foi

²² Informação concedida por Dorival Pereira Duarte, Diretor do Departamento Urbano e Viação e Coordenador da Defesa Civil da cidade de Jataizinho (Informação Verbal).

²³ Informação concedida por Dorival Pereira Duarte, Diretor do Departamento Urbano e Viação e Coordenador da Defesa Civil da cidade de Jataizinho (Informação Verbal).

classificado como ano atípico, apresentando débitos quase duas vezes acima da média em termos de desvio-padrão, valores observados anteriormente na série de dados normalizada; todavia, não foram encontradas imagens de satélite disponíveis no catálogo de imagens do INPE. Os pontos de alagamento visitados podem ser visualizados na figura 64. Na sequência, são apresentadas algumas fotografias dos locais visitados (Figuras 65 a 67). Após a apresentação de cada mosaico de imagens, será descrita a legenda detalhada das figuras (Quadros 10 a 12).

Figuras 64 – Locais sujeitos à inundação identificados em trabalhos de campo.

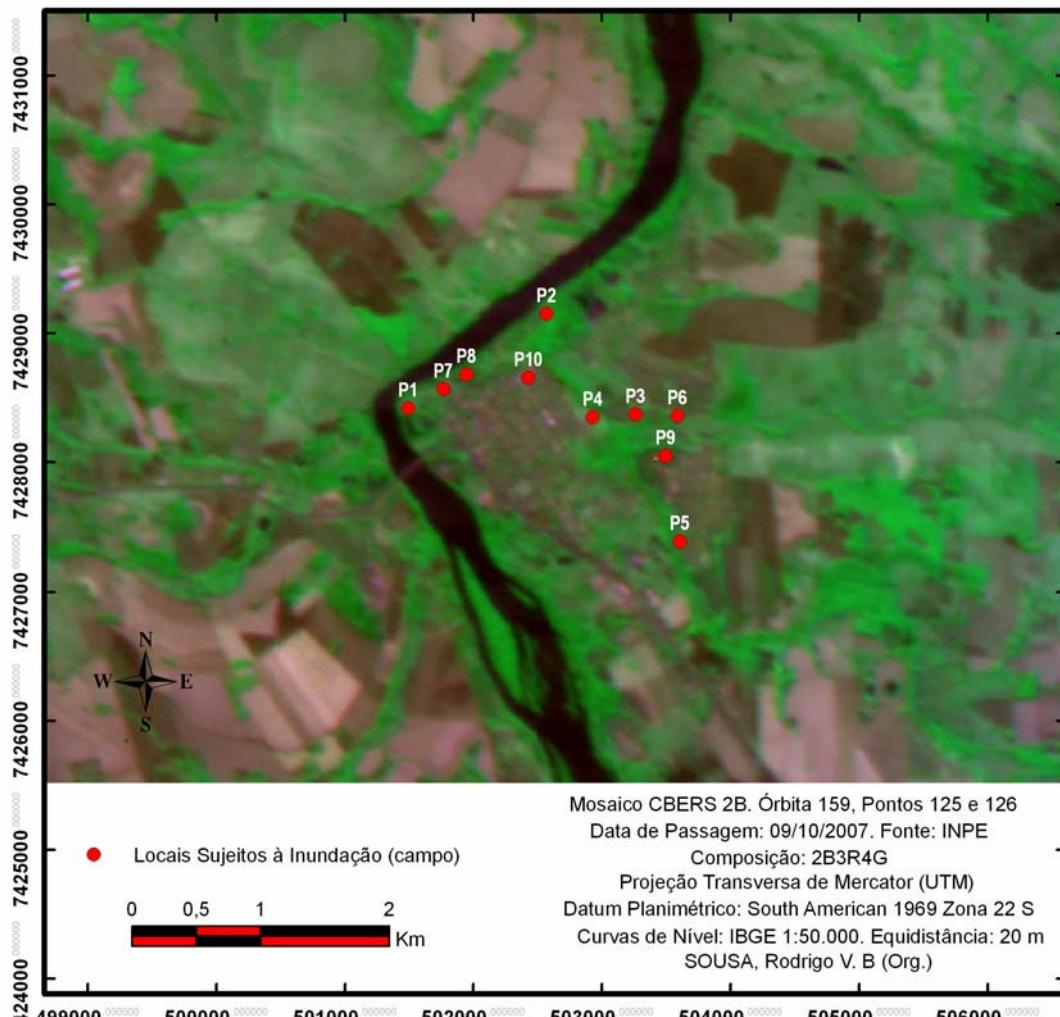


Figura 65 – Imagens dos pontos sujeitos à inundação verificados em trabalhos de campo.



Fonte e organização: SOUSA, Rodrigo V. B.

Quadro 10 – Legenda detalhada das imagens contidas na figura 65.

Figura	Parada	Legenda Detalhada
a)	Ponto 1	Associação dos Servidores Municipais. Desnível aproximadamente de 5 m. Localizado na margem direita do rio Tibagi. Com frequência a água chega no último degrau – chegou em 2010. Coordenadas: 501356 W; 7428448 S. Data: 13/01/2011.
b)	Ponto 1	Associação dos Servidores Municipais. Em 1997 o nível do rio Tibagi atingiu o telhado do salão. Coordenadas: 501356 W; 7428448 S. Data: 13/01/2011.
c)	Ponto 2	Área de APP na qual não são respeitados os 100 m do rio Tibagi e os 30 m do ribeirão Jataizinho. Área com predomínio de chácaras bem estruturadas. Suspeita de contaminação do ribeirão Jataizinho. Destaque para a proximidade da casa junto ao ribeirão Jataizinho à direita da foto, bem como para a marca da água na parte inferior da parede. Coordenadas: 502500 W; 7429121 S. Data: 13/01/2011.
d)	Ponto 2	Remanso do ribeirão Jataizinho. Moradora jogou um anzol no rio e verificou que o fluxo estava no sentido contrário. Moradores estavam preocupados. Coordenadas: 502417 W; 7428991 S. Data: 13/01/2011.
e)	Ponto 2	Área de APP na qual não são respeitados os 30 m do ribeirão Jataizinho. Área com predomínio de chácaras bem estruturadas. Suspeita de contaminação do ribeirão Jataizinho. Destaque para a marca da água do ribeirão na parte inferior da parede. Ribeirão Jataizinho localiza-se à direita. Coordenadas: 502417 W; 7428991 S. Data: 13/01/2011.
f)	Ponto 3	Vila Bernardes, bairro pobre próximo à vila Frederico Lucarewiski. Coordenadas: 503199 W; 7428287 S. Data: 13/01/2011.

Organização: SOUSA, Rodrigo V. B.

Figura 66 – Imagens dos pontos sujeitos à inundação verificados em trabalhos de campo.



Fonte e organização: SOUSA, Rodrigo V. B.

Quadro 11 – Legenda detalhada das imagens contidas na figura 66.

Figura	Parada	Legenda Detalhada
g)	Ponto 3	Ribeirão do Coqueiro, tributário do ribeirão Jataizinho – faz fundos com Vila Bernardes. Segundo moradora local, se chover o dia inteiro, o rio sobe até a altura da rua. Coordenadas: 503199 W; 7428287 S. Data: 13/01/2011.
h)	Ponto 4	Vila Frederico Lucarewiski, bairro pobre. É completamente alagado. Em 1997, o campo à esquerda, “Campo da Vila”, e toda a rua ficaram alagados, atingindo a água uma altura acima da metade do muro à direita – estádio municipal. Área estudada por Badin (1992). Na época em que o bairro foi fundado, o local foi aterrado para a construção dos imóveis. O local é um fundo de vale. Coordenadas: 502845 W; 7428286 S. Data: 13/01/2011.
i)	Ponto 5	Próximo ao conjunto Antonio José Vieira. Ribeirão Jataizinho represado por moradores – utilizado como área de lazer. Coordenadas: 503518 W; 7427303 S. Data: 13/01/2011.
j)	Ponto 5	Moradias do conjunto Antonio José Vieira. Coordenadas: 502502 W; 7428740S. Destaque para marca do rio no muro à esquerda. Data: 13/01/2011.
k)	Ponto 6	Conjunto Milton Félix. Coordenadas: 503501 W; 7428237 S. Conforme informações de funcionários da prefeitura, já houve óbitos nesse local em decorrência de enchentes.
l)	Ponto 6	Taboas indicando presença de área de várzea próxima ao conjunto Milton Félix. Coordenadas: 503501 W; 7428237 S. Data: 13/01/2011.

Organização: SOUSA, Rodrigo V. B.

Figura 67 – Imagens dos pontos sujeitos à inundação verificados em trabalhos de campo.



Fonte e organização: SOUSA, Rodrigo V. B.

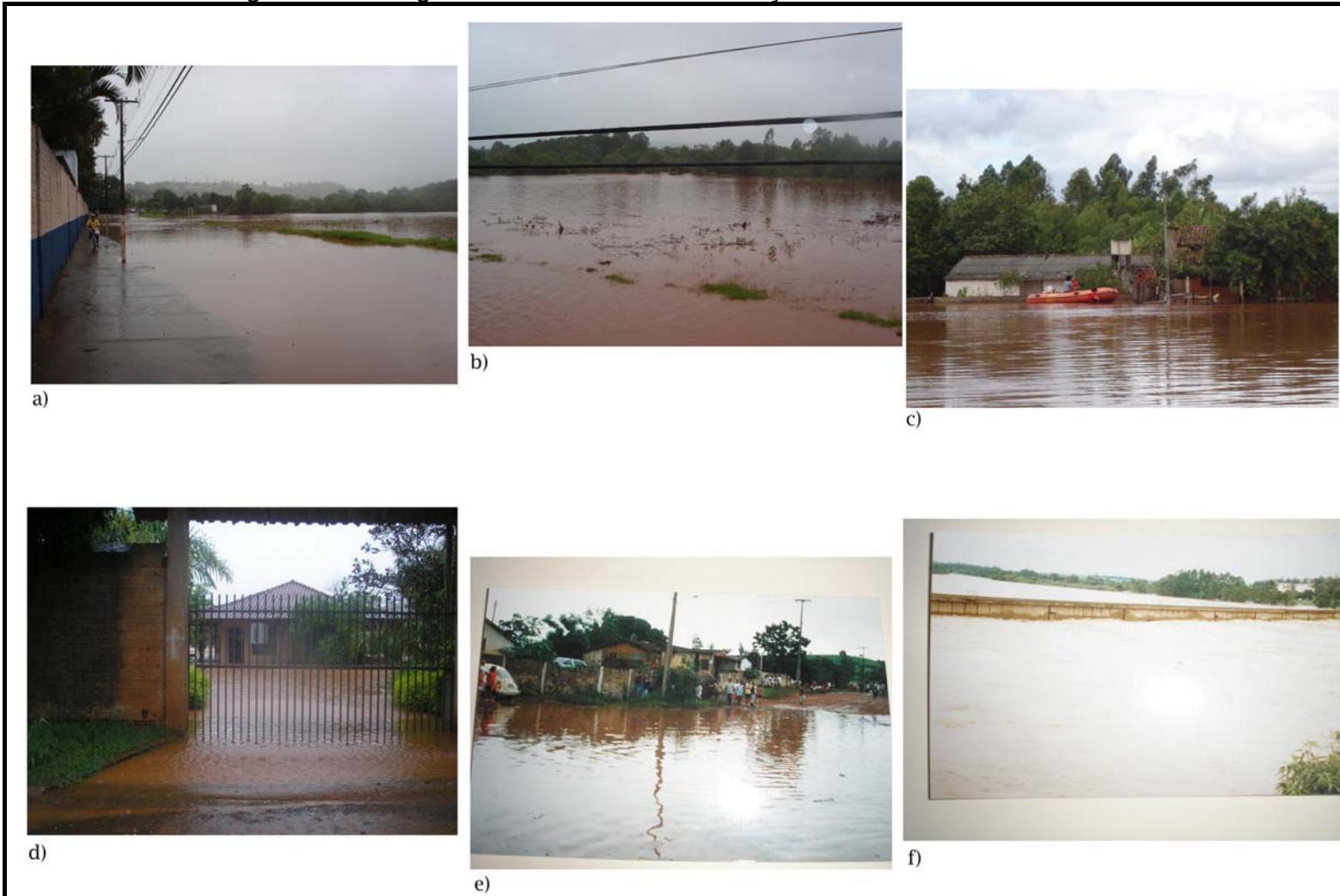
Quadro 12 – Legenda detalhada das imagens contidas na figura 67.

Figura	Parada	Legenda Detalhada
m)	Ponto 7	Rio Tibagi localizado próximo ao ex-clube da cidade – margem direita do rio. Coordenadas: 501587 W; 7428547 S. Data: 13/01/2011.
n)	Ponto 7	Ex-clube da cidade; o proprietário atual é o senhor Donizete. Localizado na margem direita do rio Tibagi. No ano de 1997, o nível do rio Tibagi atingiu a metade da janela. Coordenadas: 501587 W; 7428547 S. Data: 13/01/2011.
o)	Ponto 8	Rio Tibagi próximo ao Pesque Pague Piracema. Proprietário da pesque pague é o senhor Noronha – margem direita do rio Tibagi. Coordenadas: 501764 W; 7428639 S. Data: 13/01/2011.
p)	-----	Divisa entre os municípios de Jataizinho e Ibiporã. Em primeiro plano, antiga linha férrea, a qual quase foi atingida pelo nível do rio no ano de 1997. Em segundo plano, ilha fluvial e margens do rio cobertas por vegetação. Conforme Dorival Pereira Duarte, funcionário da prefeitura de Jataizinho, após o projeto Mata Ciliar, desenvolvido pelo Estado do Paraná em meados de 2004 e 2005, a paisagem na região mudou bastante no que diz respeito à cobertura vegetal. Coordenadas: 501515 W; 7427951. Data: 13/01/2011.

Organização: SOUSA, Rodrigo V. B.

Um conjunto de fotos, em períodos de enchentes, cedidas pela prefeitura de Jataizinho pode ser averiguado na figura 68. A legenda detalhada das fotos é apresentada no quadro 13.

Figura 68 – Imagens com eventos de inundações na cidade de Jataizinho.



Fonte: Prefeitura de Jataizinho. Organização: SOUSA, Rodrigo Vitor B.

Quadro 13 – Legenda detalhada das imagens contidas na figura 68.

Figura	Legenda Detalhada
a)	Rua Tibagi tomada pela água. À esquerda, muro do estádio municipal de Jataizinho. À direita, “Campo da Vila”, utilizado pela comunidade como área de lazer, está completamente coberto pela água. O “Campo da Vila” foi apresentado na figura 66 h. Proximidades da Vila Frederico Lucarewiski. Ponto 4.
b)	“Campo da Vila” coberto por água. Ponto 4.
c)	“Campo da Vila” coberto por água. Detalhe para o bote da Defesa Civil. Ponto 4.
d)	Casa de morador tomada pela água do rio. Esquina das ruas Orlando Salles Striquer, e Cândida Alves Queiroz. Ponto 9.
e)	Esquina entre Av. Getúlio Vargas e Rua D. Pedro de Alcântara. Atualmente encontra-se, no local, a cerâmica Princesa do Norte. Na rua de terra, onde estão localizadas algumas pessoas – lado direito da foto – passa a linha férrea da cidade. Na mesma direção, abaixo da linha férrea, encontra-se o rio Tibagi. As casas que aparecem na foto são de funcionários da cerâmica e o morro coberto por vegetação ao fundo pertence ao município de Ibiporã. Ponto 10.
f)	Rio Tibagi, divisa entre os municípios de Jataizinho e Ibiporã. Água do rio quase atingindo a altura da antiga linha férrea. Compara as fotos 67 p e 68 f, esta tomada em 1997. Demais imagens sem datas específicas, porém provavelmente do mesmo ano. Conforme a literatura pesquisada, em 1997, houve ocorrência de <i>El Niño</i> . De acordo com os funcionários da prefeitura, esse ano foi o que ocorreu uma das maiores inundações na cidade.

Organização: SOUSA, Rodrigo V. B.

Na tentativa de melhor elucidar os processos que ocasionaram inundações, nos locais anteriormente destacados, realizou-se um mapeamento geomorfológico, com base em trabalhos de campo e em fotointerpretação de fotos aéreas e imagens orbitais. Através desse mapeamento, verificou-se que todos os locais visitados estavam situados em ambientes geomorfologicamente impróprios para a expansão da área urbana como: planícies de inundações, compreendidas como ambientes de deposição de sedimento fluvial.

Baseando-se em técnicas de fotointerpretação de fotos aéreas na escala de 1:25.000, procurou-se extraír feições como: drenagens, vegetação nas adjacências dos rios, ilhas fluviais e, por fim, o tipo de relevo nos locais sujeitos a inundações. Desse modo, as planícies de inundaçao foram delimitadas com base na quebra negativa dos relevos. Através da diferença de tonalidade – tons de cinza – ora mais heterogênea, ora mais homogênea e através da textura, ora mais rugosa, ora mais lisa, constatou-se que algumas planícies de inundaçao – área de várzea – haviam sofrido algum tipo de intervenção antrópica, destacando-se a transformação em área de pastagem ou expansão da área urbana. De acordo com a classificação do relevo realizada por IBGE (2009, p.32), as planícies de inundaçao podem ser designadas como ambientes de acumulação fluvial – Apf, isto é, ambientes sujeitos às inundações periódicas, correspondendo às várzeas atuais.

Em conjunto com a interpretação de imagens de satélite, foi possível identificar a presença de solo úmido e outros corpos hídricos que não foram identificados nas fotos aéreas. O mapeamento realizado pode ser verificado nas figuras 69 e 70.

Figura 69 – Mapeamento geomorfológico realizado com base em fotointerpretação de fotos áreas.

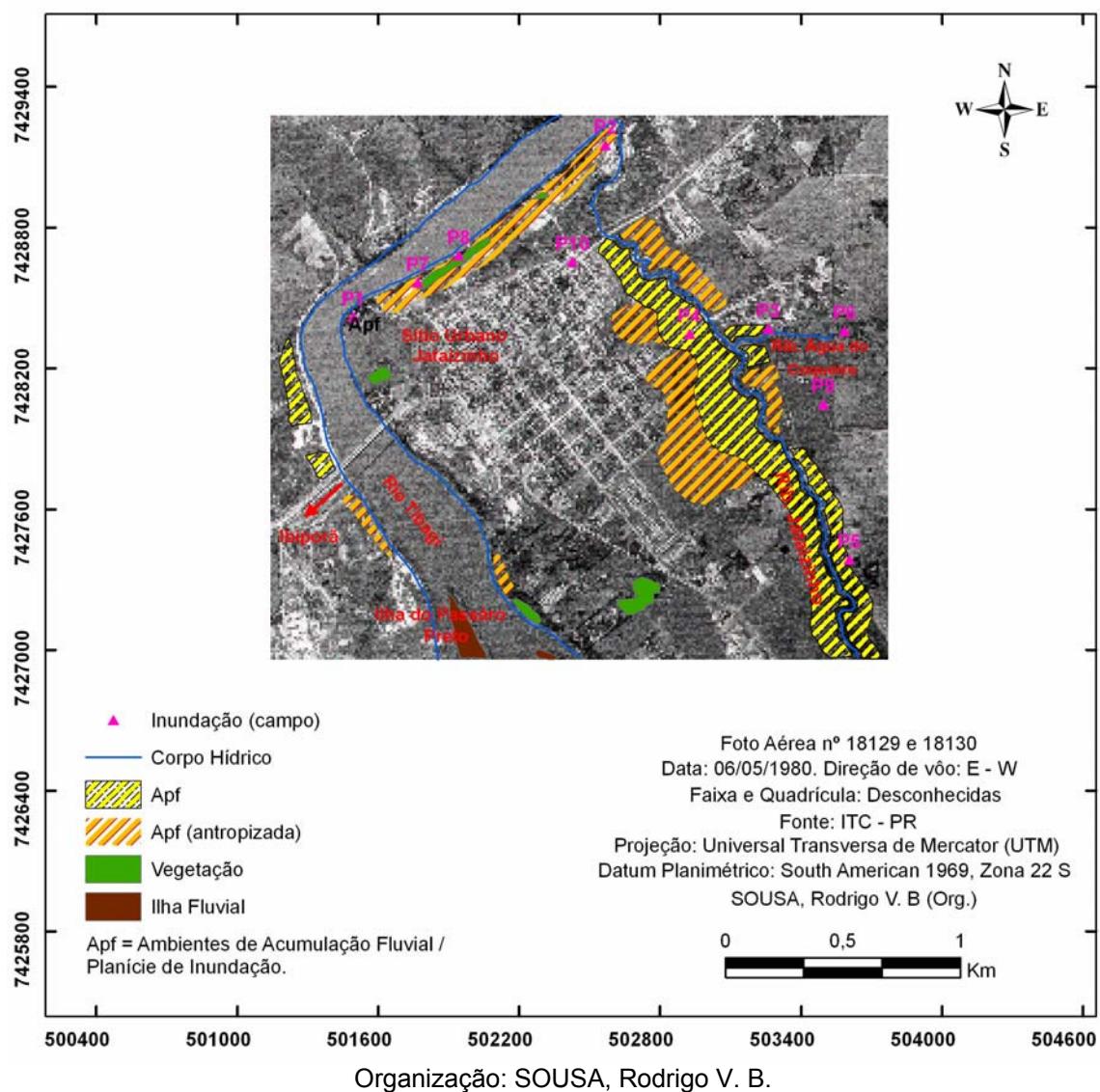
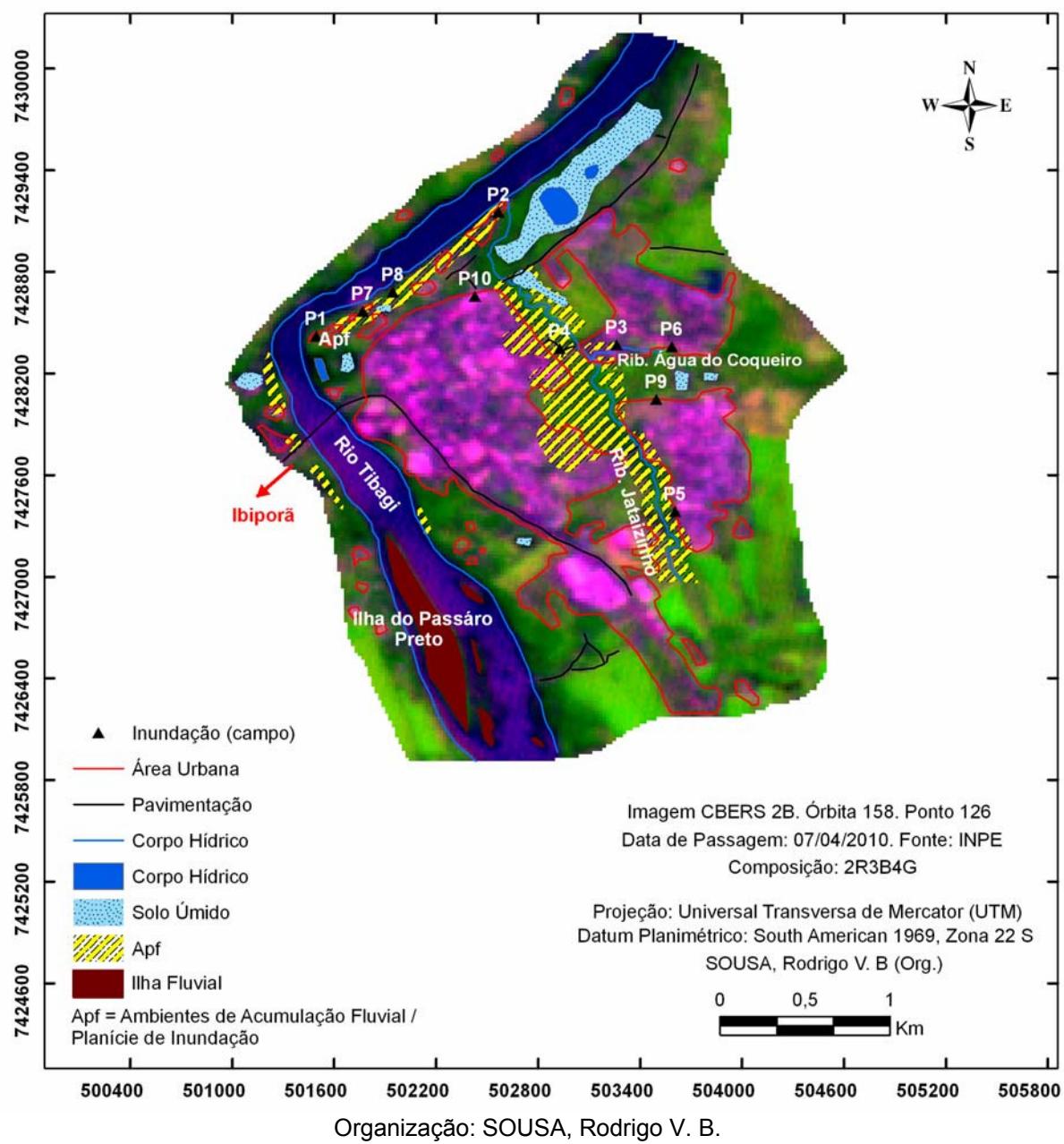


Figura 70 – Mapeamento geomorfológico realizado com base em fotointerpretação de fotos áreas e imagens orbitais.



Comparando-se as duas figuras anteriores, observa-se a presença de alguns corpos hídricos a nordeste e noroeste da cidade de Jataizinho. Na primeira localidade, situam-se algumas lagoas, cuja origem se deve ao fim das atividades mineradoras de extração de argila. Destaca-se que o nível dessas lagoas é mantido, principalmente, pela superfície freática do aquífero, uma vez que a escavação do solo para a extração de argila viabilizou o afloramento de água subterrânea²⁴. Na

²⁴ Prof. Dr. André Celligoi, professor associado do Depto. de Geociências da Universidade Estadual de Londrina (Informação Verbal).

segunda localidade, situa-se a estação de tratamento de esgoto da cidade de Jataizinho (Figuras 71 e 72).

Figura 71 – Lagoa em antigo local utilizado para extração de argila



Fonte: SOUSA, Rodrigo V. B. Coordenadas UTM: X = 502820; Y = 7429026.

Figura 72 – Estação de tratamento de esgoto da cidade de Jataizinho – PR.



Fonte: SOUSA, Rodrigo V. B. Coordenadas UTM: X = 501376; Y = 7428287.

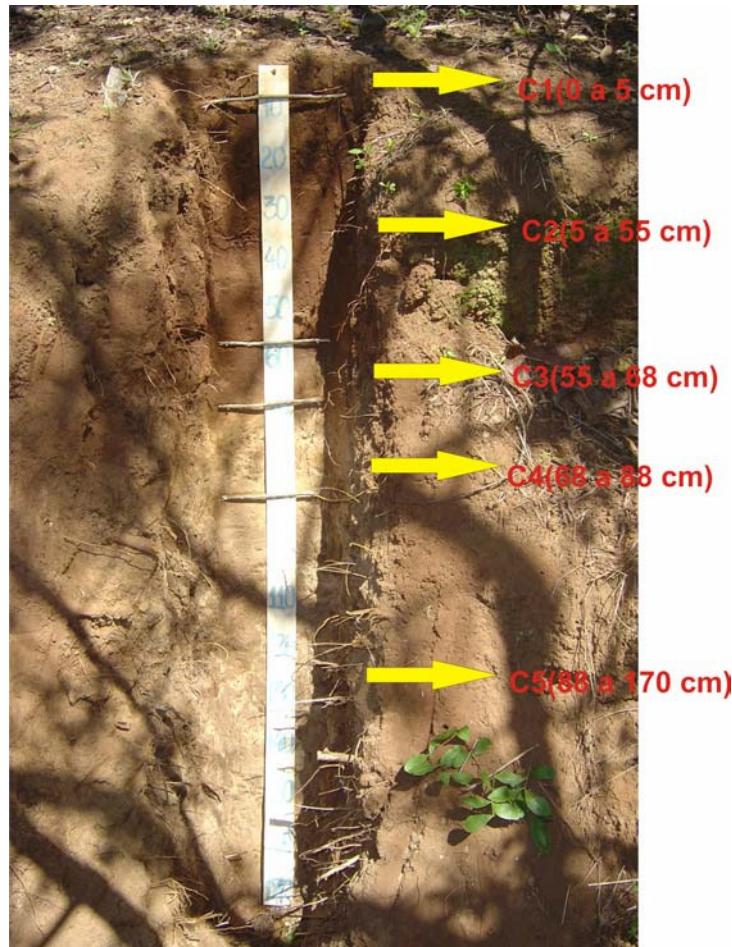
Destaca-se, ainda, a presença de solo úmido próximo a algumas planícies de inundação, sendo este um forte indício de que nessas áreas ocorre o afloramento de água subterrânea.

O padrão de drenagem foi um elemento importante na caracterização geomorfológica das áreas sujeitas à inundação. Observando-se o ribeirão Jataizinho (Figuras 69 e 70), verifica-se a existência de um padrão retilíneo em seu alto curso e um padrão meandrante no médio e baixo curso. A ocorrência desses trechos meandrantes indica a existência de um declive baixo no relevo, logo, uma velocidade de fluxo do rio mais reduzida, fato que faz com que em períodos de cheia haja um transbordamento do rio sobre áreas maiores. A ocorrência das planícies de inundação, porém, não se restringe a esses trechos meandrantes, mas também aos trechos retilíneos do referido ribeirão, bem como do rio Tibagi.

Durante os trabalhos de campo, detectou-se outros indícios os quais indicaram que as áreas sujeitas à inundação, situadas na margem direita do rio Tibagi, foram e continuam sendo áreas de sedimentação aluvial. Fazendo-se uma análise do perfil de solo, no local denominado P1 (Figura 73), identificou-se uma intercalação entre areia e agregados de silte e argila, a princípio, pela variação da cor, estrutura e textura em campo dos horizontes. O padrão de intercalação desses horizontes demonstra que o solo, nesse local, é fruto do processo de sedimentação advindo do rio Tibagi, denotando um perfil de solo completamente distinto daquele que é originado pelos processos pedogenéticos sobre as rochas magmáticas da Formação Serra Geral, formação que abrange a área de estudo da presente pesquisa.

Nesse sentido, optou-se por não utilizar o termo horizonte ao demonstrar o estágio evolutivo do solo, mas o termo camada, uma vez que o primeiro termo está vinculado à evolução do solo quando este tem como material de origem a rocha sã ou rocha matriz.

Figura 73 – Perfil de solo analisado. Nítida variação de cor, com predominância de tom amarelado, a partir da camada 4 – C4.



Fonte e organização: SOUSA, Rodrigo V. B.

A fim de aprofundar a análise dos dados evidenciados em campo, realizaram-se análises texturais em amostras de solo do perfil investigado, com o intuito de determinar a porcentagem de areia total, silte e argila. Para tal, utilizou-se o método da pipeta, discutido por EMBRAPA (1997, p.27); Kiehl (1979, p.119); Camargo *et al.* (2009, p.47); Oliveira *et al.* (2002, p.881) e Baver (1956, p.45), cujo objetivo é calcular as frações argila, silte e areia, baseando-se na velocidade de queda das partículas que compõem o solo. Salienta-se que as análises texturais foram realizadas principalmente, no Laboratório de Solos do Departamento de Ciências Agrárias, CCA / UEL, bem como no Laboratório de Pedologia e Geologia do Departamento de Geociências, CCE / UEL.

Dentre as várias etapas realizadas em laboratório podem-se citar: passagem das amostras em peneiras de 2 mm; pesagem das amostras em balança de precisão – 20 g para cada amostra; adição de 100 ml de água destilada, mais

pipetagem de 10 ml do dispersante hidróxido de sódio – Na OH 1N – nas amostras; agitação das amostras por 16 horas consecutivas; decantação das frações argila, silte e areia em provetas de 1000 ml; pipetagem de 10 ml da fração argila mais silte e pipetagem de 10 ml da fração argila em placas de vidro para secagem em estufa a 105° C, por um período de 24 horas, entre outras²⁵. Os resultados das análises texturais foram obtidos através das equações (16), (17), (18) e (19).

$$Fc = TFSA / TFSE \quad (16)$$

sendo:

Fc = Fator de correção para a amostra de umidade em 20 g de solo. Esse fator deve ser sempre maior do que 1;

TFSA = Terra Fina Seca ao Ar – 20 g de solo;

TFSE = Terra Fina Seca à Estufa – 20 g de solo seco a 105 °C por 24 horas.

$$\text{Argila \%} = (((TFSE^A - PP \times Fc) \times 500) - 2) \quad (17)$$

$$\text{Silte \%} = (((TFSE^{AS} - PP \times Fc) \times 500) - 2) - \text{Argila \%} \quad (18)$$

$$\text{Areia \%} = 100 - (\text{Argila \%} + \text{Silte \%}) \quad (19)$$

sendo:

PP = Peso da Placa (g);

A = Argila;

AS = Argila + Silte;

AR = Areia;

500 = relação entre massa do dispersante hidróxido de sódio – Na OH 1N – 10 ml, e volume de água destilada – 1000 ml, utilizados na proveta;

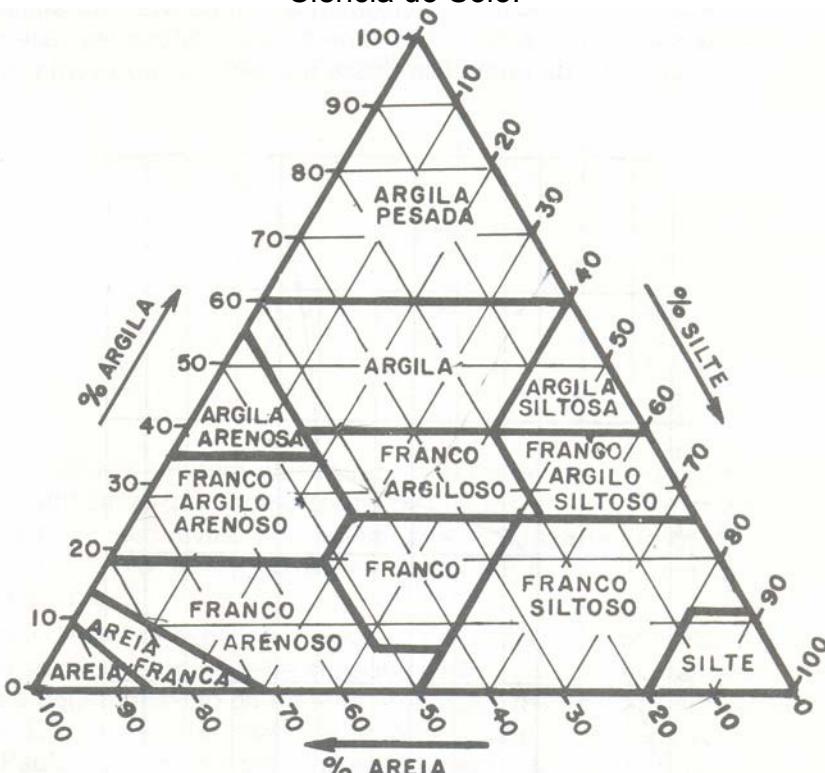
-2 = índice que desconta a massa do dispersante hidróxido de sódio – Na OH 1N.

Feita a análise granulométrica, transportaram-se os resultados analíticos para um diagrama triangular, onde as diferentes classes texturais foram delimitadas (Figura 74). O diagrama utilizado foi o proposto pelo *Soil Survey Staff* do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos da América do Norte, o qual foi

²⁵ Destaca-se o nome de Jean Carlos Santos Oliveira, graduando em agronomia e estagiário do Laboratório de Solos CCA / UEL, o qual ajudou na análise das amostras.

modificado pela Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, introduzindo-se mais uma classe textural, denominada argila pesada (KIEHL, 1979, p.125). Os resultados das análises texturais, bem como as classes texturais identificadas podem ser visualizadas nas tabelas 15 e 16 e na figura 75.

Figura 74 – Triângulo para classificação das classes texturais do solo, adotado pela Sociedade Brasileira de Ciência do Solo.



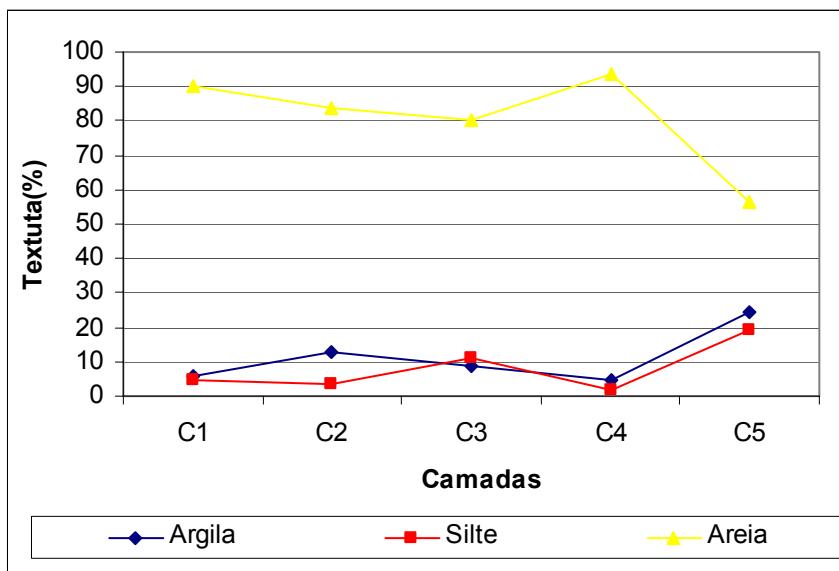
Fonte: Kiehl (1979, p.125).

Tabela 15 – Resultados da análise textural.
Porcentagem de areia total, silte e argila.

Amostra	Argila (%)	Silte (%)	Areia (%)
C1	5,53	4,52	89,95
C2	12,86	3,59	83,55
C3	8,59	11,10	80,31
C4	4,51	2,00	93,49
C5	24,33	19,34	56,33

Organização: SOUSA, Rodrigo V. B.

Figura 75 – Resultados da análise textural. Porcentagem de areia total, silte e argila.



Organização: SOUSA, Rodrigo V. B.

Tabela 16 – Classes texturais identificadas nas amostras de solo.

Amostra	Classes Texturais
C1	Areia
C2	Areia Franca
C3	Areia Franca
C4	Areia
C5	Franco

Organização: SOUSA, Rodrigo V. B.

Verificam-se, nos dados de análise textural, que a porcentagem de areia total é maior do que as frações silte e argila em todas as amostras. Assim, o local em que foi analisado o perfil de solo, pode ser interpretado como um ambiente formado por sedimentos fluviais finos, tanto por sedimentos em suspensão – argila e silte – como por sedimentos que compõem a carga de leito do rio – areia, havendo, entretanto, a ocorrência principalmente da fração areia.

Tal interpretação decorre do fato desse solo não ter sido formado, por meio dos processos de intemperismo das rochas magmáticas da Formação Serra Geral, uma vez que solos dessa natureza, não apresentam frações arenosas elevadas. Análises texturais realizadas por Sousa; Celligoi (2011), em LATOSOLO VERMELHO Distroférrego, da cidade de Londrina, demonstraram valores de 81,95 % de argila, contra 6,15 % de areia total, no horizonte B1. Em estudo publicado por Tagima; Terabe (2005, p.53), análises texturais realizadas, em NITOSSOLO

VERMELHO Eutroférrego latossólico, denominado perfil 01, apresentaram valores da fração argila entre 60,15 % e 71,23 %, nas subdivisões do horizonte B. Enquanto que, em LATOSOLO VERMELHO Eutroférrego, denominado perfil 05, identificaram-se teores de argila entre 59 % e 69,10 %, nas subdivisões do horizonte B, sendo que ambos os perfis de solo estavam localizados na cidade de Londrina.

Embora não tenham sido utilizadas técnicas laboratoriais, aplicadas à sedimentologia, com o intuito de mensurar, por exemplo, a competência do rio, as análises texturais das amostras de solo, em conjunto com o mapeamento geomorfológico, demonstraram que a gênese do perfil de solo investigado está relacionada a um processo de sedimentação aluvial. Para maiores esclarecimentos sobre técnicas aplicadas à sedimentologia, consultar Suguio (1973, p.44).

Esse aspecto mostra que a fração areia está sendo transportada, via rio Tibagi e seus tributários, de locais distantes da área investigada, especificamente, de formações sedimentares expostas em superfície, principalmente no médio e no alto curso da bacia hidrográfica do rio Tibagi. Dentre algumas formações sedimentares que afloram em superfície, pode-se citar a Formação Furnas, do Grupo Paraná, na qual situa-se o Parque Estadual do Guartelá; a Formação Ponta Grossa, também do Grupo Paraná; a Formação Rio do Rasto, do Grupo Passa Dois, as Formações Piramboia e Botucatu, do Grupo São Bento e a Formação Iapó, do Grupo Rio Ivaí. Informações mais detalhadas sobre as referidas formações podem ser averiguadas em Pinese (2002, p.21).

De todas as camadas analisadas, C1 e C4 são as que apresentam a maior porcentagem de areia 89,95 % e 93,49 %, respectivamente. Pelo fato de C1 ser a camada mais superficial com 5 cm de espessura e C4 situar-se entre 68 cm e 88 cm, pode-se afirmar que a fração arenosa daquele, é a fração depositada mais recentemente; enquanto a fração arenosa deste foi depositada anteriormente. Na escala geológica, pode-se afirmar que esse processo de deposição é recente, restringindo-se ao subperíodo Holoceno do período Quaternário.

É importante salientar que o aumento da fração argila, na camada C2 em relação à C1, não é decorrente do processo de lixiviação desta para aquela, fato que tornaria C1 uma camada eluvial e C2 uma camada iluvial. O processo de lixiviação é um processo lento, o qual ocorre principalmente em solos com deficiência em matéria orgânica, o que não ocorre na área em questão, uma vez que

o solo está sujeito a inundações periódicas. Nesse sentido, a maior concentração de argila em C2 está relacionada, ao tempo distinto de decantação desta em relação às frações silte e areia²⁶.

Observa-se, na camada C5, um aumento nas frações argila e silte, respectivamente com 24,33 % e 19,34 %, e uma redução da fração areia com 56,33 %. Concomitantemente, verifica-se um padrão mosqueado nesta camada, indicando possível perda de ferro devido à sazonalidade do rio, ou seja, aos períodos de cheia e vazante (Figura 76).

Figura 76 - Padrão mosqueado observado na camada 5 – C5.



Fonte e organização: SOUSA, Rodrigo V. B.

Conforme Kiehl (1979, p.188), o mosqueamento está relacionado a solos que sofrem inundações periódicas, criando condições ora de redução, ora de oxidação de ferro. De acordo com o grau de oxidação e de hidratação, têm-se as seguintes colorações dos óxidos de ferro: FeO – óxido ferroso, cinzento; Fe₂O₃ – óxido férrico (hematita), vermelho; 2Fe₂O₃ . 3H₂O – óxido férrico hidratado (limonita), amarelo. Todavia, podem ser encontrados outros óxidos de ferro, com diferentes

²⁶ Informação concedida pelo Prof. Dr. Pedro R. S. Vendrame, professor associado ao Depto. de Geociências da Universidade Estadual de Londrina / UEL (Informação Verbal).

graus de hidratação, cujas cores situam-se entre o amarelo e vermelho, apresentando várias tonalidades²⁷.

Esses indícios indicam que a camada C5, apresenta características de hidromorfismo ou gleização. Segundo IBGE (2007, p.284), os GLEISSOLOS são solos característicos de áreas alagadas ou sujeitas a alagamento, como: margens de rios, ilhas, ou planícies. Apresentam cores acinzentadas, azuladas ou esverdeadas, dentro de 50 cm da superfície. Podem ser de alta ou baixa fertilidade natural e têm, nas condições de má drenagem, a sua maior limitação de uso. Ocorrem em praticamente todas as regiões brasileiras, ocupando principalmente as planícies de inundação de rios e córregos. Nesse sentido, as evidências de gleização, corroboram com a área investigada, ressaltando-se que a identificação de solos do tipo GLEISSOLO, na cidade de Jataizinho, está de acordo com a literatura utilizada.

Demais conclusões sobre as etapas sucessivas de deposição dos sedimentos aluviais, podem apresentar-se de maneira equivocada, uma vez que não foram utilizadas técnicas de sedimentologia, fato mencionado anteriormente. Nesse sentido, os resultados das análises texturais, em conjunto com o mapeamento geomorfológico, podem apenas afirmar, que o solo do perfil analisado tem sua gênese relacionada ao processo de sedimentação aluvial.

Embora não tenham sido investigados outros perfis de solos, na margem direita do rio Tibagi, é importante ressaltar que esse local foi bastante alterado devido à construção de chácaras, havendo, em alguns pontos, aterramento do relevo para a edificação de moradias, o que provavelmente comprometeria uma análise mais detalhada. Entretanto, conforme relato de alguns moradores que estavam reformando suas moradias, situadas na proximidade do ponto P2 (Figura 70), há camadas de solo ora mais argilosa, ora mais arenosa, ora mais resistente; resistência essa, identificada na camada C5, provavelmente relacionada à alternância de períodos de cheia e vazante. Por assim dizer, o mapeamento geomorfológico realizado, os indícios obtidos em campo e em laboratório permitem apontar que não apenas o perfil investigado, mas todas as áreas sujeitas à

²⁷ Conforme IBGE (2007, p.48) um horizonte pode ter cor única ou apresentar multiplicidade de cores. No caso de haver predominância de uma cor sobre as outras têm-se os mosqueados e, não havendo a possibilidade de distinguir uma cor como sendo de fundo (matriz), tem-se a coloração variegada. Para a identificação do padrão mosqueado no perfil investigado houve a colaboração do Prof. Dr. Pedro R. S. Vendrame, professor associado do Depto. de Geociências da UEL.

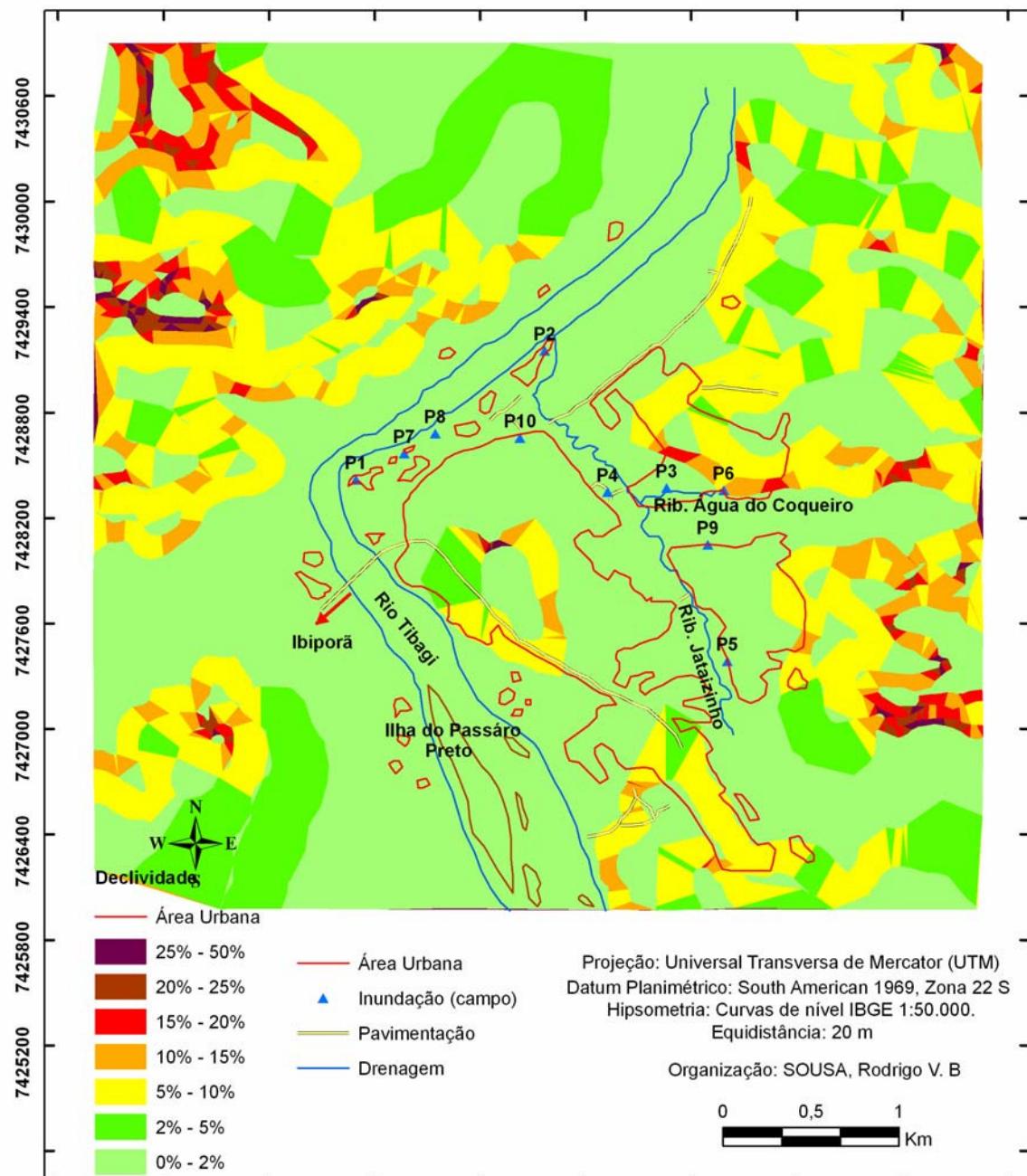
inundação identificadas em campo são áreas de deposição de sedimentos aluviais – planícies de inundação, ou ambientes de acumulação fluvial – Apf.

Ressalta-se que, o local onde foi analisado o perfil de solo, denominado P1 (Figura 70), não está inserido na área classificada como planície de inundação. Isso é explicado pelo fato de esse local estar situado naquilo que poderia ser chamado de parte convexa do meandro, caso o padrão de drenagem em questão assim fosse classificado. De acordo com MINEROPAR (1989, 2005d), esse local, situa-se numa intersecção de duas falhas regionais, uma no sentido S-N e outra no sentido SO-NE, aspecto que torna difícil a identificação desses lineamentos estruturais, através da interpretação de fotos áreas. Devido a essa característica, tal trecho do rio não se comporta como um trecho retilíneo, o que não permite a visualização de planície de inundação, por meio de técnicas de fotointerpretação, como verificado de forma nítida na margem de trechos retilíneos. Entretanto, a identificação de sedimentos aluviais nesse local, ultrapassando a espessura de 1,70 m, prova que esse também é um ambiente de sedimentação fluvial, ou seja, o local onde se situa P1 deve ser classificado como planície de inundação.

Destaca-se que, embora os pontos P6 e P9 tenham apresentando em campo, evidências de que também são áreas sujeitas à inundação, a ausência de fotos aéreas que permitissem estereoscopia adequada não permitiu um mapeamento detalhado. Todavia, por terem sido observados em campo indícios de ocorrência de inundação, deve-se considerar que essas áreas estão inseridas em planícies de inundação.

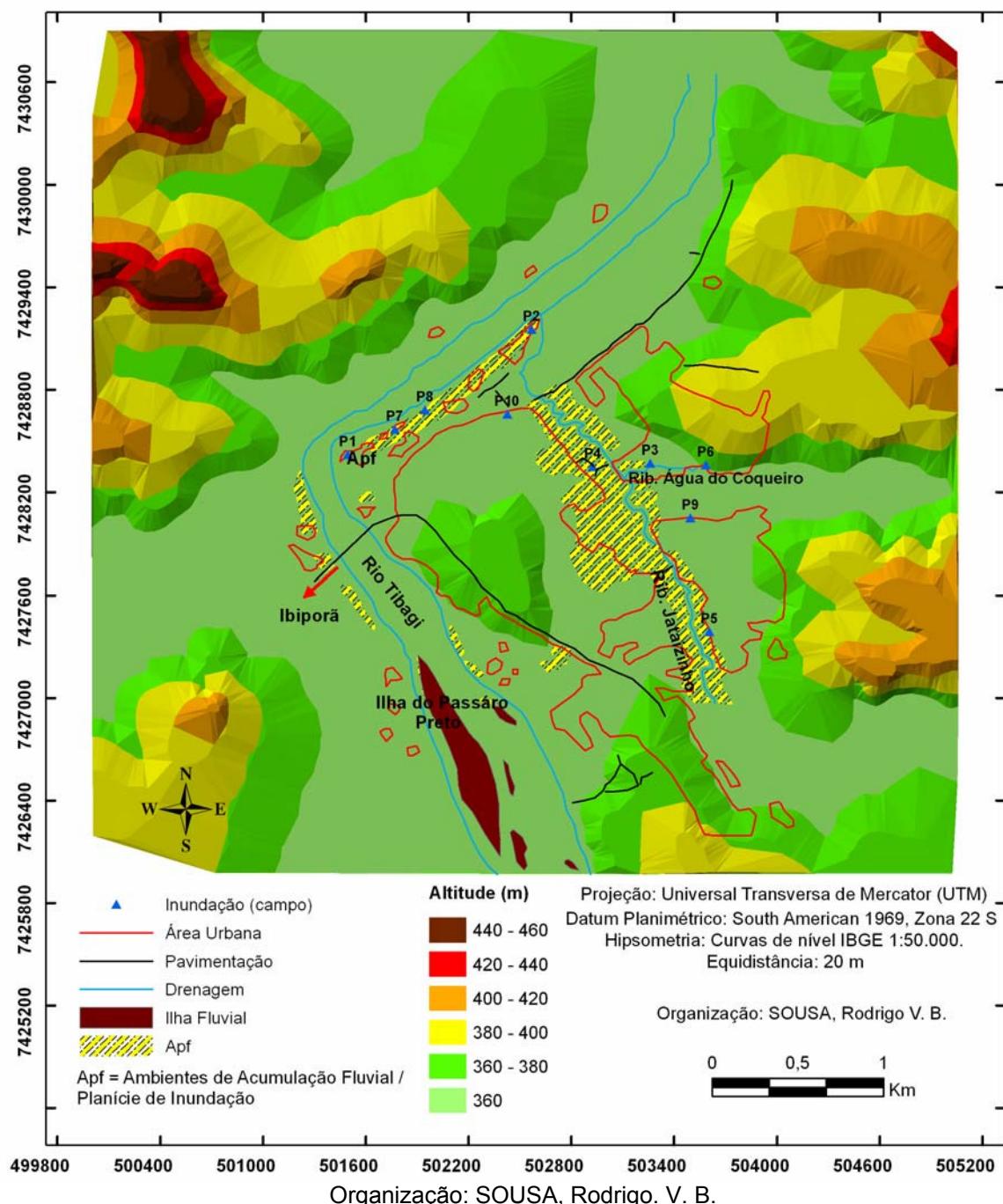
A existência de planície de inundação deve ser interpretada, por meio de um conjunto de fatores como, por exemplo, gradiente hidráulico mais baixo, declividades menos acentuadas e alternância entre, o período de vazante e o período de cheia, capaz de proporcionar o extravasamento do rio para o leito maior. No que tange aos valores de declividade, a cidade de Jataizinho, possui declividades principalmente entre 2 % e 10 %, sendo que apenas algumas localidades apresentam declividades entre 10 % e 25 %. Ressalta-se que, todas as áreas susceptíveis à inundação apresentam declividades até 2%. Quanto à altitude, praticamente toda a área urbana apresenta valores entre 340 m e 380 m, excetuando-se a região nordeste, entre 380 m e 400 m (Figuras 77 a 79).

Figura 77 – Mapa clinográfico focando a área em que foi realizado o mapeamento geomorfológico.

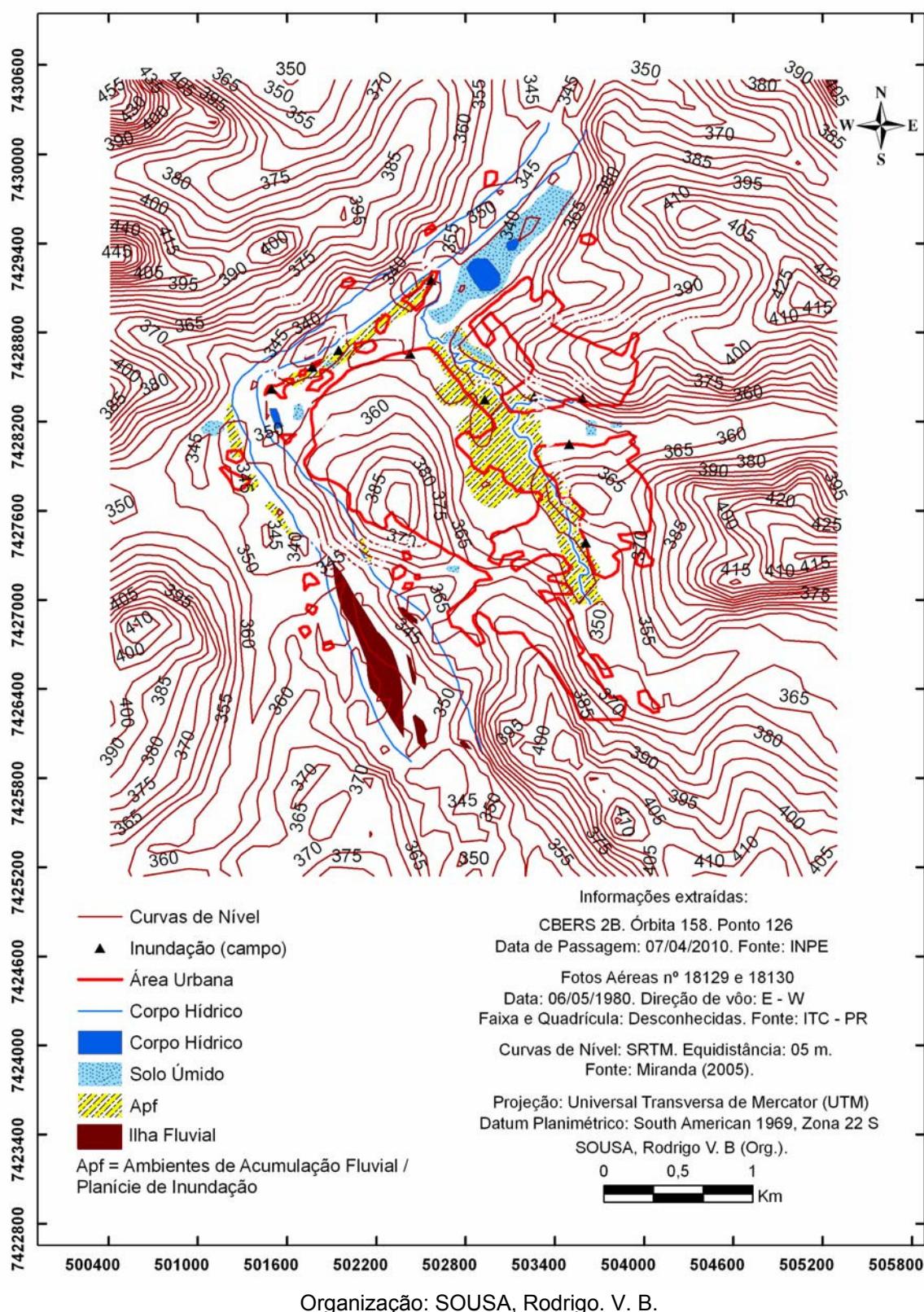


Organização: SOUSA, Rodrigo V. B.

Figura 78 – Modelo Numérico do Terreno – MNT – focando a área em que foi realizado o mapeamento geomorfológico.



Figuras 79 – Curvas de nível, do sítio urbano de Jataizinho, focando a área em que foi realizado o mapeamento geomorfológico.



Destaca-se que, a equidistância das curvas de nível das cartas topográficas do IBGE não foi a ideal para o cálculo de declividade nessa escala de detalhe. O correto seria utilizar curvas de nível com equidistância de 5 m ou menos; todavia, a falta de uma base cartográfica devidamente georreferenciada, pela prefeitura de Jataizinho dificultou essa etapa. Uma alternativa seria utilizar curvas de nível SRTM, uma vez que, por meio de técnicas de interpolação, poderiam se obter curvas de nível com equidistância de até 1 m. Entretanto, optou-se por não utilizar esses dados devido ao fato da sobreposição das curvas de nível sobre a base cartográfica não ter sido adequada.

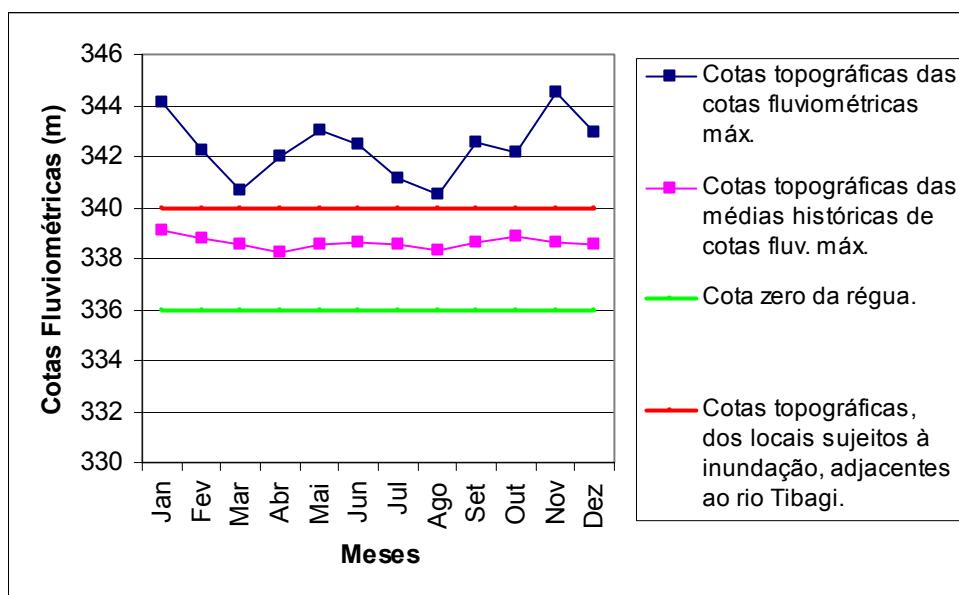
Um erro observado durante duas tentativas de sobrepor os dados SRTM foi o de algumas curvas de nível passarem sobre a drenagem; porém, em uma única vertente, erro que não foi identificado nas cartas topográficas do IBGE, especificamente, nas cartas de Assaí SF-22-Z-C-I-3 e Uraí SF-22-Z-C-I-1, ambas na escala de 1:50.000. Salienta-se que, no ato da sobreposição das curvas SRTM, houve a devida conversão do *datum* planialtimétrico e a inserção do sistema de projeção adequado, a fim de que tais informações fossem equivalentes à base cartográfica utilizada. Além disso, realizaram-se várias interpolações com equidistâncias distintas nos dados SRTM, porém não se obteve sucesso na sobreposição. Desse modo, utilizaram-se as curvas de nível SRTM apenas para a identificação das altitudes do sítio urbano de Jataizinho, porém não para o cálculo de declividades e geração de MNT.

Durante o mapeamento geomorfológico, constatou-se que a vertente direita do rio Tibagi, no recorte espacial entre P1 e P2, é mais suscetível às inundações, pois apresenta área mais extensa com declividades e altitudes inferiores à margem oposta. Nesse sentido, a margem ocupada por chácaras é a mais afetada, uma vez que a declividade e a altitude do relevo propiciam isso. Segundo moradores da região, um acréscimo de três metros no nível do rio ocasiona inundaçāo. Na tentativa de remediar a situação, verificou-se que muitos moradores e loteadoras estão procurando aterrinar ou mesmo subir o nível dos terrenos, inclusive nas áreas próximas ao ribeirão Jataizinho, situadas dentro da cidade.

A partir dos valores da cota zero da régua da estação fluviométrica de Jataizinho – 64507000 e das cotas topográficas das áreas sujeitas à inundaçāo, adjacentes ao rio Tibagi; foi possível relacionar as cotas fluviométricas máximas,

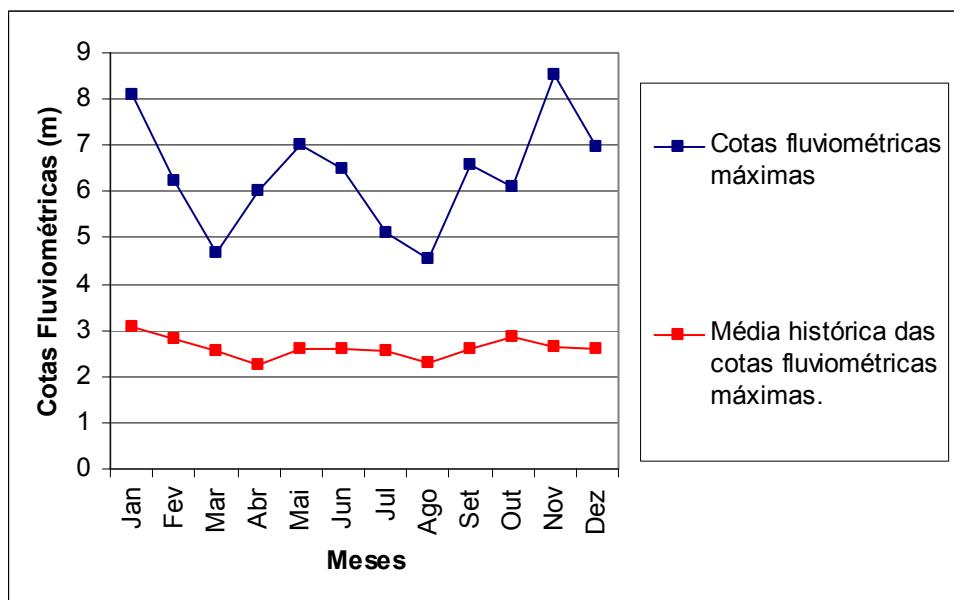
com as cotas topográficas das referidas áreas. Constatou-se que, todas as cotas fluviométricas máximas, no período de 1932 a 2009, estiveram compreendidas entre 4,54 m e 8,54 m, ultrapassando as cotas topográficas, das áreas sujeitas à inundação adjacentes ao rio Tibagi (Figuras 80, 81 e Tabela 17). Analisando as curvas de nível SRTM, do sítio urbano de Jataizinho, constatou-se que as áreas susceptíveis à inundação, adjacentes ao rio Tibagi e as demais áreas identificadas, por meio do mapeamento geomorfológico, estão situadas, respectivamente, nas cotas topográficas de 340 m e entre 345 m e 360 m.

Figura 80 – Relação entre a cota zero da réguia e as cotas topográficas das cotas fluviométricas máximas, da estação fluviométrica de Jataizinho.



Fonte: Instituto de Águas do Paraná. Período: 1932 a 2009. Cota zero da réguia: 336 m. Organização: SOUSA, Rodrigo V. B.

Figura 81 – Relação entre as cotas fluviométricas máximas e a média histórica das cotas fluviométricas máximas, da estação fluviométrica de Jataizinho.



Fonte: Instituto de Águas do Paraná. Período: 1932 a 2009. Cota zero da régua: 336 m. Organização: SOUSA, Rodrigo V. B.

Tabela 17 – Datas que ocorreram as maiores cotas fluviométricas, na estação fluviométrica de Jataizinho – 64507000, no período de 1932 a 2009.

Data	Cotas máximas (m)	Vazão - Qcalc (m³/s)	Cota zero da régua (m)
jan/97	8,11	6050	
fev/97	6,25	3855	
mar/98	4,66	2256	
abr/61	6,02	3607	
mai/83	7,02	4725	
jun/83	6,47	4098	
jul/57	5,12	2690	336
ago/08	4,54	2147	
set/57	6,56	4198	
out/98	6,12	3714	
nov/37	8,54	6601	
dez/89	6,98	4678	

Fonte: Instituto de Águas do Paraná. Cota zero da régua: 336 m. Qcalc: Vazão calculada pela relação cota-descarga, ou curva-chave. Organização: SOUSA, Rodrigo V. B.

Fazendo-se uma comparação entre o mapeamento geomorfológico, as evidências levantadas em campo e o cálculo da área do espelho d'água do rio Tibagi, pode-se afirmar que, os principais motivos responsáveis pela ocorrência das inundações, na cidade de Jataizinho, estão relacionados às características geomorfológicas e concomitantemente com a falta de planejamento territorial, a qual

viabiliza a ocupação de áreas impróprias para habitação. Durante o cálculo do espelho d'água, constatou-se que o limite do remanso, no rio Tibagi, atinge a latitude 7440000, próximo aos municípios de Rancho Alegre e Sertanópolis, ambos a jusante de Jataizinho. Entretanto, conforme salientado anteriormente, não é descartada a hipótese do efeito do remanso chegar, nas proximidades de Jataizinho, embora seja muito difícil isso estar ocorrendo.

Destaca-se também que a ocorrência de inundações apresenta relação com o regime pluviométrico da bacia hidrográfica do rio Tibagi, uma vez que o aumento do nível desse rio, na estação fluviométrica de Jataizinho – 64507000, durante o outono e inverno, está vinculado às chuvas mais abundantes na porção meridional da bacia.

Em suma, do ponto de vista geológico, pode-se afirmar que todos os locais sujeitos à inundaçāo se encontram sob ambientes do Quaternário recente, denotando, desse modo, relevos planos e pouco esculpidos pelos agentes externos. Somados aos fatores de baixa altitude, baixa declividade e proximidade à drenagem, tornam-se evidentes os reais motivos dessas áreas serem sujeitas à inundaçāo, já que o afloramento de água subterrânea em áreas de várzeas, ou o extravasamento do rio sobre as planícies de inundaçāo, são fenômenos eminentemente naturais.

No que tange à morfogênese das planícies de inundaçāo, estas foram formadas pela sucessão deposicional dos sedimentos aluvias, ao longo do Holoceno. Nesse ponto de vista, os fatores geológicos e geomorfológicos são intrínsecos uns aos outros.

CAPÍTULO 6

CONSIDERAÇÕES E RECOMENDAÇÕES

A metodologia utilizada para a determinação da área do espelho d'água pode ser considerada válida e eficiente, pois utilizando-se o canal do infravermelho próximo, a chance de outro alvo ser mapeado a não ser a água é praticamente nula, desde que, através da leitura de *pixel* das imagens, seja empregado um nível de corte adequado. Outro aspecto positivo diz respeito ao fato de não ser utilizada técnica de vetorização do corpo hídrico, uma vez que isso demandaria mais tempo para o cálculo da área do espelho d'água.

Todavia, a maior dificuldade encontrada na adoção da referida metodologia consistiu na ausência de imagens, no catálogo do INPE, dos principais anos atípicos positivos. Esse fato inviabilizou o cálculo preciso da área de transbordamento do rio Tibagi em anos, cujas médias dos débitos máximos foram mais pronunciados. Nesse sentido, concluiu-se que a ausência das imagens, no catálogo do INPE, deve-se a dois motivos: a) defeito no satélite *LANDSAT 3* e provavelmente no *LANDSAT 4*, ressaltando-se que não há imagens do *LANDSAT 4* disponíveis no catálogo INPE; b) ausência de imagens devido ao excesso de nuvens, nas datas em que foram registrados os maiores débitos. Apesar da ausência das imagens desejadas, foi possível identificar que a variação do espelho d'água entre, a cidade de Jataizinho e a foz do Tibagi, se dá principalmente, na área represada do rio Tibagi, a jusante da estação fluviométrica de Jataizinho – 64507000.

A cidade de Jataizinho está sujeita a impactos socioeconômicos negativos, devido à ocorrência de inundações. Assim posto, o mapeamento geomorfológico realizado, por meio de técnicas de fotointerpretação de fotos aéreas e imagens orbitais, em conjunto com trabalhos de campo, demonstrou que os locais sujeitos à inundaçāo estão situados, em áreas de depósitos aluviais – planícies de inundaçāo, ou ambientes de acumulação fluvial - Apf, consideradas desse modo, áreas impróprias para habitação.

Nesse sentido, os resultados indicaram que as inundações, na cidade de Jataizinho, estão relacionadas, principalmente, com as características geomorfológicas dos locais susceptíveis à inundaçāo e também com o regime

pluviométrico da bacia hidrográfica do Tibagi. Embora seja muito difícil isso estar ocorrendo, não foi descartada a hipótese de possível atuação do efeito do remanso o que, entretanto, demandaria mais tempo e trabalhos de campo, a fim de corroborar ou refutar esta hipótese. Entrementes, tudo indica que esse não é o principal motivo responsável pelas inundações, na cidade de Jataizinho.

A identificação de sedimentos aluviais, bem como os resultados das análises texturais foram de importância ímpar para a classificação das áreas sujeitas à inundaçāo como, planícies de inundaçāo. Destaca-se, ainda, que a identificação de maiores porcentagens de areia – sedimento de leito – em relação às frações silte e argila – sedimento em suspensão – em todas as amostras analisadas, deixa evidente que a maior parte do material transportado e sedimentado pelo rio, tem sua origem em locais distantes da área investigada, proveniente de formações sedimentares que afloram em superfície, distribuídas pela bacia hidrográfica do rio Tibagi. Ressalta-se que, os trabalhos de campo foram fundamentais para a identificação de pontos sujeitos à inundaçāo e para o mapeamento geomorfológico realizado.

No que tange à morfogêneses das planícies de inundaçāo mapeadas, tais ambientes foram formados, por meio de sedimentação aluvial, devido à alternância entre períodos de vazante e cheia dos rios Tibagi, Jataizinho e Coqueiro. Nesse sentido, a sucessão deposicional dos sedimentos aluviais, ao longo do Holoceno, foi o principal fator responsável pela formação desses relevos. Por meio dessa interpretação, pode-se dizer que os fatores geológicos e geomorfológicos são intrínsecos uns aos outros.

Como recomendações são indicadas:

- instalação de estações fluirométricas ou hidrométricas para o registro dos valores limimétricos – cota fluirométrica – em rios que passam pela área urbana da cidade de Jataizinho e que potencializam os riscos de inundações, especialmente, o ribeirão Jataizinho – tributário do rio Tibagi e o ribeirão Coqueiro – tributário do ribeirão Jataizinho;
- registro diário das leituras das cotas fluirométricas do rio Tibagi e dos rios que passam pela área urbana da cidade, sob responsabilidade do município;

- estabelecer contato com as agências de água do Comitê de Bacia Hidrográfica do rio Tibagi, especialmente agências de água local e regional, a fim de que elas, em contato com a Agência Nacional de Águas – ANA, especifiquem o código de identificação das futuras estações fluviométricas a serem instaladas, com o intuito de serem inventariadas, no Banco de Dados do Sistema de Informação Hidrológica – *Hidoweb* – administrado pela ANA;
- sob responsabilidade do município, disponibilizar de forma independente, os registros diários de leitura de cotas fluviométricas;
- sob responsabilidade do município, estabelecer níveis de alerta das cotas fluviométricas referentes aos rios que passam pela área urbana e do rio Tibagi, para que a Defesa Civil possa avisar a sociedade sobre a ocorrência de eventos hidrológicos críticos;
- sob responsabilidade do município, estipular o nível mínimo do rio Tibagi em que inicia o processo de remanso e o processo de transbordamento do ribeirão Jataizinho, com o intuito de minimizar os danos socioeconômicos;
- com base na literatura existente, atualizar o período de retorno de eventos hidrológicos críticos da estação fluviométrica de Jataizinho - 64507000, uma vez que a dinâmica hidrológica desse rio, influencia a dinâmica dos tributários adjacentes à área urbana da cidade de Jataizinho;
- sob responsabilidade do município, criar um Sistema de Informações Geográficas – SIG, com o objetivo de indicar os principais locais com ocorrência de inundação, os registros das inundações com informações alfanuméricas e visuais, as soluções técnicas executadas ao longo dos anos, entre outros.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. *Glossário de termos hidrológicos*. Brasília - DF: ANA - Superintendência de Informações Hidrológicas (SIH), 2001. Disponível em: <<http://www.ana.gov.br>>. Acesso em: 01 nov. 2009.
- _____. *Sistema de Informações Hidrológicas Versão 1.0. Manual do Usuário*. Brasília – DF: ANA - Superintendência de Informações Hidrológicas – SIH, 2002, p.34-42. Disponível em: <<http://www.ana.gov.br>>. Acesso em: 01 nov. 2009.
- _____. *Hidro – Sistema de Informações Hidrológicas*. Versão 1.0.8. Brasília: ANA, 2002. Disponível em: <<http://www.ana.gov.br>>. Acesso em: 01 set. 2009.
- _____. *HidroWeb. Sistema de Informações Hidrológicas*. 2005a. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br>>. Acesso em: 01 out. 2009.
- _____. *Cadernos de recursos hídricos - Disponibilidade e demandas de recursos hídricos no Brasil*. Brasília – DF: ANA, 2005b, 123p. Disponível em: <<http://www.ana.gov.br>>. Acesso em: 01 nov. 2009.
- _____. *Inventário das estações fluviométricas*. Brasília - DF: v.1, n.1, ANA – Superintendência de Administração da Rede Hidrometeorológica, 2006, 18 p. Disponível em: <<http://www.ana.gov.br>>. Acesso em: 01 nov. 2009.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL; UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA – UFV; FUNDAÇÃO ARTHUR BERNARDES – FUNABRE. *HIDRO-PLU – Programa de Homogeneização de Dados Pluviométricos*. Versão Beta 3.2. 2000.
- _____. *A compensação financeira e o seu município*. 2007. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/arquivos/pdf/cartilha_compensacao_financeira_2.pdf>. Acesso em: 30/11/2011.
- _____. *Compensação financeira*. 2011. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=42&idPerfil=2&idiomaAtual=0>> . Acesso em: 30/11/2011.
- AMERICAN OUTLAND™. *GeoPosCalc – data conversion utility*. Version 1.0.0.3. Disponível em: <<http://geoposcalc.lastdownload.com/>>. Acesso em: Acesso em 01 set. 2009.
- AZEVEDO, Thiago C. de. Utilização de imagens do satélite CBERS-2 para atualização da base cartográfica de recursos hídricos do estado do Rio Grande do Norte. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007, Florianópolis. Anais... Florianópolis: INPE, 2007, p.749-753.
- BADIN, Luiz E. *Estudo das inundações do ribeirão Jataizinho, na vila Frederico Lucarewiski, município de Jataizinho*. Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) - Universidade Estadual de Londrina, 1992, 42p.

BARROS, Mirian. V. F; MENDONÇA, Francisco de A. Uso e ocupação do solo. In: STIPP, Nilza A. F. (Org.). *Macrozoneamento ambiental da bacia hidrográfica do rio Tibagi (PR)*. Londrina: EDUEL, 2000, p.83-96.

BAVER, L. D; GARDNER, Walter H; GARDNER, Wilford R. *Soils Physics*. 4th ed. New York: John Wiley & Sons, 1956, p.45-49.

BERTONI, Juan C; TUCCI, Carlos E. M. Precipitação. In: TUCCI, Carlos E. M (Org.). *Hidrologia: Ciência e Aplicação*. 3. ed. Porto Alegre: Editora UFRGS, 2004, p.183-188.

BIELENKI JÚNIOR, Cláudio. et al. Mapeamento de Reservatórios no Nordeste Usando Imagens CBERS II. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007, Florianópolis. *Anais...* Florianópolis: INPE, 2007, p.785-790.

BLOOM, Arthur L. *Geomorphology: A systematic analysis of late cenozoic landforms*. USA: Waveland Press, 2004, p.215.

BOGNOLA, Itamar. et al. *Levantamento de reconhecimento dos solos da região centro-leste do Estado do Paraná (área 10)*. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 2002, p.56-74.

BURROUGH, P. A; McDONNELL, R. A. *Principles of geographical information systems*. Oxford: Oxford University Press, 1998. 333p.

CÂMARA, Gilberto; MONTEIRO, Antonio M. V. Conceitos básicos em ciência de geoinformação. In: CÂMARA, Gilberto et al. (Org.). *Introdução à ciência da geoinformação*. DPI / INPE, entre 1990 e 2009, p.2-27. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/>>. Acesso em: 20 mar.2010.

CAMARGO, O. A. de. et al. Métodos de análise química, mineralógica e física de solos. *Boletim técnico, Instituto Agronômico de Campinas*. Campinas, n. 106, p.47-50, 2009.

CARVALHO, Margareth S. B. de S. et al. Levantamento dos espelhos d'água acima de 20ha em todo o território brasileiro através de sensoriamento remoto. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14., 2009, Natal. *Anais...*Natal: INPE, 2009, p.1967-1974.

CHAVEZ JR, P. S. An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data. *Remote Sensing of Environment*, v. 24, p. 459-479, 1988.

CHEVALLIER, Pierre. Aquisição e processamento de dados. In: TUCCI, Carlos E. M (Org). *Hidrologia: Ciência e Aplicação*. 3. ed. Porto Alegre: Editora UFRGS, 2004, p.510-516.

CHRISTOFOLLETTI, Antonio. *Geomorfologia*. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1980, p.1-105.

COLLISCHONN, Walter; TASSI, Rutinéia. *Introduzindo hidrologia*. Rio Grande do Sul: UFRGS – IPH, 2008, p.166-199.

COMUNELLO, Éder. et al. Dinâmica de inundação de áreas sazonalmente alagáveis na planície aluvial do alto rio Paraná: Estudo preliminar. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11., 2003, Belo Horizonte. *Anais...* Belo Horizonte: INPE, 2003, p.2459 - 2466.

CORRÊA, A. R; GODOY, H; BERNARDES, L. R. M. *Características climáticas de Londrina*: (circular IAPAR), 2. ed, Londrina: IAPAR, 1982, p.5-16.

COSTA, Waldir D. Uso e Gestão de Água Subterrânea. In: FEITOSA, Fernando. A.C; FILHO, João. M (Org.). *Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações*. Fortaleza: CPRM, LABHID-UFPE, 1997, p. 347.

D'ALGE, Julio C. L. Cartografia para geoprocessamento. In: CÂMARA, Gilberto et al. (Org.). *Introdução à ciência da geoinformação*. São José dos Campos: DPI / INPE, entre 1990 e 2009, p.1-32. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd>>. Acesso em: 20 mar. 2010.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA – DNAEE. *Inventário das Estações Fluviométricas*. Ministério de Minas e Energias, República Federativa do Brasil, 1996.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL - DNPM. *Geologia do Brasil*. Brasília: 1984, p.341 – 347.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. *Manual de métodos de análise de solo*. 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA – Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997, p. 9-28.

ESRI ® ArcView 9.3. 2008. START_LICENSE FEATURE ViewerFX ARCGIS 9.3
01-jan-00uncounted
9C8090916A4D4D09EFE1\ VENDOR_STRING=KEY422467662HOSTID=AV_KEY=43446591\ vendor_info="J11PAA51HNEXP7N0H236" ck=217 TS_OK.

FLORENZANO, Teresa G. *Imagens de satélite para estudos ambientais*. São Paulo: Oficina de Textos, 2002, p.9.

FRANÇA, Valmir de. *Análise das influências dos pulsos das inundações no geossistema da sub-bacia do alto curso do rio Paraná, região de Porto Rico (PR) e Taquaraçu (MS) – por meio de teledetecção espacial*, 1998. Tese (Doutorado em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá, p.71-79.

_____. O rio Tibagi no contexto hidrogeográfico paranaense. In: MEDRI, Moacyr E., et al. (Ed). *A Bacia do Rio Tibagi*. Londrina: 2002, p.45-61.

GERARDI, L. H. de O. SILVA, Bárbara-Christine N. *Quantificação em Geografia*. São Paulo: DIFEL, 1981, p.34.

GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO. *Companhia Energética de São Paulo – CESP*. 2009. Disponível em: <http://www.cesp.com.br/portalCesp/portal.nsf/V03.02/Empresa_HistoriaAtePrivatiza>

cao?OpenDocument&Highlight=0,HIDREL%C9TRICA,CAPIVARA,Hidrel%E9trica,Capivara,hidrel%E9trica,capivara >. Acesso em: 31 mar. 2011.

HOLTZ, Antonio C. T. Precipitação. In: PINTO, Nelson L. de S; ——; MARTINS, José A; GOMIDE, Francisco L. S (Org.). *Hidrologia básica*. São Paulo: Edgar Blücher, 1976, p.15.

INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ – IAPAR. *Agrometeorologia. Redes de estações meteorológicas no Paraná*. Disponível em: <<http://www.iapar.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=890>>. Acesso em: 01 out. 2009.

INSTITUTO AMBIENTAL DO PARANÁ. *Estado do Paraná*. Escala: 1:1.000.000. Paraná: Governo do Estado do Paraná, Secretaria de Estado do Meio Ambiente, 1993.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. *Cornélio Procópio*. Folha: SF-22-Z-C. MIR 497. Escala: 1:250.000, 1976. Disponível em: <<http://www.itcg.pr.gov.br/>>. Acesso em: 01 mar. 2010.

_____. *Londrina*. Folha: SF-22-Y-D. MIR 496. Escala: 1:250.000, 1977. Disponível em: <<http://www.itcg.pr.gov.br/>>. Acesso em: 01 mar. 2010.

_____. *Marília*. Folha: SF-22-Z-A. MIR 486. Escala: 1:250.000, 1979. Disponível em: <<http://www.itcg.pr.gov.br/>>. Acesso em: 01 mar. 2010.

_____. *Presidente Prudente*. Folha: SF-22-Y-B. MIR 485. Escala: 1:250.000, 1979. Disponível em: <<http://www.itcg.pr.gov.br/>>. Acesso em: 01 mar. 2010.

_____. *Assaí*. Folha: SF-22-Z-C-I-3. MI: 2759-3. Escala: 1:50.000, 1991. Disponível em: <<http://www.itcg.pr.gov.br/>>. Acesso em: 01 mar. 2010.

_____. *Uraí*. Folha: SF-22-Z-C-I-1. MI: 2759-1. Escala: 1:50.000, 1991. Disponível em: <<http://www.itcg.pr.gov.br/>>. Acesso em: 01 mar. 2010.

_____. *Manuais técnicos em geociências. Manual técnico de pedologia*. 2^a ed, n.4. Rio de Janeiro: IBGE, Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, 2007, p.48-284.

_____. *ProGrid – Aplicativo desktop para conversão de coordenadas entre os sistemas de referência oficiais*. Versão 1.1. Brasil: Projeto de Infra-estrutura Geoespacial Nacional (PIGN); IBGE; Agência Brasileira de Cooperação; University of New Brunswick; Agência Canadense para o Desenvolvimento Internacional, 2008-2009. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 01 dez. 2009.

_____. *Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística*. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home>>. Acesso em: 01 out. 2009a.

_____. *Manuais técnicos em geociências. Manual técnico de geomorfologia*. 2. ed, n.5. Rio de Janeiro: IBGE, Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, 2009b, p.32-48.

_____. Geodésia. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/default.shtml>>. Acesso em: 01 out. 2009c.

INSTITUTO DE TERRAS E CARTOGRAFIA – ITC. *Projeto Paraná*. Faixa: s/n. Quadrícula: s/n. Data de voo: 06/05/1980. Linha de voo: E-W. Executado por: AERODATA S.A. Fotografia aérea: 18129. Escala: 1:25.000, 1980.

_____. *Projeto Paraná*. Faixa: s/n. Quadrícula: s/n. Data de voo: 06/05/1980. Linha de voo: E-W. Executado por: AERODATA S.A. Fotografia aérea: 18130. Escala: 1:25.000, 1980.

_____. *Projeto Paraná*. Faixa: B – 21 III. Quadrícula: SF – 22 – Z – C – I. Data de voo: 06/05/1980. Linha de voo: E-W. Executado por: AERODATA S.A. Fotografia aérea: 18024. Escala: 1:25.000, 1980.

_____. *Projeto Paraná*. Faixa: B – 21 III. Quadrícula: SF – 22 – Z – C – I. Data de voo: 06/05/1980. Linha de voo: E-W. Executado por: AERODATA S.A. Fotografia aérea: 18025. Escala: 1:25.000, 1980.

_____. *Projeto Paraná*. Faixa: B – 21 III. Quadrícula: SF – 22 – Z – C – I. Data de voo: 06/05/1980. Linha de voo: E-W. Executado por: AERODATA S.A. Fotografia aérea: 18026. Escala: 1:25.000, 1980.

INSTITUTO DE TERRAS CARTOGRAFIA E GEOCIÊNCIAS – ITCG. *Produtos cartográficos*. Disponível em: <<http://www.itcg.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=47>>. Acesso em: 01 out. 2009.

_____. *Divisas municipais*. Escala: 1:1.000.000. ITCG, 2008a. Disponível em: <<http://www.itcg.pr.gov.br/>>. Acesso em: 01 mar. 2010.

_____. *Mapa das bacias hidrográficas*. Escala: 1:1.000.000. ITCG, 2008b. Disponível em: <<http://www.itcg.pr.gov.br/>>. Acesso em: 01 mar. 2010.

_____. *Hidrografia*. Escala: 1:1.000.000. ITCG, 2008c. Disponível em: <<http://www.itcg.pr.gov.br/>>. Acesso em: 01 mar. 2010.

_____. *Solos. Estado do Paraná*. Escala 1:2.000.000. ITCG, 2008d. Disponível em: <<http://www.itcg.pr.gov.br/>>. Acesso em: 01 mar. 2010.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA – INMET. *Climatologia*. Disponível em: <www.inmet.gov.br/html/clima.php>. Acesso em: 01 out. 2009.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS – INPE. *SPRING – Informações conceituais – SPRING 5.0 (versão Windows)*. INPE, 2009a. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/banco.html>>. Acesso em: 01 jan. 2010.

_____. *SPRING – Tutorial 10 aulas – SPRING 5.0 (versão Windows)*. INPE, 2009b. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/banco.html>>. Acesso em: 01 jan. 2010.

- _____. SPRING. Versão 5.0.4. São José dos Campos: INPE, DPI, 2009c. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br>>. Acesso em: 01 set. 2009.
- _____. *Catálogo de Imagens*. Disponível em: <<http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>>. Acesso em: 17 nov. 2010.
- _____. *Problema com o LANDSAT 3 (Line-Start Anomaly)*. Disponível em: <<http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>>. Acesso em: 17 nov. 2010b.
- JACOMINI, Paulo. K. T. A nova classificação brasileira de solos. *Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agronômica*. Recife: v.5 e 6, p.161-179, 2008-2009.
- KIEHL, Edmar J. *Manual de edafologia: Relações solo-planta*. São Paulo: Agronômica Ceres, 1979, p. 112 -188.
- LANDIM, P. M. B; STURARO, J. R. *Krigagem indicativa aplicada à elaboração de mapas probabilísticos de riscos*. DGA,IGCE,UNESP/Rio Claro, Lab. Geomatématica, Texto Didático 06, 2002, p.2-4. Disponível em: <<http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/textodi.html>>. Acesso em 12 set. 2007.
- LANNA, Antonio E. Elementos de estatística e probabilidades. In: TUCCI, Carlos E. M (Org.). *Hidrologia: Ciência e Aplicação*. 3. ed. Porto Alegre: Editora UFRGS, 2004, p.101.
- LATRUBESSE, E. M; STEVAUX, J. C; SINHA, R. Tropical rivers. *Geomorphology*, v.70, p.187-206, 2005.
- LONGLEY, Paul A. et al. *Geographical information systems. Principles, techniques, management, and applications*. 2nd ed. New Jersey: John Wiley & Sons, 2005, p.347.
- MAACK, Reinhard. *Geografia Física do Estado do Paraná*. 2. ed. Rio de Janeiro: J. Olympio; Curitiba: Secretaria da Cultura e do Esporte do Governo do Estado do Paraná, 1981. p.329-420.
- MAIO, Celeste R. Interpretação de Imagens de Landsat na Bacia do Rio Araguaia. *Revista Brasileira de Geografia*, Rio de Janeiro, v.42, n.1, p.156-159, jan./mar, 1980.
- MANOEL FILHO, João. Ocorrência das águas subterrâneas. In: FEITOSA, Fernando A. C; _____ (Coord.). *Hidrogeologia. Conceitos e aplicações*. Fortaleza: Serviço Geológico do Brasil – CPRM; Laboratório de Hidrogeologia da UFPE – LABHID, 1997, p.15-17.
- MARTIN, David. *Geographic information systems. Socioeconomic applications*. 2nd ed. London and New York: Routledge, 1996, p.31.
- MARTINS, Eduardo S. P. R. et al. Utilização de imagens CBERS para mapeamento dos espelhos d'água do Brasil. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007, Florianópolis. *Anais...* Florianópolis: INPE, 2007, p.969-976.
- MENDES, Tatiana F. et al. Mapeamento de corpos hídricos através de operações aritméticas de bandas. In: SEMANA DE GEOGRAFIA DA UEL, 24; SEMINÁRIO DE

GEOGRAFIA DO NORTE DO PARANÁ, 3., 2008, Londrina. *Anais...* Londrina: Universidade Estadual de Londrina, 2008, p.1-8. Cd-rom.

MENDONÇA, Francisco de A. *O Clima e o planejamento urbano de cidades de porte médio e pequeno*: Proposição metodológica para Estudo e sua aplicação à cidade de Londrina/PR, 1994. Tese (Doutorado em Geografia Física) – Universidade de São Paulo. Departamento de Geografia, São Paulo, p.99 -106.

_____. Dinâmica atmosférica e tipos climáticos predominantes da bacia do rio Tibagi. In: MEDRI, Moacyr E., et al. (Ed.). *A Bacia do Rio Tibagi*. Londrina: 2002, p.65.

_____; DANNI-OLIVEIRA, Inês M. *Climatologia: Noções básicas e climas do Brasil*. São Paulo: Oficina de Textos, 2007, p.14-192.

MINERAIS DO PARANÁ S.A – MINEROPAR; DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL – DNPM. *Mapa Geológico do Estado do Paraná*. Escala: 1:650.000, 1989.

_____. *Atlas Geológico do Estado do Paraná*. Curitiba: Governo do Estado do Paraná, 2001, p.15.

_____. *Mapa Geológico do Estado do Paraná. Presidente Prudente*. Folha: SF-22-Y-B. Escala: 1:250.000, 2005a. Disponível em: <www.mineropar.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=132>. Acesso em: 01 set. 2010.

_____. *Mapa Geológico do Estado do Paraná. Londrina*. Folha: SF-22-Y-D. MIR 496. Escala: 1:250.000, 2005b. Disponível em: <www.mineropar.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=132>. Acesso em: 01 set. 2010.

_____. *Mapa Geológico do Estado do Paraná. Marília*. Folha: SF-22-Z-A. Escala: 1:250.000, 2005c. Disponível em: <www.mineropar.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=132>. Acesso em: 01 set. 2010.

_____. *Mapa Geológico do Estado do Paraná. Cornélio Procópio*. Folha: SF-22-Z-C. MIR 497. Escala: 1:250.000, 2005d. Disponível em: <www.mineropar.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=132>. Acesso em: 01 set. 2010.

_____. *Atlas Geomorfológico do Estado do Paraná. Escala Base 1:250.000. Modelos Reduzidos 1:500.000*. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2006, p.20-31.

MIRANDA, E. E.de. (Coord.). *Brasil em relevo*. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2005. Disponível em: <<http://www.relevobr.cnpm.embrapa>>. Acesso em: 10 fev. 2011.

MIRANDA, José. I. *Fundamentos de Sistemas de Informações Geográficas*. Brasília – DF: EMBRAPA, 2005, p.23-303.

MONTEIRO, Carlos A. de F. Clima. In: INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. *Geografia do Brasil – Grande Região Sul*. Rio de Janeiro: Divisão Cultural, Tomo I, 1968, p.117-169.

_____. Da necessidade de um caráter genético à classificação climática (algumas considerações metodológicas a propósito do estudo do Brasil meridional), *Revista Geográfica*, Rio de Janeiro, v.31, n.57, p.29-44, 1962.

_____. Análise rítmica em climatologia – problemas da atualidade climática em São Paulo e achegas para um programa de trabalho. *Climatologia 1*, São Paulo, p.6-9, 1971.

_____. O estudo geográfico do clima. *Cadernos Geográficos*, Florianópolis, ano I, n.1, mai, p.10-31, 1999.

MOREIRA, Maurício A. *Fundamentos do Sensoriamento Remoto e metodologias de aplicação*. 3. ed. Viçosa: Editora UFV, 2005, 320p.

NERY, Jonas T; THOMAZ, Sergio L; FRANÇA, Valmir de. Caracterización de la precipitación del estado de San Pablo. *Atmosfera*, México, v.11, n.3, jul, p.125-141, 1998.

NEVES FILHO, Nelson. 2003. *Ilha do sol. Represa*. Disponível em: <<http://www.ilhadosol.com.br>>. Acesso em: 31 mar. 2011.

NOVO, Evelyn M. L. M.; SANTOS, A. P. Monitoramento de enchentes através de sensoriamento remoto orbital: exemplo do Vale do Rio Doce. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2., 1982, Brasília. *Anais...* São José dos Campos: INPE, 1982. p.381-394. Disponível em: <<http://urlib.net/dpi.inpe.br/marte@80/2008/09.30.13.02>>. Acesso em: 20 set. 2010.

_____. *Sensoriamento Remoto: Princípios e Aplicações*. 2. ed. São Paulo: Editora Blücher, 2002, p.1.

OLIVEIRA, Geraldo C de. et al. Agitador horizontal de movimento helicoidal na dispersão mecânica de amostras de três latossolos do sul e campos das vertentes de Minas Gerais. *Ciência Agrotec*, Lavras, v.26, n.5, p.881-887, set./out. 2002.

PASSOS, Messias M. dos. *A raia divisória: geossistema, paisagem e eco-história*. Maringá: EDUEM, v.1, 2006, p.58.

PETRI, Setembrino; FÚLFARO, José V. *Geologia do Brasil*. São Paulo: Universidade de São Paulo, v. 9, 1983. p.235.

PINESE, José. P. Síntese geológica da bacia do rio Tibagi. In: MEDRI, Moacyr E., et al. (Ed.). *A Bacia do Rio Tibagi*. Londrina: EDUEL, 2002, p.21-38.

PINTO, Nelson L. de S. Manipulação de dados de vazão. In: ——; HOLTZ, Antonio C. T; MARTINS, José A; GOMIDE, Francisco L. S (Org.). *Hidrologia básica*. São Paulo: Edgar Blücher, 1976, p.170.

_____; HOLTZ, Antonio. C. T. Medições de vazões. In: _____; _____; MARTINS, José A; GOMIDE, Francisco L. S (Org.) *Hidrologia básica*. São Paulo: Edgar Blücher, 1976, p.182-194.

PINTO, Sérgio A. F. et al. Utilização de dados multitemporais do Landsat para a identificação de setores da planície fluvial sujeitos à inundação. *Boletim de Geografia Teorética*, Rio Claro, v.15, n. 29/30, p.182-195, 1985.

PIPERNO, Adriana; SIERRA, Pablo. *Inundaciones en el Uruguay: Aportes desde el ordenamiento territorial*. In: FIRKOWSKI, Olga L. C de F. (Org.). *Transformações territoriais: experiências e desafios*. Rio de Janeiro: Letra Capital, 2010, p.219-242.

RADESCA, Maria de L. P. de S. A hidrografia. In: AZEVEDO, Aroldo de (Org.). *Brasil a terra e o homem*. v.I - As bases físicas. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 1964, p.537-569.

RAMOS, Cristhiane da S; SANCHEZ, Miguel C. Estudo metodológico de classificação de dados para cartografia temática. *Geografia*, Rio Claro, v.25, n.2, ago, p.23-52, 2000.

ROSS, Jurandyr L. S. O registro cartográfico dos fatos geomorfológicos e a questão da taxonomia do relevo. *Revista do departamento de geografia, Universidade de São Paulo*, São Paulo, n.6, p.17-29, 1992.

SANTOS, Alexandre. R. dos; PELUZIO, Telma M. de O; SAITO, Nathália S. *SPRING 5.1.2 passo a passo. Aplicações Práticas*. Alegre – ES: Universidade Federal do Espírito Santo – CAUFES, 2010, p.38-50.

SANTOS, Maria J. Z dos. Aplicações hidrológicas do sensoriamento remoto. *Geografia*, Rio Claro, v.11, n.21, p.169-171, abr,1986.

SCHRÖEDER, R. Distribuição e curso anual das precipitações no Estado de São Paulo. *Bragantia, Boletim Técnico do Instituto Agronômico do Estado de São Paulo*, Campinas, v.15, n.18, p.226-243, ago, 1956.

SIRGAS. *Sistema de Referencia Geocéntrico para Las Américas*. Disponível em: <<http://www.sirgas.org>>. Acesso em: 1 out. 2009.

SOUSA, Rodrigo V. B; CELLIGOI, André. Avaliação da condutividade hidráulica do solo em área agrícola e florestada na cidade de Londrina (PR), através do permeâmetro guelph. *Boletim de Geografia*, v.29, n.2, p.123-133, 2011. Disponível em: <<http://www.periodicos.uem.br/ojs/index.php/BolGeogr/issue/current>>. Acesso em: 5 jan. 2012.

_____; BARROS, Mirian V. F; FRANÇA, Valmir de. Utilização de dados orbitais na avaliação de planícies de inundação, uma análise bibliográfica. In: SIMPÓSIO PARANAENSE DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA, 5., 2010, Curitiba. *Anais...* Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2010, p.1-15. Cd rom.

STIPP, Nilza A. F. Principais Tipos de Solos da Bacia do Rio Tibagi. In: MEDRI, Moacyr E, et. al. (Ed.). *A Bacia do Rio Tibagi*. Londrina: 2002, p.41-66.

- STRAHLER, Alan; STRAHLER, Arthur. *Physical Geography: Science and systems of the human environment*. 3rd ed. USA: John Wiley & Sons, 2005, p.18 - 466.
- SUGUIO, Kenitiro. *Introdução à sedimentologia*. São Paulo: Edgar Blücher; Editora da Universidade de São Paulo, 1973, p.44-144.
- _____. *Geologia sedimentar*. São Paulo: Edgar Blücher, 2003, p.220-291.
- TAGIMA, Nelson; TERABE, Nádia I. *Minibacia do riacho Cambé diagnóstico físico-ambiental e mapeamento detalhado de solos*. Londrina: Universidade Estadual de Londrina, 2005, p. 53-70.
- TEIXEIRA, Wilson. et al. (Org.). *Decifrando a Terra*. São Paulo: Oficina de Textos, 2003, p.559.
- TOREZAN, José M. D. Nota sobre a vegetação da bacia do rio Tibagi. In: MEDRI, Moacyr E., et al. (Ed.). *A Bacia do Rio Tibagi*. Londrina: 2002, p.103-105.
- TRIOLA, Mario F. *Introdução à estatística*. 9. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2005, p.383-396.
- TUCCI, Carlos E. M; HESPAÑHOL, Ivanildo; CORDEIRO NETTO, Oscar de M. *Gestão da Água no Brasil*. Brasília: Organização das Nações Unidas para Educação, Ciência e a Cultura – UNESCO, 2001, p.51-57.
- _____. *Hidrologia: Ciência e Aplicação*. 3. ed. Porto Alegre: Editora UFRGS, 2004, p.943pp.
- ZANDONADI, Leandro. *As chuvas na bacia do Paraná, aspectos temporais, espaciais e rítmicos*, 2009, 136pp. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro.
- ZAVATINI, João A. *Variações do ritmo pluvial no oeste de São Paulo e norte do Paraná (Eixo Araçatuba – Presidente Prudente – Londrina)*, 1983, p.9-82. Dissertação (Mestrado em Geografia Física) – Universidade de São Paulo, São Paulo.
- WAGNER, C. S; BERNARDES. L. R. M; CORREA, A. R. *Boletim técnico. Velocidade e direção predominante dos ventos no Estado do Paraná*. Londrina: IAPAR, 1989, 56p.
- WARD, Andy D; TRIMBLE, Stanley W. *Environmental hydrology*. 2nd ed. Lewis Publishers, 2004, p.19-387.

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

- AB' SÁBER, Aziz N. *Os domínios de natureza no Brasil: Potencialidades Paisagísticas*. São Paulo: Ateliê Editorial, 2003.
- _____. *Brasil. Paisagens de exceção. O litoral e o pantanal mato-grossense patrimônios básicos*. Cotia, São Paulo: Ateliê Editorial, 2006.
- _____. Os sertões: A originalidade da Terra. *Ciência Hoje*, v.3, n.18, mai/jun, p.42-52, 1985.
- AYOADE, J. O. *Introdução à climatologia para os trópicos*. 10. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004.
- GONÇALVES, Neyde M. S. *Impactos pluviais e desorganização do espaço urbano em Salvador – BA*, 1992. Tese (Doutorado em Geografia Física) – Universidade de São Paulo. Departamento de Geografia, São Paulo.
- GUERRA, Antonio T. *Rios, enchentes e agricultura. Transportes fluviais. Recursos hidrelétricos. Pesca fluvial e lacustre*. In: CONSELHO NACIONAL DE GEOGRAFIA – IBGE (Org). *Paisagens do Brasil*. 2. ed. Rio de Janeiro: CONSELHO NACIONAL DE GEOGRAFIA, 1962.
- GUERRA, Antonio. J. T; CUNHA, Sandra B (Org.). *Geomorfologia: Uma atualização de bases e conceitos*. 6. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2005.
- MOLION, Luiz Carlos B. Secas: O eterno retorno. *Ciência Hoje*, v.3, n.18, mai/jun, p.26-32, 1985.
- _____. ENOS e o clima no Brasil. *Ciência Hoje*, v.10, n.58, out, p.23-29, 1989.
- ROSS, Jurandyr L. S. *Geomorfologia: Ambiente e planejamento*. São Paulo: Contexto, 2003.
- REBOUÇAS, Aldo. *Uso inteligente da água*. São Paulo: Escrituras Editora, 2004.
- SANTOS, Irani dos. *et al. Hidrometria aplicada*. Curitiba: Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento, 2001.
- ZAVATTINI, João A. *Estudos do clima no Brasil*. Campinas, São Paulo: Editora Alínea, 2004.