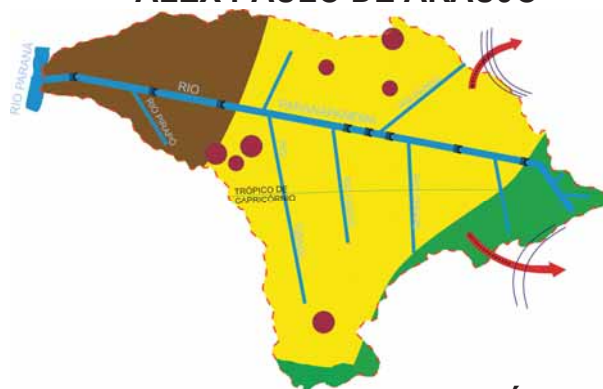




UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Campus de Presidente Prudente

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA JÚLIO DE MESQUITA FILHO
CAMPUS DE PRESIDENTE PRUDENTE
FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

ALEX PAULO DE ARAÚJO



**DINÂMICA FLUVIAL E REGIME HIDROLÓGICO NA BACIA
HIDROGRÁFICA DO RIO PARANAPANEMA**

PRESIDENTE PRUDENTE
2011



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Campus de Presidente Prudente

ALEX PAULO DE ARAÚJO

DINÂMICA FLUVIAL E REGIME HIDROLÓGICO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARANAPANEMA.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Estadual Paulista, campus de Presidente Prudente, como parte dos requisitos para obtenção do título de mestre em Geografia.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Cesar Rocha

PRESIDENTE PRUDENTE
2011

A687d	Araújo, Alex Paulo de. Dinâmica fluvial e regime hidrológico na bacia hidrográfica do rio Paranapanema / Alex Paulo de Araújo. - Presidente Prudente : [s.n.], 2011 xiv, 197 f. : il. Orientador: Paulo Cesar Rocha Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia Inclui bibliografia 1. Regime hidrológico. 2. Rio Paranapanema. 3. Variabilidade hidrológica. 4. Bacia hidrográfica - Paranapanema (SP). 5. Dinâmica fluvial. I. Rocha, Paulo Cesar. II. Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Ciências e Tecnologia. III. Título. CDD 910
-------	---

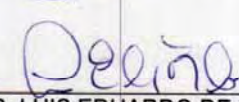
BANCA EXAMINADORA



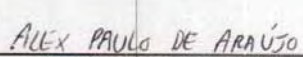
PROF. DR. PAULO CESAR ROCHA
ORIENTADOR



PROF. DR. JOSÉ TADEU GARCIA TOMMASELLI
(UNESP/FCT)



PROF. DR. LUIS EDUARDO DE SOUZA ROBAINA
(UFSM)



ALEX PAULO DE ARAUJO

Presidente Prudente (SP), 11 de abril de 2011.

RESULTADO: APROVADO



Dedico aos meus pais José e Dalva (In memoriam)
Dedico também as minhas irmãs Luciana, Cristiane,
Elisete e família pelo apoio...
A amada Thais pela compreensão e incentivo.

Agradecimentos

São muitas as pessoas que me prestaram valiosa atenção durante o desenvolvimento deste trabalho e na minha trajetória da Pós-graduação. Agradeço sinceramente a todos pelos incentivos e contribuições. Em especial agradeço em particular:

Ao professor, amigo e orientador Paulo Cesar Rocha, pela sua atenção, constante incentivo, disposição, e por me dar liberdade durante execução deste trabalho. Certamente sua aprendi muito com sua pessoa... quando precisar de um pouso estamos a disposição.

Reforço os agradecimentos institucionais aos órgãos e empresas pela disponibilidade dos dados hidrológicos: Agência Nacional de Águas (ANA), ao Departamento Estadual de Águas de São Paulo (DAEE), Instituto das Águas do Paraná em nome de Edson Sakae Nagashima e a empresa Duke Energy em nome de Clayton W. Baltazar e Heloísa Miguel.

Ao Programa de Pós-graduação em Geografia da FCT/UNESP e à Universidade Estadual Paulista (UNESP) pela estrutura, auxílios, qualidade e oportunidade de estudos.

Ao Prof. Dr. Jose Tadeu G. Tommaselli, pela atenção e dicas com tratamento de dados hidrometeorológicos e sempre me orientou sobre caminhos da estatística hidrológica.

Ao Prof. Dr. João Osvaldo R. Nunes pelas oportunidades de campos e conversas de incentivos.

Aos profs. Dr. Margarete C. T. Amorim e Dr. Antonio César Leal (coordenadores) pela atenção sempre que procurados e possibilitar acessos aos laboratórios (Laboratório de Geocartografia).

Ao prof. Manoel e Sérgio do Departamento de Matemática e Estatística, pela atenção e contribuição para realização dos testes estatísticos e aos coleg@s Verônica e Carlos pelo suporte e socorro nos esclarecimentos de dúvidas e esclarecimentos das técnicas estatísticas.

Ao professores do Departamento de Geografia e ao prof. Godoy pelos aprendizados nos campos/perícias e amizade.

A banca de qualificação, prof. Dr. José Tadeu Garcia Tommaselli e prof. Dr. Paulo Fernando Soares (UEM), pelas valiosas contribuições.

A minha companheira Thais, pelo sorriso, carinho, amor e compreensão/dicas no andamento da pesquisa.

Ao Tiago/Jana pelo apoio e ajuda no software e leituras, sobretudo, pela amizade.

Aos amig@s do Laboratório de Geologia, Geomorfologia e Recursos hídricos: Renata, Tainá, Franciele/César, Ana, Jéssica/Felipe, Marcelão.

Os membros dos GADIS/GAIA nos nomes de Rafael, João, Fred e Amilcar...

Ao pessoal do Laboratório de Solos e aprendizados nos campos.

Aos amig@s da moradia estudantil/jogos de futebol minha eterna casa (B-3).

Amig@s/coleg@s de Pós-graduação, Marcelo Latuf, Caio, Assis, Leandro, Natasha, Bruna... são dezenas...

Ao coleg@s do Seminário de Sensoriamento Remoto e Qualidade da Água I e II do Programa de Pós-graduação Ciências Cartográficas da FCT/UNESP campus de Presidente Prudente, em especial aos professores Imai e Lourdes.

Ao capital humano da FCT/UNESP, em especial à Fátima pela atenção e disponibilidade dos acervos da rede de bibliotecas.

À Capes pela concessão da bolsa mestrado.

O rio Paranapanema deságua no Paraná
Mas toda a sua beleza deságua no meu cantar
De nascentes cristalinas suas águas são formadas
Matando a sede do gado e banhando as invernadas
A seca é a madrasta da roça desesperada
Água deste rio é mãe pra quem planta na beirada
O rio Paranapanema deságua no Paraná
Mas toda a sua beleza deságua no meu cantar
Rio Paranapanema - Tião Carreiro e Pardinho

Vivimos en un planeta viviente
que respira tambien siente...
Nuestra tierra esta llorando
la tenemos que salvar...
Contaminando los mares y los rios
sin nada dejaremos a nuestros niños...
Planeta – ANTIDOPING

Água que nasce na fonte
Serena do mundo
E que abre um
Profundo grotão
Água que faz inocente
Riacho e deságua
Na corrente do ribeirão...
Planeta Água - Guilherme Arantes

Resumo

Os regimes de vazões dos rios correspondem a um importante indicador para a compreensão e estabelecimento da disponibilidade hídrica de uma bacia e para a manutenção da integridade ecológica. Em decorrência, seu monitoramento quantitativo e qualitativo permite entender o seu funcionamento e prescrever as quantidades mínimas para manutenção da vida e dos processos fluviais.

Esta pesquisa apresenta os resultados da avaliação dos regimes hidrológicos do rio Paranapanema e seus principais afluentes que compõem sua bacia hidrográfica, assim como demais canais que constituem as Unidades de Gestão da bacia do rio Paranapanema, compreendendo uma área superior a 105.000 km². Esta análise possibilitou avaliar qualitativa e quantitativamente a variabilidade hidrológica desses rios, caracterizar seu regime, além de examinar as alterações hidrológicas ocorridas ao longo do tempo, para a elaboração de um mapeamento da história hidrológicas de tais rios.

Para execução deste trabalho, foi necessário realizar uma revisão bibliográfica sobre a temática de estudo e caracterização ambiental da bacia; organização, tratamento e interpretação dos dados hidrológicos fornecidos pela rede hidrometeorológica existente na bacia e disponibilidade pela ANA-BRASIL, SIGRH/DAEE-SP, SUDERHSA-PR e a Empresa Duke Energy; avaliação e relacionamento do regime hidrológico dos rios com a variabilidade climática da bacia e as alterações no uso e cobertura da terra, no decorrer do século XX.

Desse modo, esta pesquisa indica que, durante o século XX, o regime dos rios integrantes da bacia Paranapanema passou por alterações hidrológicas que mudaram o regime interanual dos débitos, verificando-se, por meio de testes estatísticos, que, a partir da década de 70, houve um aumento das vazões médias anuais. Em algumas bacias, tais alterações podem ser observadas por aumentos entre picos máximos e mínimos mais intensos, demonstrando possivelmente uma fase transicional.

As explicações sobre alterações no regime hidrológico apontam para um acréscimo das precipitações na bacia, somado às intensas alterações no uso e cobertura do solo, ao longo do século XX, nos Estados do Paraná e São Paulo. Outro fator relevante que singulariza os trechos da bacia está fortemente relacionado às mudanças nos padrões de fluxos, devido à regulação do fluxo pelos reservatórios/barragens, que colabora sinergicamente nas alterações hidrológicas, a jusante e montante das barragens. O trabalho procura contribuir para o entendimento dos regimes dos rios e subsidiar as ações e planos relacionados a uso e apropriação dos recursos hídricos na bacia do rio Paranapanema.

Palavras-chave: Regime Hidrológico, Variabilidade Hidrológica, Rio Paranapanema, Bacia Hidrográfica, Dinâmica Fluvial.

Abstract

The flow regimes of the rivers are an important indicator for understanding and establishment of the catchment water availability and the maintenance of ecological integrity. As a result, its quantitative and qualitative monitoring allows us to understand this operation and prescribe the minimum quantities to maintain life and fluvial processes.

This research presents the results of the assessment of the hydrological regimes of the Paranapanema and major rivers that form its watershed, as well as other channels that constitute the Management Units Paranapanema River Basin, covering an area exceeding 105,000 km². This analysis allowed us to evaluate qualitatively and quantitatively the hydrological variability of rivers, characterize his regime, and to examine the hydrological changes that occurred over time, for the development of a hydrological mapping of the history of these rivers.

To implement this, it was necessary to review literature on the subject of study and environmental characterization of the basin; organization, processing and interpretation of hydrological data provided by existing hydro-meteorological network in the basin and availability by ANA-BRAZIL, IWM / ADEE-SP SUDERHSA-PR Company and Duke Energy, evaluation and relationship of the hydrological regime of rivers in the basin climate variability and changes in use and land cover in the course of the twentieth century.

Thus, this research indicates that during the twentieth century, the regime of the river basin Paranapanema members passed amendments that changed the hydrological regime of the interannual rates, verifying, through statistical tests, which, from the decade of seventy, there was an increase in mean annual streamflow. In some watersheds, such changes can be observed for increases between maximum and minimum peaks more intense, possibly demonstrating a transitional phase.

The explanations for changes in the hydrological regime point to an increase in rainfall in the basin, coupled with the intensive use changes and land cover throughout the twentieth century, the states of the Paraná and São Paulo. Another relevant factor that distinguishes the parts of the basin is strongly related to changes in patterns of flows due to flow regulation by reservoirs / barrages, which cooperates synergistically in hydrological changes, downstream and upstream dams. The work aims to contribute to the understanding of regimes of rivers and support the activities and plans related to the use and appropriation of water resources in the basin of Paranapanema.

Keywords: Hydrological Regime, Hydrologic Variability, Paranapanema River Basin, Fluvial Dynamics.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01. Localização da bacia hidrográfica do rio Paranapanema e Unidades de Gestão.	19
Figura 02. Filogênese da teoria geomorfológica - quadro reduzido.	25
Figura 03. Representação esquemática do ciclo da erosão de Davis, proposto por Pentead.	26
Figura 04. Modelo de evolução do relevo, A) modelo Penck B) Modelo de Davis.	27
Figura 05. Circulação global da água – fases do ciclo hidrológico.	34
Figura 06. Modelo representativo dos sentidos e convergências dos fluxos em encostas para fundos de vales.	35
Figura 07. Modelo representativo de rotas de fluxos de água nas vertentes em superfície e subsuperfície.	35
Figura 08. Interpretações sobre a forma da bacia e relacionamento com escoamento	40
Figura 09. Efeitos do desmatamento no fluxo de um rio. Em (a) alteração do fluxo fluvial após o desmatamento.	44
Figura 10. Processos de interceptação vegetal na bacia.	45
Figura 11. Mapa postos fluviométricos na bacia do rio Paranapanema.	51
Figura 12. Observação de fluviogramas e o comportamento de vazões de uma bacia.	53
Figura 13. Análise de dupla massa entre o posto Olaria dos Padres 64247000 da bacia do rio Itararé, afluente do alto Paranapanema, e a média regional, acumulado anual entre os anos 1969 e 2008.	54
Figura 14. Equação para estimativa das vazões dos rios da bacia Paranapanema. A: Equação das vazões de longo período; B: Equação das vazões do Período I; C: Equação das vazões do Período II.	57
Figura 15. Resultado do teste de normalidade aplicado no posto 64370000.	58
Figura 16. Modelo esquemático para preencher depressões do MDE.	60
Figura 17. Esboço geológico da bacia do Paraná.	69
Figura 18. Trajetos preferenciais das massas de ar que atingem o alto curso da bacia do rio Paraná, em anos de pluviosidade habitual.	71
Figura 19. Precipitação média da bacia Paranapanema/Santo Anastácio	73
Figura 20. Principais rios da bacia do rio Paranapanema.	75
Figura 21. Bloco diagrama esquemático da bacia do alto rio Paraná, compreendendo estruturas cristalinas (planalto atlântico), depressão, cuevas e planaltos.	76
Figura 22. Mapa Geomorfológico da Bacia do rio Paranapanema.	78
Figura 23. Mapa hipsométrico da bacia do rio Paranapanema.	79
Figura 24. Mapa clinográfico da bacia do rio Paranapanema.	80
Figura 25. Usinas do rio Paranapanema.	82
Figura 26. Principais empreendimentos hidroelétricos da bacia do Rio Paranapanema.	83
Figura 27. Espacialização dos possíveis empreendimentos para aproveitamento energético, na bacia do rio Paranapanema.	84
Figura 28. Gráfico de evolução da taxas de redução da cobertura vegetal natural em São Paulo e Paraná, entre 1886 e 2000.	85
Figura 29. Evolução do desmatamento no Estado de São Paulo.	86
Figura 30. Evolução do desmatamento no Estado do Paraná.	87
Figura 31. Magnitudes anuais de vazão na bacia do rio Capivara.	89
Figura 32. Magnitudes interanuais do rio Pari.	90

Figura 33. Magnitudes interanuais do rio Novo.	90
Figura 34. Magnitudes anuais do rio Turvo, Rio Turvo.	91
Figura 35. Magnitudes anuais do rio Turvo e Pardo e seus respectivos períodos.	92
Figura 36. Magnitudes interanuais do rio Taquari.	94
Figura 37. Magnitudes anuais do bacia rio Itararé.	96
Figura 38. Magnitudes interanuais de vazões do rio Cinzas	98
Figura 39. Magnitudes interanuais de vazões do rio Laranjinha	99
Figura 40. Magnitudes interanuais do rio Congonhas, afluente do baixo curso do Tibagi.	100
Figura 41. Magnitudes interanuais do rio Tibagi	101
Figura 42. Magnitudes interanuais do rio Tibagi estações do alto curso	102
Figura 43. Magnitudes de vazões anuais do posto Jardim Vila Silva (A) e Itaguajé (B).	104
Figura 44. Magnitudes interanual do rio Guareí, Posto Ponte dos Teodoros (64135000)	105
Figura 45. Magnitudes interanuais do rio Itapetininga (A) Porto Velho (64065000), (B) Angatuba (64075000)	105
Figura 46. Magnitudes interanuais dos afluentes alto curso o rio Paranapanema	108
Figura 47. Magnitudes interanuais dos afluentes alto curso o rio Paranapanema, rios Apiaí Mirim e Apiaí Guaçu.	109
Figura 48. Magnitudes interanuais de vazões do Rio Paranapanema.	111
Figura 49. Magnitudes interanuais de vazões do Rio Paranapanema - baixo curso.	112
Figura 50. Mapa de vazões da bacia do rio Paranapanema	116
Figura 51. Mapa de vazões da bacia do rio Paranapanema – Período I (até 1970)	117
Figura 52. Mapa de vazões da bacia do rio Paranapanema – Período II (pós 1970)	118
Figura 53. Mapa de vazão específica da bacia do rio Paranapanema	119
Figura 54. Mapa de vazão específica da bacia do rio Paranapanema – Período I (até 1970)	120
Figura 55. Mapa de vazão específica da bacia do rio Paranapanema – Período II (pós 1970)	121
Figura 56. Hidrogramas sazonais de vazões dos postos bacia do rio Paranapanema, com comportamento hidrológico de menores amplitudes entre as estações	125
Figura 57. Hidrogramas sazonais de vazões dos postos bacia do rio Paranapanema, comportamento hidrológicos com aumento débitos durante o verão	126
Figura 58. Hidrogramas sazonais de vazões dos postos bacia do rio Paranapanema, comportamento hidroclimático transicional e com características de postos de cabeceiras	127
Figura 59. Hidrogramas sazonais de vazões dos postos bacia do rio Paranapanema, comportamento hidroclimático controlado por barragens	128
Figura 60. Mapa-síntese do comportamento sazonal das vazões na bacia do rio Paranapanema.	129
Figura 61. Principais regimes sazonais de chuva na bacia do rio Paranapanema.	130
Figura 62. Variabilidade das precipitações para Estado de São Paulo.	136
Figura 63. Variabilidade das precipitações para alto curso do rio Paranapanema, município de Angatuba (Posto ANA: 2348016).	137
Figura 64. Série temporal dos índices normalizados de ENOS, OPD E Q.	139
Figura 65. Mapa de localização das áreas territoriais dos municípios da bacia do rio Paranapanema/Santo Anastácio em 1950.	141
Figura 66. Evolução do uso do solo no município de Arapongas, norte do Paraná.	142

Figura 67. Evolução das matas no município de Itapetininga, Alto Paranapanema.	143
Figura 68. Evolução das matas naturais em alguns municípios do norte paranaense.	144
Figura 69. Dendograma de similaridade dos postos fluviométricos da bacia do rio Paranapanema, com base em 23 componentes.	146
Figura 70. Distribuição espacial dos agrupamentos	142
Figura 71. Ordenação espacial das variáveis das duas componentes principais da bacia do rio Paranapanema	149
Figura 72. Ordenação espacial dos postos (cases) das duas componentes principais da bacia do rio Paranapanema.	150
Figura 73. Distribuição espacial da PCA componentes principais	151

LISTA DE TABELAS

Tabela 01. Parâmetros hidrológicos usados pelo método IAH.	38
Tabela 02. Valores médios de alteração da vazão de florestas tropicais, devido ao desmatamento em função da nova cobertura.	46
Tabela 03. Sistema hidroelétrico do rio Paranapanema.	81
Tabela 04. Estatísticas dos postos da bacia do rio Capivara	88
Tabela 05. Estatísticas do regime hidrológico do rio Pari e rio Novo.	90
Tabela 06. Estatísticas do regime hidrológico do rio Turvo.	92
Tabela 07. Estatísticas do regime hidrológico do rio Pardo.	93
Tabela 08. Estatísticas dos postos do rio Taquari	94
Tabela 09. Estatísticas do regime hidrológico da bacia do rio das Cinzas e Laranjinha.	97
Tabela 10. Estatísticas do regime hidrológico da bacia do rio Tibagi.	103
Tabela 11. Estatísticas do rio Tibagi, período transicional.	103
Tabela 12. Estatísticas dos postos fluviométricos do rio Pirapó	104
Tabela 13. Estatísticas dos Pontos do rio Guareí e Itapetininga	106
Tabela 14. Estatísticas dos rios rio Apiaí Mirim e Apiaí Guaçu	107
Tabela 15. Estatística descritiva dos postos fluviométricos do rio Paranapanema.	110
Tabela 16. Resultados dos testes t e Sinais para avaliação dos períodos de vazões: $H_0: \mu_1 = \mu_2$, sendo μ_1 antes de 1970 e μ_2 depois 1970.	113
Tabela 17. Principais variáveis morfométricas da bacia relacionada à dinâmica de escoamento	132
Tabela 18. Evolução dos desmembramentos territoriais dos municípios da bacia	140
Tabela 19. Estatísticas das Componentes Principais, indicando a percentagem da variabilidade de explicação das variáveis da bacia do rio Paranapanema.	146
Tabela 20. Relacionamento temporal entre variáveis vazão e chuvas em trechos da bacia.	152

APÊNDICES:

APÊNDICE A

Equações empregadas neste estudo	167
----------------------------------	-----

APÊNDICE B

TABELA 01 A: Inventário das estações com séries históricas com dados hidrológicos de Cota.	168
TABELA 02B: Inventário das estações séries históricas com dados hidrológicos de vazão	171
Tabela 03C: Diagrama de Barra das estações fluviométricas da bacia do rio Paranapanema	174

APÊNDICE C

QUADRO 01. Resultados da análise de consistência método duplas massa	176
--	-----

APÊNDICE D

Resultado do teste de normalidade dos postos da bacia do rio Paranapanema	178
---	-----

APÊNDICE E	
TABELA 04D. Informações sobre as estações pluviométricas	189
APÊNDICE F	
Tabela 05E: Dados das variáveis em escala logaritmo	190
APÊNDICE G	
Figura 1A. Evolução do uso da terra na bacia do rio Paranapanema - área total	191
Figura 2A. Evolução do uso da terra na bacia do rio Paranapanema – culturas permanentes	192
Figura 3A. Evolução do uso da terra na bacia do rio Paranapanema – culturas temporárias.	193
Figura 4A. Evolução do uso da terra na bacia do rio Paranapanema – pastagens.	194
Figura 5A. Evolução do uso da terra na bacia do rio Paranapanema – matas naturais.	195
Figura 6A: Evolução do uso da terra na bacia do rio Paranapanema – matas reflorestadas.	196
Figura 7A. Evolução do uso da terra na bacia do rio Paranapanema – terras não utilizadas.	197

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

A - Área da bacia
ANA - Agência Nacional de Águas
ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica
ATTZ - Aquatic Terrestrial Transition Zone
BDEweb - Base de Dados do Estado
CAPES – Coordenação de Aprimoramento de Pessoal de Nível Superior
CPRM - Serviço Geológico Brasileiro
CV - Coeficiente de variação
Dd - Densidade de drenagens
DP - Desvio padrão
ENOS - Oscilação Sul
ℓ - Extensão média do escoamento superficial
FPC - Flood Pulse Concept
GAIA - Grupo de Pesquisa Interações na superfície, água e atmosfera
GADIS - Grupo de Pesquisa Gestão Ambiental e Dinâmica Socioespacial
GEOBANK - Acervo de dados do GIS 1:1.000.000 da CPRM
HIDRO - Sistemas de Informações Hidrológicas
IAH - Índices de alterações hidrológicas
IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IC - Índice de Circularidade
IPARDES - Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social
Kc - Coeficiente de compacidade
Kf - Fator de forma
L - Comprimento axial da bacia
L _t - Comprimento total dos rios
ODP - Oscilação Decadal do Pacífico
P – Perímetro
Q – vazão/débito/descarga (m³/s)
q – vazão específica (l/s/km²)
Q _{lp} – Vazão média de longo período (m³/s)

R² - Coeficiente de Determinação

R²-ajus - Coeficiente de Determinação Ajustado

RCC - River Continuum Concept

SEADE - Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados

SIGEL - Sistema de Informações Georreferenciadas do Setor Elétrico

SHP – Shapefile

SIGRH - Sistema de Informações para o Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo

SisCAH - Sistema Computacional para Análises Hidrológicas

SUDERHSA – Instituto das Águas do Paraná/Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental

SRTM - Shuttle Radar Topographic Mission

UGRHI - Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos

TCGEO - Sistema de Transformação de Coordenadas

TSM - temperatura de superfície do mar

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
1.1	Considerações iniciais	17
1.1.2	Área de estudos	18
1.2	Objetivos	20
1.3	Justificativa	20
2	REFERENCIAIS TEÓRICO-METODOLÓGICOS	23
2.1	O CONCEITO DE RIO E A CONTRIBUIÇÃO DA GEOMORFOLOGIA PARA O ENTENDIMENTO DA DINÂMICA FLUVIAL	23
2.1.2	Os estudos de Davis	25
2.1.3	O sistema de Penck	27
2.1.4	A teoria do Equilíbrio dinâmico de Hack	28
2.1.5	As concepções de rio equilibrado	28
2.2	ABORDAGENS ECOLÓGICAS SOBRE OS RIOS	30
2.2.1	O conceito de contínuo do rio (<i>continuum</i>)	31
2.2.2	O conceito de pulsos	31
2.3	DINÂMICA E REGIME DOS RIOS	33
2.3.1	Dinâmica de escoamento	33
2.3.2	O regime dos rios	36
2.3.3	Variabilidades hidrológicas e condicionantes morfométricos da bacia	39
2.3.4	Variabilidades hidrológicas e climáticas	41
2.3.5	Variabilidade hidrológica nas mudanças da cobertura e uso do solo	43
2.3.6	Técnicas e métodos para avaliação do regime hidrológico	47
3	MATERIAL E MÉTODO	49
3.1	Documentação cartográfica	49
3.1.2	Programas de <i>software</i>	49
3.1.3	Programas hidrológicos	50
3.2	Dados hidrológicos	50
3.3	Tratamento dos dados	52
3.4	Regime e períodos hidrológicos	55
3.4.1	Testes estatísticos e os períodos hidrológicos	58
3.5	Técnicas de geoprocessamento aplicado aos estudos hidrológicos	59
3.6	Mapeamento hidrológico	61
3.7	Morfometria da bacia	62
3.8	Levantamentos climáticos e uso do solo	63
3.8.1	Ponderações sobre os dados dos Censos Agropecuários	64
3.9	Relacionamentos entre as variáveis	66
4	CARACTERIZAÇÃO AMBIENTAL DA BACIA DO RIO PARANAPANEMA	68
4.1	Geologia	68
4.2	Clima regional	71
4.3	Rede hidrográfica da bacia Paranapanema	74
4.4	Aspectos do relevo regional	76
4.5	Potencial hidráulico e aproveitamento hidroelétrico	81
4.6	Evolução da cobertura e uso do solo	85

5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	88
5.1	Regime e períodos hidrológicos da bacia do rio Paranapanema	88
5.1.1	Bacia do rio Capivara	88
5.1.2	O regime do rio Pari e rio Novo	89
5.1.3	O regime na bacia do rio Pardo/Turvo	91
5.1.4	Regime do rio Taquari	93
5.1.5	Regime hidrológico na bacia rio Itararé	95
5.1.6	Regime e períodos hidrológicos dos rios Cinzas e Laranjinha	96
5.1.7	O regime hidrológico na bacia do rio Tibagi	99
5.1.8	Regime do rio Pirapó	104
5.1.9	Regime dos rios afluentes da cabeceira do rio Paranapanema	105
5.1.10	Regime hidrológico do rio Paranapanema	109
5.2	Mapeamentos dos fluxos e períodos hidrológicos.	115
5.3	Sazonalidades das vazões na bacia do rio Paranapanema.	122
5.4	Características morfométricas no condicionamento dos regimes dos rios da bacia	131
5.5	Variabilidade climática na bacia do rio Paranapanema/Alto Paraná	135
5.5.1	Possíveis causas da variabilidade climática na bacia do rio Paranapanema/Alto Paraná	137
5.5.2	Alterações no uso do solo na bacia do rio Paranapanema	138
5.6	Relacionamentos entre variáveis	150
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	153
	REFERÊNCIAS	156
	BIBLIOGRAFIA	165
	APÊNDICES	173

1. INTRODUÇÃO

1.1 Considerações iniciais

A água serve de base estruturante para todas as atividades da vida, de sorte que as formas de apropriações e usos que a sociedade faz desse recurso têm reflexos de forma integrada para todos. O acesso à água por meio dos rios permitiu, ao longo da história, que diversas sociedades se desenvolvessem há medida que a ocupação das planícies aluviais possibilitava o uso (cultivo de terras férteis) e o aproveitamento da água para atividades humanas¹.

A diversificação dos usos múltiplos com o desenvolvimento econômico e social produziu inúmeras pressões sobre o ciclo hidrológico e sobre as reservas de águas superficiais e subterrâneas, ocasionando uma multiplicidade de impactos de diversas magnitudes, que exigem diferentes tipos de avaliações qualitativas e quantitativas, atreladas a um monitoramento em longo prazo (TUNDISI, 2005).

Assim, as crescentes demandas por água para diversos fins da sociedade constituem um desafio para o planejamento de recursos hídricos, seja no aspecto sua disponibilidade, seja pela qualidade da água para satisfazer as necessidades humanas. Alia-se a isso, ainda, outra característica inerente aos sistemas fluviais, que é a sua grande variabilidade temporal e espacial, a qual impõe limites à disponibilidade hídrica e à manutenção da diversidade ecológica.

Dessa forma, o entendimento da formação, constituição e dinâmica dos processos fluviais e regime hidrológico dos rios propicia aos gestores um melhor aproveitamento dos recursos hídricos, permitindo minimizar possíveis impactos de atividades antrópicas sobre os sistemas hídricos, assim como uma adequada avaliação do seu funcionamento e dinâmica (GUERRA; MARÇAL, 2006).

Nesse contexto, a bacia hidrográfica passa a ter grande importância nos estudos ambientais, por facultar um monitoramento de variáveis que compõem seu funcionamento. Para Cunha e Guerra (2000), a bacia hidrográfica é uma unidade integradora capaz de possibilitar a análise das dinâmicas e interações entre as variáveis ambientais e sociais que constituem a paisagem, sendo possível compreender os processos nela desenvolvidos e suas alterações, de modo a ensejar ações de planejamento aos desequilíbrios antrópicos, como, por exemplo, a regulação ou alterações na cobertura da terra, que desencadeiam processos ocorrentes em diferentes trechos e no regime do rio.

Considerando as diferentes formas de apropriação das vertentes e dos recursos hídricos, o comportamento hidrológico fluvial e as recentes ações públicas voltadas à conservação dos recursos hídricos, tendo como recorte espacial as bacias hidrográficas, este trabalho busca contribuir

¹ As “civilizações hidráulicas”, conforme citado por Drew (1994, p. 87), tiveram sua ascensão e subsequente queda conforme os usos e abusos das águas.

para um entendimento espaço-temporal dos regimes hidrológicos, nos rios da bacia hidrográfica do rio Paranapanema, a fim de subsidiar propostas e ações de planejamento e gerenciamento nesse espaço, assim como contribuir para os conhecimentos da sustentabilidade hídrica dos rios.

1.1.2 Área de estudos

A área de estudos compreende os principais rios da bacia do rio Paranapanema somada à bacia do rio Santo Anastácio e outros tributários, que drenam diretamente para o rio Paraná (Figura 01), totalizando uma área aproximada de 105.921 km², tendo uma população total de 4.625.552 habitantes. Dessa forma, o recorte geográfico abrange todas as unidades hidrográficas paranaenses e paulistas da bacia do rio Paranapanema, sendo incluída toda a Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI) do Pontal do Paranapanema.

A bacia do rio Paranapanema, no território paulista, compreende hidrograficamente, um conjunto de unidades e sub-bacias na margem direita do rio Paranapanema, cuja área abrange três Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI)² e respectivos comitês atuantes do Estado de São Paulo: Alto Paranapanema (UGRHI-14), Médio Paranapanema (UGRHI-17) e Pontal do Paranapanema (UGRHI-22). Na margem esquerda do rio Paranapanema, existem quatro unidades hidrográficas do Estado do Paraná³: Unidade Hidrográfica do Itararé, Cinzas, Paranapanema 1 e Paranapanema, a Unidade Hidrográfica do Tibagi e a Unidade Hidrográfica do Pirapó, do Paranapanema 3 e do Paranapanema 4 – neste, as unidades estão se consolidando nos seguintes comitês de bacia: Norte Pioneiro, Tibagi e Piraponema, respectivamente (Figura 01).

O rio Paranapanema constitui um dos principais afluentes da margem esquerda do alto curso do rio Paraná, sendo este considerado um rio federal, por fazer divisa e drenar uma área entre dois Estados (São Paulo e Paraná). Assim, a sistematização de informações hidrológicas desse rio compõe um importante instrumento para avaliação de sua dinâmica, sob um prisma de integração.

Historicamente o rio Paranapanema⁴, foi um dos principais canais que contribuíram para os levantamentos e estudos sobre ambiente no interior Paulista. Cabe lembrar que os primeiros

² Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos – UGRHI - são as divisões hidrográficas estabelecidas para as bacias hidrográficas no Estado de São Paulo, de acordo com a Lei n.º 9034/94 que permitem o gerenciamento descentralizado dos recursos hídricos.

³ A divisão das Unidades Hidrográficas do Estado do Paraná está descrita na Resolução nº. 49 do Conselho Estadual de Recursos Hídricos - CERH/PR, de 20 de dezembro de 2006, que define uma área cuja abrangência pode ser a bacia hidrográfica na sua totalidade, conjunto de bacias hidrográficas ou parte de bacias hidrográficas. Disponível em: <http://www.suderhsa.pr.gov.br/>. Acesso em: 21 ago. 2008.

⁴ O nome “Paranapanema” tem origem indígena, derivando das palavras Paraná: rio Grande; Panema: ruim, imprestável. Os índios exprimiam esse significado, porque, apesar de o rio ser caudaloso, não se prestava para a navegação, em virtude das corredeiras (LEFÉVRE, 1948).

levantamentos da Comissão Geográfica e Geológica⁵, nos rincões do Estado de São Paulo, foram realizados por meio da navegabilidade de trechos desse rio (ZOCCHI, 2002; COMISSÃO GEOGRÁFICA e GEOLÓGICA/SP, 2003).

Além do potencial hidráulico existente na bacia, ressaltam-se também os diversos usos agrícolas da bacia, em decorrência da diversidade de características ambientais e arranjos produtivos, com destaque para pastagens, culturas permanentes e anuais, como a cana-de-açúcar. Com o intuito de considerar todas essas variáveis integradoras da bacia do rio Paranapanema e refletir sobre seu relacionamento ao regime dos rios, ao longo do tempo, busca-se, com este estudo, contribuir para subsidiar as decisões para a bacia em questão.

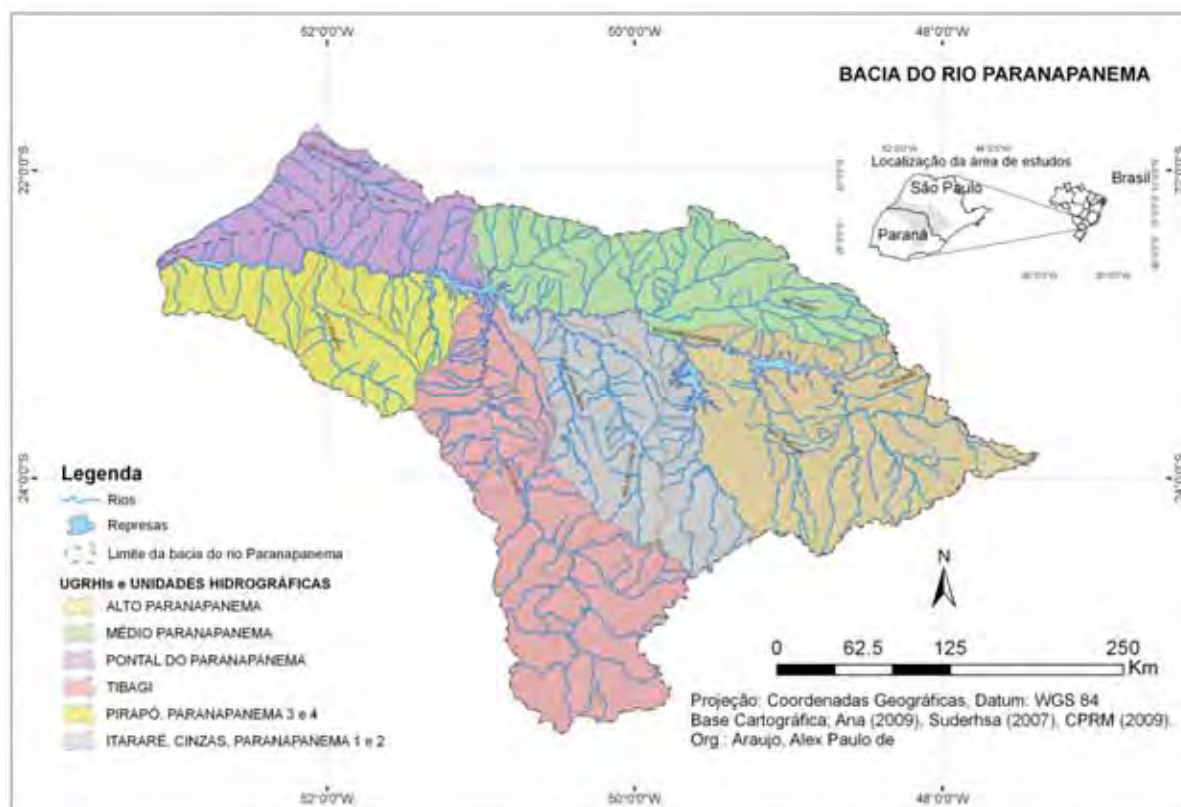


Figura 1. Localização da bacia hidrográfica do rio Paranapanema e Unidades de Gestão.

⁵ A primeira expedição exploratória no rio Paranapanema data de 1886, chefiada pelo engenheiro Teodoro Sampaio (COMISSÃO GEOGRÁFICA e GEOLÓGICA/SP, 2003).

1.2 Objetivos

Esta pesquisa tem como objetivo principal efetuar um diagnóstico espaço-temporal do regime hidrológico dos principais rios na bacia do Paranapanema, a partir da análise da série histórica de dados hidrológicos diários, obtidos dos postos fluviométricos existentes nessa bacia.

Para tanto, são definidos os seguintes objetivos específicos:

- Inventariar⁶ os dados fluviométricos diários (vazões) de estações fluviométricas com série histórica longa, na bacia do rio Paranapanema, disponibilizadas pela Agência Nacional de Águas (ANA), pelo Sistema de Informações para o Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo (SIGRH) e pelo Instituto das Águas do Paraná/Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental (SUDERHSA).

- Avaliar a *magnitude interanual das vazões* e a *periodicidade* dos regimes de cheia e vazante.

- Identificar os períodos hidrológicos nos diferentes setores da bacia hidrográfica;

- Mapear a magnitude das variações espaciais e temporais do fluxo na bacia hidrográfica e os diferentes períodos hidrológicos identificados (história hidrológica do fluxo dos rios);

- Contrapor e relacionar os resultados obtidos com os condicionantes morfométricos da bacia, o regime pluviométrico e as alterações históricas do uso e ocupação da bacia.

1.3 Justificativa

O regime hidrológico dos rios, com enfoque no entendimento das intensidades das alterações no regime de fluxo, é um assunto que vem sendo estudado recentemente. Nos trabalhos de Richter et al. (1997), Poff et al. (1997), Rocha (2002), Rocha, Comunello e Souza Filho (2003), há conteúdos que possibilitam a aplicação de novas técnicas para a caracterização do regime hidrológico dos rios, baseados na identificação da sua série histórica de dados fluviométricos e tendo como limiar a compreensão de sua variabilidade e das possíveis alterações no regime, em virtude das atividades antrópicas.

De acordo com Rocha (2002), as interações entre o homem e o ambiente podem promover alterações nos aspectos de intensidade e qualidade da relação precipitação-descargas, na bacia hidrográfica, tendo em vista

⁶ O inventário consiste em levantar, organizar, tratar e analisar os dados.

[...] que o desflorestamento, as práticas de uso da terra agrícola e urbana, a utilização da água do lençol freático para abastecimento e irrigação, além da construção de grandes barramentos para abastecimento e principalmente para geração de energia somados, geram um efeito bola-de-neve e tem contribuído para alterações no ciclo hidrológico e conseqüentemente no regime hidrológicos dos rios. Além deste, outros aspectos relacionados à drenagem entram em desequilíbrio, como os ecossistemas terrestre e aquáticos e a dinâmica erosivo-deposicional nas vertentes e nos canais fluviais. (ROCHA, 2002, p. 86).

Dentre os principais impactos diretos no meio fluvial estão os barramentos. Os impactos dos barramentos nos canais fluviais, para obtenção de águas para consumo, irrigação, regulação de estiagens, transposições e energia hidroelétrica, são as principais formas de controle e alterações do regime de fluxo dos rios. Geralmente, a forma de controle é refletida na diminuição da variabilidade do fluxo para jusante, elevando-se as vazões mínimas e diminuindo-se as vazões máximas. As mudanças na hidrologia dos rios são mais percebidas nos trechos médios e baixos, onde se encontram as planícies de inundação, e uma série de interações laterais se processa entre o canal e a planície adjacente (ROCHA; ROCHA, 2007), tornando o ambiente mais frágil ao controle de fluxo.

Dessa maneira, as ações antrópicas no conjunto da bacia hidrográfica do rio contribuem de forma sinérgica para as alterações na dinâmica fluvial; tais ações, expressas nas formas de uso e ocupação do solo em áreas urbanas e rurais e no aproveitamento desse recurso, têm intensificado os impactos e desajustes ao longo do curso dos rios (ARAÚJO, 2007, p.79).

Nesse sentido, os novos trabalhos da Geomorfologia Fluvial e de regime hidrológico dos rios e a visão integrativa para com os processos desenvolvidos nas suas bacias hidrográficas levam ao aprofundamento da compreensão das dinâmicas fluviais, a partir de uma visão específica da dinâmica da natureza dos canais fluviais, mas também com uma perspectiva geográfica das inter-relações com a dinâmica da sociedade, através do conceito de paisagem.

Para Suertegaray (2000), a paisagem é compreendida como um conceito que permite analisar o espaço geográfico sob uma dimensão da conjunção de elementos naturais/tecnificados, socioeconômicos e culturais. Tal conceituação leva ao entendimento da totalidade, da visão holística, conforme enfatizada por Santos (1996), abordando a *natureza do espaço*, sobre a sua análise, com vistas à compreensão dos objetos e relações como um todo ou totalidade.

Nessa perspectiva, é conhecido que os problemas ambientais decorrentes das práticas econômicas do último século, no Brasil, têm levado ao mau uso dos recursos naturais e sua degradação, de maneira que compreender a história dos diferentes usos (tempo) nos diferentes compartimentos físico-bióticos de uma área (espaço) e os fluxos de matéria e energia dessa relação é

fundamental para a análise da paisagem, como discutido por Ross (2006), acerca da análise integrada aplicada ao planejamento.

Essa análise considera como embasamento norteador que as sociedades humanas e os ambientes em que estas vivem fazem parte do sistema como um topo, visto que as interfaces entre atmosfera/litosfera é integrativa com o estrato geográfico⁷, e as progressivas alterações inseridas pelos humanos nos diferentes componentes afetam cada vez mais sua funcionalidade, de acordo com as fragilidades e potencialidades dos recursos naturais (ROSS, 2006, p. 54).

Dessa forma, a compreensão da dinâmica dos sistemas fluviais em termos qualitativos e quantitativos propicia um aprimoramento do relacionamento entre as práticas humanas e os recursos hídricos. Assim, os rios e suas bacias de drenagens/hidrográficas funcionam como uma variável importante para o estabelecimento e potencialidades na produção do espaço geográfico, seja como um limitador ou facilitador das atividades econômicas, seja para manutenção e integridade dos ecossistemas.

⁷ A ideia de “estrato geográfico”, explicitada por Grigoriev (1968, citado por ROSS, 2006), refere-se a uma estreita faixa compreendida entre a parte superior da litosfera e a baixa atmosfera, correspondendo ao ambiente onde é possível a vida. Nesse estrato, a humanidade se estabelece, integra e se relaciona com a natureza.

2. REFERENCIAIS TEÓRICO-METODOLÓGICOS

O rio, nesta pesquisa é concebido como um componente do relevo e da paisagem, apresentando-se em permanente interação com sua bacia hidrográfica, que atua e se ajusta, à medida que seu curso se desenvolve, na constituição de seu sistema hidrográfico.

A evolução das teorias geomorfológicas e suas linhagens epistemológicas apresentaram possibilidades de interpretação e explicação do modelado terrestre, em parte sob a atuação dos rios. A riqueza conceitual dessas abordagens certamente sedimentou os estudos em Geomorfologia Fluvial, que têm possibilitado avaliar as principais características dos rios e sua bacia hidrográfica.

A preocupação com o conhecimento teórico produzido, o resgate das matrizes dessa disciplina e as atuais formulações nos estudos com rios foram a preocupações deste capítulo. Por conseguinte, além de contextualizar as principais contribuições da Geomorfologia nos estudos com rios, os referenciais resgatados neste trabalho orientam a análise hidrológica. Apresentam-se também os principais conceitos que envolvem a dinâmica de escoamento fluvial na bacia hidrográfica, a variabilidade hidrológica, característica inerente à dinâmica dos ambientes fluviais.

2.1 O CONCEITO DE RIO E A CONTRIBUIÇÃO DA GEOMORFOLOGIA PARA O ENTENDIMENTO DA DINÂMICA FLUVIAL

Entendem-se como rios os cursos naturais de água, que, ao escoarem por canais bem definidos, executam seu trabalho de transportar, erodir e depositar durante seu trajeto, seja para outro rio, seja para lagos ou oceano.

A toponímia do que vem a ser um rio é diversa, sobretudo se observarmos os tamanhos dos cursos de água. Nos mapas e na identificação para as pessoas, os cursos de água aparecem com designações como córrego, ribeirão, riacho, arroio, rio e outros.

Segundo Suguio e Bigarella (1990), rio é o tronco principal de um sistema de drenagem confinada em um canal, o qual é alimentado pelas precipitações, fluxos do lençol subterrâneo que irão caracterizá-lo de acordo com seu fluxo de água no ano hidrológico⁸.

⁸ Os rios podem ter características de rios efêmeros, alimentados somente pelas águas das chuvas, rios intermitentes, que contêm águas das chuvas e do lençol freático, mas que, em certos períodos de estiagem, com rebaixamento do nível do freático, passam a ser subterrâneos; e, por fim os rios perenes, que apresentam águas em seu canal o ano todo, alimentados pelas águas das chuvas e pelo fluxo de base, constituindo um fluxo estável do canal (SUGUIO; BIGARELLA, 1990, p.3).

De acordo com Christofolletti (1980), o termo “rio” pode ser designado como o principal e maior elemento componente de uma bacia de drenagem. As águas correntes, ao escoarem pelos cursos de águas e se juntarem num canal principal, constituem o rio.

Para Tundisi e Tundisi (2008), os rios possuem duas características principais: a primeira é o permanente movimento horizontal das correntes, e a segunda é a interação com sua bacia hidrográfica, da qual há uma permanente contribuição de material alóctone.

A concepção geológica de rios, proposta por Suguio e Bigarella (1990), deve ser ampliada para seu melhor entendimento, visto que o rio não se restringe ao seu canal, mas avança pela sua planície, ocupada durante as enchentes, superando as margens plenas que são recorrentes, segundo Christofolletti (1981), a cada 1.58 anos, assim como as grandes inundações (100 anos).

Conforme Petts (2000), os rios podem ser considerados sistemas abertos, de estrutura tridimensional (longitudinal, lateral e vertical), caracterizados por processos hidrológicos, geomorfológicos e biológicos dinâmicos, em diferentes escalas de tempo.

A ideia que sintetiza rio como um sistema aberto, fortemente pulsátil, com expressões diferentes no espaço e no tempo do fluxo de energia e matéria, sendo que estes fluxos possuem caráter multidirecional e dinâmico, constitui uma adequada percepção para rios tropicais (SCHWARZBOLD, 2000).

O rio e sua hidrodinâmica, enquanto agente exógeno modelador do relevo, ganhou relevância para muitos estudos geomorfológicos, em especial, pela sua capacidade de esculpir e alterar paisagens, ao escoar e resultar em diferentes processos e formas fluviais.

O olhar para compreensão das formas da superfície terrestre é muito antiga, Leonardo da Vinci (1452-1519) e Bernard Palissy (1510-1590) foram alguns dos pensadores que testemunharam alguns mecanismos. O primeiro reconheceu “que cada vale foi escavado pelo seu rio, e a relação entre os vales é a mesma que entre os rios” e que os rios carregavam e depositavam matérias ao longo seus trajetos, enquanto o segundo estabeleceu relações básicas das forças internas e externas que atuam sobre o relevo (AMARAL, 1969; CHRISTOFOLETTI, 1972).

Nos trabalhos de Amaral (1969) e Christofolletti (1972), encontra-se um resgate dos principais autores que contribuíram para a sedimentação da ciência geomorfológica, de que destacamos o trabalho de James Hutton (1726-1797), um dos primeiros fluvialistas a estudar a história natural da Terra, a partir de concepções do atualismo; Powell (1876), com estudos sobre ação fluvial; e John Playfair (1748-1819), com as primeiras análises em rede de drenagens.

Abreu (2003) elaborou um quadro sobre a edificação das teorias Geomorfológicas (Figura 02), apontando os principais autores e teorias desenvolvidas na história da Geomorfologia. Apresentam-se alguns autores que trabalharam com estudos em rios, na proposição de suas teorias.

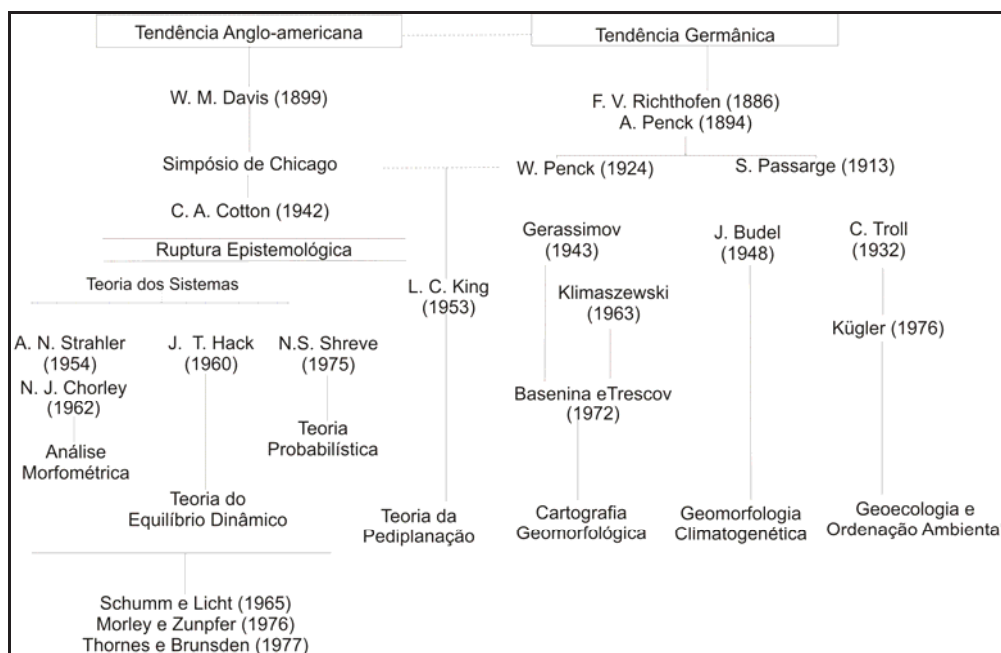


Figura 02. Filogenese da teoria geomorfológica - quadro reduzido

Fonte: (ABREU, p. 61, 2003).

Modificado por: Araujo, Alex Paulo de – 04 de janeiro de 2009.

Essa tentativa não aprofunda todas as abordagens clássicas (estruturais e climáticas) de análise do relevo, porém, realiza estudos os quais se detiveram na análise as dinâmicas dos canais fluviais, de sorte que se procurou dialogar com alguns autores que, inegavelmente, influenciaram e estabeleceram as teorias geomorfológicas dessa disciplina.

2.1.2 Os estudos de Davis

Inicialmente, não é possível negar a influência dos trabalhos de Davis⁹ com o Ciclo Geográfico nos estudos geomorfológicos, presença que foi tamanha, de maneira que algumas contribuições de autores contemporâneos a Davis foram ignoradas, durante certo tempo¹⁰. A base da teoria davisiana está relacionada à análise do rio como agente de esculturação das paisagens¹¹.

Para Davis, a evolução do relevo é resultado de um ciclo de erosão, compreendendo um conjunto de fases (juventude, maturidade e senilidade), que, depois de um período

⁹ O trabalho original de W. M. Davis intitula-se *The Geographical Cycle*, publicado primeiramente em *Geographical Journal Of The Royal Geographical Society*, 14, p 481-504, em 1899.

¹⁰ Grove Karl Gilbert realizou as primeiras tentativas do estudo qualitativo das relações entre a carga, o volume e a velocidade e o declive de um rio, contudo, suas contribuições não tiveram a mesma orientação nos trabalhos geomorfológicos como as W. M. Davis.

¹¹ A influência do referencial teórico de Davis na Geomorfologia brasileira está presente em muitos trabalhos publicados até a metade do século XX; a título de exemplo, destaca-se o eminente trabalho de Moraes Rego (1946) sobre a gênese da geomorfologia do Estado de São Paulo.

de soerguimento, começa a se desenvolver de forma cíclica; essas formas de relevo estão relacionadas às características dos rios, que transportam os materiais mobilizados pela gravidade nas encostas.

Nas palavras de Davis:

Una forma de relieve joven presenta canales de erosión torrencial también jóvenes, mientras que un relieve viejo ha de tener viejos cursos de agua con lenta e incluso imperceptible corriente... (DAVIS, 1982, p. 181).

Penteado (1983) sintetiza as três fases do ciclo, apontando o relacionamento com os rios: 1) Juventude - com o relevo soerguido, os rios cavam seus vales, a erosão se propaga da foz para a montante (erosão regresiva) e há predomínio da erosão linear. 2) Maturidade – o perfil de equilíbrio dos rios e a vertente torna-se regularizado. Os vales começam a se alargar e a declividade das encostas diminui. A capturas de drenagem e o relevo se suavizam. 3) Senilidade – último estágio erosivo. A evolução do perfil longitudinal é mais lenta que das vertentes. Os rios deixam de escavar, apenas transportam e depositam. O relevo apresentam superfícies aplainadas (*peneplano*), restando apenas relevos residuais (*monadnoks*) (Figura 03).

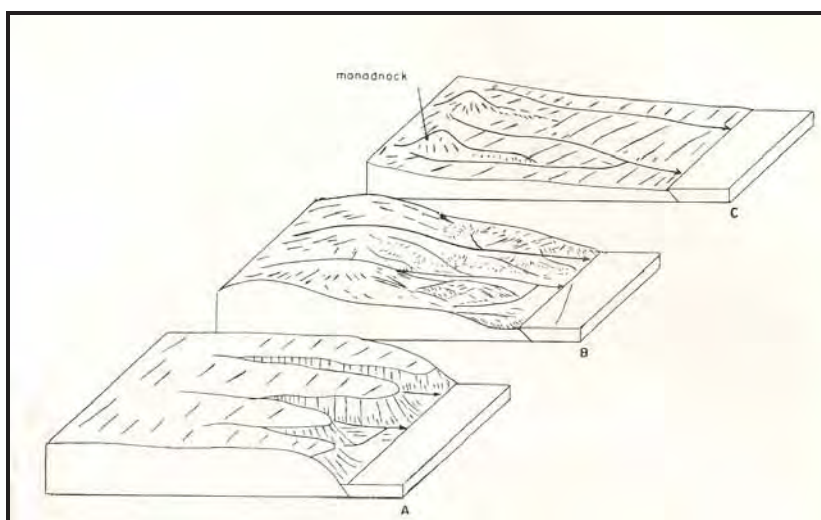


Figura 03. Representação esquemática do ciclo da erosão de Davis, proposto por Penteado.
Fonte: Penteado (1983, p 95).

Algumas das refutações da teoria de Davis referem-se às suas pressuposições sobre a gênese de soerguimento do relevo, no seu ciclo, assim como à importância dada à magnitude da tectônica, num determinado tempo, para explicar os movimentos ascensionais instantâneos em relação à taxa de erosão. Foi uma das primeiras hipóteses questionadas nos trabalhos de Penck e

Hack. A concepção cíclica de Davis de um sistema fechado desconsiderou a própria dinâmica dos processos geomórficos, na evolução do relevo.

2.1.3 O sistema de Penck

As concepções teóricas propostas por Penck, como crítica à teoria de Davis, procuram evidenciar a linearidade do modelo de Davis de evolução do modelado terrestre. Para Penck, o relevo evolui como resultado da atuação de forças denudacionais e de emersão, ou seja, o relevo é resultante do balanço entre forças endógenas e exógenas, as quais atuam sobre o modelado terrestre. Em suma, para Penck, o resultado das formas evolutivas é consequência da velocidade de soerguimento da estrutura e dos processos de entalhamento (erosão).

O esquema proposto por Casseti (2005) visa a demonstrar as formas propostas de evolução do relevo, segundo Penck e Davis. Para esse autor Davis afirmava que o relevo evoluía de cima para baixo (*wearing-down*, Figura. 04 - B), mas Penck acreditava no recuo paralelo das vertentes (*wearing-back*, ou desgaste lateral da vertente, Figura. 04 - A), constituindo-se no modelo aceito para o entendimento da evolução morfológica.

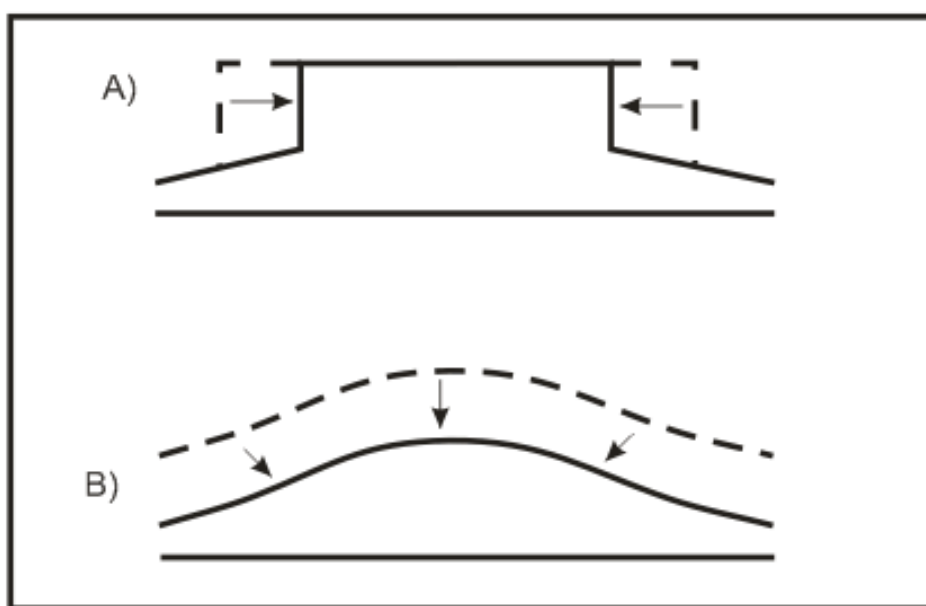


Figura 04. Modelo de evolução do relevo: A) modelo Penck B;) Modelo de Davis.
Fonte: Casseti (2005).

De acordo com Casseti (2005), as formulações teóricas de Penck colaboraram para uma ruptura epistemológica da linhagem da escola anglo-americana, adepta das ideias consagradas de Davis, até a época da Segunda Guerra Mundial.

2.1.4 A teoria do equilíbrio dinâmico de Hack

Hack, em seu trabalho publicado em 1960¹², vai expor as bases da *Teoria do Equilíbrio*, conhecida no Brasil como *Teoria do Equilíbrio Dinâmico*, que procurou confrontar a teoria davisiana. Para Hack, a evolução do relevo é resultado dos processos endógenos e exógenos existentes na paisagem, que se ajustam ao longo do espaço.

A paisagem e os processos que a moldam são considerados como parte de um sistema aberto num estado estável (steadystate) de equilíbrio, no qual cada vertente e cada forma está ajustada a todas as outras. (HACK, 1972, p. 5).

A base teórica que influenciou as concepções e formulações dos trabalhos de Hack é a teoria dos sistemas e a retomada de algumas das contribuições teóricas dos trabalhos de G. K. Gilbert¹³, que aponta os ajustamentos dinâmicos dos mecanismos de erosão na evolução do relevo.

Hack (1972) salienta que as formas podem mudar somente se a energia no sistema se alterar. Caso a energia erosiva se modifique no tempo, as formas também mudam, de maneira que a transformação da paisagem é resultado do balanço existente no sistema, com suas variáveis existentes no espaço.

O estado de estabilidade representa o funcionamento do sistema, no momento em que todas as variáveis estão ajustadas em função da quantidade e variabilidade de energia que lhe é fornecida. Assim se houver alteração de energia, o sistema reagirá às modificações e se desenvolverá até alcançar novo estado de estabilidade (CHRISTOFOLETTI, 1980).

As concepções da teoria do sistema nas formulações de Hack tem, como uma de suas bases, a ideia de que sistema é um modelo para compreensão dos fenômenos naturais, caracterizado por sua composição, organização e fluxo de energia e massa dos seus constituintes (HOWARD, 1973).

2.1.5 A concepções de rio equilibrado

A ideia de “equilíbrio” aplicado à análise dos rios possui vários significados, em virtude dos diversos referenciais e proposições dos autores. A utilização do termo “perfil de equilíbrio”, inicialmente, foi empregada por Gilbert, ao discutir a inclinação estável do canal fluvial (HACK, 1972).

¹² Trabalho publicado originalmente na revista *American Journal of Science*, sob o título *Interpretation of erosional topography in humid temperate regions* v. 258-A, p.80-97, 1960.

¹³ Gilbert realizou as primeiras tentativas do estudo qualitativo das relações entre a carga, o volume e a velocidade e o declive de um rio.

No entanto, a noção de evolução do perfil longitudinal dos rios, a partir da ideia do rio equilibrado (*graded*)¹⁴, foi umas das proposições-chave empregada por Davis.

Para Davis, a condição de equilíbrio ocorre quando há um ajuste entre a erosão e a sedimentação, condição que é atingida de forma contínua, com a alteração de gradientes (declividade) do rio, consequentemente, o balanço entre a capacidade e a competência do rio, ao longo de seu curso.

Mackin (1948, apud CHORLEY, 1971) entende que um rio equilibrado (*graded*) é um sistema em equilíbrio, e o seu diagnóstico característico é que qualquer alteração, em qualquer um dos fatores controlantes, causará em um determinado tempo um deslocamento do equilíbrio numa direção que tenderá a absorver o efeito da alteração.

Segundo Christofolletti (1980), na teoria dos sistemas aplicada aos estudos geomorfológicos, a partir de 1950, empregou-se o conceito de estado de estabilidade/estado de equilíbrio (*steady state*) em sistemas abertos para estudos da dinâmica fluvial.

O estado de estabilidade é atingido quando há equacionamento entre a importação e exportação de energia e matéria através do sistema, exprimindo-se por meio de ajustagem das formas do próprio sistema (sistema auto-regulador). [...] o estado de estabilidade é atingido e mantido pela interação mútua das características do canal, tais como declividade, forma do perfil transversal, rugosidade e padrão do canal. (CHRISTOFOLLETTI, 1980, p 98-99).

Conforme Hack (1972), a evolução do perfil longitudinal dos rios, côncavo para o céu, caracterizando um perfil de equilíbrio, deve ser entendido com base em um ajustamento de variáveis, como diferenças litológicas das rochas em trechos dos rios. Assim, de acordo com Hack, a ideia proposta de *quase equilíbrio*, preconizada por Leopold e Maddock (1953), para avaliação dos rios, parece ser a mais adequada para a compreensão da dinâmica dos rios.

O curso do desenvolvimento da Geomorfologia e suas especialidades, somado à crítica da teoria de Davis, levaram à procura de um novo paradigma para as pesquisas geomorfológicas na escola anglo-americana, após os anos 1950, busca que aconteceu com a incorporação e a aplicação da quantificação nos estudos, com a valoração das relações espaciais e processuais, em detrimento das análises temporais. Para Abreu (2003), nessa época, valorizavam-se a análise espacial e o estudo das bacias de drenagem.

O resgate histórico apresentado constitui um apreço à evolução das investigações sobre a Geomorfologia e os rios. A seguir, são explicitadas algumas atuais teorias e conceitos acerca da dinâmica dos rios.

¹⁴ O termo "grade" tem significação de graduar, ajustar, regular. Representa a busca do equilíbrio, por exemplo, uma declividade regular (CHORLEY, 1971).

2.2 ABORDAGENS ECOLÓGICAS SOBRE OS RIOS

Na última metade do século XX, novas abordagens sob uma perspectiva ecológica dos ambientes fluviais ganharam força nas investigações sobre a dinâmica fluvial, sobretudo na busca do entendimento dos relacionamentos existentes nos sistemas fluviais (ambientes lóticos e lênticos), como a interações rio-planície de inundação e seus significados para a manutenção da integridade ecológica.

A abordagem ecológica para compreender a dinâmica fluvial, sua organização e funcionamento parte das dimensões citadas por Petts (2000) e propostas inicialmente por Ward (1989)¹⁵, com base em uma visão holística os sistemas fluviais, sublinhando que as quatro dimensões (longitudinal, lateral, vertical e temporal) somadas ajudam a entender os sistemas fluviais. A primeira dimensão da interação do fluxo é seu componente longitudinal, ou seja, o rio, de sua nascente à foz, tem desenvolvimento de diversas características em virtude do gradiente, das condições do fluxo e das condições resultantes do seu trabalho de erodir, transportar e depositar. O fluxo revela, como característica principal, ter um movimento unidirecional, o que condiciona os outros componentes.

A segunda dimensão, lateral, refere-se às interações do fluxo entre o canal, sua planície de inundação e vertentes. A diversidade de ambientes, durante as inundações dos rios e interações entre rio-planície, na ciclagem de nutrientes, são os principais meios para desenvolvimento da vida biológica, conforme apontado por Ward (1989).

A dimensão vertical corresponde à interação entre o rio, a planície de inundação e o aquífero subterrâneo. Ward (1989) aponta uma significativa troca entre águas superficiais e subterrâneas existentes nos rios, principalmente em determinados níveis hidrológicos. Rocha e Rocha (2007) assinalam o *efeito esponja* das planícies aluviais. Para esses autores, os ressecamentos dos ambientes aquáticos e transicionais entre o intervalo de tempo entre duas cheias, ou duas vazantes, irão variar conforme a capacidade de armazenamento dos depósitos, dada principalmente pela composição sedimentar e influenciada pela orientação estratigráfica dos mesmos.

Por fim, a dimensão temporal remete aos períodos em que determinados processos dinâmicos atuam sobre sistemas fluviais e ecológicos, provocando alterações temporárias, nas condições ambientais.

O entendimento dessas dimensões tem permitido aos estudos em rios tropicais uma adequada análise dos sistemas fluviais, em especial por suas inter-relações. Cabe lembrar que,

¹⁵ O trabalho de Ward (1989), *The four-dimensional nature of lotic ecosystems*, foi publicado no periódico *Journal of the North American Benthological Society*. v. 8, n. 1, mar., p. 2-8.

diante da diversidade de ambientes, cada teoria ecológica tem sua contribuição para uma adequada avaliação dos rios. Neste estudo, destaca-se a dimensão longitudinal, baseada no conceito de contínuo fluvial, e a dimensão lateral, concebida como os pulsos.

2.2.1 O conceito de contínuo do rio (*continuum*)

O componente longitudinal da interação do fluxo, proposto por Vannote et al. (1980), com a ideia de continuidade dos rios ou *River Continuum Concept* (RCC), fundamenta-se no conceito de contínuo fluvial/geomorfológico proposto por Leopold Wolman (1957), para quem a forma dos padrões de canais dos rios é resultante de um contínuo ao longo do seu desenvolvimento, resultante de mútuas variáveis, como o gradiente e sua carga sedimentar.

Nessa perspectiva, Vannote et al. (1980) propõem que os rios temperados da sua cabeceira à foz produzem matéria e energia diferentes, de modo que essas características físicas (gradiente) criam longitudinalmente condições para desenvolvimentos ecológicos diferentes, resultando num ajuste dos organismos às diferentes condições dos trechos dos rios. Nesse sentido, o transporte de matéria, a geometria do canal e fluxos propiciam fortes condições aos habitats dos organismos.

O conceito de contínuo possibilita uma hierarquia de ocorrência de processos e organização dos organismos, que podem ser relacionados à ordem dos rios. No trecho de cabeceira (baixa ordem), o componente declividade tem um peso significativo em virtude do transporte material grosseiro e aporte de matéria orgânica dependente apenas na vegetação ripária, enquanto, no baixo curso, há o acúmulo de volume de material (sedimentos/matéria orgânica) e processos, caracterizando outro ambiente nesse rio.

Para explicar outras relações ambientais presentes ao longo dos rios, Ward e Stanford (1993) propuseram o conceito de descontinuidade fluvial, enfatizando que, ao longo dos rios, as planícies e, sobretudo, os barramentos modificam a continuidade fluvial. A construção de barragens/reservatórios altera os rios a montante e a jusante das barragens, seja na carga de sedimentos, seja na regulação dos fluxos e pulsos.

Nos rios Paranapanema e Paraná, as inúmeras barragens presentes na bacia alteram a continuidade dos rios, a frequência e a intensidade dos pulsos; as alterações no rio Paraná, por causa das barragens, são apontadas, por exemplo, no estudo de Rocha (2002).

2.2.2 O conceito de pulsos

Recentemente, alguns autores, ao avaliar a dinâmica hidrológica dos regimes dos rios e sua relação nos ambientes fluviais, principalmente rios com planície de inundação (grandes rios

tropicais), elaboraram conceitos que relacionassem a diversidade de áreas e interações existentes nos sistemas rio-planície de inundação, a biota e seu regime de descargas.

Inicialmente, Junk et al. (1989) apresentaram o conceito do pulso de inundação (FPC, *Flood Pulse Concept*). Esses autores ressaltam que as oscilações (pulsões) nos regimes de descargas e níveis d'água é a principal força que regula os processos e vias de interação entre o rio e a planície de inundação. Diferentemente do conceito de rio contínuo, para Junk e Silva (1999), o intercâmbio lateral, a ciclagem de nutrientes com a planície de inundação é mais importante para a biota do que fluxo longitudinal de matéria orgânica.

Conforme Junk e Silva (1999), as inundações periódicas resultam em mudanças drásticas nas condições ambientais dos *habitats*, de maneira que os principais processos biológicos realizados dentro na planície inundável se acoplam ou desacoplam com o rio e a terra firme circundante, de acordo com o pulso de inundação.

Nos grandes rios com planície de inundação, as oscilações de nível de água, ao ultrapassar o estágio das margens plenas, provocam um espraiamento das áreas alagáveis. Essas áreas periodicamente inundáveis e secas representam uma grande diversidade de feições terrestres e *habitats* que Junk et al. (1989) classificaram como Zona de Transição Aquática Terrestre (Aquatic Terrestrial Transition Zone ATTZ), ocupadas por diferentes tipos de vegetação e circundadas por ambientes aquáticos perenes, como canais, lagoas, áreas pantanosas.

Para Casco, Neiff e Neiff (2005), a partir dos anos sessenta, tem-se reconhecido o papel das flutuações hidrométricas dos rios como macrofator para explicar a diversidade, abundância e riqueza os de organismos que vivem em rios e planície de inundação. Porém, apenas recentemente têm sido publicados estudos focando os relacionamentos entre a variabilidade hidrológica, as transformações na paisagem e o sistema biótico.

A abordagem da dinâmica hidrológica dos pulsos em rios está presente no trabalho de Neiff (1990), autor que propõe a ideia de *Regime Hidrossedimentológico ou Pulso de Energia e Matéria* – ou simplesmente *Pulso* – para interpretação mais apropriada dos rios da bacia do Prata. Para Neiff (1990), nos grandes rios, como o rio Paraná, as variáveis fundamentais que definem seu sistema são o caudais de energia e matéria que o rio transporta, ao longo do seu perfil, ou trechos da bacia, nas suas fases de inundação e seca. Em vista da heterogeneidade interna existente na bacia desses grandes rios, o regime pulsátil também se complexifica pelas diferentes origens das águas e sedimentos, todavia, as regulações, interações e ajustamentos constituem um *macrosistema fluvial*.

Para compreender o comportamento pulsátil dos rios sob uma perspectiva escalar, Neiff (1990) elege a avaliação dos atributos hidrossedimentológicos como a frequência¹⁶, intensidade¹⁷, tensão¹⁸, recorrência¹⁹, amplitude ou duração do pulso²⁰ e estacionalidade²¹.

Os estudos com pulsos hidrológicos aludem a grandezas escalares temporais e espaciais de inundação e secas, durante o ano hidrológico, de acordo com as características dos rios e suas bacias. O rio Amazonas, por exemplo, possui dois pulsos distintos ao longo do ano: a fase de águas baixas e de águas altas, ao passo que, em rios como Alto Paraná e Paranapanema, durante o período de águas altas, os pulsos são irregulares, sendo possível identificar vários pulsos no ano hidrológico, de ordem e respostas no sistema fluvial distintas. Rocha (2002) identificou que, em virtude da regulação dos barramentos, os pulsos de mínimos dos fluxos simplesmente deixaram de ocorrer no Alto rio Paraná, após a década de 1970.

2.3 DINÂMICA E REGIME DOS RIOS

2.3.1 Dinâmica de escoamento

O escoamento das águas nos rios é parte integrante do ciclo hidrológico²² (Figura 05), que é alimentado por escoamentos superficiais, subsuperficiais e fluxos subterrâneos profundos (CHRISTOFOLETTI, 1981; SUGUIO; BIGARELLA, 1990). O escoamento superficial e subsuperficial compreendem, portanto, a quantidade total de água que atinge os cursos d'águas, incluindo o escoamento pluvial, que é imediato, e a parcela de água precipitada que, posteriormente, irá se juntar a eles, através da infiltração. Já a água subterrânea constitui o fluxo de base dos canais fluviais e mantém o escoamento, durante o período de vazante (CHRISTOFOLETTI, 1976). Desse modo, as águas, para alcançar um rio, percorrem um complexo caminho, lento e rápido, de acordo com o ambiente.

¹⁶ O atributo "frequência" refere-se ao número de vezes que ocorre um determinado fenômeno, por uma unidade de tempo (NEIFF; MALVÁREZ, 2002).

¹⁷ Para Neiff e Malvárez (2002), intensidade é a magnitude alcançada de determinada fase de pulso (inundação ou seca).

¹⁸ O atributo "tensão" expressa o valores de desvio-padrão das médias máximas e mínimas da curva hidrométrica (NEIFF; MALVÁREZ, 2002).

¹⁹ Corresponde à probabilidade de um evento de inundação ou seca ocorrer num século ou milênio (NEIFF; MALVÁREZ, 2002).

²⁰ Expressa o tempo que permanece determinada condição de fluxo/magnitude (NEIFF; MALVÁREZ, 2002).

²¹ Conforme Neiff e Malvárez (2002), a função estacionalidade refere-se à frequência estacional de determinada inundação ou seca.

²² A circulação global da água na terra é resultado de sistemas dinâmicos e não-lineares, em virtude de que o ciclo hidrológico engloba a superfície terrestre, a atmosfera, os movimentos da terra e principalmente o balanço energético solar. Em escala global, o ciclo hidrológico caracteriza-se pelo intercâmbio de circulações que ocorre em dois sentidos: no sentido superfície-atmosfera, onde o fluxo de água acontece fundamentalmente na forma de vapor, e no sentido atmosfera-superfície, onde a transferência mais comum é na forma de água/neve (SILVEIRA, 1997; TUCCI, 2006).

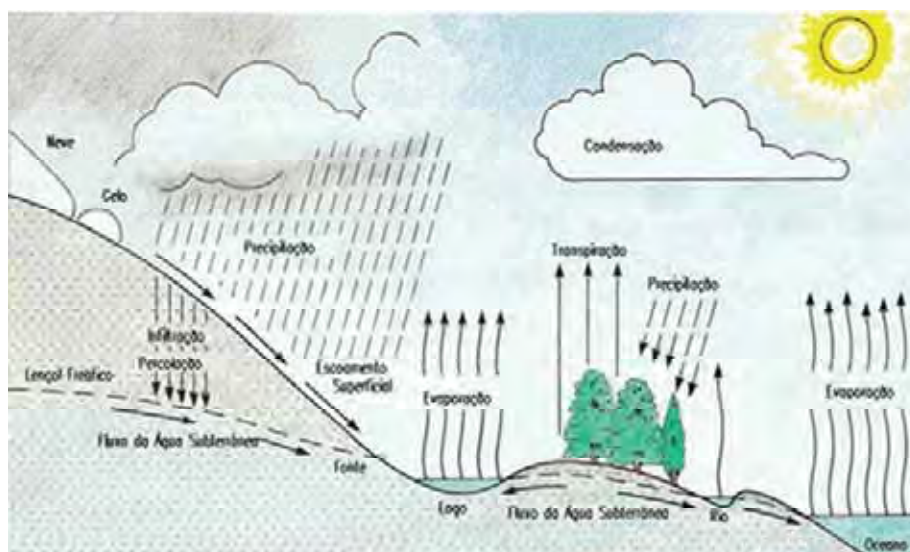


Figura 05. Circulação global da água – fases do ciclo hidrológico
 Fonte: Tucci, Mendes (2006)

Segundo Tucci (2006), os processos hidrológicos na bacia hidrográfica que regem os fluxos possuem duas direções – uma vertical e uma horizontal. A vertical é representada pelos processos de precipitação, evapotranspiração, umidade e fluxo no solo, enquanto o longitudinal é controlado e direcionado pelos gradientes da superfície, para o escoamento superficial, e do subsolo, para o escoamento subterrâneo.

Sob um ponto de vista geomorfológico, as águas, ao escoarem sobre o meio físico, formam a bacia de drenagem/hidrográfica²³. Nos estudos hidrológicos, a adoção da bacia hidrográfica como unidade de estudo permite o estabelecimento do balanço de energia existente na bacia. Desconsiderando as perdas pela evapotranspiração e a infiltração, as águas que chegam diretamente aos rios é resultado da entrega *input* (precipitação) e a sua saída (*output*) pelo *runoff* da bacia.

A compreensão da dinâmica das águas engloba as variáveis ambientais que influenciam o escoamento, como características do sítio (topografia, geologia e solos), condições climáticas, cobertura vegetal e grandezas morfométricas. Todas essas condições combinam para a gênese do hidrograma de escoamento, uma vez que tais variáveis implicam a explicação do tempo necessário para uma água percorrer um espaço, que não é necessariamente o mesmo, em virtude dos

²³ A bacia hidrográfica é uma área definida topograficamente, drenada por um curso d'água ou um sistema conectado de cursos d'água tal que toda vazão efluente seja descarregada através de uma simples saída (VILLELA; MATTOS, 1975, p. 6).

efeitos de translação²⁴ e armazenamento²⁵. Essa heterogeneidade de elementos conduz a uma diversidade de processos e escalas, que pode ir da vertente a bacias de pequena ordem e a grandes bacias.

Nas Figuras 06 e 07, apresentam-se alguns meios de escoamento que alimentam os rios, em seu curso, e compõem o ciclo hidrológico. A Figura 06, proposta por Coelho Netto (1994) representa os fluxos das encostas para os fundos de vale, e a Figura 07, os fluxos superficiais e subsuperficiais propostas por Knighton (1984).

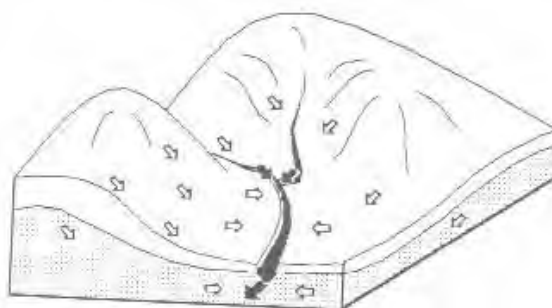


Figura 06. Modelo representativo dos sentidos e convergências dos fluxos em encostas para fundos de vales. Fonte: Coelho Netto (1994, p. 94).

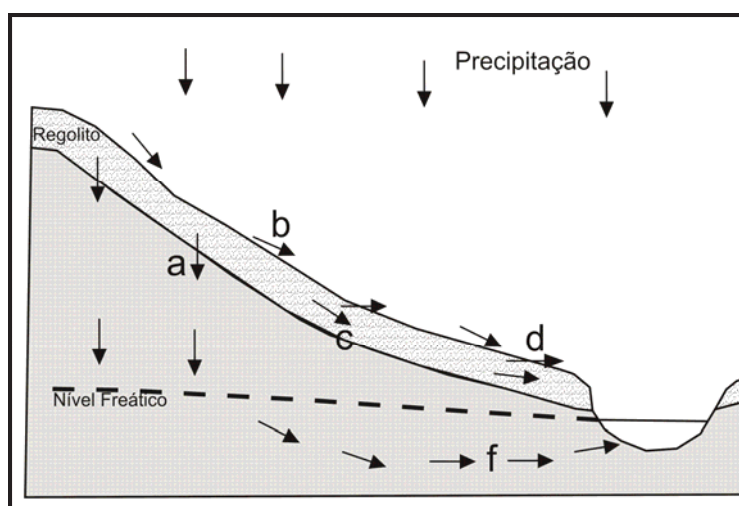


Figura 07. Modelo representativo de rotas de fluxos de água nas vertentes em superfície e subsuperfície. a) infiltração; b) escoamento superficial; c) escoamento subsuperficial; d) ressurgência por saturação; f) fluxo subterrâneo. Fonte: Knighton (1984)

²⁴ O efeito de translação refere-se ao escalonamento da lâmina d'água precipitada sobre uma área da bacia para uma área de maior a jusante, que normalmente reproduz um efeito de "espalhamento" das vazões, ao longo do tempo (SILVEIRA, 1997).

²⁵ O fenômeno de armazenamento, entendido numa bacia hidrográfica, é observado no abatimento das ondas de cheias, visto que a geometria do canal pode armazenar os volumes das águas maiores, distribuindo o escoamento no tempo (SILVEIRA, 1997).

2.3.2 O regime dos rios

O fluxo do rio pode ser concebido como um sistema que compõe o ciclo hidrológico, e que pode ser analisado pela variabilidade de vazões²⁶ mínimas e máximas e pelos níveis de água. Para Tricart (1960), o regime de um rio se define como as variações de sua descarga, ao longo do ano.

No entanto, o fluxo natural de um rio varia conforme a escala de tempo avaliada, na ordem de horas, dias, estações do ano, anos e assim por diante. Contudo, muitos anos de observação em uma estação fluviométrica geralmente são necessários para se descrever as características do padrão de fluxo de um rio, em termos de quantidade, periodicidade e sua variabilidade. Em bacias hidrográficas que carecem de dados hidrológicos de longa série, as análises podem ser estendidas estatisticamente, a partir de outra estação localizada na mesma área geográfica (POFF et al., 1997; ROCHA, 2002).

Os padrões dos fluxos, quanto a sua estacionalidade e sazonalidade, dependem das interações entre o rio, a bacia hidrográfica e o clima regional. Para Tucci (2002), a variabilidade hidrológica é decorrência da combinação de vários fatores, como: condições climáticas de precipitação, evapotranspiração, radiação solar, entre outros; geologia, geomorfologia e solos, cobertura vegetal e uso do solo; e ações antrópicas sobre o sistema fluvial.

Essas variáveis hidrológicas que se descrevem ao longo do tempo, segundo Tucci (2002), possuem um comportamento estocástico, de maneira que é importante a análise dessas informações que compõem o sistema hídrico.

Tendo em vista a necessidade de estabelecer um entendimento da variabilidade hidrológica para manter a integridade dos sistemas ecológicos nos rios, a partir de um regime natural, Poff et al. (1997) e Richter et al. (1997) prescreveram alguns componentes para a compreensão do regime dos rios.

De acordo com Poff et al. (1997), de sorte a entender o regime natural do rio, deve-se avaliar cinco componentes-chave:

- *Varição de magnitude*: a magnitude do fluxo é compreendida como o conteúdo de água em movimento que passa por um local fixo, por unidade de tempo (POFF et al., 1997). A magnitude pode referir-se tanto à descarga absoluta quanto à relativa. Máximas e mínimas magnitudes de fluxo variam entre os rios, conforme o clima e o tamanho das suas bacias (ROCHA, 2002).
- *A taxa de mudança*: relativa à velocidade com que o fluxo muda de uma magnitude a outra (POFF et al., 1997).

²⁶ A vazão de um rio, descargas ou débitos referem-se à quantidade de água que passa através de determinada seção transversal, por unidade de tempo (CHRISTOFOLETTI, 1981, p.54).

- *Duração*: é o período de tempo associado com uma condição específica de fluxo (POFF et al., 1997). A duração pode ser definida com relação a um particular evento de fluxo ou por um específico período de tempo, quando níveis superiores ou inferiores a determinado fluxo passam a ocorrer, por exemplo, número de dias no ano em que o fluxo excede certo valor (ROCHA, 2002).
- *Frequência*: representa um fluxo de certa magnitude que acontece ao longo de um específico intervalo de tempo (POFF et al., 1997). A frequência de ocorrência é inversamente relacionada à magnitude do fluxo (ROCHA, 2002).
- *Periodicidade (ou previsibilidade)*: define-se como a regularidade com que determinada magnitude ocorre. Tal regularidade pode ser fixada formalmente, informalmente e com referência a diferentes escalas de tempo; se houver uma permanência do fluxo, a previsibilidade aumenta (POFF et al., 1997).

Para Richter et al. (1997), a preocupação com o regime de fluxos dos rios fez com que diversos métodos e procedimentos para sua avaliação hidrológica fossem estabelecidos e aplicados, como, por exemplo, a utilização da variabilidade média anual do fluxo para se prescrever as taxas de fluxos ecologicamente importantes. Outros assumem, como fator importante de análise determinados fluxos do regime hidrológico do rio, as variáveis baixos fluxos, médios fluxos e altos fluxos, cuja função é facilitar o estudo sobre as características do regime natural do rio.

Tais métodos falham na abrangência das variáveis hidrológicas usadas como "indicadores" do regime de fluxo nos rios, como na *periodicidade* de determinados fluxos ou na *duração* de ocorrência de determinada magnitude de fluxo (RICHTER et al., 1997).

A fim de representar os cinco componentes do regime natural prescritos por Poff et al. (1997), Richter et al. (1997) desenvolveram um método para prescrever vazões de referência, chamado Índices de Alterações Hidrológicas (IAH), que se concentrou na identificação de 32 índices (Tabela 01) para avaliar a características do regime dos rios. No trabalho inicial de Rocha (2002), foram avaliados os cinco índices de alterações hidrológicas (IAH), propostos por Poff et al. (1997): *magnitude do fluxo*, *periodicidade*, *frequência*, *duração* e *taxa de mudança do fluxo*.

Tabela 01. Parâmetros hidrológicos usados pelo método IAH

IAH – Grupos de índices	Características do regime	Parâmetro hidrológico	Nº de índices
Magnitude dos débitos mensais	Magnitude temporal	Média mensal de vazão de cada mês do ano.	12
Magnitude e duração dos eventos – vazões extremas – anual	Duração /magnitude	Vazão máxima e mínima anual (1 dia, 3 dias, 7 dias, 30 dias, e 90 dias).	10
Periodicidade dos eventos extremos anuais	Periodicidade	Dia Juliano de cada valor de vazão máxima e mínima	2
Frequência e duração dos pulsos dos débitos altos e baixos	Frequência /duração	Número de pulso (altos e baixos) no alto; duração média dos eventos (cheia/secas)	4
Taxa/frequência de mudança da condição do fluxo	Taxa de mudança /frequência	Médias da diferença positivas em dias consecutivos; Médias da diferença negativas em dias consecutivos; número de subidas; números de decididas.	4

Fonte: Richter et al. (1997)

Nos estudos de Rocha (2002) e Rocha, Comunello e Souza Filho (2003), esses autores apontam as alterações hidrológicas do rio Paraná, tendo destacado que os barramentos existentes na sua bacia foram os principais reguladores do regime de fluxo deste rio. As magnitudes e duração do regime de fluxo, segundo tais autores, podem representar tanto os efeitos de regulação imposta pelos reservatórios, ou seja, elevação dos débitos mínimos e diminuição dos máximos, quanto os efeitos da elevação dos débitos médios do rio, ao longo do período regulado. Esse aumento, por sua vez, pode estar relacionado com o aumento da precipitação na bacia e/ou alterações nas etapas do ciclo hidrológico, desencadeadas pela ocupação e utilização dos recursos naturais na bacia, por exemplo, desmatamento e urbanização, os quais podem estar contribuindo para os valores de descargas (*streamflow*).

Müller, Krüger e Kaviski (1998) aplicaram um conjunto de testes estatísticos, para avaliar a estacionariedade de séries hidrológicas, na bacia incremental de Itaipu, concluindo que:

- As séries de dados hidrológicos da bacia são não-estacionárias, com aumento de vazões após 1970, principalmente nas bacias do Tietê, Grande e Paranapanema;
- As vazões mínimas de estiagens, entre 7 e 120 dias, apresentaram um aumento no período mais recente;
- As vazões naturais das principais usinas do rio Paraná apresentam um comportamento não-estacionário, com aumento dos débitos, após 1970;
- Numerosas séries dos postos pluviométricos são não-estacionárias, com aumento das precipitações, após 1970;

- O aumento das precipitações é ampliado de jusante para montante (inverso das vazões), indicativo de possíveis alterações provocadas pelo uso do solo.

As preocupações com a variabilidade e as alterações no regime hidrológico dos rios também foram abordadas por Clarke, Tucci e Collischonn (2003), que, ao avaliar o regime hidrológico na bacia do rio Paraguai, identificaram alterações em regime entre o período de 1960 ou 1961 a 1972-1973, em relação ao período anterior e posterior. De acordo com esses autores, entre 1960 e 1970, as vazões estiveram mais baixas, assim como as precipitações. No caso das precipitações no decorrer da década de 1960, os períodos secos foram mais longos e, em dias de chuvas, a intensidade das precipitações foi menor do que no período posterior.

As conclusões iniciais desses estudiosos colaboram para indicar a necessidade de avaliação dos regimes dos rios, sob a perspectiva da sua variabilidade e heterogeneidade de processos que controlam sua dinâmica.

2.3.3 Variabilidades hidrológicas e condicionantes morfométricos da bacia

Dentre as variáveis que cooperam para a variabilidade hidrológica, alguns parâmetros geomorfológicos ajudam a esclarecer o comportamento da água, em uma bacia hidrográfica. Quando se observa o comportamento de vazões de uma bacia, podem-se extrair as alterações no hidrograma, em virtude de condicionantes morfométricos/físicos da bacia.

Conforme Villela e Mattos (1975), as características físicas de uma bacia compõem elementos de grande importância para entendimento do comportamento hidrológico, visto que seu relacionamento possibilita estabelecer comparações entre elas e os dados hidrológicos conhecidos, permitindo também fazer estimativas em regiões sem dados. Dentre os principais índices lineares e espaciais, mencionados por Christofolletti (1980) e Villela e Mattos (1975), destacamos:

- Área da bacia (A);
- Perímetro (P);
- Comprimento axial da bacia (L);
- Comprimento total dos rio (L_t);
- Densidade de drenagens (Dd);
- Extensão média do escoamento superficial (ℓ);
- Índice de declividade do curso principal.

Forma da bacia

- Coeficiente de compacidade (Kc);
- Índice de Circularidade (IC);

- Fator de forma (K_f).

O parâmetro área da bacia é constituído por toda a área drenada pelo sistema hidrográfico e possui, em seus limites, os divisores de águas, determinando este também seu perímetro. O comprimento axial refere-se à distância entre a foz e o ponto de maior distância da desembocadura.

O índice densidade de drenagens (D_d) é resultado da relação entre o comprimento total dos canais e a área da bacia hidrográfica. Segundo Villela e Mattos (1975), esse índice varia de 0,5 km/km², para bacias com drenagem pobre, a 3,5 ou mais, para bacias bem drenadas.

O índice Extensão Média do Escoamento Superficial (ℓ) é definido como sendo a distância média em que a água da chuva teria que escoar sobre a área da bacia, caso o escoamento realizasse em linha reta, desde o ponto precipitado até o curso d'água mais próximo (Villela; Mattos, 1975).

De acordo com Villela e Mattos (1975), embora a extensão do escoamento superficial que efetivamente ocorre sobre a bacia (terreno) possa ser diferente daquela determinada pelo índice, devido a diversos fatores de influências, esse índice constitui uma indicação da distância média do escoamento superficial.

Além dos condicionantes ambientais da bacia e das características dos sistemas de drenagens, a forma geométrica da bacia também ajuda na observação da dinâmica hidrológica (Figura 08). Na perspectiva de Almeida (2007), uma bacia de forma elíptica, tendo a saída da na ponta do maior eixo e sendo a área igual à da bacia circular, terá um escoamento mais distribuído no tempo, produzindo, portanto, uma enchente menor.

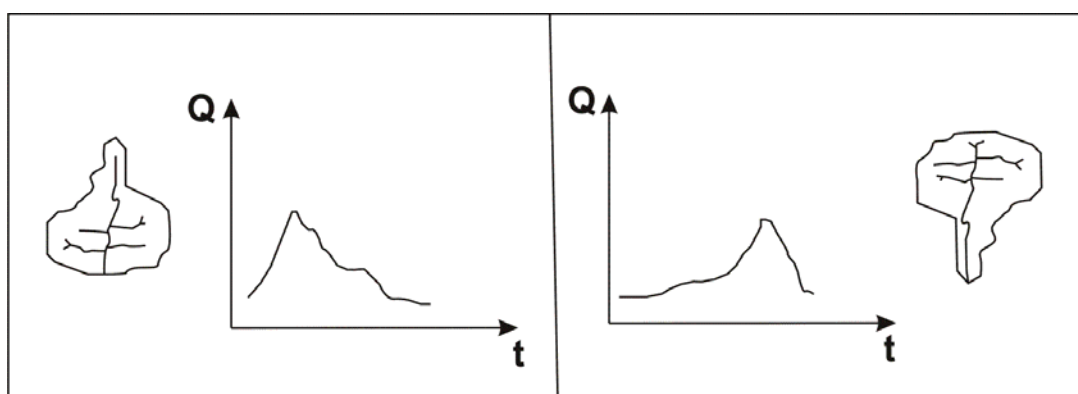


Figura 08. Interpretações sobre a forma da bacia e o relacionamento com escoamento.

Fonte: Magalhães (1989)

Modificado por: Araujo, Alex Paulo de – 19 de agosto de 2010.

O índice forma da bacia permite avaliar qualitativamente a relação entre o volume escoado na bacia e o tempo de concentração do escoamento pelo enxutório da bacia, quer dizer,

dependendo da grandeza da bacia, declividades e cobertura da terra, a forma pode indicar pontos de maiores enchentes.

Christofolletti (1980) e Villela e Mattos (1975) citam algumas medidas para obtenção da forma da bacia com figuras geométricas: Coeficiente de Compacidade (K_c), Índice de Circularidade (IC), Fator de Forma (K_f).

Segundo Villela e Mattos (1975), esse coeficiente é um número adimensional que varia conforme a forma da bacia, de maneira que quanto maior for a irregularidade da bacia, maior será o índice. O coeficiente mínimo da unidade corresponderia a uma bacia circular e, conseqüentemente, mais sensível a enchentes, enquanto, para uma bacia alongada, seu valor é significativamente superior a 1.

Simultaneamente ao Índice de Compacidade, o Índice de Circularidade (IC) também permite relacionar a bacia a um círculo. Proposto inicialmente, segundo Christofolletti (1980), por V. C. Müller, em 1953, esse índice tem valor máximo de 1, de modo que quanto maior o valor, mais próximo da forma circular estará a bacia hidrográfica.

O fator de forma (K_f) é um índice que relaciona a forma da bacia com a de um retângulo. Esse parâmetro corresponde à relação entre a largura média e o comprimento axial da bacia (comprimento da foz até o ponto mais extremo da bacia). Conforme Villela e Mattos (1975), este índice é igualmente um bom indicativo sobre a tendência de enchentes da bacia. Uma bacia com o fator de forma baixo é menos sujeita a enchentes que outra, de mesmo tamanho, porém com outro fator de forma. O comportamento das vazões de uma bacia de formato de um retângulo (elíptica) tende a apresentar uma distribuição regular, produzindo menores inundações.

Tais parâmetros elencados, dentre outros, que compõem os sistemas de drenagens, procuram fornecer elementos para a análise do comportamento da água, na bacia de drenagem, o que confirma a diversidade de variáveis hidrológicas que contribui para o comportamento estocástico do regime dos rios.

2.3.4 Variabilidades hidrológicas e climáticas

A variabilidade nos sistemas climáticos e hidrológicos é uma característica essencial do comportamento desses sistemas. Assim, quando se observa um gráfico temporal de dados de um posto hidrometeorológico, nota-se o comportamento de “dente de serra” presente nesses gráficos, demonstrando a variabilidade de sua série. A existência de anos chuvosos e secos intercalados constituem uma característica normal do clima; assim, o aparecimento de um evento (ano) extremo, muito chuvoso ou muito seco, não confirma a existência de uma alteração significativa de comportamento. Para os estudos de tendências e mudanças, exige-se que se estude uma série de anos ampla, se possível plurianual, no entanto, não se dispõem de dados suficientes na maioria dos casos (VIDE, 2003).

Em climatologia e na hidrologia, um dos objetivos de se obter séries longas de dados deriva da necessidade de analisar tendências, variações e, em alguns casos, as mudanças. Todavia, a variabilidade resulta de atividades mais complexas, podendo se somar a estas, às vezes, alterações induzidas pelas atividades antrópicas.

Para adequada avaliação das alterações climáticas é imprescindível a existência de séries longas de dados. Para Santos (2000), as mudanças climáticas podem ser entendidas como sendo todas as formas de inconstância climáticas, independentemente de sua natureza ou causas físicas, podendo ser analisadas nas diversas escalas espaciais e temporais. Entretanto, essa inconstância deve ter uma longa duração, para caracterizar uma mudança no clima, visto que este é dinâmico e apresenta diversas tendências²⁷, variações²⁸, periodicidades²⁹ e variabilidades³⁰.

Para a Organização Meteorológica Mundial (OMM), as mudanças climáticas abrangem todas as formas de inconstâncias climáticas, qualquer que seja sua natureza estatística, escala temporal ou causas físicas, podendo ser considerada qualquer alteração de um dos principais elementos do clima que persista por mais de 30 anos (SANT'ANNA NETO, 2003).

Grimm et al. (1998) concebem mudança climática como uma significativa tendência ou variação sistemática de elementos climáticos. Pode ocorrer devido à mudança sistemática da forçante radiativa do sistema climático por ação antropogênica. A variabilidade climática, por outro lado, é inerente ao sistema climático e *pressupõe* alternância, ou seja, superposição de variações cíclicas ou quase-cíclicas.

Nos recursos hídricos, a variabilidade climática afeta em maior ou menor grau, seja na disponibilidade hídrica para desenvolvimento das atividades humanas, seja para integridade ecológica do ambiente, visto que, em parte, as mudanças nos sistemas fluviais são produto do clima.

As variáveis do clima, como precipitação e evapotranspiração, que consistem nos parâmetros de entrada na bacia, podem produzir alterações na descarga líquida e sólida, na saída da baixa, portanto, alterações na dinâmica climática refletem com certa proporcionalidade no sistema hídrico, porém com aspectos multivariados.

Em hidrologia, para avaliar o comportamento hidrológico da série, admite-se como parâmetro estatístico o comportamento estacionário³¹ e não-estacionário das séries históricas das vazões medidas nos rios.

²⁷ Tendência climática refere-se ao aumento ou diminuição lenta dos valores médios, ao longo de série de dados de, no mínimo, três décadas (CONTI, 2000).

²⁸ Variação: flutuação sem padrão específico (CONTI, 2000).

²⁹ Oscilação em que as máximas e mínimas ocorrem em tempos iguais (CONTI, 2000).

³⁰ Variabilidade climática é a maneira pela qual os parâmetros climáticos variam no interior de um determinado período de registro (CONTI, 2000).

³¹ Vazões são homogêneas ou estacionárias, quando suas estatísticas não variam significativamente com o tempo (TUCCI; MENDES, 2006).

Para Tucci e Mendes (2006), a variabilidade hidrológica é entendida com as alterações que possam ocorrer na entrada e saídas dos sistemas hidrológicos. Os principais efeitos da variabilidade hidrológica estão relacionados com:

- Variabilidade natural dos processos climáticos;
- Impacto da modificação climática;
- Efeitos do uso da terra e alteração dos sistemas hídricos.

As explicações para compreensão da variabilidade climática, em especial, sobre o regime precipitações, dão conta de certa complexidade dos processos escalares, no tempo e no espaço, que regem a dinâmica do clima. Conforme Nunes (2003, p. 105), as “alterações do clima regional a sub-regional ocorreriam a partir de mudanças nos controles atmosféricos que organizam essas escalas, qual seja, centros de ação e sistemas atmosféricos associados a atributos geográficos”.

Eagleson (1994, apud COLLISCHONN, 2001, p.15-16) sugere que a persistência de variáveis, como a precipitação anual, em sequência de vários anos mais secos ou mais úmidos do que a média, é consequência de uma retroalimentação, ou *feedback*, entre as condições da superfície e a precipitação. O modelo proposto por Eagleson é resultante do acoplamento simples da precipitação, evaporação, armazenamento no solo e escoamento, associado a um termo denominado *razão de reciclagem da precipitação*, ou seja, mais umidade = mais evaporação = mais chuva = mais umidade, ou seja, retroalimentação positiva.

Sobre o regime de precipitação, Sant’Anna Neto (2003, p. 55) aponta que “os mecanismos dinâmicos que produzem chuvas variam (muitas vezes do modo aleatório quase caótico) em escalas temporais muito reduzidas, permitindo explicar os processos apenas depois do episódio ter ocorrido [...]”

O regime de pluviosidade, no centro-sul do Brasil, é marcado pela ocorrência da variabilidade das chuvas, o que dificulta o apontamento de ciclos, já que a dinâmica climática ora apresenta sinais mútuos com a variabilidade hidrológica, ora tais episódios não são bem correlacionados.

2.3.5 Variabilidade hidrológica nas mudanças da cobertura e uso do solo

As alterações na superfície da terra pelas atividades humanas têm impactos significativos sobre o escoamento (TUCCI; MENDES, 2006). No Trabalho de Drew (1994), o autor apresenta um esquema, demonstrando as respostas/ajustamentos do fluxo fluvial às diferentes condições de ambientes. Observa-se, no hidrograma proposto (Figura 09), que as magnitudes dos

fluxos têm tempos diferentes de escoamento da bacia em questão, em virtude das alterações antrópicas.

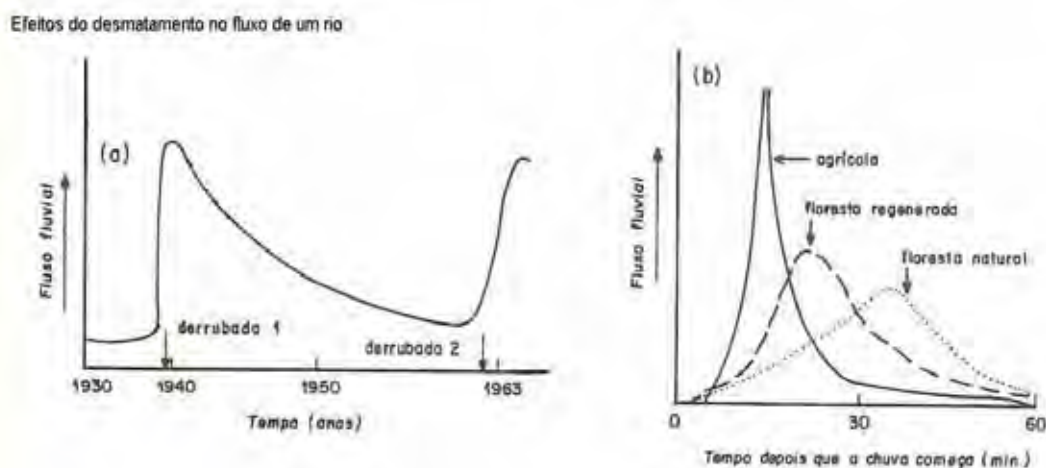


Figura 09. Efeitos do desmatamento no fluxo de um rio. Em (a), alteração do fluxo fluvial após o desmatamento. Em (b), os diferentes hidrogramas, após a chuva, em bacias da mesma área com diferentes usos do solo. Fonte: DREW (1994).

Segundo Tucci e Clarke (1997), a dinâmica de escoamento envolve uma heterogeneidade de processos entre a interface solo-vegetação-atmosfera (Figura 10), além da própria ação humana. Tal complexidade de mecanismos dificulta sua avaliação; o escoamento no solo, por exemplo, depende do seu tipo e uso, grau de compactação, porosidade, saturação, granulometria, posição, topografia, desenvolvimento, permeabilidade, dentre outras condições.

Um solo permeável condiciona a entrada de água, isto é, sua capacidade de absorver água, indicando a sua taxa de infiltração, porém, a intensidade de absorção da água varia no espaço e no tempo, devido à sua capacidade de umedecimento (MOLCHANOV, 1963).

Além da evaporação, perda da água do solo para atmosfera, o caminho da água no processo de infiltração considera as forças físicas para percorrer os horizontes do solo. Contudo, a velocidade de infiltração se modifica em caso de existências de fendas, vacúolos e buracos. Todas essas variáveis influenciam o movimento da água no solo, no processo de alimentação dos fluxos subterrâneos e, conseqüentemente, o fluxo de base dos rios.

A leitura do esquema proposto por Drew (1994) confirma o papel da vegetação, na regularização do regime dos rios, visto que, após a precipitação, cada tipo de cobertura da terra possui capacidades diferentes de converter o escoamento superficial em subterrâneo.

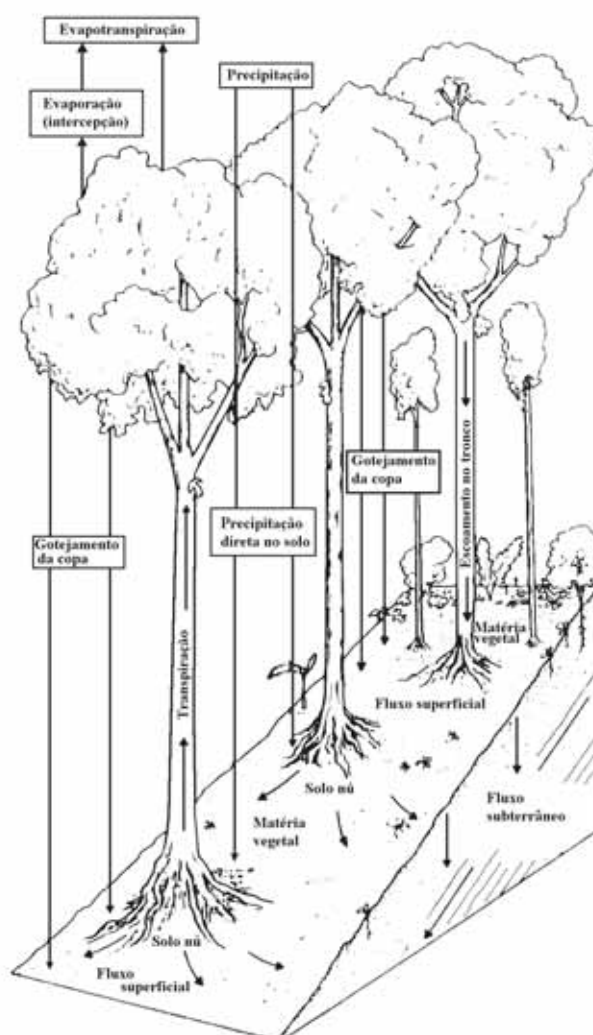


Figura 10. Processos de interceptação vegetal na bacia.
 Fonte: Bruijnzeel (1990, apud TUCCI; MENDES, 2006)

Nos estudos de Turskii (1894, 1898), citado por Molchanov (1963), são apresentados os primeiros dados sobre a influência florestal no escoamento. Por esses dados, nas nascentes do rio Oka, o escoamento superficial em áreas desarborizadas é de 155mm, em áreas com 18 % de floresta, 119 mm e, em áreas com 46% de floresta, 122 mm.

A identificação de caudais diferentes para os rios, de acordo com presença de floresta, foram analisados também por Sidorkina, citado por Molchanov (1963), enfatizando que o escoamento total nas bacias florestadas é geralmente maior que nas áreas menos florestadas. Porém, o escoamento subsuperficial é maior no primeiro caso, reduzindo o superficial.

Outros trabalhos, como de Bruijnzel (1996), Molchanov (1963), Tucci e Clarke (1997), Tucci e Mendes (2006), realizam uma revisão da literatura sobre o impacto das alterações da cobertura vegetal e o uso sobre o escoamento, de sorte que esses autores e suas referências indicam:

- As florestas absorvem mais radiação (menor albedo);
- A retirada da umidade do solo é maior em áreas com florestas, em comparação com pastagens; porém, a recomposição (percolação) é melhor;
- A retirada da água da zona de aeração pelas florestas é diferenciada conforme a idade e a produção florestal das espécies; povoamentos jovens e adultos retiram mais água que espécies velhas;
- A redução da cobertura florestal natural aumenta as vazões médias anuais;
- As culturas permanentes tendem a estabilizar o escoamento, ao passo que as culturas anuais somadas à mecanização promovem alterações no escoamento, que tende a ser permanente; no entanto, a adoção de técnicas de manejo, plantio direto e conservação podem disciplinar o escoamento e contribuir para a proteção, adequação e manutenção ambiental.
- Tipos de cobertura e culturas têm impactos diferentes no escoamento e no regime de vazões (Tabela 02);
- É possível encontrar, na literatura, experimentos que mostram aumento ou diminuição das vazões máximas ou mínimas, depois do desmatamento realizado.

Tabela 02. Valores médios de alteração da vazão de florestas tropicais, devido ao desmatamento, em função da nova cobertura

Cultura mantida após o desmatamento	Aumento da vazão média mm/ano
Cultura anual	300-450
Vegetação rasteira	200-400
Plantações de chá, borracha, cacau	200-300

Fonte: Bruijnzel (1996)

A manutenção ou presença da vegetação, numa bacia, ainda colabora para o regime dos rios de duas maneiras:

Em áreas florestadas, sobretudo em ambientes tropicais, tem-se o desenvolvimento de uma serrapilheira (manta morta) sobre os solos. Essa manta, formada de um manto orgânico – restos vegetais, frutos, cascas, folhas, gomos e ramos, em diferentes estágios de decomposição – contribuem para proteção dos solos e sua formação, mas também funcionam como filtro e esponja da águas, ao se precipitar (MOLCHANOV, 1963).

A presença florestal nas áreas de nascentes ou zonas ripárias ajuda a reduzir as taxas de assoreamento dos rios, visto que as atividades antrópicas nas pequenas bacias podem acarretar impactos negativos significativos em seus débitos e na produção de sedimentos da bacia. No

trabalho de Molchanov (1963), o autor chama a atenção para a redução da rede hidrográfica, na bacia do rio Oskol, em consequência do desmatamento e assoreamento. Segundo esse autor, além da redução do número de canais da bacia, que desapareceram por completo, as nascentes recuaram da borda (cabeceiras) para o interior da bacia (jusante do ponto inicial).

Assim, o estudo das alterações hidrológicas, associadas às mudanças do uso do solo e da cobertura vegetal, é fundamental para o planejamento e a gestão dos recursos hídricos, embora os estudos até o momento realizados não permitam avaliar a intensidade dos processos, especialmente em grandes bacias, conforme salientam Tucci e Mendes (2006) e Tucci e Clarke (1997), de modo que, além das investigações sobre variabilidade climática e seu relacionamento com as vazões, a avaliação qualitativa e quantitativa das mudanças da cobertura e uso do solo tem um significado importante para o regime dos rios.

2.3.6 Técnicas e métodos para avaliação do regime hidrológico

A evolução dos processos hidrológicos no espaço e no tempo, na perspectiva de Chow, Maidment e Mays (1994), possui comportamento estocástico, de forma que uma abordagem das variabilidades temporais e espaciais, tanto sob um aspecto quantitativo, quanto qualitativo, envolve em sua análise a aplicação de parâmetros e funções estatísticas.

No clássico livro *Hidrologia Aplicada*, de Chow, Maidment e Mays (1994), e em Naghettini e Pinto (2007), são citados os principais parâmetros estatísticos empregados nas investigações com dados hidrológicos. Naghettini e Pinto (2007) apontam para a importância da análise preliminar em forma tabular e gráfica (diagramas, histogramas e frequências acumuladas, curvas de permanências), a fim de facilitar a identificação de padrões e sua distribuição e obtenção de informações hidrológicas.

Chow, Maidment e Mays (1994, p. 371) enfatizam a relevância de parâmetros estatísticos, para extrair informações da população, amostras ou eventos hidrológicos, tais como ponto médio: média aritmética, mediana, média geométrica; variabilidade: desvio médio, o desvio padrão, a variância e o coeficiente de variação; simetria: coeficiente de assimetria.

Para Vide (2003, p. 39), do ponto de vista estatístico, a variabilidade de uma série pode ser definida e avaliada a partir de índices de dispersão (desvio-padrão, variância, coeficiente de variação), próprios da estatística descritiva. Em climatologia, em particular em pluviometria, opta-se por média de dispersão relativa, ao se comparar a variabilidade de diferentes observações. O melhor parâmetro para avaliação da variabilidade é o coeficiente de variação (CV)³²; os valores obtidos pelo cálculo do coeficiente de variação representam uma medida de dispersão relativa dos dados. Para os

³² Ver equações, no Apêndice A.

estudos hidrológicos de vazões, a utilização dessa variável é adequada, pois as séries de dados têm ordens de grandezas diferenciadas.

As proposições de Richter et al. (1997) e Poff et al. (1997), sobre o regime dos rios, também são estabelecidas a partir de uma abordagem estatística, como os 32 índices hidrológicos existentes no Indicadores de Alterações Hidrológicas (IAH), citados anteriormente.

Em apertada síntese, para verificar e comprovar as alterações ou mudanças nas séries hidrológicas há necessidade de aplicar testes estatísticos (paramétricos ou não paramétricos) para comprovar às hipóteses de alterações/mudanças.

3. MATERIAL E PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Para desenvolvimento dos estudos hidrológicos na bacia do rio Paranapanema, foram aplicados os procedimentos de Richter et al. (1997), Poff et al. (1997), este empregado também por Rocha (2002), além das técnicas utilizadas em hidrologia estatística (VILLELA, 1978; MOREIRA et al. 1996; TUCCI, 2002; MONTGOMERY RUNGER, 2003; e NAGHETTINI; PINTO, 2007).

Durante as fases desta pesquisa, de modo a atender aos objetivos propostos e à análise do trabalho, foram reunidos e compilados documentos existentes sobre a bacia do rio Paranapanema, que, somados à elaboração de novos produtos cartográficos, contribuíram para a avaliação hidrológica e ambiental da bacia em questão.

3.1 Documentação cartográfica

- Base cartográfica em escala de 1:1.000.000, extraída do banco de dados GEOBANK³³, do Serviço Geológico Brasileiro (CPRM), e Sistema de Informações Georreferenciadas do Setor Elétrico (SIGEL)³⁴;
- Base cartográfica de drenagens em escala de 1:250.000, obtida pelo Projeto Guarani (2006), disponibilizada pelo Instituto das Águas do Paraná;
- Vetores das unidades territoriais do Brasil, adquiridos junto ao Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE³⁵;
- Base de dados vetoriais em formato *shape* (shp) das bacias hidrográficas do Estado do Paraná, disponibilizado pelo Instituto das Águas do Paraná³⁶;
- Modelo digital de elevação (MDE) interferométrico do *Shuttle Radar Topographic Mission* – SRTM³⁷.

3.1.2 Programas de *software*

- Programa TCGEO Sistema de Transformação de Coordenadas, utilizado para padronização e conversões das bases cartográficas em um único sistema de referências.
- ArcGis³⁸ - ArcInfo versão 9.3.1 do laboratório GADIS, para produção dos mapas temáticos;
- XTools Pro³⁹ – extensão com ferramentas para operações espaciais no Arcgis.

³³ Disponível em: <http://geobank.sa.cprm.gov.br/>. Acesso em: 01 out. 2008.

³⁴ Disponível em: <http://sigel.aneel.gov.br/brasil/viewer.htm>. Acesso em: 01 out. 2008.

³⁵ Disponível em: <http://mapas.ibge.gov.br/>. Acesso em: 01 de out. 2008.

³⁶ Disponível em: <http://www.suderhsa.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=79>. Acesso em: 01 out. 2008.

³⁷ Disponível em: <http://srtm.csi.cgiar.org/>. Acesso em: 04 abr. 2009.

³⁸ ArcGis é marca registrada da ESRI, California, USA.

- Programa estatístico MINITAB⁴⁰ Release 14 (trial/demo) e STATISTICA⁴¹ Trial 9;
- Programas de organização de dados e banco de dados do Microsoft Office e programas de editoração gráfica.

3.1.3 Programas hidrológicos

- Sistemas de Informações Hidrológicas (HIDRO)⁴² versão 1.0.8;
- Sistema Computacional para Análises Hidrológicas (SisCAH)⁴³

3.2 Dados hidrológicos

O primeiro procedimento realizado neste estudo foi a obtenção dos dados hidrológicos diários das estações fluviométricas existentes na bacia do rio Paranapanema. A pesquisa dos postos fluviométricos foi feita por meio do Inventário das estações fluviométricas disponibilizado pela Agência Nacional de Águas, no *site* www.ana.gov.br e em (ANA, 2006).

Identificadas as estações fluviométricas com série histórica longa em funcionamento e/ou que tiveram longa série de dados, a partir do inventário, os dados foram acessados ou solicitados junto à Agência Nacional de Águas⁴⁴, ao Departamento Estadual de Águas de São Paulo/SIGRH⁴⁵, ao órgão paranaense Instituto das Águas do Paraná/Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental – SUDERHSA – e à empresa concessionária de operação das hidroelétricas no rio Paranapanema, a companhia Duke Energy.

O inventário das estações escolhidas com dados hidrológicos disponíveis está organizado nas Tabelas 01A e 02B, no Apêndice B, e pode ser visualizado na Figura 11, com um mapa de espacialização dos postos na bacia do rio Paranapanema.

³⁹ O XTools Pro é desenvolvido pela DATA EAST. Versão Trial disponível em: <http://www.dataeast.com/en/index.html>. Acesso em: 01 nov. 2009.

⁴⁰ O *software* estatístico MINITAB é uma marca registrada da Minitab Inc.

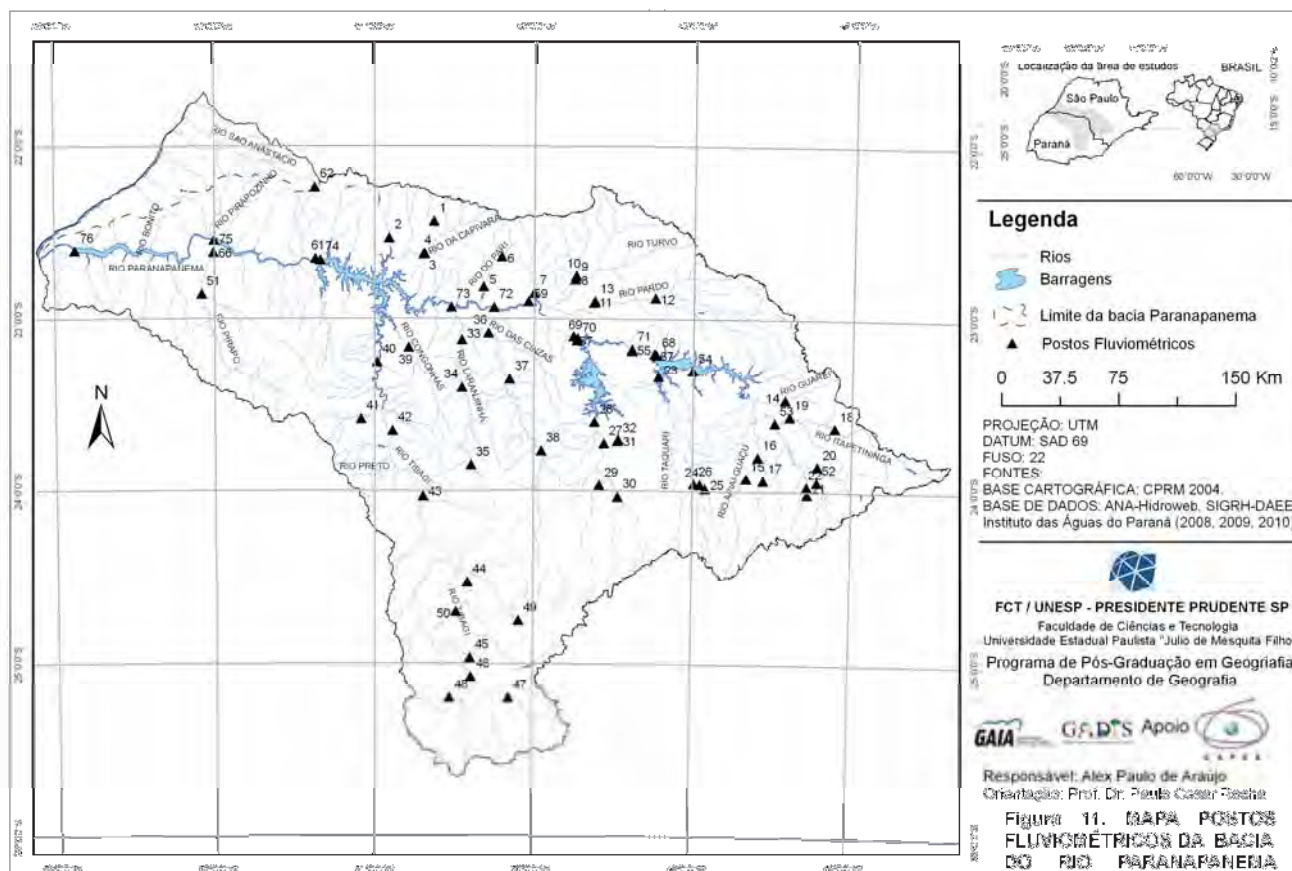
⁴¹ O *software* estatístico Statistica é uma marca da StatSoft, Inc.

⁴² O aplicativo HIDRO permite, a partir de seu banco de dados: 1- O gerenciamento de uma base de dados hidrometeorológica, armazenada centralizadamente em um banco de dados relacional; 2- A entrada de dados por parte das entidades que operam uma rede hidrometeorológica; 3- A entrada de dados por parte das entidades que operam uma rede hidrometeorológica; 4- Cálculo de funções hidrometeorológicas básicas; 5- Visualização de dados (gráficos, imagens etc.). Disponível em: <http://hidroweb.ana.gov.br>. Acesso em: 10 ago. 2008.

⁴³ O SisCAH foi desenvolvido na Universidade Federal de Viçosa, sob a coordenação de Sousa et al. (2009). Disponível em: <http://www.ufv.br/dea/gprh/software>.

⁴⁴ Os dados hidrológicos estão disponíveis no *site* <http://hidroweb.ana.gov.br>. Acesso em: 10 ago. 2008.

⁴⁵ Os dados hidrológicos disponíveis no *site* <http://www.sigrh.sp.gov.br>. Acesso em: 18 set. 2008.



Nos dados apresentados nas Tabelas 01A e 02B (Apêndice B), constam informações sobre o Prefixo/Código do posto na ANA, nome da estação, as coordenadas de localização (latitude e longitude), área do posto (km²), nome do rio e o tipo/período dos dados. A visualização da série de dados disponíveis e com as falhas nos dados pode ser feita no diagrama de barras, elaborado a partir do inventário das estações fluviométricas existentes na bacia (Tabela 03C, no Apêndice B).

3.3 Tratamento dos dados

Os dados hidrológicos existentes nessas estações foram acessados no formato Access⁴⁶, txt e xls (Excel⁴⁷), sendo organizado um novo banco de dados (planilhas). Nesta etapa de consulta, organização e tratamento dos dados, utilizaram-se também os programas Sistemas de Informações Hidrológicas (HIDRO), versão 1.0.8, disponibilizados pela Agência Nacional de Águas⁴⁸ e pelo Sistema Computacional para Análises Hidrológicas (SisCAH).

Organizados os dados diários em tabelas, realizou-se um pré-processamento dos dados para identificar possíveis erros, falhas e falta de dados dos postos. A sobreposição de cotogramas ou fluviogramas diários, para sua comparação e análise, permite uma visualização rápida desses ruídos, nos dados (Figura 12). De acordo Moreira et al. (1996), essa importante etapa avalia a qualidade das séries e sua confiabilidade, sendo que a avaliação dos postos em conjunto com toda a bacia possibilita o entendimento da homogeneidade do regime fluvial dos rios.

O comportamento das vazões representado na Figura 12 demonstra a existência de possíveis inconsistências nos dados. Visto que, ao longo de toda série o posto a montante possui um padrão de vazões inferior ao posto a jusante. Porém, em dois momentos verifica-se um registro de maior vazão para o posto a montante, ou seja, estas características dos dados de pode indicar a existência de alguma falha na obtenção nos dados hidrológicos, sendo visualizado por meio destes sinais/ruídos.

⁴⁶ Programa registrado pela Microsoft Corporation.

⁴⁷ Programa registrado pela Microsoft Corporation.

⁴⁸ O programa HIDRO e dados hidrológicos estão disponíveis no *site* <http://hidroweb.ana.gov.br>. Acesso em: 10 ago. 2008.

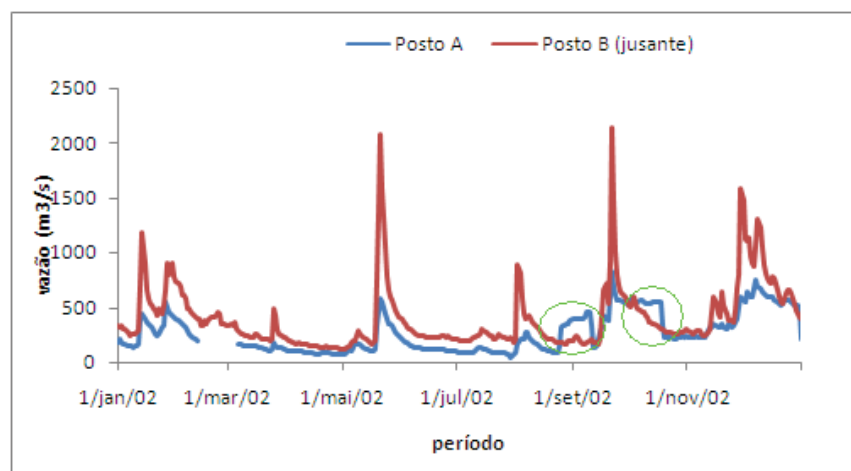


Figura 12. Exemplo de observação de fluviogramas e o comportamento de vazões de uma bacia.

Na etapa seguinte, foi realizado um preenchimento de falhas mensais e extensão dos dados hidrológicos, no âmbito anual; o principal critério para este procedimento foi a escolha de estações próximas na mesma bacia hidrográfica, tendo características semelhantes ao meio físico, como uma mesma região climática e topográfica. Adotou-se, também, como critério estatístico para execução desse preenchimento, a existência de um coeficiente de correlação mínimo entre os dados, sendo observado seu correlacionamento próximo de 1 (Coeficiente de Pearson). Além disso, usou-se igualmente como critério mínimo na regressão linear simples a existência de um coeficiente de determinação (R^2) superior a 0,7, conforme proposição de Tucci (2002).

Segundo Shimakura (2006), o coeficiente de determinação (R^2) é o quadrado do coeficiente de correlação de Pearson. É uma medida da proporção da variabilidade em uma variável que é explicada pela variabilidade da outra. Pela diversidade de relações que determinam a correlação entre variáveis, não é comum ter-se uma correlação perfeita $R^2 = 1$.

Além da observação do coeficiente de determinação (R^2), foi notado na equação de regressão o valor R^2 -ajustado⁴⁹ para checar a qualidade de ajustamento dos dados. Em todas as equações empregadas, não houve diferenças significativas entre o R^2 e R^2 -ajustado.

Para o preenchimento de falhas de vazão, utilizou-se a regressão linear simples:

$$y = a x + b \quad (1)$$

em que

y = vazão do posto com falhas;

x = vazão do posto com dados;

a e b = parâmetros ajustados na regressão.

⁴⁹ O R^2 -ajustado é observado para checar a qualidade do modelo representado pelo R^2 , visto que o R^2 pode sofrer modificação, dependendo da dimensão da amostra ou do número de variáveis do modelo.

Finalizado o preenchimento das séries, foi aplicado um teste de consistência dos dados, chamado de *Duplas Massas*⁵⁰ (Figura 13), procurando-se avaliar e identificar possíveis anomalias entre os postos, dentro na mesma bacia hidrográfica (TUCCI, 2002). O método dupla massa consiste em:

- Selecionar os postos de uma região, de acordo com condições climáticas semelhantes;
- Escolher um posto para verificar sua qualidade;
- Acumular os valores mensais do posto escolhido, iniciando com valores históricos recentes;
- Escolher postos que estão na vizinhança dos postos escolhidos e que podem possuir tendência semelhante;
- Determinar a média dos postos e acumular no mesmo sentido que o posto escolhido;
- Plotar os valores das séries acumuladas, usando a média dos postos na abscissa e os valores do posto que está sendo verificado na ordenada;
- Examinar a tendência da reta (mudança da declividade da reta, alinhamento dos pontos em retas paralelas, distribuição errática dos pontos e resultado da equação). (TUCCI, 2002, p. 76-77).

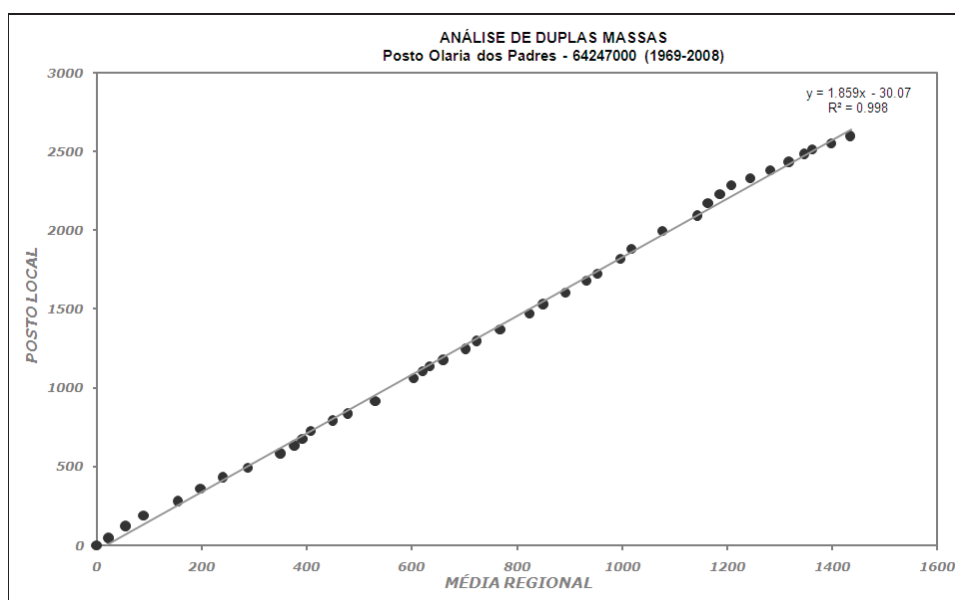


Figura 13: Análise de duplas massas entre o posto Olaria dos Padres 64247000 da bacia do rio Itararé, afluente do alto Paranapanema, e a média regional, acumulado anual entre os anos 1969 e 2008, acumulação inicia-se com dados recentes para os dados pretéritos.

⁵⁰ Método desenvolvido originalmente pelo U.S. Geological Survey.

A dispersão dos pontos ao longo da reta e o coeficiente de determinação (R^2) próximo a 1 indicam uma adequada correlação entre os postos fluviométricos e uma qualidade dos dados, não ocorrendo discrepâncias das séries ou erros anômalos. No Quadro 1 (Apêndice C), estão listadas todas as equações e (R^2) obtidas na análise de duplas massas, entre os postos utilizados neste estudo.

3.4 Regime e períodos hidrológicos

Para avaliação da magnitude interanual, foram calculadas as médias anuais de cada posto e espacializadas em gráficos anuais do regime dos rios da bacia do rio Paranapanema. Para estabelecimento da periodicidade do regime de cheia e vazante, foram calculadas médias mensais para os postos fluviométricos, identificando-se período de cheia-vazante-cheia.

Para a identificação da variabilidade dos períodos hidrológicos, destacam-se primeiramente a elaboração e a interpretação dos gráficos fluviométricos das vazões, ao longo do tempo, e a identificação de possíveis períodos hidrológicos. Além da inspeção visual do comportamento temporal das séries hidrológicas, estudos sobre regimes da bacia do Prata enfatizam alterações na variabilidade de vazões na década de 70, conforme apontado por Rocha (2002), Silva e Guetter (2003), no alto curso do rio Paraná, assim como no alto Paraguai, nos trabalhos de Galdino et al. (2002), Clarke, Tucci e Collischonn (2003).

A partir desses pressupostos, o ano de 1970 foi tomado como hiato hidrológico para aplicar os testes estatísticos, a fim de confirmar a precisão desses períodos inicialmente identificados. Aplica-se também o cálculo do coeficiente de variação (CV) amplamente usado em hidrologia, para entender a variabilidade das vazões e estabelecer a comparações entre postos fluviométricos da bacia.

Para caracterizar o potencial hídrico da bacia, foi calculada a vazão específica, que é a relação entre a vazão (média) e a área de drenagem de cada posto da bacia, ou seja,

$$q = \frac{Q_{lm}}{A} \quad (2)$$

Os valores da vazão específica (q) são expressos em L/s/Km². Q_{lm} é a vazão média de longo período em m³/s; A é a área da bacia em Km² (TUCCI, 2002).

Calculado a vazão específica para os postos existentes, foram relacionados os valores de vazões e dos respectivos períodos com a área de drenagem dos postos fluviométricos, a fim de se obter uma equação de regressão de potência de validação regional, que estimasse as vazões de longo período e as vazões específicas para os pontos com dados faltantes.

As equações obtidas (Figura 14) demonstram uma alta confiabilidade entre os dados de vazões correlacionados à área de drenagem, de acordo com o valor do R^2 . A equação da

relação área de drenagem (A_d) vs vazão (Q) deve ser empregada com cuidado, para não ocorrer subestimativa das vazões, visto que a bacia em questão possui uma diversidade de elementos que condicionam a variabilidade hidrológica. Porém, essa equação permite estimar estatisticamente, sobretudo para bacias sem dados hidrológicos, um indicativo de vazão para os rios da região.

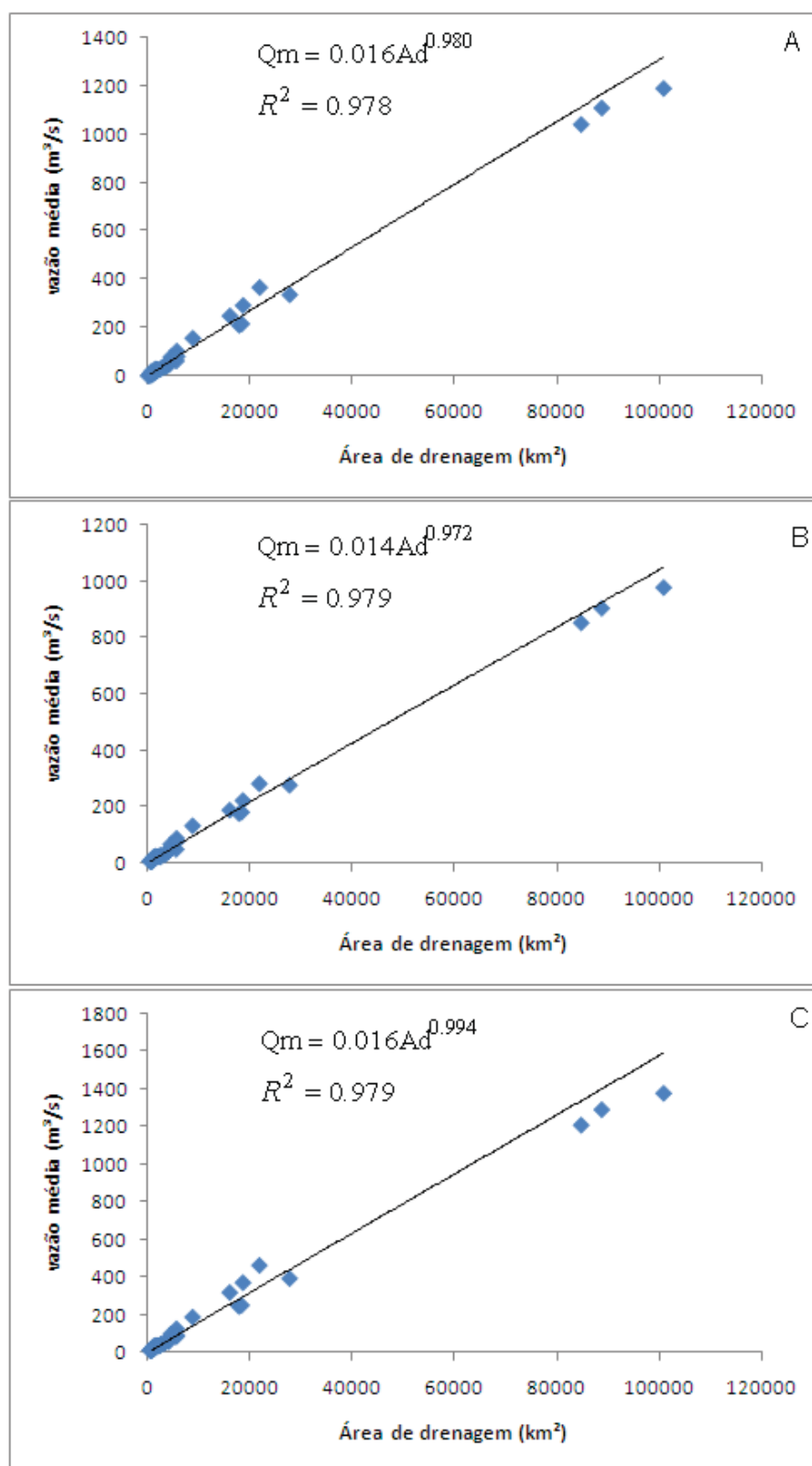


Figura 14. Equação para estimativa das vazões dos rios da bacia Paranapanema. A: Equação das vazões de longo período; B: Equação das vazões do Período I; C: Equação das vazões do Período II.

3.4.1 Testes estatísticos e os períodos hidrológicos

Para confirmar, por meio de um parâmetro estatístico, os períodos hidrológicos identificados, aplicaram-se testes paramétricos⁵¹ e não paramétricos⁵² de sorte a avaliar os dados de acordo com a sua distribuição normal⁵³ e não normal. De início, o conjunto de dados foi separado em duas amostras, tendo como referência o ano de 1970 para as estações com série longa. Em caso de uma população o número ímpar, na divisão da série, o número do meio da população foi retirado.

Com as amostras separadas (períodos), primeiramente foi aplicado um teste de normalidade⁵⁴ para verificar se a variável aleatória dos dados tem uma distribuição normal gaussiana. O parâmetro avaliado para constatar a normalidade foi a observação da distribuição dos pontos em torno da reta e valor do p-valor. Caso o p-valor for maior que 0,05, os dados podem ser considerados uma distribuição normal. Na Figura 15, no Apêndice D, estão apresentados os resultados de todos os testes de normalidade.

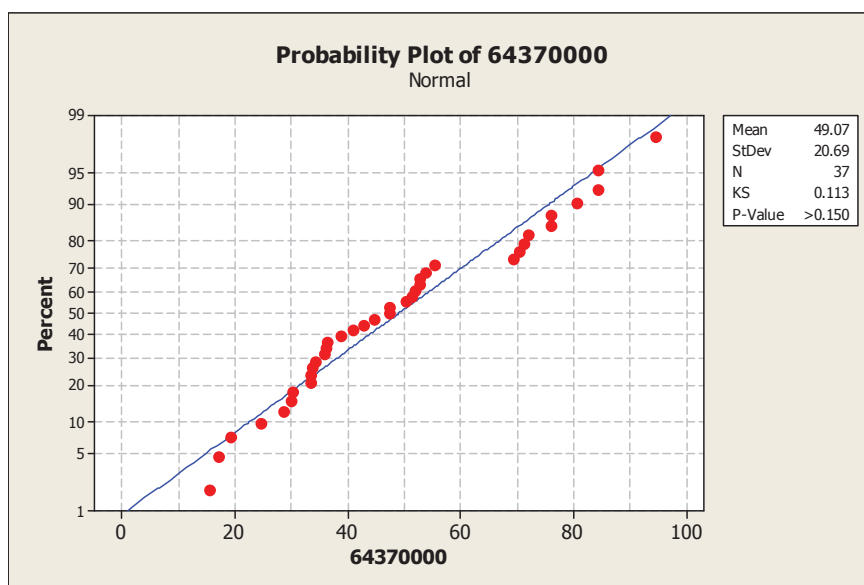


Figura 15. Resultado do teste Kolmogorov-Smirnov de normalidade aplicado no posto 64370000.

⁵¹ A estatística paramétrica baseia-se em parâmetros que tenham uma distribuição conhecida (normal); os valores calculados nesse tipo de teste constituem a média, desvios-padrão, variância, sendo uma estatística adequada para amostras com maiores de 30 valores.

⁵² A estatística não paramétrica é adequada para amostras pequenas, nas quais os dados não têm uma distribuição conhecida.

⁵³ A distribuição normal é descrita para explicar o comportamento de diversos dados naturais. O gráfico da função da distribuição normal é em formato de sino, normalmente simétrico em relação ao valor central (média). A forma de sino indica a probabilidade de os valores estarem mais próximos da média do que dos valores extremos mínimos e máximos.

⁵⁴ O método utilizado para testar a normalidade foi Kolmogorov-Smirnov, que consiste num método mais adequado e desenvolvido para análise de dados de fenômenos naturais, dentre outros existentes nas rotinas do programa estatístico Minitab.

Realizado o teste de normalidade, foi aplicado o teste paramétrico *t-Student* (t pareado) para as amostras que possuem uma distribuição normal gaussiana e o teste não paramétrico *Teste dos Sinais* para as séries com comportamento entre os períodos de livre distribuição (não normal).

O teste estatístico *t-Student* avalia a diferença entre as médias dos grupos selecionados. A hipótese nula H_0 significa que há igualdade entre os períodos e a hipótese alternativa (H_1), diferenças significativas entre o conjunto de dados.

As hipóteses estatísticas aplicadas no teste *t* são:

$$\begin{aligned} H_0 : \mu_1 &= \mu_2 \\ H_1 : \mu_1 &\neq \mu_2 \end{aligned} \tag{3}$$

Sendo que

H_0 : os grupos de dados possuem médias iguais;

H_1 : hipótese alternativa, os grupos de dados possuem médias diferentes.

μ : média populacional.

A regra de decisão para rejeitar H_0 foi a avaliação dos resultados com nível confiança, representada pela probabilidade de 0,05. O resultado do teste estatístico é verificado pelo parâmetro do p valor (*p-value*) e valor do t calculado (MONTGOMERY; RUNGER, 2003).

O Teste de Sinais é usado para testar hipóteses a respeito da mediana de uma distribuição contínua. A mediana de uma distribuição é um valor da variável aleatória X , tal que existe a probabilidade de 0,05 de um valor observado de X ser $\leq$ ou $\geq$ ao valor da mediana (MONTGOMERY; RUNGER, 2003). O parâmetro avaliado resultante do Teste de Sinais aplicado foi o valor do p-valor. Adotando-se um intervalo de confiança de 95%, foi observado o resultado do p-valor calculado, sendo este menor que 0,05, aponta para rejeitar a igualdade das hipóteses (H_0), isto é, existe diferença significativa entre os períodos analisados, ou seja, a vazão no segundo período (pós 1970) é maior/diferente (*greater than/not equal*) do que no período anterior.

3.5 Técnicas de geoprocessamento aplicado aos estudos hidrológicos

Esta importante etapa de trabalho consistiu na utilização de um Sistema de Informações Geográficas (SIGs), o qual possibilitou a organização, a padronização e o tratamento das bases de dados cartográficas e os produtos do sensoriamento remoto usados nesta pesquisa.

As bases de dados de vetores/feições em formato *shapefile* (shp), como drenagens, limites territoriais de unidades da federação e principais bacias hidrográficas pertencentes à bacia do

rio Paranapanema foram convertidas para o mesmo sistema de referência com o *software* de geoprocessamento Arcgis 9.3.1.

Para o MDE/SRTM, foram acessadas três quadriculas (*srtm_26_17*; *26_18*; *27_17*) no *site* do CGIAR-CSI, de forma a recobrir toda a área de estudo. Primeiramente, foi realizado um processamento do ambiente Arcmap do *software* ArcGis 9.3.1 das imagens SRTM com o módulo *Hydrology* do *Spatial Analyst Tools* para remoção de possíveis falhas ou ruídos (depressões e picos espúrios), existentes na imagem SRTM (Figura 16), por meio da ferramenta *Fill* do *Hydrology/Arc Toolbox*.

De acordo com o esquema de Latuf, Almeida e Araújo (2010), as depressões no MDE ocasionam um erro na estimativa do escoamento superficial, sendo necessário um tratamento para corrigir o problema, conforme demonstram os esquema A e B, na Figura 16.

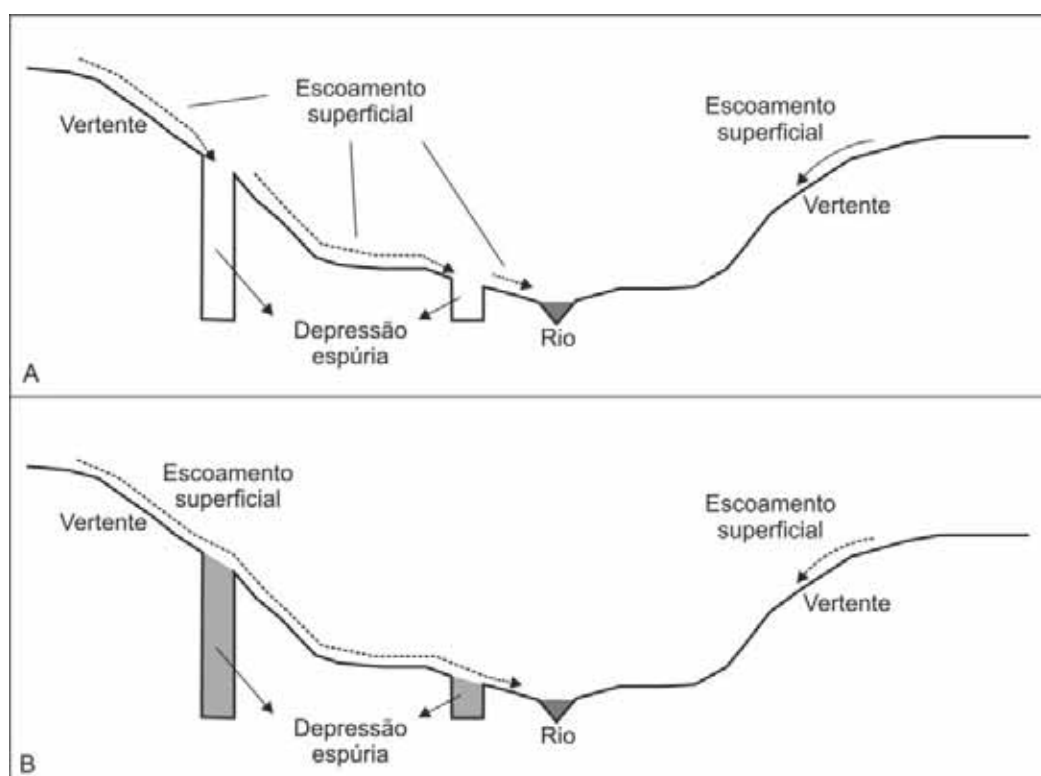


Figura 16. Modelo esquemático para preencher depressões do MDE.

Fonte: Latuf, Almeida e Araújo (2010, p. 192)

Finalizado o primeiro processamento, foi realizado um mosaico das cenas SRTM (*Mosaic to new raster*); com a junção do MDE/SRTM, obteve-se uma única imagem de toda a bacia do rio Paranapanema/Santo Anastácio, sendo feito apenas um corte da imagem com limites da bacia (*Extract by Mask*). Após esses processamentos do modelo SRTM, extraiu-se a direção de escoamento

(*Flow Direction*) e o escoamento acumulado (*Flow Accumulation*) –ambos do módulo *Hydrology* – e, por fim, com os pontos dos postos fluviométricos plotados, obtiveram-se as bacias hidrográficas pelo comando *Watershed* (*Spatial Analyst Tools/Hydrology/Watershed*).

3.6 Mapeamento hidrológico

O mapeamento da história hidrológica do fluxo dos rios da bacia do rio Paranapanema foi realizado no ambiente ArcMap/ArcGis 9.3.1.

Para elaboração do mapeamento hidrológico, foram usadas as informações de posicionamento das estações fluviométricas (coordenadas das estações), somadas aos resultados dos dados obtidos da análise das magnitudes dos débitos e períodos identificados.

Além dos mapas das vazões anuais da bacia do rio Paranapanema e seus respectivos períodos, foram mapeadas as vazões específicas (q) para cada bacia, tendo como exutório a localização do posto hidrológico.

No Arcgis, foram elaboradas uma simbologia e uma escala de representação para o regime e para os diferentes períodos hidrológicos identificados, referentes a cada posto localizado na bacia em estudo. Para construção dos mapas temáticos, levaram-se em conta os pressupostos da cartografia temática citados por Martinelli (2003), Joly (2000) e Loch (2008). A representação da dinâmica hidrológica foi agrupada nos métodos de representações ordenadas⁵⁵ e quantitativas (método coroplético⁵⁶), combinada com a utilização de variáveis visuais e propriedades de percepção.

Os mapas de vazões médias e os regimes hidrológicos foram implantados para cada posto, de modo pontual, com as variáveis visuais cor e valor. Nesse mapa, foram fixados o tamanho e a forma da manifestação visual e variou-se apenas o valor da visual cor, das cores claras para as cores escuras, dentre as cores frias.

Para o mapa de vazão específica, foi implantado o modo zonal para cada posto e sua respectiva bacia, sendo aplicadas as variáveis visuais cor e valor, para indicar continuidade e quantidade.

Os mapas temáticos de hipsometria e clinográfico foram preparados com a utilização do MDE/SRTM. A partir do MDE/SRTM, foram geradas novas imagens, por meio da ferramenta 3D Analyst, como uma imagem *Hillshade*⁵⁷, para relevo sombreado, imagem *Slope*⁵⁸, para mapa clinográfico, e uma imagem *Spline*⁵⁹ para mapa hipsométrico.

⁵⁵ As representações ordenadas são indicadas quando os fenômenos representados inscrevem uma sequência/sucessão, definindo hierarquias (MARTINELLI, 2003, p. 45).

⁵⁶ O método coroplético estabelece que a ordem crescente dos valores relativos agrupados seja transcrita por uma ordem visual crescente (MARTINELLI, 2003, p. 61).

⁵⁷ A imagem *Hillshade* é resultado de uma simulação dos níveis de luz, refletida pelo relevo ao ser iluminado pelo Sol.

Os limites das classes de declividades definidas no mapa clinográfico foram adaptados do *Soil Survey Manual* (EUA, 1951), citado no trabalho de Lepsch (1991). O mapa hipsométrico foi reclassificado de acordo ponderações mencionadas por Loch (2008).

3.7 Morfometria da bacia

Os dados morfométricos foram calculados para cada posto fluviométrico espacializado nos rios da bacia do rio Paranapanema. Delimitadas a bacia de contribuição de cada posto fluviométrico, nos diferentes trechos dos rios, foram obtidas as medidas areais e lineares com a extensão XTools Pro 5.3.0⁶⁰ (*trial*), instalada no Arcgis 9.3.1.

Para obtenção dos parâmetros morfométricos, como área da bacia (A), perímetro (P), comprimento axial da bacia (L), comprimento total dos rios (L_t), densidade de drenagens (Dd), extensão média do escoamento superficial (ℓ), forma da bacia (coeficiente de compactidade (Kc), índice de Circularidade (IC) e fator de forma (Kf), foram aplicados as equações e os procedimentos propostos por Christofletti (1980) e Villela e Mattos (1975), conforme expressões abaixo:

- Os dados de área da bacia (A) e perímetro (P) foram obtidos por operações métricas no XTools Pro, com a ferramenta tabela de operações (*Table Operations*).
- O comprimento axial da bacia (L) e o comprimento total dos canais (L_t) foram obtidos por meio dos vetores de drenagens dos rios na escala de 1:250000 para cada bacia delimitada. Com esses segmentos de drenagens, foram usadas operações métricas de comprimento (*Table Operations*) do XTools Pro.

Para seguintes parâmetros morfométricos, foram aplicadas as equações citadas na literatura.

- Para o cálculo da Densidade de drenagens (Dd), foi aplicada a expressão

$$Dd = \frac{L_t}{A} \quad (4)$$

em que Dd significa densidade de Drenagens, L_t é o comprimento total dos canais e A corresponde à área da bacia.

- O índice Extensão Média do Escoamento Superficial (ℓ).

Conforme equação:

⁵⁸ A imagem *Slope* é gerada pela relação de inclinação (angular) entre a altura entre dois e a distância entre eles. Declividades acentuadas possuem uma menor distância entre dois pontos cotados.

⁵⁹ A imagem *Spline* é gerada para representar as variações altimétricas do terreno, geralmente representado em intervalos/classes altimétricas.

⁶⁰ O aplicativo Xtools Pro permite realizar operações métricas, dentre outras funcionalidades, no ambiente ArcGis.

$$\ell = \frac{A}{4L_t} \quad (5)$$

- O Coeficiente de Compacidade (K_c) relaciona-se à forma da bacia a um círculo pela seguinte expressão:

$$K_c = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (6)$$

onde P e A são respectivamente o perímetro e a área da bacia.

- Índice de Circularidade (IC):

$$IC = \frac{12,57 * A}{p^2}, \quad (7)$$

Sendo: IC: Índice de Circularidade; A: área de drenagem e p: perímetro da bacia.

- O fator de forma (K_f) é determinado, empregando a seguinte equação:

$$K_f = \frac{A}{L^2} \quad (8)$$

Sendo: A área da bacia e L correspondendo ao comprimento axial da bacia (comprimento da foz até ponto mais extremo da bacia).

3.8 Levantamentos climáticos e uso do solo

Para a caracterização e o relacionamento da variabilidade climática na bacia do rio Paranapanema, foi realizada uma revisão bibliográfica sobre os principais estudos e pesquisas publicados sobre o regime de chuvas no Estado de São Paulo e no Paraná. Foram reunidas essas referências, como os trabalhos de Sant'Anna Neto (1999, 2003) e Nery (2005), a partir das interpretações do regime climático na bacia e seu relacionamento com a variabilidade das vazões.

Para identificação das alterações no uso e ocupação do solo, foram consultados os relatórios técnicos, dados e informações históricas de evolução do uso da terra dos municípios da bacia.

A principal fonte de informações para o acompanhamento da evolução temporal das mudanças na cobertura da terra e uso do solo foi a consulta dos dados históricos dos Censos Agropecuários⁶¹ do IBGE publicados até a presente data. Para isso, foram selecionados inicialmente

⁶¹ As informações sobre uso da terra nos Censos Agropecuários utilizam o conceito de *estabelecimento agropecuário*, o qual é “[...]todo terreno de área contínua, independente do tamanho ou situação, formado de uma ou mais parcelas, subordinado a um único produtor, onde se processasse uma exploração agropecuária, ou seja: o cultivo do solo com culturas permanentes e temporárias, inclusive hortaliças e flores; a criação, recriação ou engorda de animais de grande e médio porte, a criação de pequenos animais; a silvicultura ou o reflorestamento; e a extração de produtos vegetais...” (IBGE, 1995). Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/agropecuaria/censoagro/conceitos.shtml>>.

alguns municípios paulistas e paranaenses que se localizavam em diferentes regiões e bacias hidrográficas, para se obter uma amostra dos respectivos usos do solo, ao longo do tempo.

Os censos pesquisados⁶² foram:

- Estado de São Paulo - Censo Agrícola de São Paulo (1950; 1960), Censo Agropecuário de São Paulo (1970; 1980; 1995);
- Estado do Paraná - Censo Demográfico e Econômico do Paraná (1950), Censo Agrícola do Paraná/Santa Catarina (1960), Censo Agropecuário Paraná (1970; 1980; 1995).

A consulta de dados começou com os Censos de 1950, para acompanhar a evolução do município em questão. Em caso de desmembramento do município, considerou-se a área inicial, em 1950, sendo somadas as áreas desmembradas dos municípios posteriores.

A verificação minuciosa dos desmembramentos foi acompanhada pela consultas de informações dos órgãos Fundação SEADE⁶³ e Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social (IPARDES), do Estado de São Paulo e Paraná, respectivamente. No órgão SEADE, consultou-se o estudo intitulado *Memória das Estatísticas Demográficas do Estado de São Paulo*⁶⁴, que dispõe de informações sobre histórico de desmembramentos e incorporações de cada município paulista. As informações paranaenses foram acessadas no sistema de informações estatísticas do IPARDES, disponível na Base de Dados do Estado (BDEweb)⁶⁵.

As informações das áreas dos estabelecimentos e suas respectivas utilizações das terras, contidas nos Censos Agropecuários (1950, 1960, 1970, 1980, 1995), foram agrupadas nas seguintes categorias:

1. **Área total:** refere-se à soma de todas as categorias mais as terras improdutivas dos municípios e terras inaproveitáveis, como encostas íngremes, varjões, areais, açudes, represas, caminhos, estradas etc.;
2. **Culturas permanentes:** ou lavouras permanentes, que compreendem todas as terras plantadas ou em preparo para plantio de culturas de longa duração, tais como: café, laranja, banana, uva, ervas, seringueiras etc.;
3. **Culturas temporárias:** ou lavouras temporárias, que abrangem todas as terras plantadas ou em preparo para plantio de cultura de curta duração, normalmente anuais, tais como: arroz, milho, soja, feijão, trigo, hortaliças etc.;

⁶² O Censo de Agropecuário de 2005/06 não foram utilizados, porque sua publicação (disponibilidade) foram posterior a pesquisa.

⁶³ A Fundação SEADE é uma instituição pública ligada à Secretaria de Economia e Planejamento do Governo do Estado de São Paulo.

⁶⁴ Disponível em: <http://www.seade.gov.br/produtos/500anos/>. Acesso em: 01 abr. 2010.

⁶⁵ A Base de Dados do Estado (BDEweb) é um sistema de informações estatísticas com mais de 7 milhões de dados, classificados por grandes temas e assuntos. Disponível em: <http://www.ipardes.gov.br/index.php>. Acesso em: 01 abr. 2010.

4. **Pastagens:** inclui-se, nesta categoria, a soma das áreas com pastagens naturais e artificiais/plantadas;
5. **Matas naturais:** áreas formadas por matas e florestas preservadas, mesmo que tenham exploração econômica;
6. **Matas reflorestadas:** Compreendem as áreas plantadas ou em preparo para plantio de espécies florestais, normalmente utilizados nas atividades da silvicultura (pinheiros, eucalipto etc.);
7. **Terras não utilizadas:** Foram somadas, neste item, as terras em descanso, terras produtivas não utilizadas/terras incultas (1950, 1960), que constituem áreas com possível uso agrícola, mas não estavam sendo utilizadas para essa finalidade e terra inaproveitáveis, incluídas no Censo (1995).

3.8.1 Ponderações sobre os dados dos Censos Agropecuários

Durante a consulta dos dados disponíveis nos Censos Agropecuários, observaram-se as seguintes questões sobre a oscilação das áreas totais dos municípios:

- Em alguns municípios, a área total oscilava entre os períodos amostrados nos Censos, independentemente de as áreas territoriais do município se desmembrarem; em caso de desmembramento, isso também é examinado;
- A soma das áreas das categorias de uso da terra não é a mesma da área total do município, podendo ser até maior;
- Os números de estabelecimentos aumentam ou diminuem entre os períodos dos Censos.

Possíveis causas dessas oscilações:

- Até o Censo de 1980, as terras improdutivas, como encostas íngremes, pântanos, açudes, estradas etc., eram incluídas nessa área total;
- As áreas das propriedades em fronteira de municípios eram computadas, primeiro de acordo com a localização da sede da propriedade ou, em caso de ausência, onde esta é a maior parte da área da propriedade. Neste caso, se uma área sem sede fora computada no município num determinado Censo Agropecuário e, na década seguinte, a sede estava no outro município, a área total era remanejada.

Por fim, cabe destacar que as metodologias aplicadas pelo IBGE, durante os Censos Agropecuários, foram sendo aprimoradas; em acréscimo, as técnicas de precisão na delimitação de limites e áreas das propriedades rurais obtiveram um melhoramento robusto, ao longo da última metade do século XX.

Sendo assim, avaliamos que os dados podem ser utilizados como fonte de dados e comparação, no entanto, tais cautelas devem ser consideradas, nas análises desses dados, para adequada interpretação dos elementos da pesquisa com os dados dos Censos.

3.9 Relacionamentos entre as variáveis

Para aprofundar a análise e a interpretação dos dados hidrológicos da bacia do rio Paranapanema, os dados foram relacionados com base na aplicação de técnicas estatísticas multivariadas: Análise de Agrupamento (*Clusters*) e Análise de Componentes Principais (ACP). O emprego dessas técnicas permitiu indicar quais variáveis possuem maior significado, na diferenças espaciais entre os postos, assim como ordenar os postos de acordo com sua similaridade, determinando regiões com características semelhantes.

A técnica de agrupamento é um método de análise estatística multivariada, que consiste em agrupar e reagrupar elementos/variáveis em um mesmo grupo, conforme a similaridade de seus dados.

Para Naghettini e Pinto (2007), a análise de agrupamento é a aglomeração sequencial de indivíduos em grupos cada vez maiores, segundo algum critério, distância ou medida de dissimilaridade (quando maior o valor de dissimilaridade, maior é a diferença entre vetores). A medida mais usada é a distância euclidiana, a qual é simplesmente a distância geométrica tomada em um espaço.

A regra para definição formação dos clusters adotou o vizinho mais próximo/ligação simples, segundo o qual a distância entre dois clusters é determinada pela distância entre os seus dois respectivos indivíduos que mais se aproximam (NAGHETTINI; PINTO, 2007).

Já a técnica estatística multivariada, denominada análise de componentes principais (ACP), tem como objetivo explicar a estrutura de variância e covariância de um vetor aleatório, composto de p-variáveis, através da combinação dessas variáveis originais. Essa técnica estatística transforma linearmente um conjunto de p variáveis para um conjunto de números menores de k variáveis (componentes) não correlacionadas (MINGOTI, 2007).

O emprego para análise de agrupamento e componentes principais é um dos principais métodos usados na ordenação e identificação preliminar de regiões homogêneas. Rios e Calujuri (1995) e Rocha (2002) empregaram tais métodos para ordenar sub-bacias/trechos, através de variáveis limnológicas.

Para o estabelecimento dos relacionamentos entre as variáveis de cada posto e sua ordenação espacial, na bacia, foi aplicada a técnica de agrupamento e ACP, para 23 variáveis dos 54

postos fluviométricos, compreendendo informações de vazões, morfometria da bacia, precipitação e uso da terra.

As informações quantitativas do regime pluviométrico foram obtidas a partir do acesso dos dados dos postos pluviométrico da bacia com série histórica longa⁶⁶, disponibilizados pela Agência Nacional de Águas no sistema *Hidroweb*. Com base nos dados mensais de chuvas, foram calculados os totais anuais (acumulado) para cada posto e as estatísticas de média da série e dos períodos anterior e posterior a 1970. O critério adotado para transferência de informações de chuvas para postos da bacia foi a proximidade entre os postos pluviométricos e fluviométricos, associada à análise do mapa de precipitação da bacia e regiões homogêneas, citadas no trabalho de Nery, Carfan e Parizotto (2009).

A fim de transferir os dados de uso da terra dos municípios levantados para os postos fluviométricos, realizou-se análise de agrupamento do uso da terra dos municípios, obtendo-se uma regionalização do uso da terra, na bacia, em quatro grupos similares. Observou-se que esses grupos se alteravam significativamente entre as décadas dos censos agropecuários, sendo estabelecido um valor médio do uso da terra para o período anterior a 1970, com os censos de 1950 e 1960, enquanto, para o período posterior a 1970, o valor médio do período foi determinado pela relação entre dados dos censos de 1980 e 1995.

Para aplicação dessas técnicas estatísticas multivariadas, os dados foram transformados na mesma escala de medida. A padronização foi executada pelo uso do *logaritmo de base 10* no ambiente Excel⁶⁷. Posteriormente, foram aplicadas as técnicas de Agrupamento e ACP no *software* Statistica 9 (trial).

Na análise das variáveis temporais, foram realizadas correlações entre chuva x vazão, por meio da técnica estatística de regressão, no *software* Minitab. A estatística de regressão foi aplicada para os dados interanuais de cada posto fluviométrico, localizado na região do posto pluviométrico, em diferentes setores da bacia. Como a análise dos resultados, foram avaliados os coeficientes do modelo (R , R^2 e R^2 ajustado). Contudo, para os dados de uso do solo (decadal e anual ponderado⁶⁸), os valores de correlação dos testes iniciais foram muito baixos, o que inviabilizou sua utilização neste trabalho.

⁶⁶ No Apêndice E: Tabela 04D, estão expostas as informações sobre os postos pluviométricos selecionados segundo inventário da ANA (2006).

⁶⁷ A tabela 05E com dados das variáveis em escala logaritmo está disponível no Apêndice F.

⁶⁸ Para obtenção de valores do uso do solo entre as décadas do Censo, foi aplicada ponderação aritmética.

4. CARACTERIZAÇÃO AMBIENTAL DA BACIA DO RIO PARANAPANEMA

Este capítulo procura contribuir para entender os atributos do meio físico e a evolução da dinâmica social da bacia do rio Paranapanema. Para tanto, foi realizada uma interpretação das informações da bacia, em diferentes escalas, de modo a subsidiar a avaliação da dinâmica hidrológica da bacia hidrográfica.

4.1 Geologia

A geologia regional da bacia do rio Paranapanema é composta por um conjunto diversificado de rochas, variando litologicamente de sedimentos recentes a sequências paleozóicas. Pertencente à Bacia do Paraná, sua história geológica se organiza por eventos tectônicos, subsidências e sedimentações.

De acordo com Silva et al. (2003), a bacia do rio Paraná compreende três áreas de sedimentação independente, separadas por profundas discordâncias. Esses autores destacam tais áreas, como o a Bacia Paraná, a Bacia Serra Geral, compreendendo os derrames basálticos da Formação Serra Geral e bancos de arenitos eólicos da Formação Botucatu e a bacia intracratônica de arenitos, a Bacia Bauru (Figura 17).

A formação da bacia do Paraná tem sua origem na dinâmica de estabilização da Placa Sul-Americana, que permitiu a evolução de três grandes bacias intracratônicas (bacias Amazonas, Parnaíba e do Paraná), que acumularam sedimentos marinhos e continentais, desde os últimos ao longo do Fanerozóico. Os processos de subsidências ocorridos no tempo, na bacia, pelo acúmulo de sedimentos, são superiores a 5000m (SCHOBENHAUS et al., 1984).

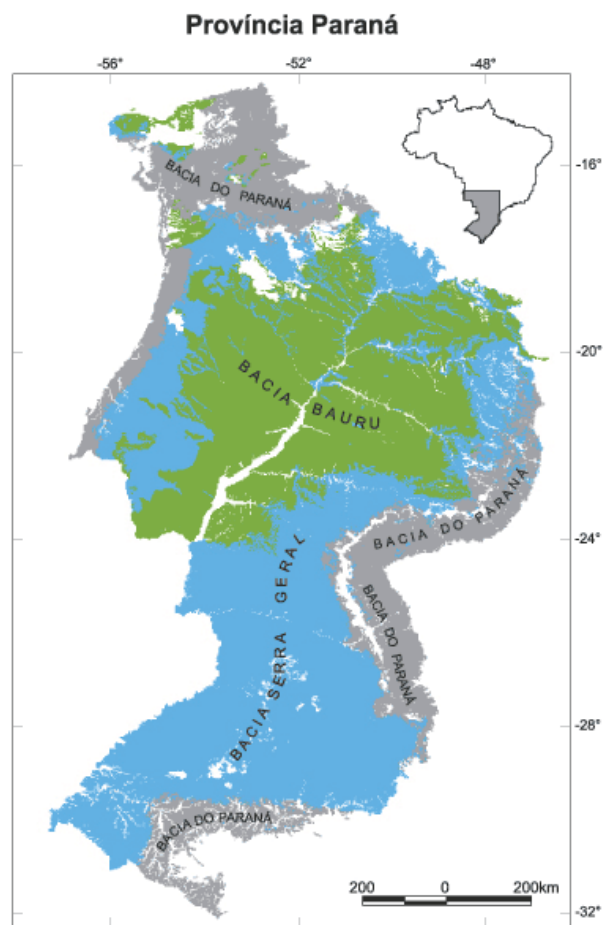


Figura 17. Esboço geológico da bacia do Paraná.
 Fonte: Silva et al. (2003) In: Schobbenhaus; Neves (2003).

Com base nos levantamentos geológicos focalizados no Mapa Geológico do Estado de São Paulo, na escala 1:500.000 do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT (1981) – e Mapa Geológico do Paraná, na escala 1:650.000 da Minerais do Paraná S/A – MINEROPAR (2001), verifica-se uma complexa diversidade litológica presente em toda a bacia do rio Paranapanema, das suas cabeceiras à foz.

Na porção E (leste) localizada nas nascentes do rio Paranapanema e Itapetininga, estendendo-se para a porção sul da cabeceira do rio Tibagi, podem-se identificar rochas do Pré-Cambriano, que integram o Escudo Cristalino da Plataforma Sul-Americana, com destaque para sedimentos Epimetamórficos do Grupo Açungui⁶⁹.

⁶⁹ No Estado de São Paulo, os autores não individualizaram o Grupo Açungui em seqüências estratigráficas, propondo e identificando as mais expressivas como os Complexos Pilar e Complexo Embu (ALMEIDA et al., 1981). Já no Estado do Paraná, houve subdivisões em formações Sequência Antinha, Formação Itaiacoca, Sequência Abapã, Formação Capiru, Formação Votuverava (MINEROPAR, 2001). Dentre as principais rochas, salienta-se a ocorrência de migmatitos, granitos, filitos e quartzitos.

Além das unidades litoestratigráficas do Planalto Atlântico, a maior parte das unidades situa-se na bacia do Paraná, que tem sua origem desde o Devoniano Inferior. Dentre os principais Grupos do Paleozóico, presentes na bacia, destaca-se o Grupo Castro, Paraná⁷⁰, Tubarão⁷¹ e Passa Dois⁷², do período Mesozóico, encontram-se Grupo São Bento⁷³ e Bauru⁷⁴ (IPT, 1981).

As Formações Botucatu e Serra Geral do Grupo São Bento ocorrem sobretudo no trecho médio da bacia, com afloramentos dos derrames basálticos (Serra Geral) estendidos em trechos da calha do rio Paranapanema.

As rochas do Grupo Bauru⁷⁵ estão localizadas a oeste da bacia, em especial, no baixo curso do rio Paranapanema. Na margem paranaense e no extremo oeste paulista, ressaltam-se os arenitos da Formação Caiuá, que se sobrepõem aos derrames basálticos. De acordo com o IPT (1981), os arenitos possuem coloração arroxeada, com marcante estratificação cruzada (nos afloramentos paulistas), indicativa de ambiente fácies eólico e/ou fluvial ou misto, de granulação fina a média, podendo estar associada localmente a cimento carbonático ou silicoso.

Os arenitos da Formação Santo Anastácio localizam-se nas baixas dos vales dos rios afluentes do Paraná, como em trechos do rio Santo Anastácio; já a Formação Adamantina, de vasta extensão no oeste do Estado de São Paulo, possui uma subdivisão em cinco fácies, salientando-se as principais rochas, como os siltitos, arenitos lamíticos e bancos de arenitos. Por fim, somam-se às características geológicas da bacia os sedimentos inconsolidados, constituindo depósitos quaternários nas áreas aluviais ⁷⁶.

Sob o ponto de vista hidrológico, a diversidade litológica das rochas em uma bacia, permite indicar o comportamento de armazenamento dos fluxos subterrâneos e sua capacidade de ceder à água aos cursos d'água durante o período de estiagens. Além disso, podem-se anotar outras interações existentes na bacia hidrográfica, por exemplo, a baixa densidade de drenagem, indica que a bacia é permeável, já valores altos de infiltração indicam boa capacidade de abastecimento do lençol subterrâneo e menor escoamento superficial.

⁷⁰ Encontram-se localmente Formações Furnas e Formação Ponta Grossa, com principais rochas, respectivamente, arenitos, siltitos e folhelhos e siltitos cimentados (MINEROPAR, 2001).

⁷¹ Principais formações da bacia: Formação Tatui (Ptt), Formação Itararé (CPI), Formação Rio Bonito (Prb) e Formação Palermo (Pp), com ocorrências de arenitos, siltitos, folhelhos, dentre outros (IPT, 1981).

⁷² Localizam-se formações: Formação Irati (Pi), Formação Serra Alta (Psa), Formação Teresina (Pt) e Formação Rio do Rastro (Prr) com litológicas mais expressivas de arenitos, siltitos e calcários MINEROPAR (2001).

⁷³ Pertence ao Grupo São Bento na bacia as Formações Botucatu e Serra Geral (IPT (1981).

⁷⁴ No Grupo Bauru, identifica-se a Formação Adamantina (Ka), Caiuá, Santo Anastácio e Marília (Km) IPT(1981).

⁷⁵ No Trabalho de Suarez (1976) o autor descreve que a litologia são formadas por arenitos, siltitos e argilitos, podendo estar cimentada por cimento carbonático ou silicoso que impõe bastante endurecimento nas áreas de ocorrência.

⁷⁶ No mapa do IPT (1981), os depósitos cenozóicos são classificados como sedimentos aluvionares (Qa) e sedimentos coluvionares (Qi).

4.2 Clima regional

O clima na bacia do rio Paranapanema caracteriza-se por ser transicional, em virtude dos diferentes sistemas atmosféricos atuantes e pela sua posição latitudinal (Figura 18). No alto curso do rio Paranapanema, encontram-se faixas de um clima subtropical úmido e a face ocidental de clima tropical de altitude, sendo a região igualmente controlada por massas tropicais e polares. No médio e baixo curso, predominam os climas tropicais alternadamente secos e úmidos (MONTEIRO, 1973). Na porção sul da bacia, na margem paranaense, o clima apresenta uma influência maior dos sistemas polares, ocasionado verões com temperaturas mais amenas e pluviosidade bem distribuída o ano todo, característico de clima mesotérmico (NIMER, 1989; BRASIL, 198-).

No trabalho de Mendonça e Danni-Oliveira (2007), acerca dos cinco macrotipos climáticos brasileiros, a área núcleo da bacia do rio Paranapanema encontra-se, na transição de dois climas, o macrotipo do clima tropical úmido-seco ou tropical do Brasil central com subtipos sem seca e com 1 a 3 meses secos e o macrotipo clima subtropical úmido, com inverno seco a frio.



Figura 18. Trajetos preferenciais das massas de ar que atingem o alto curso da bacia do rio Paraná, em anos de pluviosidade habitual.
Fonte: Boin (2000).

O regime de pluviosidade é um importante elemento para o entendimento da dinâmica hidrológica dos rios. Os principais sistemas atuantes, que controlam os regimes de pluviosidade e temperatura, na bacia do rio Paranapanema, são os sistemas Polares, Tropical Atlântico, Equatorial, Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), zonas de ocorrências de umidade, complexos convectivos de meso-escala e linhas de instabilidade. Assim como a ocorrências de ENSO⁷⁷ (Oscilação Sul), que podem intensificar positivamente ou negativamente o regime de chuvas em algumas regiões (NERY, 2005).

O regime de chuvas da bacia do rio Paranapanema varia entre 1100 mm e 1700mm (Figura 19). Na porção sul da bacia, há um equilíbrio na distribuição pluviométrica, não havendo um período seco definido, reflexo direto da atuação dos sistemas atmosféricos frontais (BRASIL, 198-).

As áreas com período seco e baixas precipitações ocupam a porção do baixo curso da bacia, com precipitações médias anuais entre 1100 e 1400 mm, ao passo que, na porção sul da bacia e em áreas de topografia elevada, as precipitações variam entre 1400 e 1700 mm. Esse regime pluviométrico, associado a sua sazonalidade, tem relação direta com o regime dos rios, principalmente nos regimes de vazante e cheia.

Nery, Carfan e Parizotto (2009), ao avaliar o regime de precipitação da bacia do rio Paranapanema, no período de 1974 a 2004, identificaram uma heterogeneidade espacial nos regimes anuais médios de chuvas, na bacia. No período chuvoso (verão), as precipitações são maiores na porção noroeste da bacia; no período seco, as chuvas concentram-se na região sul da bacia, resultantes dos sistemas atmosféricos atuantes e da orografia. Ainda segundo esses autores, a variação pluviométrica espacial na bacia é mais intensa, no período seco (65%), enquanto, no período úmido, a variabilidade das precipitações não ultrapassa 30%.

⁷⁷ O ENSO é a oscilação da temperatura do mar na área tropical do Oceano Pacífico. Trata-se de um componente da atmosfera que indica a variação de pressão do ar Darwin, na Austrália, e o sul do Pacífico, na ilha de Tahiti (BRASIL, 2006).

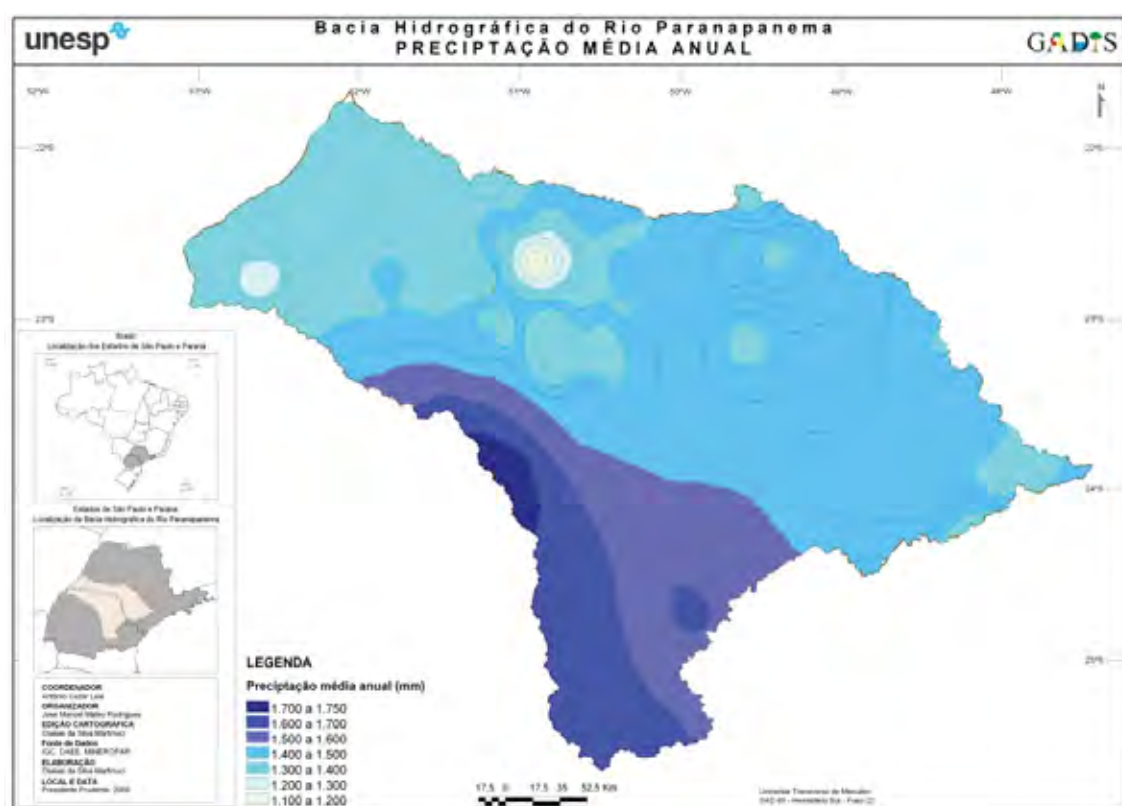


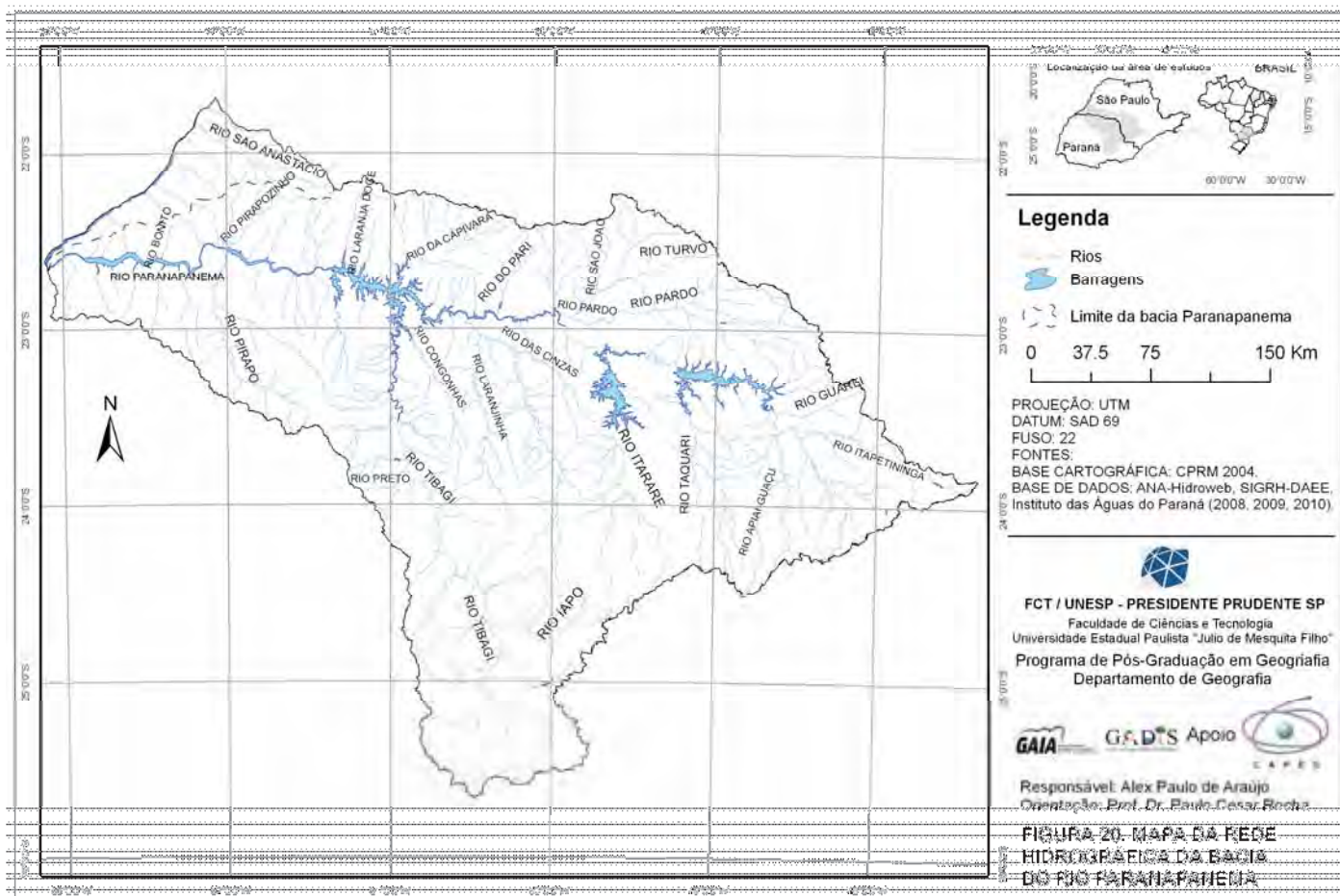
Figura 19. Precipitação média da bacia Paranapanema/Santo Anastácio
Fonte: GADIS (2009).

4.3 Rede hidrográfica da bacia Paranapanema

A bacia hidrográfica do rio Paranapanema corta do sentido leste para oeste a bacia do Alto Paraná (margem esquerda), tendo seus afluentes da margem paranaense sentido sul-norte das drenagens da nascente até a foz no rio Paranapanema. Os extensos rios e milhares de afluentes que compõem sua bacia drenam uma diversidade de estruturas geológicas que impõem rupturas de declive, como corredeiras e saltos, em diversos trechos dos rios da bacia.

Dentre os inúmeros rios de sua densa rede hidrográfica, destacam-se os rios mais caudalosos (Figura 20): primeiramente, os rios Paranapanema e Itararé, por ser divisa natural entre os Estados de São Paulo e Paraná. Na margem paranaense, os rios Cinzas e Laranjinha, da bacia do Cinzas, o rios Congonhas, Iapó, Tibagi da bacia do Tibagi e, no baixo curso do rio Paranapanema, os afluentes Pirapó e Bandeirantes, da bacia do Pirapó.

Na margem paulista, no Alto Paranapanema, situam-se os rios Paranapanema e Almas (nascentes), Taquari, Apiaí-Guaçu, Itapetininga. No médio curso paulista, o rio Turvo, Pardo, Novo, Pari e Capivara. No baixo curso, estão os menores canais (3º e 4º ordem) que drenam para o rio Paranapanema, como ribeirão Taquaruçu, Laranja Doce, Pirapozinho. Na região do Pontal notadamente, ocorrem os cursos d'água que drenam diretamente para o Rio Paraná, mas também integram a UGRHI -22, como o rio Santo Anastácio, cuja cabeceira fica próxima à cidade de Presidente Prudente.



4.4 Aspectos do relevo regional na área de estudo

A bacia do rio Paranapanema drena um heterogêneo conjunto de províncias geológico-geomorfológicas, com suas nascentes situadas no Planalto Atlântico de embasamento cristalino, sendo que suas águas drenam para o interior da bacia do alto rio Paraná. No bloco diagrama (Figura 21), elaborado por Ab'Saber (1954), podem ser observadas as principais características singulares dos inúmeros modelados construídos ao longo do tempo e no espaço, desde superfícies aplainadas a relevos ondulados e escarpados.

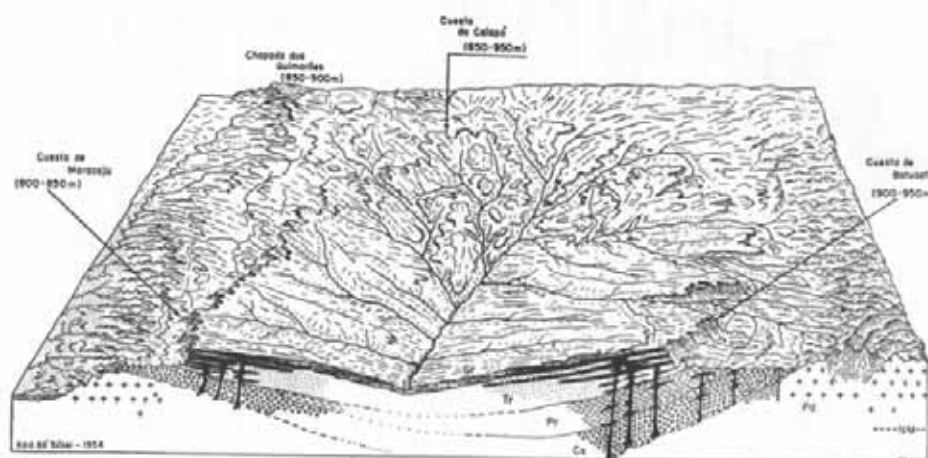


Figura 21. Bloco diagrama esquemático da bacia do alto rio Paraná, compreendendo estruturas cristalinas (planalto atlântico), depressão, cuestras e planaltos.

Fonte: Ab'Saber (2004)

Para caracterização geomorfológica em escala regional da bacia, realizou-se um levantamento dos recentes trabalhos de mapeamento geomorfológico para os Estados de São Paulo e Paraná, elaborados por Ross e Moroz (1996) e Santos et al. (2006), respectivamente.

Tais trabalhos possuem como referencial teórico, para o mapeamento das unidades geomorfológicas, os conceitos de Morfoestrutura⁷⁸ e Morfoescultura⁷⁹. Nos trabalhos de Ross e Moroz (1996) e Santos et al. (2006), os mapas geomorfológicos do estado de São Paulo e do Paraná se dividem em três unidades morfoestruturais (1º táxon): I - Cinturão Orogênico do Atlântico; II – Bacia Sedimentar do Paraná; III - Bacias Sedimentares Cenozóicas e Depressões Tectônicas, seguindo-se,

⁷⁸ A concepção de morfoestrutura, de origem russa, entende extensões de relevo com determinadas características estruturais, litológicas e geotectônicas que estão associadas a sua gênese (ROSS; MOROZ, 1996). Essas formas de relevo, como as bacias sedimentares, Crátons, dentre outras, passaram por inúmeros processos geotectônicos e forças externas, para constituir e estruturar seu modelado.

⁷⁹ As morfoesculturas são formas ou tipologias de relevo produtos das ações climáticas sobre as morfoestruturas, ou seja, os contínuos desgastes erosivos promovidos pelos agentes climáticos diferenciados no espaço e no tempo, sobre o relevo, resultam em formas morfoesculturas (ROSS; MOROZ, 1996).

de forma detalhada, outros níveis taxonômicos de morfoesculturas, de acordo com a escala abordada e relevos mapeados (Figura 22).

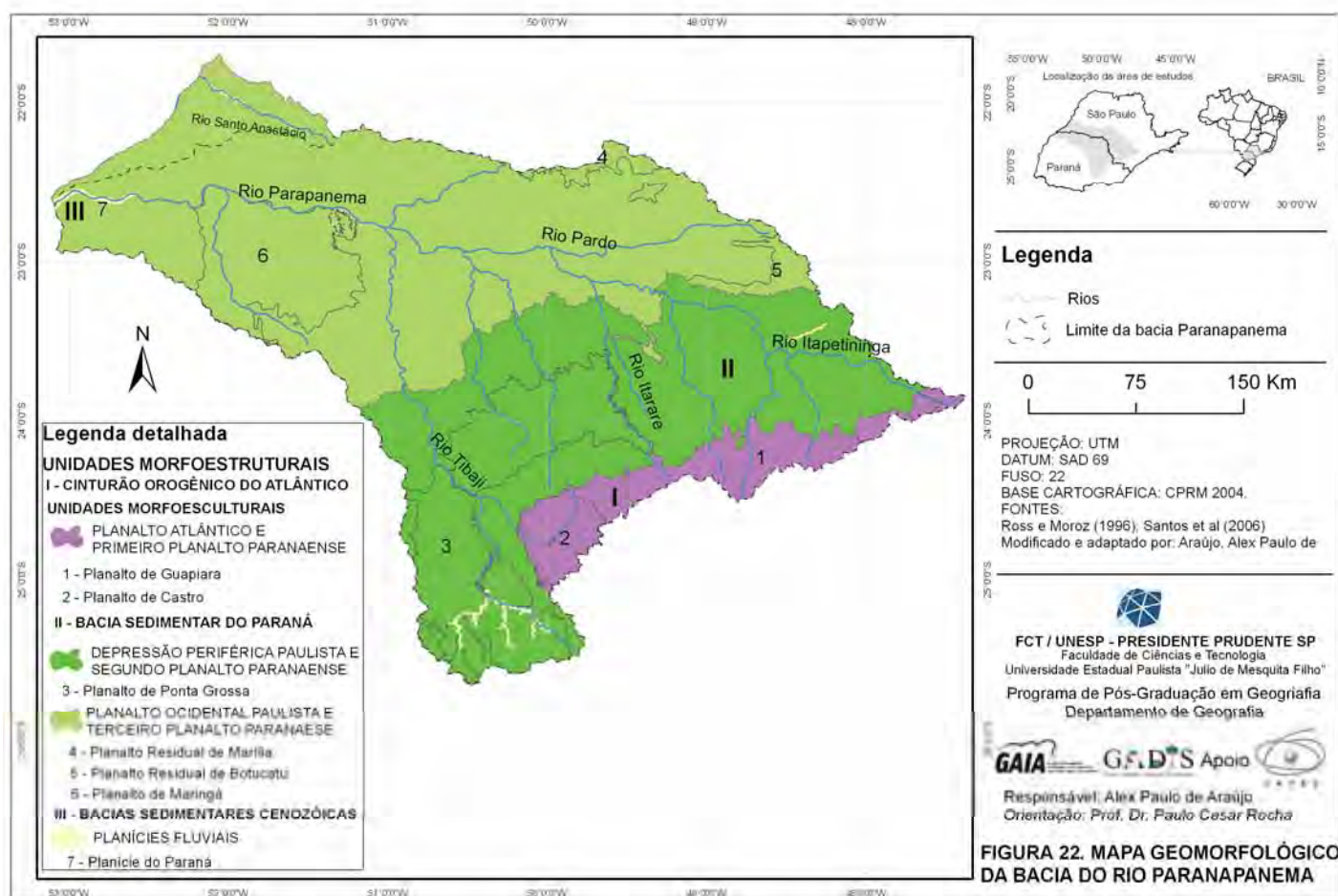
As variações fisionômicas existentes nas morfoesculturas do Planalto Atlântico são identificadas como unidades distintas nos mapas de Ross e Moroz (1996) e Santos et al. (2006). Os relevos mais expressivos nas nascentes do rio Paranapanema drenam as áreas do Planalto de Guapiara e o Planalto de Castro, que se caracteriza por topografias acidentadas/dissecadas, de relevo montanhoso que imprime alta energia ao escoamento das canais fluviais. De acordo com Santos et al. (2006), no Primeiro Planalto Paranaense, sustentado por rochas metamórficas de baixo grau do Grupo Açungui, metavulcânicas do Grupo Castro, intrusões graníticas e diques de diabásio, com altitudes entre 400 e 1200 metros.

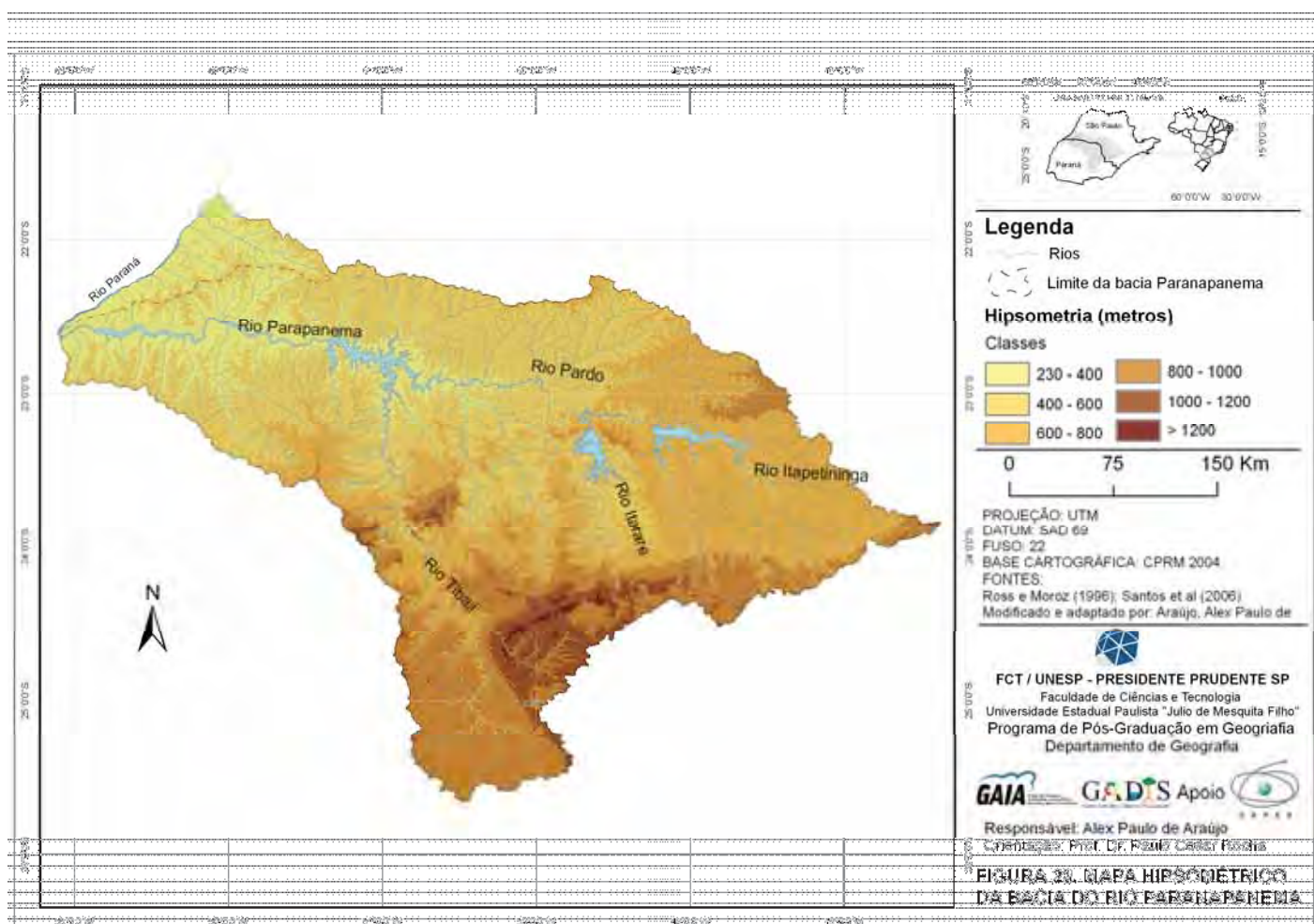
Grande parte da bacia do rio Paranapanema está inserida na Bacia Sedimentar do Paraná, englobando áreas geomorfológicas da Depressão Paranapanema, Planaltos Residuais de Marília e Botucatu e do Planalto Ocidental Paulista, na margem paulista, e, na margem paranaense, o Segundo e Terceiro Planalto Paranaense.

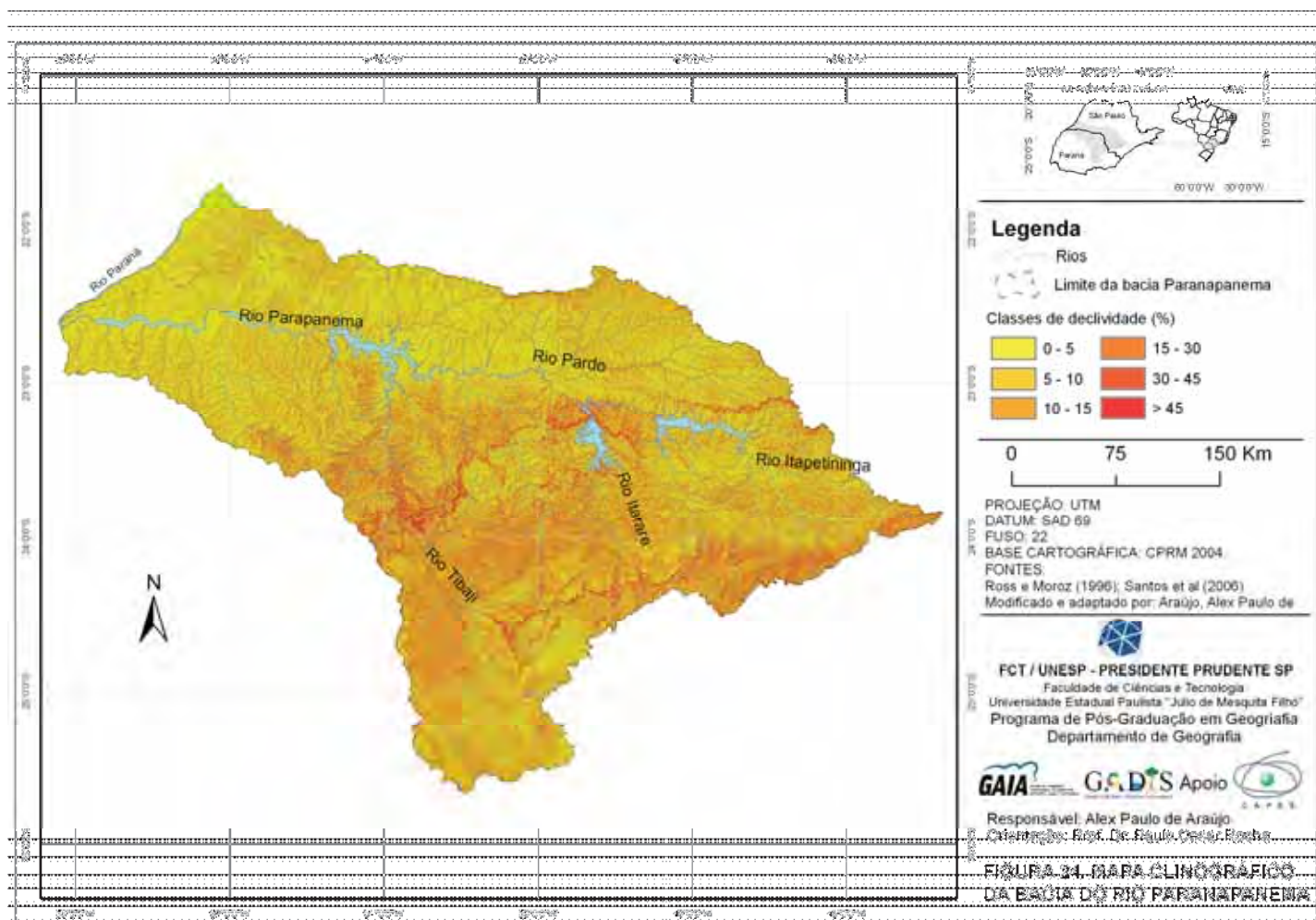
O relevo no interior da bacia sedimentar do Paraná, após o reverso das cuestas e escarpas arenítico-basálticas e no rebordo dos planaltos residuais, caracteriza-se por superfícies que sofreram processos de rebaixamento, conferindo-lhe uma homogeneidade, sobretudo nas áreas dos arenitos do Grupo Bauru. Ab'Saber (1969) reconhece essas extensas áreas de sedimentos do cretáceos existentes no interior da bacia do Paraná, as quais as chama de *chapadões rebaixados*.

De acordo com o mapa hipsométrico (Figura 23), a variação altimétrica presente na bacia do rio Paranapanema, de sua foz até os divisores das cabeceiras de drenagem, tem 1126 m, com a menor cota – 230 – na confluência do rio Paranapanema com rio Paraná. As maiores cotas altimétricas situam-se nas áreas de cabeceira do rio Paranapanema, englobando as áreas drenadas pelo planalto atlântico e os relevos da borda dos planaltos. Em direção a jusante dos principais rios, podem ocorrer áreas com planície de inundação resultados das ações dos agentes geomórficos fluviais, trechos em que as variações altimétricas estão entre 230 a 600 metros.

O mapa clinográfico (Figura 24) elaborado com base nas classes de declividades de 0 a 5%, 5 a 10%, 10 a 15%, 15 a 30%, 30 a 45% e >45%, permite reconhecer o relacionamento entre essas classes com as estruturas geológicas e as unidades geomorfológicas da bacia, visto que a conformação das áreas com maiores e menores declividades, na bacia, está vinculada às características físicas do ambiente. Isso impõe um gradiente de escoamento das águas que se relaciona diretamente com débitos dos rios, principalmente em bacias de menor grandeza.







Esse parâmetro morfométrico é um dos atributos para verificação da dissecação do relevo da bacia, que pode favorecer uma maior concentração do escoamento superficial, nas áreas do Primeiro, Segundo Planalto Paranaense e Planalto Guapiara e borda do planalto ocidental paulista, onde predominam as maiores declividades, com classes superiores a 30%.

No sentido oeste da bacia, as declividades diminuem segundo padrões de relevos menos dissecados, presentes no interior do planalto paulista e terceiro planalto paranaense; as classes de declividades variam entre 0 a 30%, com pequenos trechos com declividades superiores.

Para a bacia do rio Paranapanema apesar de haver maior precipitação no trecho do alto e médio curso, verifica-se também a ocorrência das maiores declividades, geradora de escoamento superficial. Visto que, a declividade em da bacia relaciona-se com a velocidade da águas durante o escoamento superficial, logo determina o tempo que a água terá para se infiltrar e alimentar os fluxos subterrâneos

4.5 Potencial hidráulico e aproveitamento hidroelétrico

O rio Paranapanema nasce na serra de Paranapiacaba, no município de Capão Bonito/SP, sendo controlado, ao longo da sua extensão, por diversas barragens⁸⁰ (Tabela 03) destinadas à obtenção de energia elétrica, uma vez que sua bacia é caracterizada pela extensa área de drenagem e pelo potencial hidráulico de seus rios.

Tabela 03. Sistema hidroelétrico do rio Paranapanema

Usina	Potência (MW)	Área do reservatório (km ²)	MW/km ²	Ano de instalação/Operação
Jurumirim	98	449	0,22	1962
Piraju I	80	12,75	6,27	2002
Paranapanema	31,1	1, 494	20,82	1932
UHE Chavantes	414	400	1,04	1970
Ourinhos	44	5,09	8,64	2000
Santo Grande	74	12	6,17	1960
Canoas II	72	22,5	3,2	1999
Canoas I	83	30,85	2,69	1999
UHE Capivara	414	576	0,72	1978
UHE Taquaruçu	554	80,1	6,92	1989
UHE Rosana	372	220	1,69	1987

Fonte Duke Energy (2010), Santa Cruz Energia (2010) e Companhia Brasileira de Alumínio/CBA (2010).

⁸⁰ Atualmente, existem 11 usinas hidrelétricas ao longo da calha do rio Paranapanema.

A exploração desse potencial hidráulico, na bacia do rio Paranapanema, é feita de duas maneiras. A primeira se refere às usinas mencionadas na Tabela 03. Dentre as barragens existentes na calha do rio, três possuem um reservatório de acumulação de águas, enquanto oito funcionam a fio d'água (Figura 25), essa característica reflete na relação de geração de energia de megawatts (MW) por área inundada do reservatório (km²), as menores usinas geram um número per capita maior, porém necessita da regularização para manter o padrão de geração nos períodos de estiagens. O segundo sistema é constituído pelas Pequenas Centrais Hidroelétricas (PCH)⁸¹ e as Centrais Geradoras de Hidroelétricas (CGH)⁸² existentes na bacia. A Figura 26 apresenta uma espacialização desses principais empreendimentos, segundo a Agência Nacional do Setor Elétrico – ANEEL (2010).



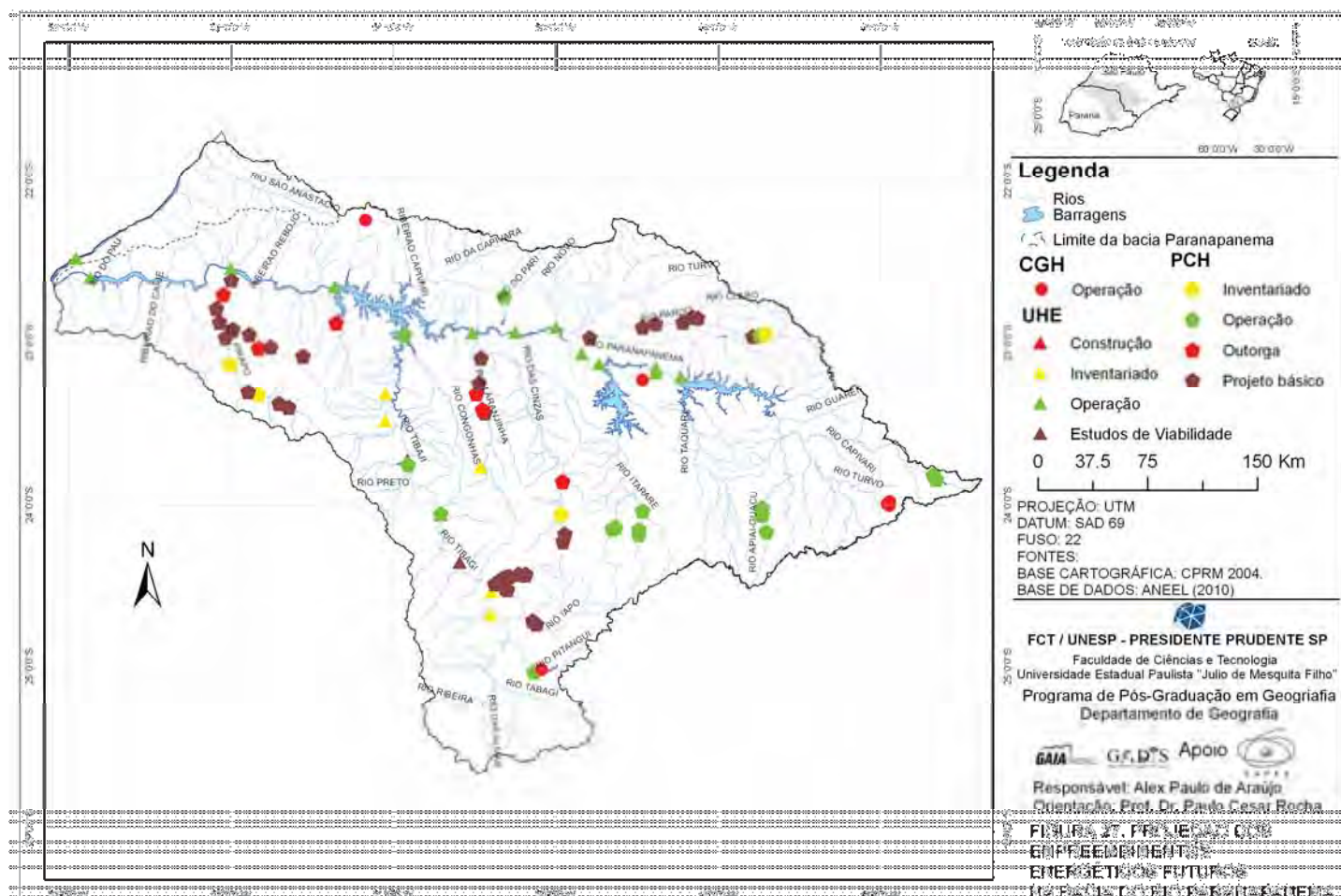
Figura 25. Usinas do rio Paranapanema.

Essas formas de aproveitamento e apropriação dos rios (águas), enquanto recurso (energia potencial) para obtenção de energia elétrica compõe um macrossistema regulador de fluxos da bacia do rio Paranapanema. Tais barragens funcionam num sistema cascata de regularização do fluxo entre as usinas/barragens com reservatório e as usinas a fio d'água. Na Figura 27, apresentamos um mapa com uma espacialização dos possíveis aproveitamentos energéticos na bacia, no curto e longo prazo, como os estudos de inventário, viabilidade e projeto básico em andamento, segundo a ANEEL.

Ainda a respeito dos barramentos na bacia Paranapanema, pode-se discutir a eficiência da área alagada e a produção de energia, visto que nas usinas com reservatório a relação área alagada e produção não é muito favorável. Além disso, além dos problemas socioambientais oriundos dessa atividade, destacam-se as alterações na dinâmica dos rios como em a sua geometria hidráulica, no transporte de sedimentos, no regime dos débitos, na flora e fauna fluvial, dentre outras.

⁸¹ Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH) são empreendimentos hidrelétricos com potência superior a 1.000 kW e igual ou inferior a 30.000 kW e com área total de reservatório igual ou inferior a 3,0 km² (BRASIL, 2003).

⁸² São Centrais Geradoras Hidrelétricas os empreendimentos com aproveitamentos de potenciais hidráulicos iguais ou inferiores a 1.000 kW (BRASIL, 2003).



4.6 Evolução da cobertura e uso do solo

A diversidade de ambientes, resultado da interação entre características climáticas, pedológicas, geomorfológicas, topográficas e latitudinais, possibilitou o desenvolvimento de uma rica biodiversidade florestal, na bacia do rio Paranapanema. As principais vegetações naturais primitivas eram constituídas por matas pluviais, matas das araucárias, campos e cerrados e a mais expressiva no território paulista, em extensão e aspecto fisionômico: as florestas latifoliadas tropicais (VICTOR, 1975).

Entretanto, sucessivos processos de ocupação e degradação da cobertura vegetal, ao longo da história, alteraram completamente a cobertura da terra da bacia. Na Figura 28, observa-se os dados de evolução da intensidade da redução da vegetação natural nos estados do Paraná e São Paulo; apesar das informações temporais não corresponderem ao mesmo ano, é possível avaliar os significativos avanços do desmatamento, em cada estado, em que a curva de desmatamento tem sua inclinação aumentada com diferenças de aproximadamente trinta anos entre os estados.

Os dados mencionados colaboram para a avaliação inicial dos processos de alteração da cobertura e uso do solo, na bacia. O desmatamento nos estados de São Paulo e Paraná está relacionado com as formas de ocupação e o avanço da fronteira agrícola, nesses Estados. Nas Figuras 29 e 30, verificam-se, de forma sistemática, de leste para oeste as alterações da cobertura da terra com os desmatamentos.

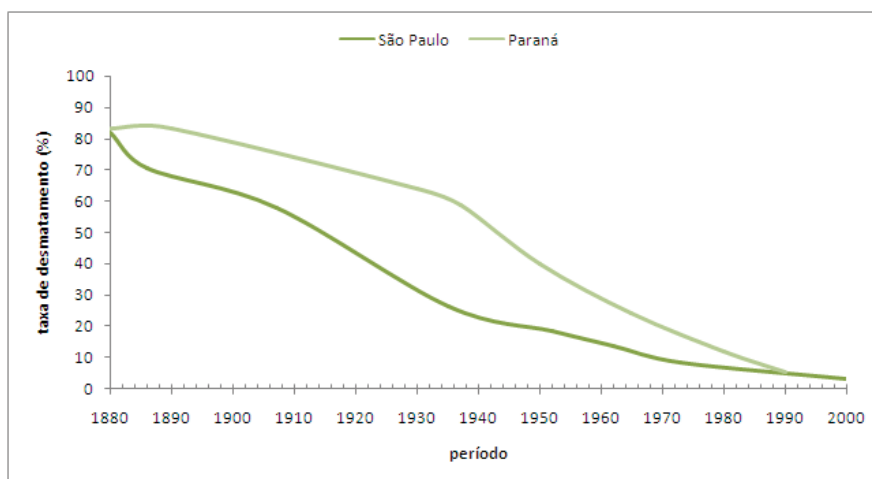


Figura 28. Gráfico de evolução da taxas de redução da cobertura vegetal natural em São Paulo e Paraná, entre 1886 e 2000.

Fonte: Victor (1975), Costa Neto (1997), Tucci, Mendes (2006)

As variações na curva do desmatamento de um Estado para outro retratam o início da ocupação e uso das terras paulistas e paranaenses. No caso paulista, a frente pioneira conforme chamado por Monbeig para a bacia do rio Paraná, teve o processo e ocupação no final do século XIX, com o desmatamento das terras para o cultivo do café e depois por cana-de-açúcar. No Paraná, apesar

do processo semelhante de ocupação, o uso começou com lavouras de café, sendo substituída ao longo da segunda metade do século XX por outras culturas anuais, como a soja e o milho (TUCCI; MENDES, 2006).

Verifica-se, na Figura 28, a intensidade da redução da vegetação natural em São Paulo, em 1935, de sorte que, quando a frente pioneira alcança quase todos os rincões do Estado, a cobertura natural já estava reduzida a 26,2%. Para o Paraná, esse índice foi observado apenas na década de 60 do século XX.

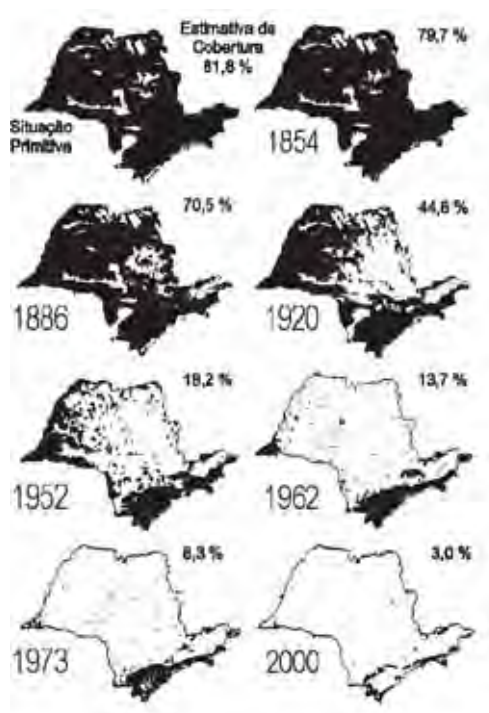


Figura 29. Evolução do desmatamento no Estado de São Paulo.

Desenho: Reconstituição florestal do Estado de São Paulo - autores: A. C. CAVALLI, J. R.. GUILLAUMON, R. SERRA FILHO.

Fonte: Victor (1975).

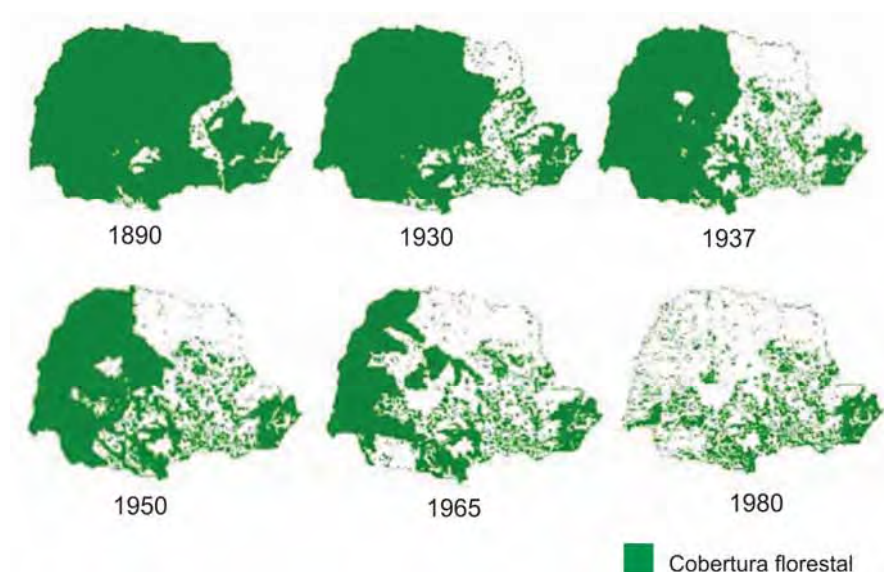


Figura 30. Evolução do desmatamento no Estado do Paraná.
 Fonte: <http://www.mataciliar.pr.gov.br>

Atualmente, a oeste da bacia hidrográfica do rio Paraná/Paranapanema, a vegetação natural ficou reduzida a alguns fragmentos de mata, sobretudo alguns parques (BOIN, 2000). Dentre os diversos usos da terra, a paisagem regional, no alto e médio curso, caracteriza-se pelas culturas agrícolas e, no baixo curso, pelas pastagens. Nos últimos anos, observa-se igualmente um avanço do plantio da cana-de-açúcar, sendo esta uma das atuais características do uso do solo, na sua bacia, podendo gerar uma nova etapa de impactos nos recursos hídricos.

5.RESULTADOS E DISCUSSÃO

A avaliação e o exame da dinâmica hidrológica dos rios da bacia em questão demandaram uma análise geográfica que englobasse cada afluente do rio Paranapanema com dados hidrológicos disponíveis (estações presentes na bacia). Desse modo, a apresentação dos resultados do regime hídrico desses rios tem como limiar o posicionamento e o relacionamento dos postos com as variáveis hidrológicas componentes dos ambientes fluviais.

Para verificar a variabilidade hidrológica das magnitudes interanuais dos rios, foram organizados gráficos (hidrogramas anuais) para cada posto fluviométrico, demonstrando o comportamento hidrológico das vazões de tais rios.

5.1 Regime e períodos hidrológicos da bacia do rio Paranapanema/Santo Anastácio

5.1.1 Bacia do rio Capivara

O subitem em questão abordará o regime interanual das magnitudes dos canais que compõem a bacia do rio Capivara. Tal dinâmica é representada na Figura 31, através da observação do comportamento hidrológico dos rios, que teve uma tendência de aumento das vazões, ao longo dos trinta e três anos de registro. Outra característica presente nos dados das vazões é a amplitude de anos com picos altos e baixos, resultante da interação entre as vazões e eventos climáticos anômalos.

As estatísticas obtidas nesses três postos estão organizadas na Tabela 04, em que se percebe que a vazão média (Q) do período ou vazão média de longo período (Qlp), para os rios da bacia, foram: para o rio Sapé, afluente da margem direita do rio Capivara, no posto Paraguaçu Paulista (64394000), vazões de 1,82 m³/s; no posto Ajicê (64346000), rio Capivari (também afluente do rio Capivara), a vazão média anual do período foi de 6,81 m³/s e, para posto Maracaí (64395000), localizado no rio Capivara, os débitos médios anuais do período foram de 18,25 m³/s. Os valores dos coeficientes de variação (CV) dos postos colaboram para a análise da variabilidade nesses rios, com destaque para o elevado índice do CV para o posto Maracaí, que tem intensas oscilações nos seus débitos.

Tabela 04. Estatísticas dos postos da bacia do rio Capivara

Posto hidrológico	Q média 1970-2003	σ 1970-2003	CV 1970-2003 (%)	q 1970-2003 (l/s/km²)
Paraguaçu Paulista 7D-014	1,82	0,3	16	11,88
Ajicê	6,81	1,3	20	10,55
Maracaí 7D-013	18,25	4,7	26	11,67

No que se refere à vazão específica (q), os postos possuem valores próximos, variando de 10,55 l/s/km², para o rio Capivara, a 11,88 l/s/km², para rio Sapé. A q do posto Paraguaçu Paulista para o posto jusante Maracaí foi maior, tendo um comportamento esperado à medida que há uma menor área de drenagem e mesma densidade de rios.

Algumas intensas pulsações interanuais de vazões (altas e baixas) não observadas claramente nos hidrológicos da bacia do rio Paranapanema, como os picos de altas vazões associadas aos eventos fenômeno El Niño de 1982/1983.

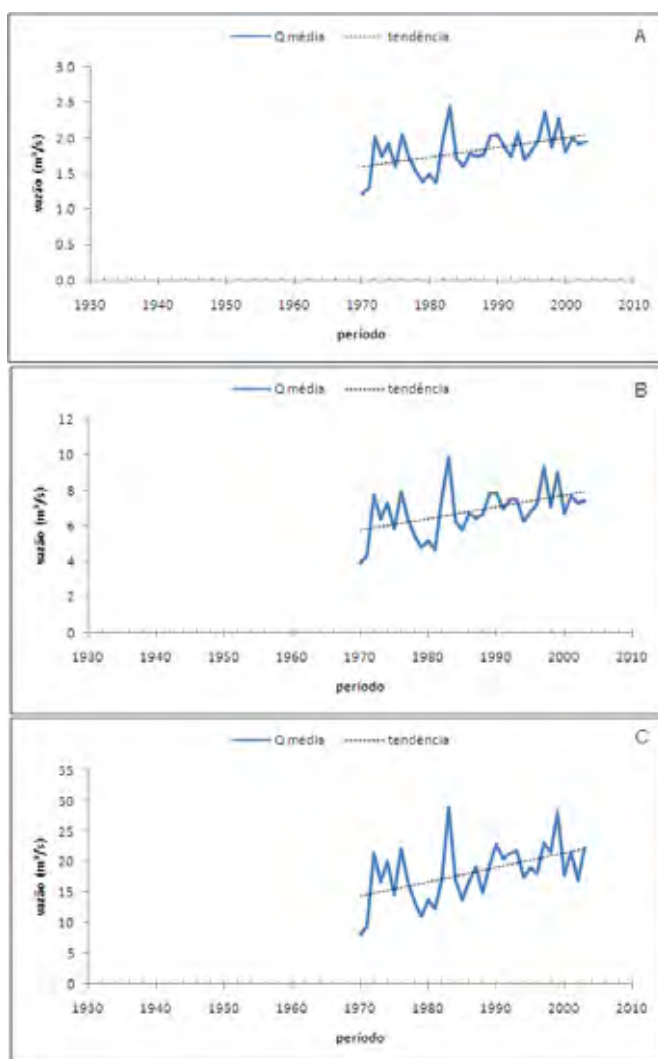


Figura 31. Magnitudes anuais de vazão na bacia do rio Capivara, Postos: A - Paraguaçu Paulista (64394000); B - Ajicê (64346000); C - Maracaí (64395000).

5.1.2 O regime do rio Pari e rio Novo

A variabilidade hidrológica dos rios Pari e Novo é representada, respectivamente, nas Figuras 32 e 33. Para esses, rios constatou-se um comportamento no aumento dos débitos pós

1970, porém, com uma redução da amplitude de sua variabilidade, nos anos pós década de 1980. Os dados do CV presentes na Tabela 05 demonstram essa alta pulsação.

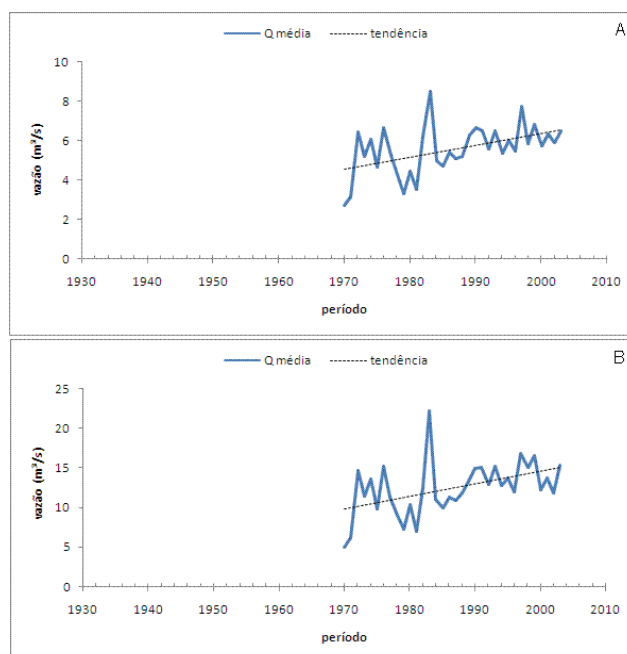


Figura 32. Magnitudes interanuais do rio Pari. Postos: A – Platina (64344000); B - Sucuí (64345000).

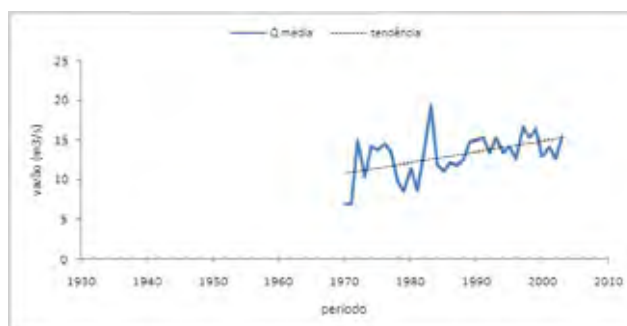


Figura 33. Magnitudes interanuais do rio Novo. Posto: Salto Grande (64333000).

Tabela 05. Estatísticas do regime hidrológico do rio Pari e rio Novo.

Posto	Q média 1970-2003	σ 1970-2003	CV 1970-2003	q 1970-2003 (l/s/km ²)
Platina	5,6	1,2	22	12,94
Sucuí	12,4	3,2	26	13,34
Salto Grande	13,03	2,7	21	12,94

As vazões médias do período (1970-2003) para o rio Pari foram de 5,6 m³/s, para o posto Platina, 12,4 m³/s para posto Sucuí (jusante), para o rio Novo, enquanto, no Posto Salto Grande, a vazão de longo período foi de 13,0 m³/s. No que se refere à vazão específica (q), não há diferenças

significativas entres os pontos, caracterizando-se uma vazão específica para esses rios de aproximadamente 13 l/s/km².

5.1.3 O regime na bacia do rio Turvo e Pardo

O regime de fluxo anual na bacia do rio Turvo e Pardo foi avaliado a partir de cinco fluviométricos, sendo dois postos no rio Turvo Fazenda da Barra (64328050) e São Pedro do Turvo (64327000) e, para o rio Pardo, três postos com longa série de dados: Santa Cruz do Rio Pardo/DAEE (64320000), Águas de Santa Bárbara (64315000) e Santa Cruz do Rio Pardo/ANA (64323000).

Nas Figuras 34 e 35, estão organizados os dados de vazões anuais. Primeiramente, verifica-se visualmente que existe um correlacionamento entre os dados de vazões existentes – no rio Turvo: A e B (Figura 34) e no rio Pardo: A, B e C (Figura 35) – sendo que essa correspondência é também presente nos dados estimados estatisticamente. Com base na observação da variabilidade do regime anual do rio Pardo, ao longo da série histórica, é evidente a identificação de uma alteração, ou seja, o aumento dos débitos, após a década de 70.

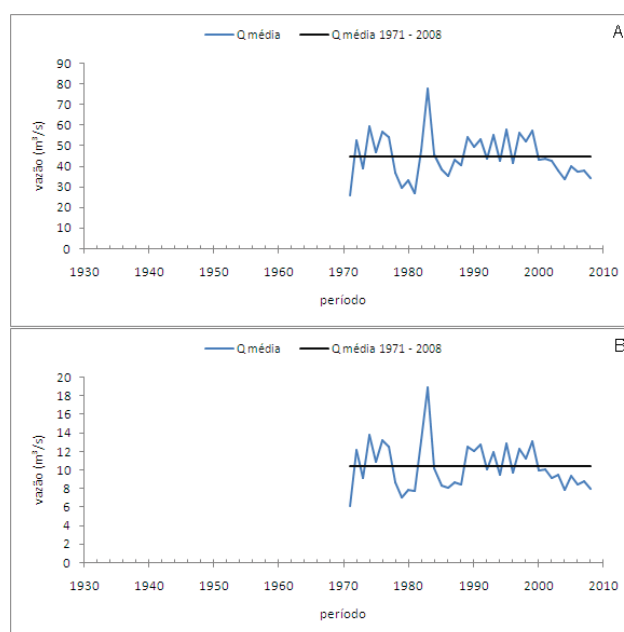


Figura 34. Magnitudes anuais do rio Turvo, Rio Turvo: A – Fazenda da Barra, B – Posto São Pedro do Turvo.

Associados ao aumento das vazões após 1970 notam-se também que, entre 1960 e 1980, os picos do regime anual do rio Pardo foram intensos, apontado pela sequência de anos com vazões médias anuais altas e anos com vazões médias anuais baixas. Nas Tabelas 06 e 07, expõem-se as variações nos parâmetros estatísticos da série estudada para as estações. Para os postos

localizados no rio Pardo, observa-se que houve aumento dos valores médios anuais e da variabilidade entre os períodos identificados.

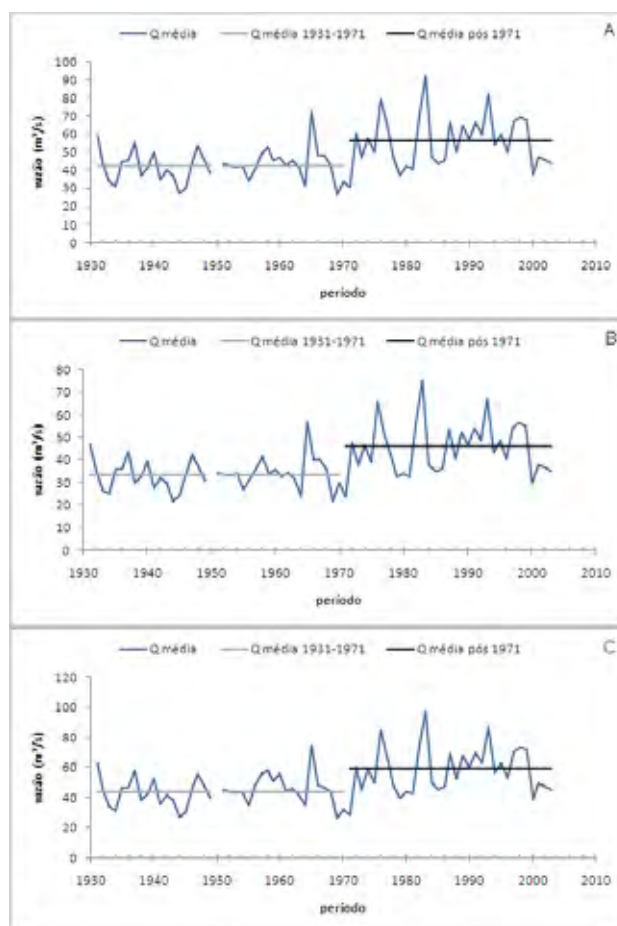


Figura 35. Magnitudes anuais do rio Turvo e Pardo e seus respectivos períodos, Rio Pardo: A – Santa Cruz do Rio Pardo/DAEE, B – Águas de Santa Bárbara e C – Santa Cruz do Rio Pardo/ANA.

Tabela 06. Estatísticas do regime hidrológico do rio Turvo.

Postos	Q média 1971-2008	CV (%)	q 1970-2003 (l/s/km²)
Fazenda da Barra	44,9	23,5	11,6
São Pedro do Turvo 6D-010	10,4	24,0	11,7

Tabela 07. Estatísticas do regime hidrológico do rio Pardo.

Posto hidrológico	Santa Cruz do Rio Pardo 6D-001	Águas de Santa Bárbara 6D-002	Santa Cruz do Rio Pardo/ANA
Q média 1931-2003	48,8	39,1	50,8
Q média 1931-1970	42,7	33,8	44,6
Q média pós 1970	56,0	45,4	58,3
CV (%) 1931-2003 (%)	27,2	28,1	28,4
CV (%) 1930-1970 (%)	21,1	20,8	22,7
CV (%) pós 1970 (%)	25,1	25,5	26,3
q 1931-2003 (l/s/km ²)	11,7	11,8	12,2
q 1930-1970 (l/s/km ²)	10,2	10,2	10,7
q pós 1970 (l/s/km ²)	13,4	13,6	14,0

Os débitos médios anuais do período para os postos foram de 44,9 e 10,4 m³/s, para o rio Turvo, e, no rio Pardo, 48,8 m³/s, 39,1 m³/s e 50,8 m³/s, para os postos Fazenda da Barra, São Pedro do Turvo, Santa Cruz do Rio Pardo 6D-001, Águas de Santa Bárbara e Santa Cruz do Rio Pardo/ANA, respectivamente.

Esse aumento dos débitos após década de 1970, no rio Pardo, e possivelmente do mesmo modo, no rio Turvo, também é observado nos dados de vazão específica: se o valor médio foi de 11,7 a 12,2 l/s/km², durante toda a série de dados, no período anterior, a vazão específica era de aproximadamente 10,2 a 10,7 l/s/km², sendo que, posteriormente a 1970, verificou-se um aumento para 13,4 a 14 l/s/km², na bacia.

5.1.4 Regime do rio Taquari

O regime interanual do rio Taquari é apresentado na Figura 36 e na Tabela 8. Constata-se um aumento dos débitos médios para todas as estações, com destaque para o posto Palmeira do Ricardo. As vazões médias de todo o período de dados são de 6,43 m³/s, 10,85 m³/s, 10,75 m³/s, para os postos Palmeira do Ricardo, Itapeva e Itapeva 5e-002, respectivamente.

Na vazão específica (q) do rio Taquari percebe-se igualmente um aumento no período posterior a 1970, se comparado com valores médios e período anterior. O posto de cabeceira do rio Taquari (Palmeira do Ricardo) apresentou maior vazão específica, se comparados os índices entres os postos.

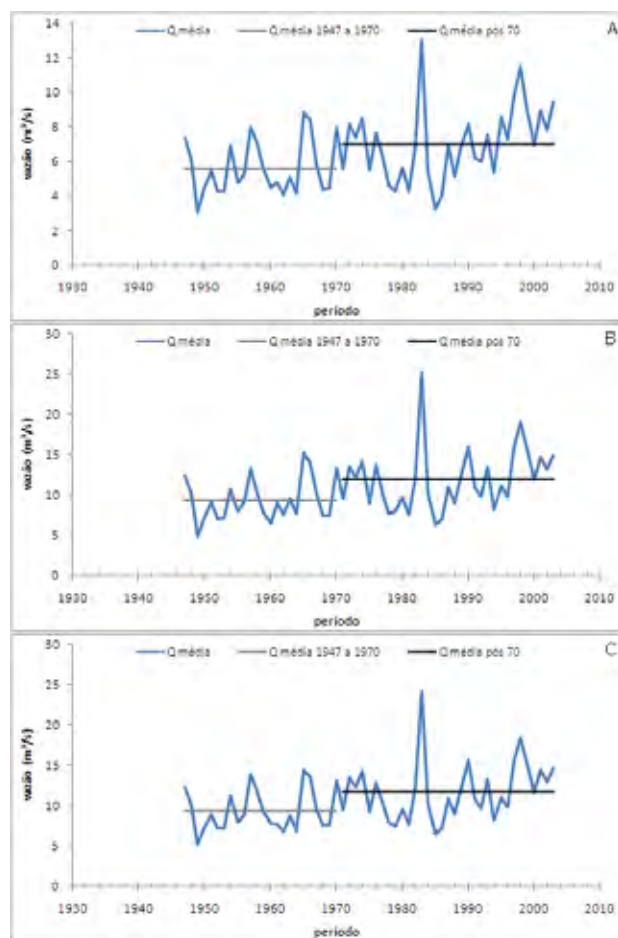


Figura 36. Magnitudes interanuais do rio Taquari. Postos: (A) Palmeiras do Ricardo (64191000), (B) Itapeva (64190000), (C) Itapeva 5e-002 (64185000).

Tabela 8. Estatísticas dos postos do rio Taquari

Posto hidrológico	Itapeva	Palmeira do Ricardo	Itapeva 5E-002
Q média	6,4	10,8	10,8
Q média 1947 a 1970	5,6	9,4	9,4
Q média pós 70	7,0	11,9	11,8
CV (%)	32	33	32
CV 1947 a 1970	28	28	28
CV (%) pós 1970	31	32	31
q 1947-2003 (l/s/km²)	8	20	13
q 1947 a 1970 (l/s/km²)	7	17	11
q pós 1970 (l/s/km²)	9	22	14

Pela inspeção visual dos hidrogramas, destaca-se o ano hidrológico de 1982/1983, que pode ser considerado o clímax hidrológico do período, com aumento significativo nas vazões registradas nesse rio e em outros pertencentes à bacia do rio Paranapanema.

5.1.5 Regime hidrológico na bacia rio Itararé

A reduzida série de dados existente nos postos da bacia do rio Itararé dificulta sua avaliação do regime hidrológico do rio Itararé e seus principais afluentes (rio Verde e rio Jaguariaíva). As vazões médias do período avaliado para o rio Jaguariaíva, no posto Tamanduá, foram 30,29 m³/s, para o rio Verde, em Itaporanga, 21,71 m³/s, e no rio Itararé 64,95 m³/s, em Olaria dos Padres (Figura 37). No posto Colônia do Barro Preto, com medições de vazões no alto curso do rio Itararé, a partir de 1986, a vazão média de longo período registrada foi de 26,72 m³/s. Dentre os postos da bacia do rio Itararé, os registros de maiores variabilidades entre os anos foram Itaporanga, com CV 43, % e Olaria dos Padres, com CV 37 (%) no período.

As vazões específicas registradas para os postos foram 18 e 17 (l/s/km²) para os postos de cabeceiras (Tamanduá e Colônia do Barro Preto), respectivamente, e 15 (l/s/km²) para os outros dois postos a jusante.

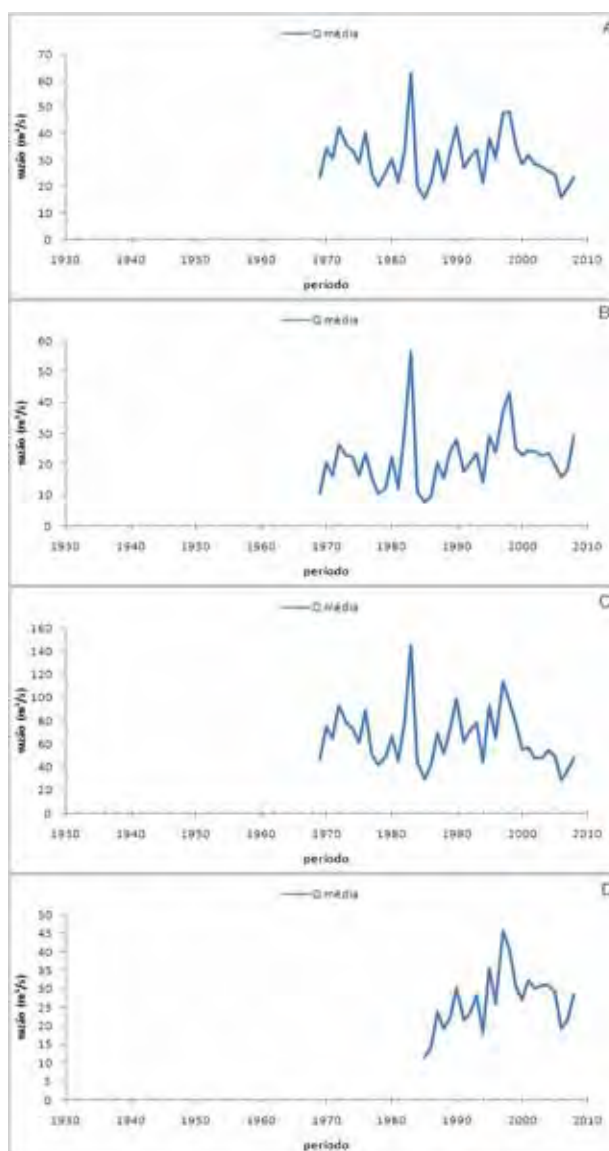


Figura 37. Magnitudes anuais da bacia do rio Itararé. Postos: (A) Tamanduá (62242000), (B) Olaria dos Padres (642470000), (C) Itaporanga (64250010), (D) Colônia do Barro Preto (64231000).

5.1.6 Regime e períodos hidrológicos dos rios das Cinzas e Laranjinha

A dinâmica hidrológica interanual dos rios das Cinzas e Laranjinha são apresentadas nas Figuras 38 e 39, de modo que se observam, nesses hidrogramas anuais, novamente um aumento dos débitos anuais após a década de 1970, sendo que a amplitude da variabilidade das magnitudes se tornou mais intensa nesse período, em relação ao anterior.

Na Tabela 09, estão as variações nos parâmetros estatísticos da série estudada para as estações. Nela, verifica-se que houve aumento dos valores médios anuais e da variabilidade entre os períodos identificados; no entanto, a variabilidade descrita pelo CV para o rio das Cinzas não

demonstrou uma oscilação significativa, quando comparada com a dispersão do CV para os postos do rio Laranjinha.

Os débitos médios de todo o período dos postos do rio das Cinzas, de jusante para montante, foram em Andirá, 64,25 m³/s, Granja Garota, 51,4 m³/s, Tomazina, 27,9 m³/s e, para o rio Laranjinha, no Porto Santa Terezinha, 40,6 m³/s, Fazenda Casa Branca, 32,1 m³/s e Usina Figueira, 12,1 m³/s. Já para a vazão específica, os dados variam de 12 a 14 l/s/km² para toda a série e valores inferiores a 11 l/s/km², no período anterior, e maiores de 15 l/s/km², no período posterior a 1970.

Tabela 09. Estatísticas do regime hidrológico da bacia do rio das Cinzas e Laranjinha.

Posto hidrológico	Porto Santa Terezinha	Fazenda Casa Branca	Usina Figueira	Andirá	Granja Garota	Tomazina
Q média	40,6	32,1	12,2	64,2	51,4	27,9
Q média 1931 a 1970	30,7	22,4	8,9	49,2	39,6	22,3
Q média pós 1970	51,0	42,3	15,6	81,4	64,8	34,4
CV (%)	53	58	51	48	47	42
CV (%) 1931 a 1970	47	52	44	41	40	36
CV (%) pós 1970	44	45	41	39	39	35
q 1931-2003 (l/s/km ²)	12	12	12	11	13	14
q 1931 a 1970 (l/s/km ²)	9	9	9	9	10	11
q pós 1970 (l/s/km ²)	15	16	15	15	16	17

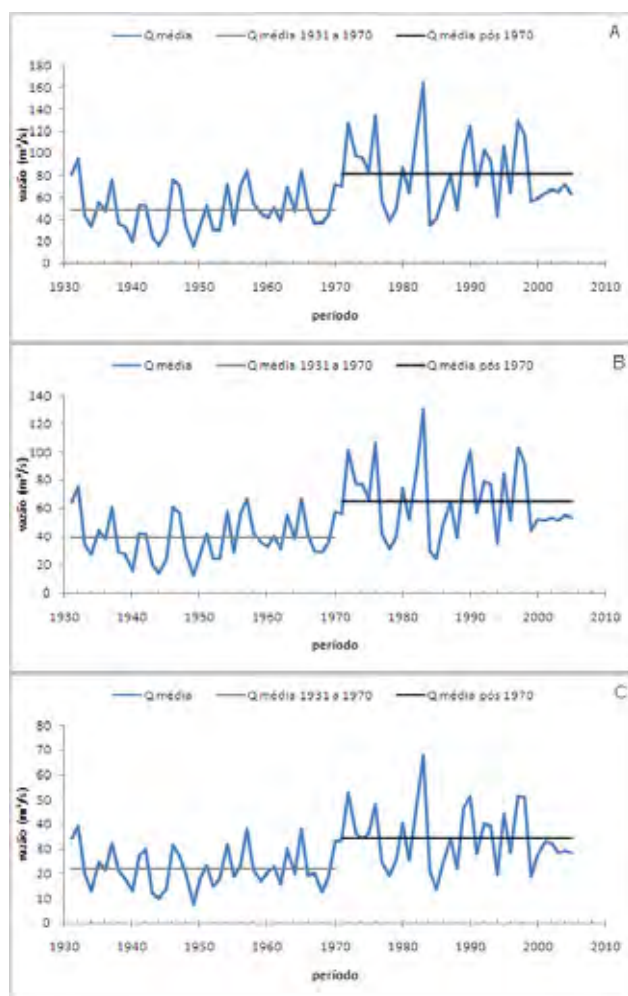


Figura 38. Magnitudes interanuais de vazões do rio das Cinzas: (A) Andirá (64370000), (B) Granja Garota (64362000), (C) Tomazina (64360000).

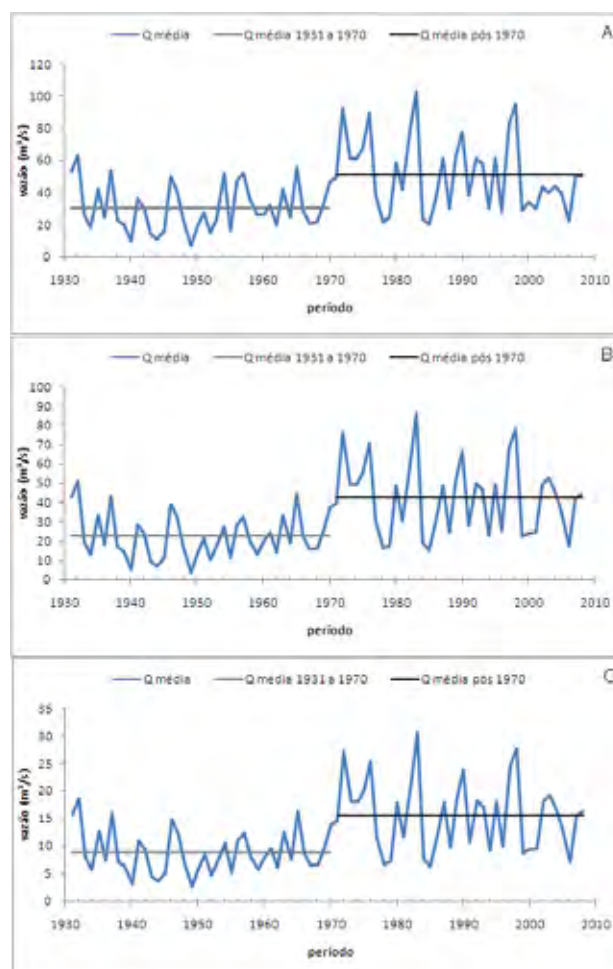


Figura 39. Magnitudes interanuais de vazões do rio Laranjinha: (A) Porto Santa Terezinha (64390000), (B) Fazenda Casa Branca (64382000), (C) Usina Figueira (64380000).

5.1.7 O regime hidrológico na bacia do rio Tibagi

Os resultados da avaliação hidrológica na bacia do rio Tibagi, indicando a variabilidade dos seus débitos anuais (média anual), são apresentados nas Figuras 40 a 42. Optou-se por separar, em virtude das diferentes comportamentos hidrológicos, entre estações de cabeceiras e postos com maior área de drenagem, nos trechos médios e baixo curso do rio.

Pela observação da variabilidade do regime anual da bacia do rio Tibagi, ao longo da série histórica, é possível identificar claramente uma alteração (aumento) dos débitos, após a década de 70.

Nos postos A, B, C, D e E da Figura 41, que retratam o comportamento hidrológico com maior área de drenagem no rio Tibagi, verifica-se claramente o período de águas baixas (menor variabilidade), entre 1932 a 1956, com um aumento das magnitudes e intensidades com picos de altos e baixos débitos, no período posterior. Nota-se também, nesses postos, uma faixa de transição entre 1957 e 1970, com o início de perturbação, ou seja, maior oscilação das vazões, transição esta não

observada nas estações de cabeceiras (Figuras 40 e 42 e Tabela 11), em virtude da maior sensibilidade às pulsações dos rios, nas elevações, e diminuição das descargas.

A variabilidade interanual do regime hidrológico das estações é mostrada na Tabela 10, com a estatística das séries, quando o comportamento de aumento dos débitos médios é observado em todas as estações entre os períodos, verificando-se, por meio do coeficiente de variação (CV), que os valores das estações de cabeceiras e menor área de drenagem não apresentaram índices que oscilaram significativamente entre os períodos destacados; contudo, nos postos a jusante, há uma menor variação nas amplitudes das oscilações, demonstrando um comportamento normal, de menores picos das descargas anuais, à medida que aumenta a área de contribuição.

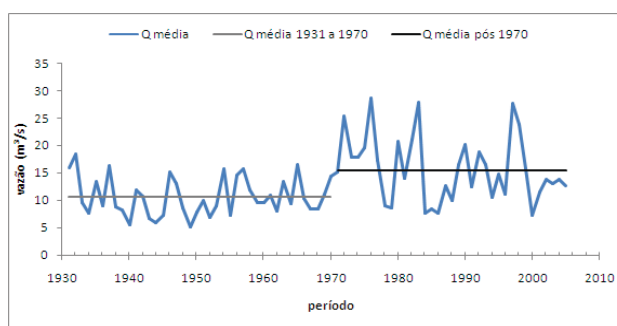


Figura 40. Magnitudes interanuais do rio Congonhas, afluente do baixo curso do Tibagi.

Os dados de vazão específica obtidos na bacia do rio Tibagi confirmam a análise de alteração hidrológica na bacia, com aumento da vazão específica entre os períodos analisados.

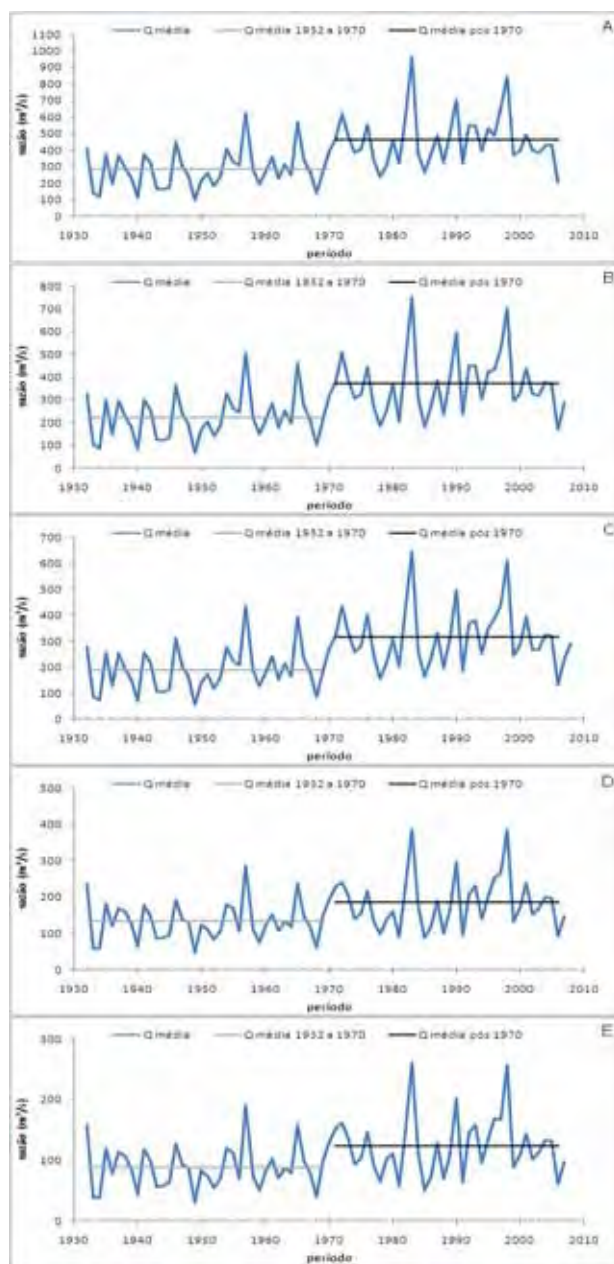


Figura 41. Magnitudes interanuais do rio Tibagi: (A) Jataizinho, (B) Porto Londrina, (C) Barra Ribeirão das Antas, (D) Tibagi, (E) Eng. Rosaldo Leitão.

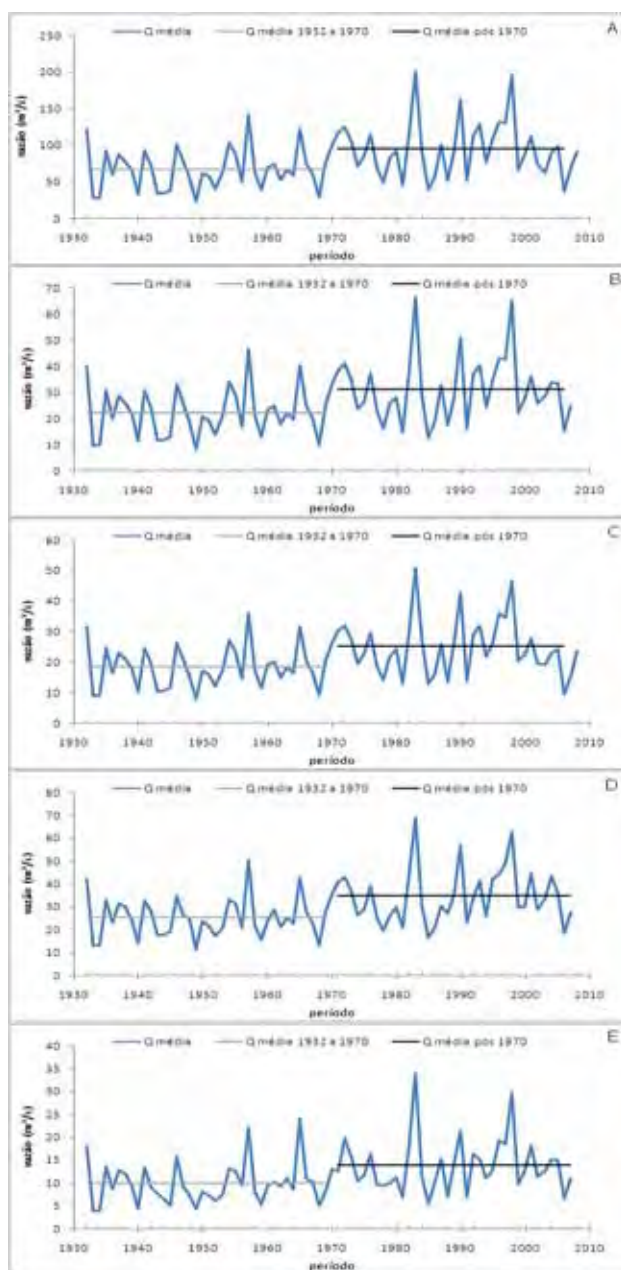


Figura 42. Magnitudes interanuais do rio Tibagi nas estações do alto curso: (A) Uvaia, (B) Santa Cruz, (C) Lajeado, (D) Chácara Cachoeira, (E) Bom Jardim.

Tabela 10. Estatísticas do regime hidrológico da bacia do rio Tibagi.

Posto hidrológico	Jataizinho	Porto Londrina	Barra Ribeirão das Antas	Tibagi	Eng. Rosaldo Leitão	Uvaia	Santa Cruz	Lajeado	Chácara Cachoeira	Bom Jardim	Ponte Preta
Q MÉDIA 1932 a 2008	367,7	293,6	250,1	158,0	104,8	80,5	26,6	21,5	29,8	11,8	13,0
Q média 1932 a 1971	281,6	222,0	188,0	132,8	87,9	67,2	22,3	18,3	25,3	9,8	10,5
Q média pós 1970	460,9	369,1	316,8	185,6	123,3	95,1	31,3	25,1	34,8	13,9	15,5
CV 1932 a 2008	45	47	47	43	44	45	44	40	38	47	41
CV 1932 a 1970	42	44	45	40	40	42	41	37	34	46	32
CV pós 1970	34	36	36	39	40	40	40	37	34	43	38
q 1931-2008 (l/s/km ²)	17	16	16	18	18	18	22	16	19	16	12
q 1931 a 2008 (l/s/km ²)	13	12	12	15	15	15	18	14	16	13	10
q pós 1970 (l/s/km ²)	21	20	20	21	22	21	26	19	22	19	15

Tabela 11. Estatísticas do rio Tibagi, período transicional.

Posto hidrológico	Jataizinho	Porto Londrina	Barra Ribeirão das Antas	Tibagi	Eng. Rosaldo Leitão	Uvaia	Santa Cruz	Lajeado	Chácara Cachoeira	Bom Jardim	Ponte Preta
Q média 1932 a 1956	259,1	203,2	172,0	126,5	83,7	63,6	21,2	17,5	24,2	9,1	10,1
Q média 1957 a 1970	321,7	255,4	216,8	144,0	95,4	73,5	24,4	19,8	27,1	11,1	11,2
CV 1932 a 1956	40	42	43	39	39	43	42	37	33	42	37
CV 1957 a 1970	42	44	44	42	42	41	40	36	37	50	25

5.1.8 Regime do rio Pirapó

A bacia do rio Pirapó está localizada na margem esquerda do rio Paranapanema, em seu baixo curso. Dentre os postos existentes na bacia, apenas no baixo curso do Pirapó há estações que dispõem de dados com séries históricas longas, ao passo que, no seu trecho superior, os dados disponíveis existem somente desde os anos 1960.

Os dados das magnitudes interanuais de vazões são apresentados na Figura 43 e se referem aos pontos Jardim Vila Silva (64550000) e Itaguajé (64560000), respectivamente.

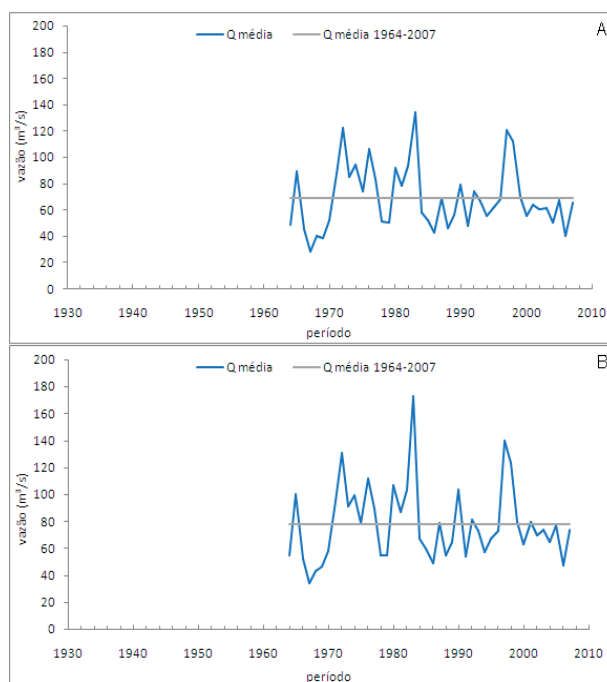


Figura 43. Magnitudes de vazões anuais do posto Jardim Vila Silva (A) e Itaguajé (B).

O débito médio do período do rio Pirapó é de 69,04 m³/s, na estação Jardim Vila Silva, e 78,14 m³/s, para o posto Itaguajé. Observa-se, nos hidrogramas anuais, uma menor variabilidade de vazões interanuais na segunda metade da década de 1980, somada a uma diminuição da média dos débitos anuais, após esse período. No que concerne à vazão específica, não há significativas diferenças entre os postos, tendo o rio Pirapó uma vazão específica aproximadamente de 15 l/s/km² (Tabela 12).

Tabela 12. Estatísticas dos postos fluviométricos do rio Pirapó

Posto hidrológico	Q Média 1964-2007	CV (%)	q 1964-2007 (l/s/km²)
Vila Jardim	69,04	35	15,4
Itaguajé	78,14	36	15,5

5.1.9 Regime dos rios afluentes da cabeceira do rio Paranapanema

No alto curso do Paranapanema, as principais estações fluviométricas estão localizadas nos afluentes do alto curso ou nas cabeceiras do rio Paranapanema. Para facilitar a análise do regime desses rios, os gráficos foram agrupados conforme o comportamento hidrológico semelhante e a posição no alto curso do rio Paranapanema.

Primeiramente, nas Figuras 44 e 45, tem-se o comportamento hidrológico do rio Guareí e do rio Itapetinga, afluentes do alto curso do rio Paranapanema, na sua margem direita. Observa-se, por meio das figuras e pela Tabela 13, que também houve um acréscimo dos débitos após a década de 1970, sendo que, entre 1957 e 1970, verificam-se alguns sinais dessa mudança, com aumento da variabilidade (período transicional).

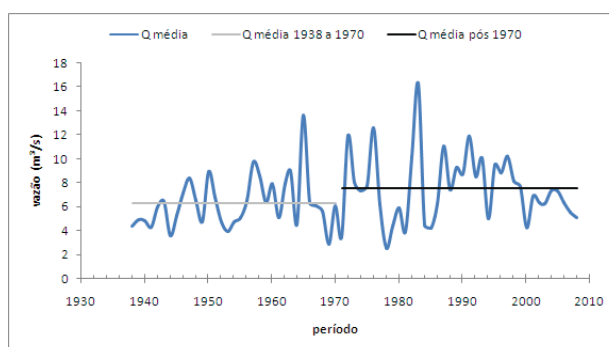


Figura 44. Magnitudes interanuais do rio Guareí, Posto Ponte dos Teodoros (64135000)

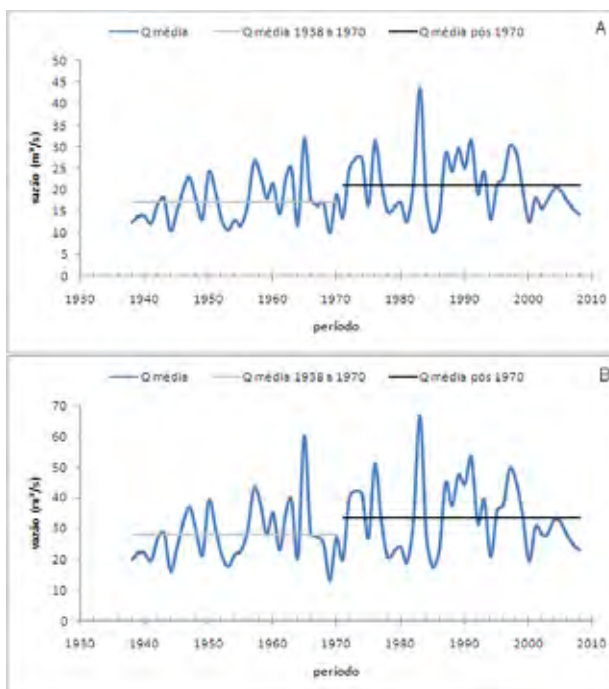


Figura 45. Magnitudes interanuais do rio Itapetinga: (A) Porto Velho (64065000), (B) Angatuba (64075000)

Tabela 13. Estatísticas dos Pontos do rio Guareí e Itapetininga

Posto	Ponte dos Teodoros	Porto Velho	Angatuba
Q média 1938 a 2005	6,9	19,5	31,2
Q média 1938 a 1956	5,4	15,5	25,1
Q média 1957 a 1970	7,0	19,7	31,9
Q média pós 1970	7,7	21,6	34,3
CV (%) 1938 a 2005	38	34	35
CV (%) 1938 a 1956	26	26	25
CV (%) 1957 a 1970	31	30	37
CV (%) pós 1970	39	33	34
q 1938 a 2005 (l/s/km ²)	12,9	13	12,5
q 1938 a 1970 (l/s/km ²)	11,5	11,5	11,2
q após 1970 (l/s/km ²)	14,4	14,4	13,7

As vazões de longo período variam entre 6,9 m³/s, para o rio Guareí, e 31,2 m³/s. para o rio Itapetininga, no posto de Angatuba. A vazão específica desses afluentes é de aproximadamente 13 l/s/km², passando de 11,5 l/s/km² anterior a 1970 e 14,4 l/s/km² pós 1970. É importante destacar, para esses postos, o aumento do coeficiente de variação no período posterior a 1970, demonstrando maiores amplitudes entre débitos máximos e mínimos nesse trecho da bacia.

Já os postos afluentes formadores do rio Paranapanema dispõem dos dados entre o período de 1961 a 2000, que não permitiu avaliar uma alteração significativa em seus débitos. A análise das magnitudes de vazões interanuais dos postos apresentados nas Figuras 46 e 47, que possibilita constatar a alta variabilidade hidrométrica desses afluentes de cabeceiras, que, em razão dos maiores gradientes e pequena área de contribuição, se caracteriza com oscilações rápidas dos débitos.

As vazões médias do período para esses rios, de acordo com os registros nos postos, foram: para o rio Turvo, 11,89 m³/s (Posto Turvo), rio das Almas, 7,78 m³/s e 9,43 m³/s, nos postos Bairro do Cerrado e Cerradinho, respectivamente, e, por fim, o posto Ferreiras das Almas, no rio Paranapanema, com 19,86 m³/s.

As vazões específicas para esses afluentes formadores do Paranapanema foram 16,8 (l/s/km²), para o rio Turvo, 16,4 e 17,7 (l/s/km²), para o rio das Almas, e 28,6 (l/s/km), no rio Paranapanema.

Para os pontos com maior variabilidade dos débitos, o posto Turvo e Cerradinho tiveram maiores índices de CV, 33 % e 31 %, contra os 23 % e 22 %, estimados nos postos Turvo e Bairro do Cerrado.

Para os rios Apiaí Guaçu e Apiaí Mirim, afluentes da margem esquerda do Alto Paranapanema, há uma elevação dos débitos médios anuais pós 1970, conforme Figura 47 e Tabela 14. As vazões médias para o posto Taquarivaí são de 13,05 m³/s, em Buri, 25,95 m³/s, e em Ponte Marcolino Nunes, 9,34 m³/s.

Tabela 14. Estatísticas dos rios rio Apiaí Mirim e Apiaí Guaçu.

Posto hidrológico	Taquarivaí 5E-001	Buri 5E-008	Ponte Marcolino Nunes 5E-011
Q média 1934 a 2000	13,0	25,9	9,3
Q média 1934 a 1970	11,6	23,1	8,5
Q média pós 1970	14,9	29,5	10,3
CV (%) 1934 a 2000	29	33	30
CV (%) 1957 a 1970	22	25	23
CV (%) pós 1970	29	35	33
q 1934 a 2000 (l/s/km ²)	13,7	12,8	12,9
q 1934 a 1970 (l/s/km ²)	12,2	11,4	11,8
q pós 1970 (l/s/km ²)	15,6	14,5	14,3

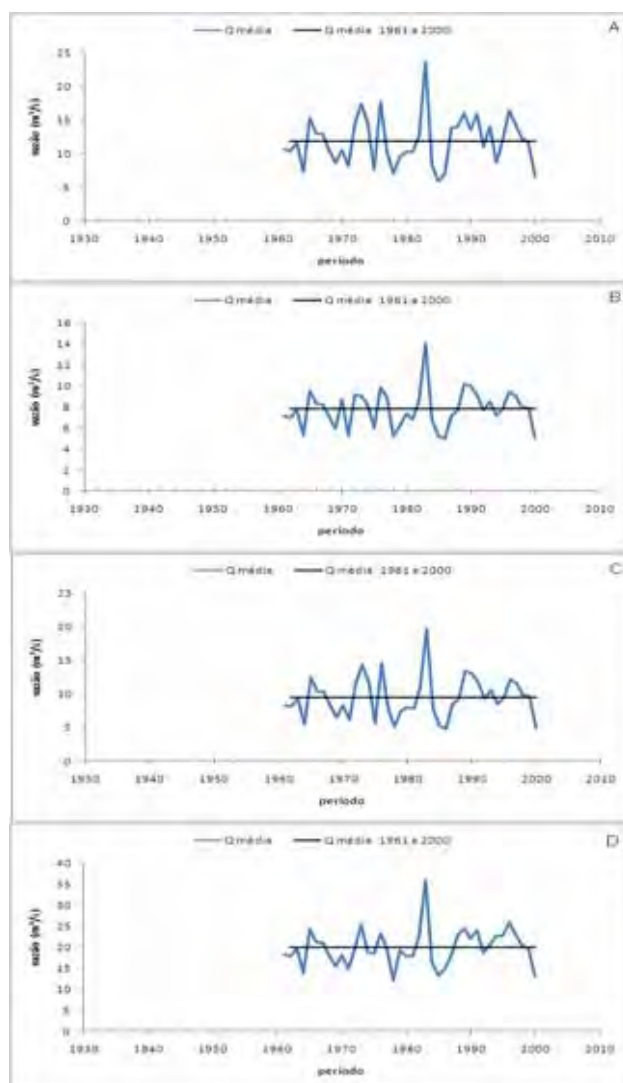


Figura 46. Magnitudes interanuais dos afluentes do alto curso do rio Paranapanema, Postos: (A) Turvo (64015000), (B) Bairro do Cerrado (64035000), (C) Cerradinho (64040000), (D) Ferreiras das Almas (64005000).

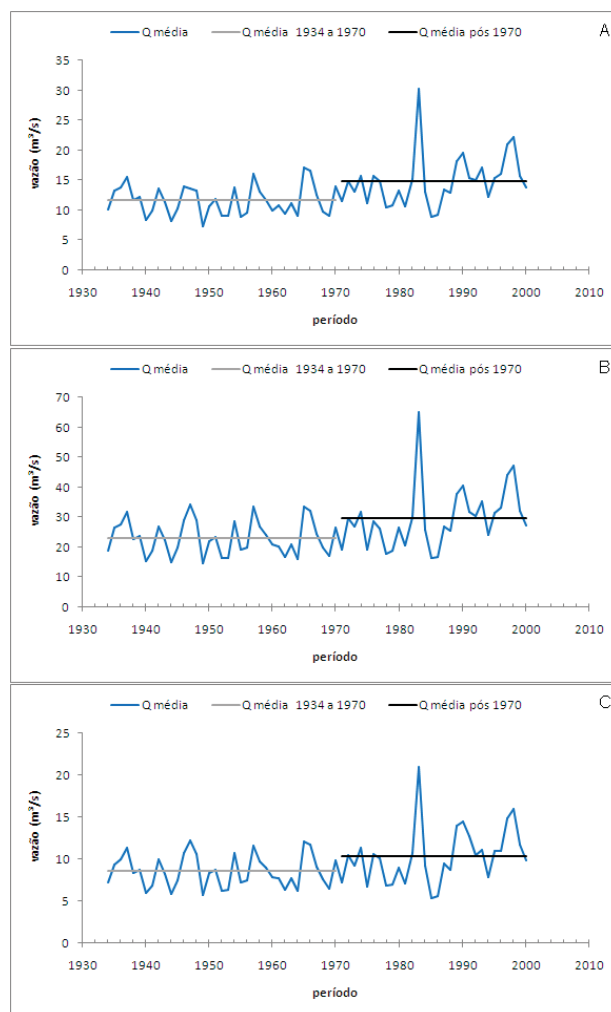


Figura 47. Magnitudes interanuais dos afluentes alto curso o rio Paranapanema, rios Apiaí Mirim e Apiaí Guaçu: (A) Taquarivai (64095000), (B) Buri (64120100), (C) Ponte Marcolino Nunes (64113000).

5.1.10 Regime hidrológico do rio Paranapanema

O comportamento das magnitudes interanuais de vazões do rio Paranapanema está representado nas Figuras 48 e 49, assim como na Tabela 15. Os débitos médios do período (1938-2008), registrados nos postos do rio Paranapanema de montante para jusante, nas estações, foram em Campina do Monte, 82,40 m³/s, Jurumirim Jusante, 211,91 m³/s, Piraju Jusante, 217,07 m³/s, Chavantes Jusante, 337,79 m³/s, Capivara, 1041,46 m³/s, UHE Taquaruçu – Barragem, 1109,50 m³/s, e UHE Rosana – Barragem, 1190,21 m³/s.

Tabela 15. Estatística descritiva dos postos fluviométricos do rio Paranapanema.

Posto hidrológico	Campina do Monte Alegre	Jurumirim Jusante	Piraju Jusante	Chavantes Jusante	UHE Capivara	UHE Taquaruçu - Barragem	UHE Rosana - Barragem
Q média 1938 a 2008	82,4	211,9	217,1	337,8	1041,5	1109,5	1190,2
Média 1938 a 1970	76,9	176,1	180,8	276,4	851,3	902,7	976,2
Q média pós 1970	87,2	243,0	248,6	391,1	1206,6	1289,1	1376,1
CV (%) 1938 a 1970	30	35	35	37	33	34	33
CV (%) 1938 a 2009	27	27	27	29	24	25	24
CV (%) pós 1970	30	33	32	34	30	31	30
q 1938 a 2008 (l/s/km ²)	14,2	11,8	11,8	12,2	12,3	12,5	11,8
q 1938 a 1970 (l/s/km ²)	13,3	9,8	9,8	10,0	10,1	10,2	9,7
q pós 1970 (l/s/km ²)	15,1	13,6	13,5	14,1	14,2	14,5	13,7

Verifica-se, nas figuras e na tabela, que as vazões anuais do rio Paranapanema acompanharam a dinâmica de sua bacia, com o aumento dos débitos médios após 1970, sendo que essa alteração é percebida por sinais, a partir de 1957, com aumento da variabilidade dos débitos anuais em alguns postos.

Observa-se ainda que a amplitude das oscilações de vazões tem menores picos no período pós década de 70, comportamento que pode estar associado às barragens existentes no rio Paranapanema e que exerce um controle na regulação dos débitos, conforme mencionado no trabalho de Rocha (2002).

Os resultados dos testes estatísticos (*t-Student* e teste de sinais), aplicados neste estudo, encontram-se na Tabela 16. Os testes confirmaram a hipótese alternativa de que há sinais significativos de diferenças de vazões entre os períodos analisados, sendo que o período pós 1970, para postos com série longa, demonstram uma aumento dos débitos médios anuais. A exceção feita para as vazões é registrada no posto Itapeva (64191000) do rio Taquari (alto Paranapanema), que apresentou sinais de estacionariedade dos dados. Destaca-se igualmente que, na bacia do Pirapó e outros afluentes paulistas do baixo Paranapanema, não há registros significativos (30 anos) anteriores a 1970, para se aplicar os testes estatísticos. Porém, espera-se que o comportamento desses rios seja similar a outros rios da bacia, apesar da variabilidade espacial das vazões.

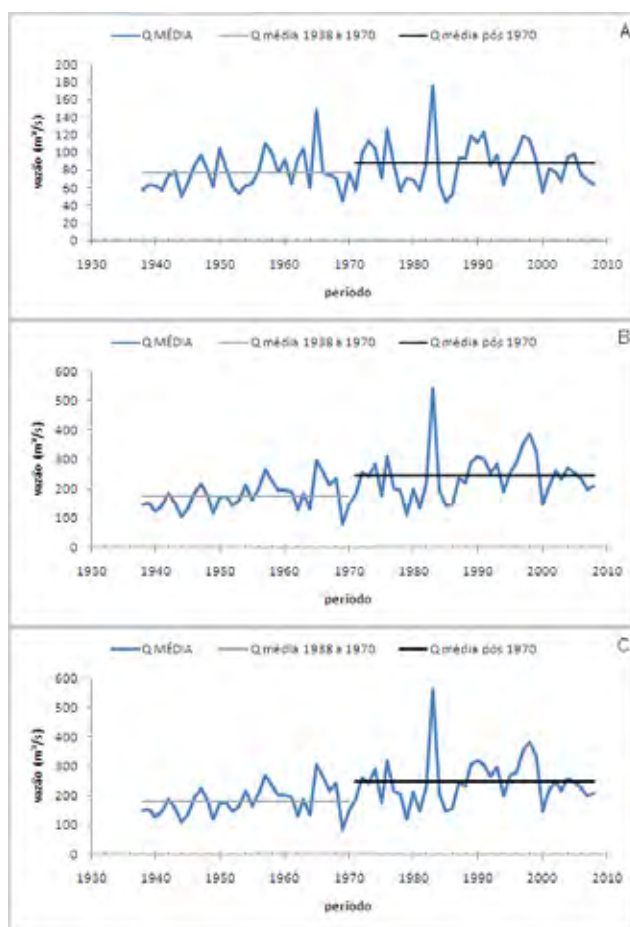


Figura 48. Magnitudes interanuais de vazões do Rio Paranapanema – Postos: (A) Campina do Monte Alegre (64082000), (B) Jurumirim Jusante (64215050), (C) Piraju Jusante (64220050).

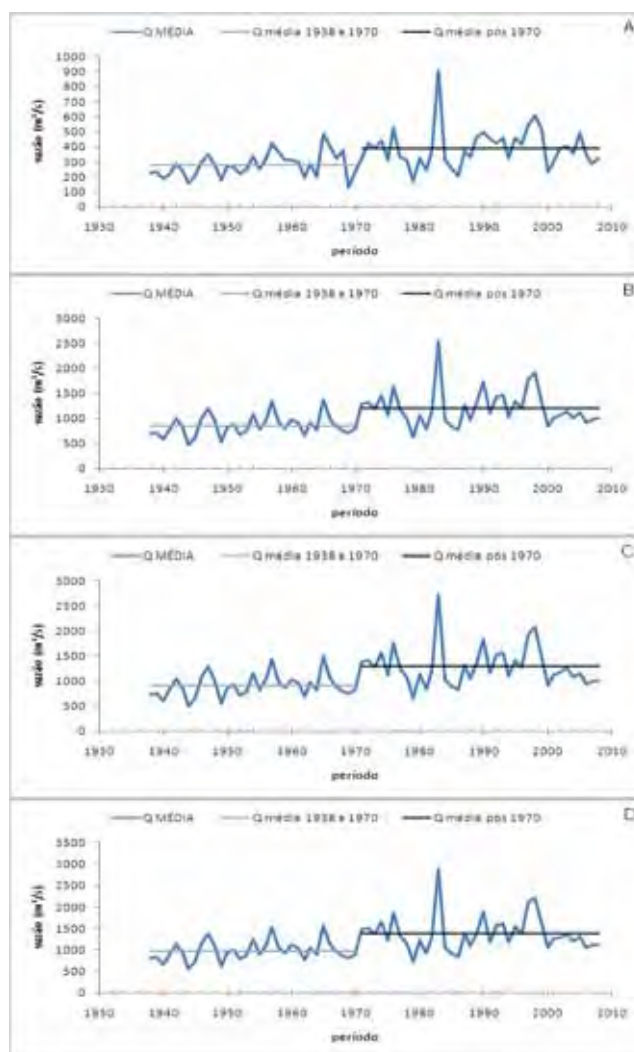


Figura 49. Magnitudes interanuais de vazões do Rio Paranapanema - baixo curso. Postos: (A) Chavantes Jusante (64270050), (B) Capivara (64516080), (C) UHE Taquaruçu – Barragem (64535080) e (D) UHE Rosana – Barragem (64571080).

Tabela 16. Resultados dos testes *t* e Sinais para avaliação dos períodos de vazões: $H_0: \mu_1 = \mu_2$, sendo μ_1 antes de 1970 e μ_2 depois 1970.

Rio/período	Código/ANA	Nome do Posto	Teste de normalidade (p valor)		Teste T pareado/Teste de Sinais		H_0
			Período I	Período II	T calculado	p valor	
Rio Pardo (1931-2003) 72 anos	64328000	São Pedro do Turvo I 6D-008	0,174	0,150	3,6700	0,000	rejeita
	64320000	Santa Cruz do Rio Pardo 6D-001	0,150	0,142	3,65	0,000	rejeita
	64315000	Águas de Santa Barbara 6D-002	0,037	0,150	-	0,000	rejeita
	64323000	Santa Cruz do Rio Pardo	0,125	0,100	3,42	0,001	rejeita
Rio Taquari (1947-2003) 56 anos	64191000	Itapeva	0,092	0,150	1,42	0,085	aceita
	64190000	Palmeiras do Ricardo 5E-015	0,139	0,150	1,72	0,050	rejeita
	64185000	Itapeva 5E-002	0,112	0,150	1,82	0,041	rejeita
Rio Cinzas (1931-2006) 75 anos	64370000	Andirá	0,150	0,010	-	0,000	rejeita
	64362000	Granja Garota	0,150	0,010	-	0,000	rejeita
	64360000	Tomazina	0,086	0,150	4,45	0,000	rejeita
Rio Laranjinha (1931-2008) 78 anos	64390000	Porto Santa Terezinha	0,040	0,150		0,000	rejeita
	64382000	Fazenda Casa Branca	0,078	0,150	5,78	0,000	rejeita
	64380000	Usina Figueira	0,080	0,150	5,78	0,000	rejeita
Bacia do rio Tibagi (1932-2006) 74 anos	64507000	Jataizinho	0,150	0,145	5,36	0,000	rejeita
	64501000	Porto Londrina	0,150	0,150	5,41	0,000	rejeita
	64491000	Barra Ribeirão das Antas	0,150	0,150	5,37	0,000	rejeita
	64465000	Tibagi	0,150	0,150	3,66	0,000	rejeita
	64447000	Eng. Rosaldo Leitão	0,150	0,150	3,68	0,000	rejeita
	64444000	Uvaia	0,150	0,150	3,64	0,000	rejeita
	64440000	Santa Cruz	0,150	0,150	3,66	0,000	rejeita
	64442800	Lajeado	0,150	0,150	3,68	0,000	rejeita
	64477600	Chácara Cachoeira	0,150	0,1150	4,05	0,000	rejeita

Rio Paranapanema (1938-2008) 70 anos Afluente do Alto Paranapanema - rio Apiaí Guaçu/Mirim (1934-2000) 66 anos Afluente do Alto Paranapanema - Itapetininga/Guairei (1938-2003) 65 anos	64460000	Bom Jardim	0,0490	0,1240	-	0,000	rejeita
	64508500	Ponte Preta	0,0280	0,150	-	0,000	rejeita
	64135000	Ponte dos Teodoros	0,150	0,150	2,94	0,003	rejeita
	64065000	Porto Velho 5E-006	0,150	0,150	3,3	0,000	rejeita
	64095000	Taquarivai 5E-001	0,150	0,0100	-	0,000	rejeita
	64120100	Buri 5E-008	0,150	0,0230	-	0,000	rejeita
	64113000	Ponte Marcolino Nunes 5E-011	0,150	0,0490	-	0,000	rejeita
	64082000	Campina do Monte Alegre	0,0670	0,150	2,38	0,012	rejeita
	64215050	Jurumirim Jusante	0,150	0,150	4,45	0,000	rejeita
	64220050	Piraju Jusante	0,150	0,150	4,6	0,000	rejeita
	64270050	Chavantes Jusante	0,150	0,150	4,65	0,000	rejeita
	64516080	UHE Capivara	0,145	0,091	5,68	0,000	rejeita
	64535080	UHE Taquaruçu - Barragem	0,145	0,146	5,76	0,000	rejeita
	64571080	UHE Rosana - Barragem	0,145	0,0670	5,58	0,000	rejeita

5.2 Mapeamentos dos fluxos e períodos hidrológicos

O mapeamento da história dos fluxos dos rios pertencentes à bacia do rio Paranapanema aparece nas Figuras 50 a 52. A leitura dos mapas propicia a visualização e análise do regime de fluxos dos rios da bacia e sua história hidrológica. Os períodos identificados neste trabalho foram espacializados nos mapas, demonstrando as diferenças entre os regimes identificados. As Figuras 50 a 52 demonstram pontualmente os registros de vazões média do período, mapas nos quais se observam a distribuição das vazões da bacia e uma ordenação/acúmulo dos débitos para jusante.

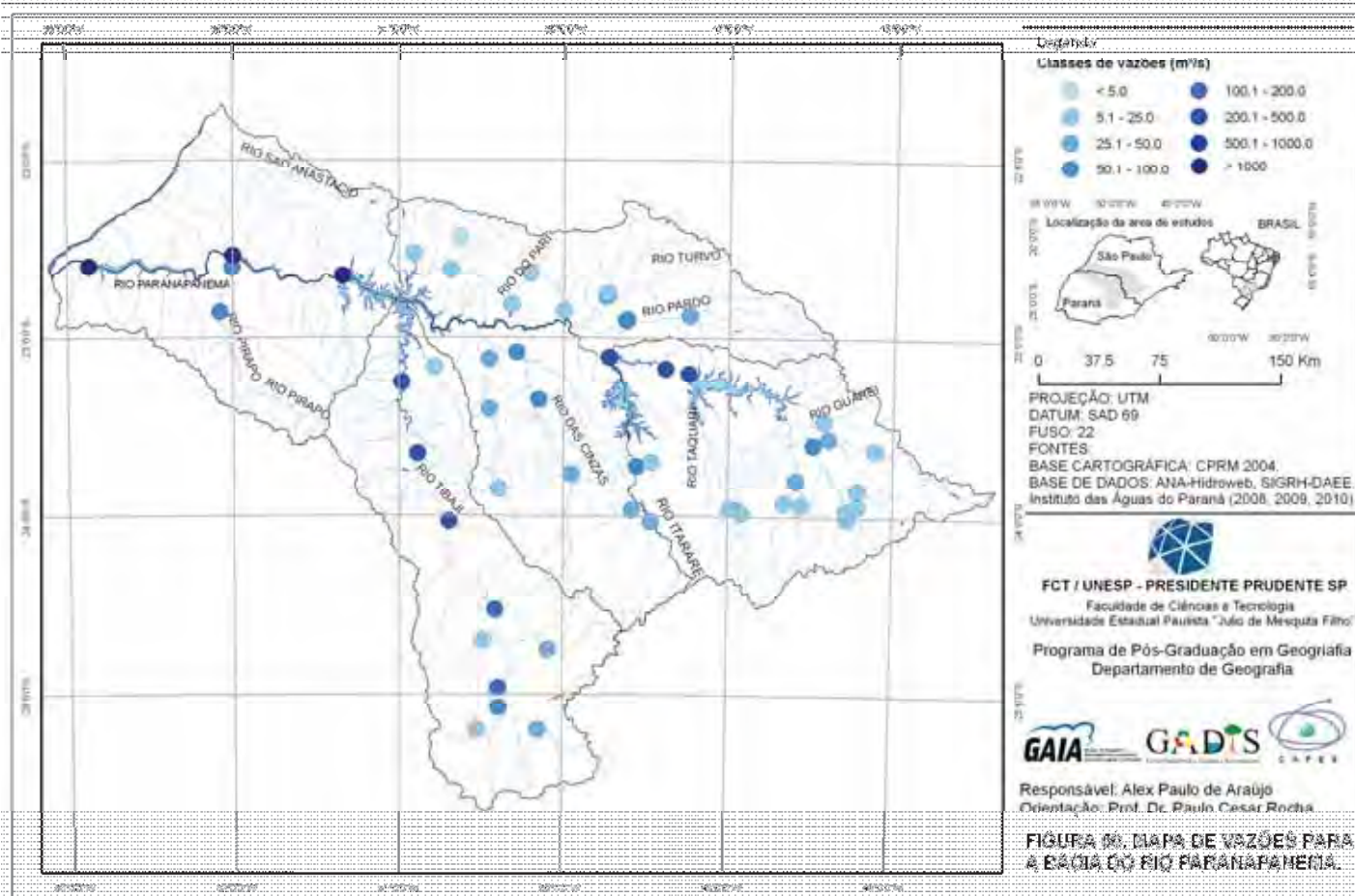
Na sequência, os mapas de vazões específicas (Figuras 53 a 55) representam um valor regional da bacia resultante do relacionamento da vazão com a área de drenagem dos rios. No Brasil, a vazão específica varia de menos de 2 l/s/km², nas bacias da região semiárida; já na Amazônia, os valores passam de 40 l/s/km², sendo a média nacional igual a 21 l/s/km² ² BRASIL (2009).

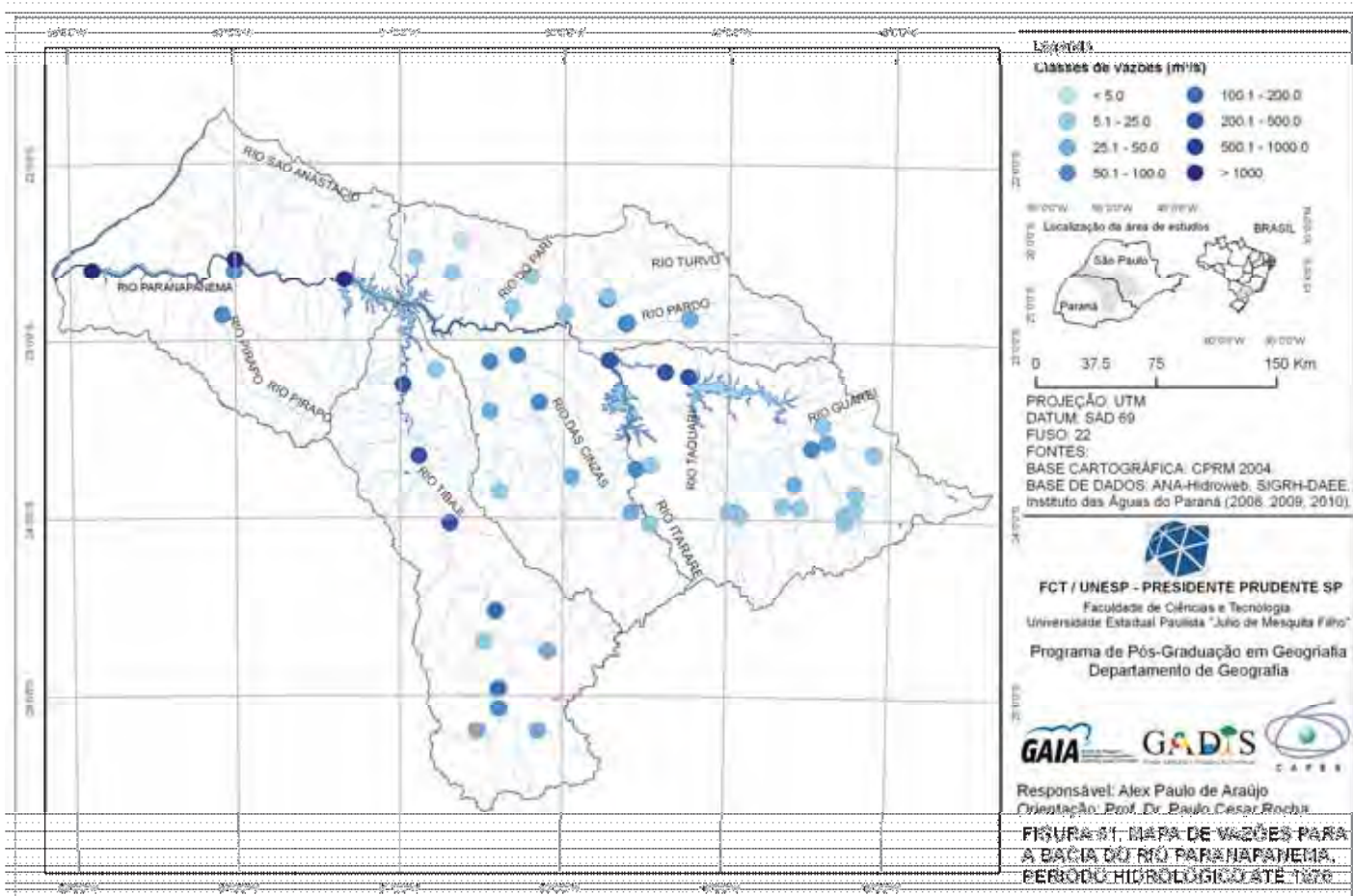
Normalmente, as vazões específicas diminuem para jusante, conforme apresentado nos mapas. Na bacia em questão, as vazões específicas de longo período variam de 7 l/s/km² chegando a até mais de 20 l/s/km². Verificam-se também as diferenças significativas de vazões específicas entre as bacias/trechos dos rios e entre os períodos avaliados.

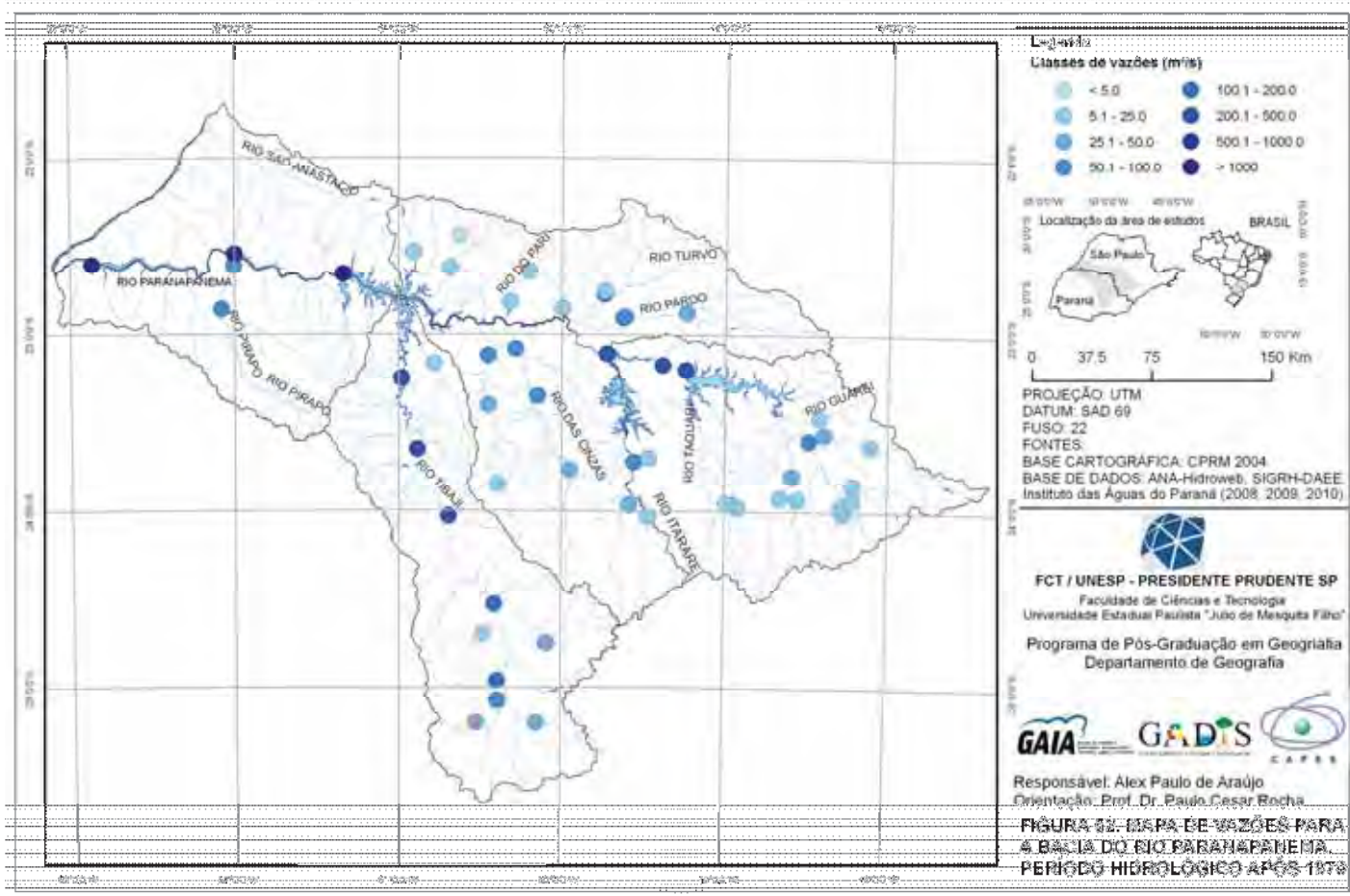
Os maiores volumes de vazão específica localizam-se na porção meridional e sudeste da bacia, sobre uma região climática úmida e de topografia elevada/declivosa, que certamente influencia nos processos de escoamento. Já nos trechos a jusante, sobretudo no baixo curso do rio, além de se caracterizar por menores precipitações, as áreas são aplainadas, o que pode contribuir para uma maior infiltração e, conseqüentemente, menor vazão específica.

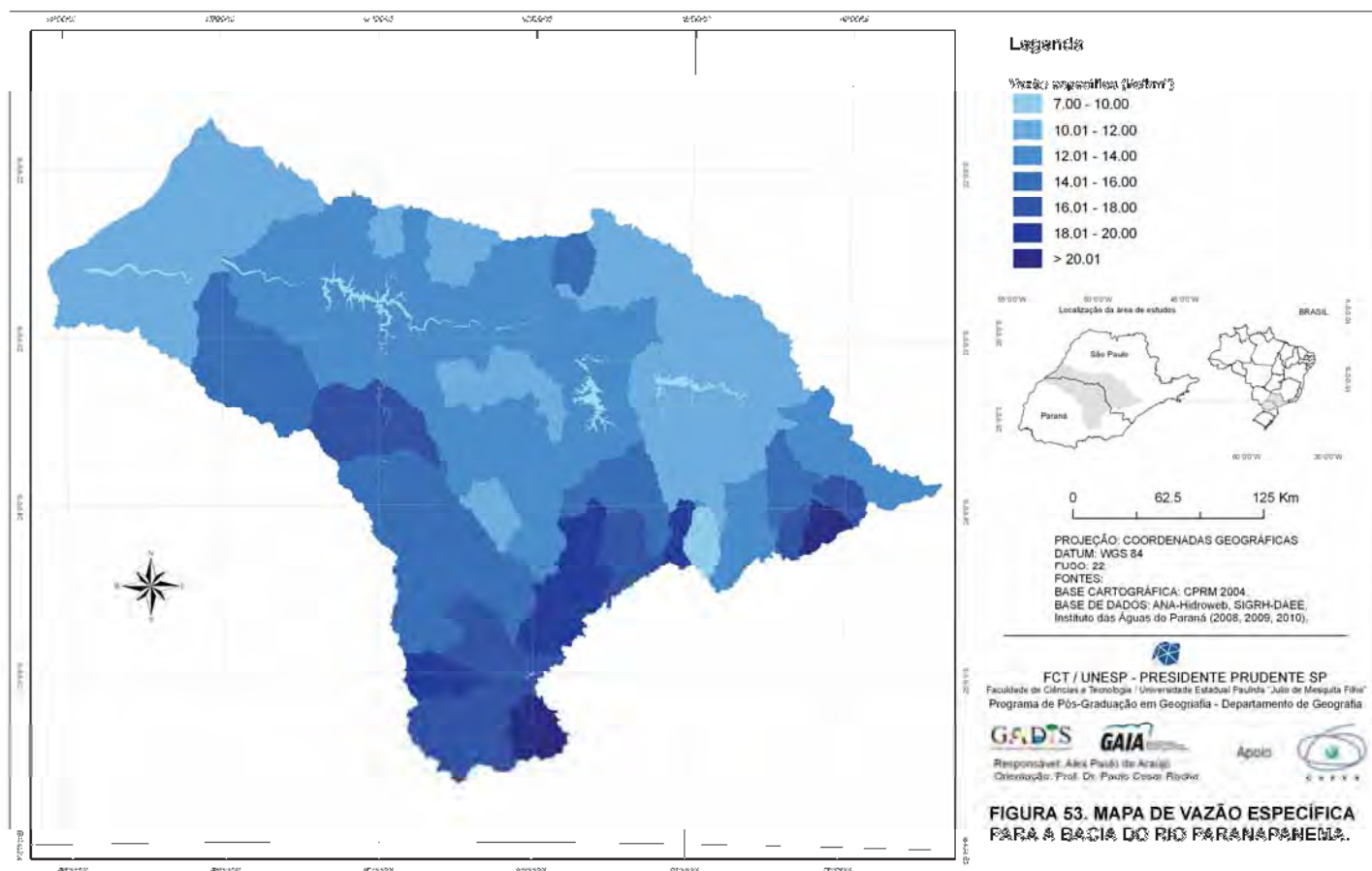
Os mapas de vazões e em especial, os mapas de vazões específicas, demonstram claramente o aumento dos débitos anuais do período pós 1970 se comparado ao período anterior. Tais documentos cartográficos permitem uma rápida leitura das características hídricas da bacia, em termos de disponibilidade hídrica.

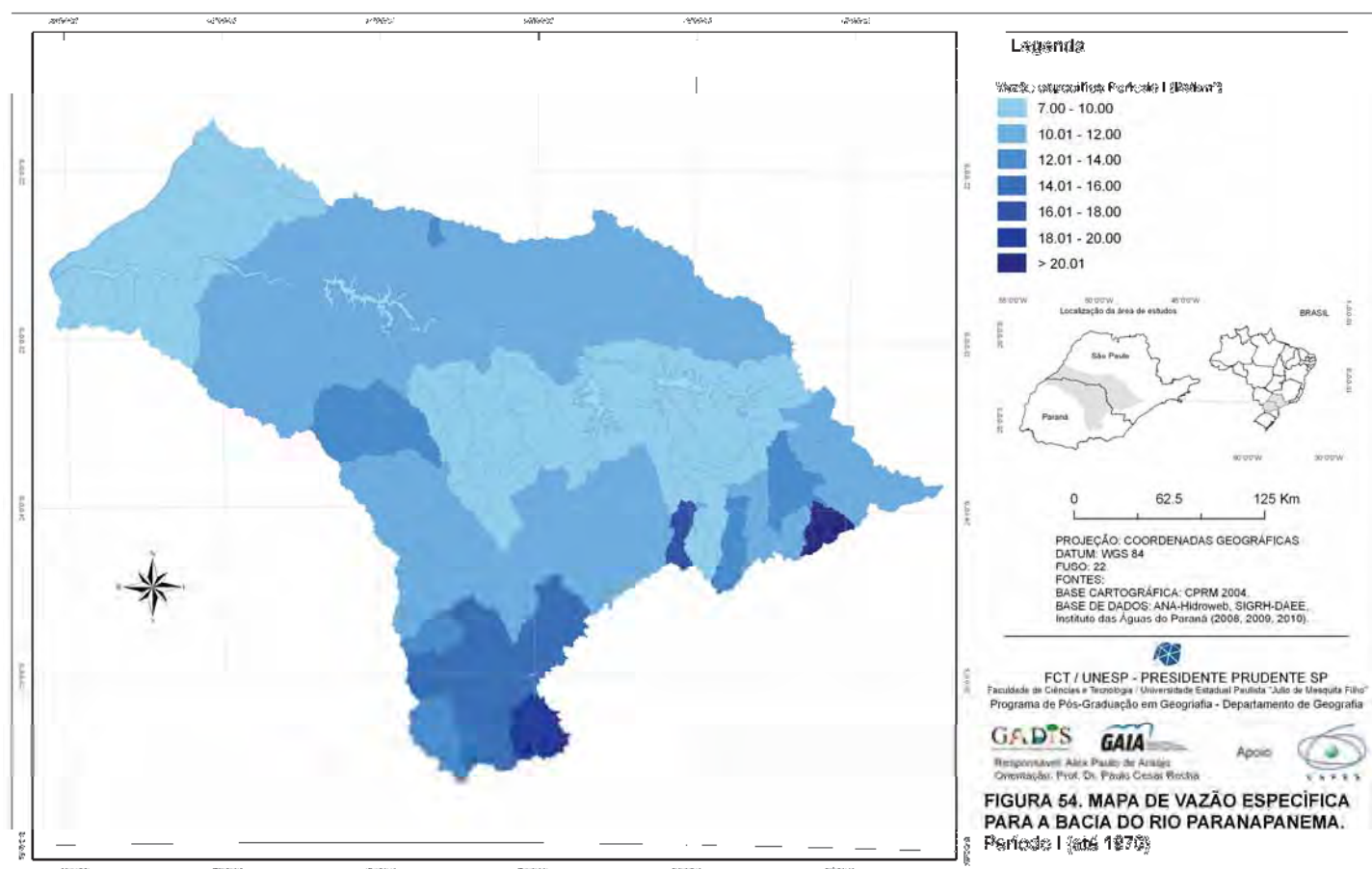
Os rios que aportam os maiores débitos para o rio Paranapanema localiza-se na porção sul e sudeste da bacia, como o rio Tibagi, Cinzas e Itararé. A visualização dos dados de vazões possibilitados pelos mapas facilita a identificação quantitativa dos recursos hídricos da bacia e suas variações espaciais nos diferentes trechos dos rios.

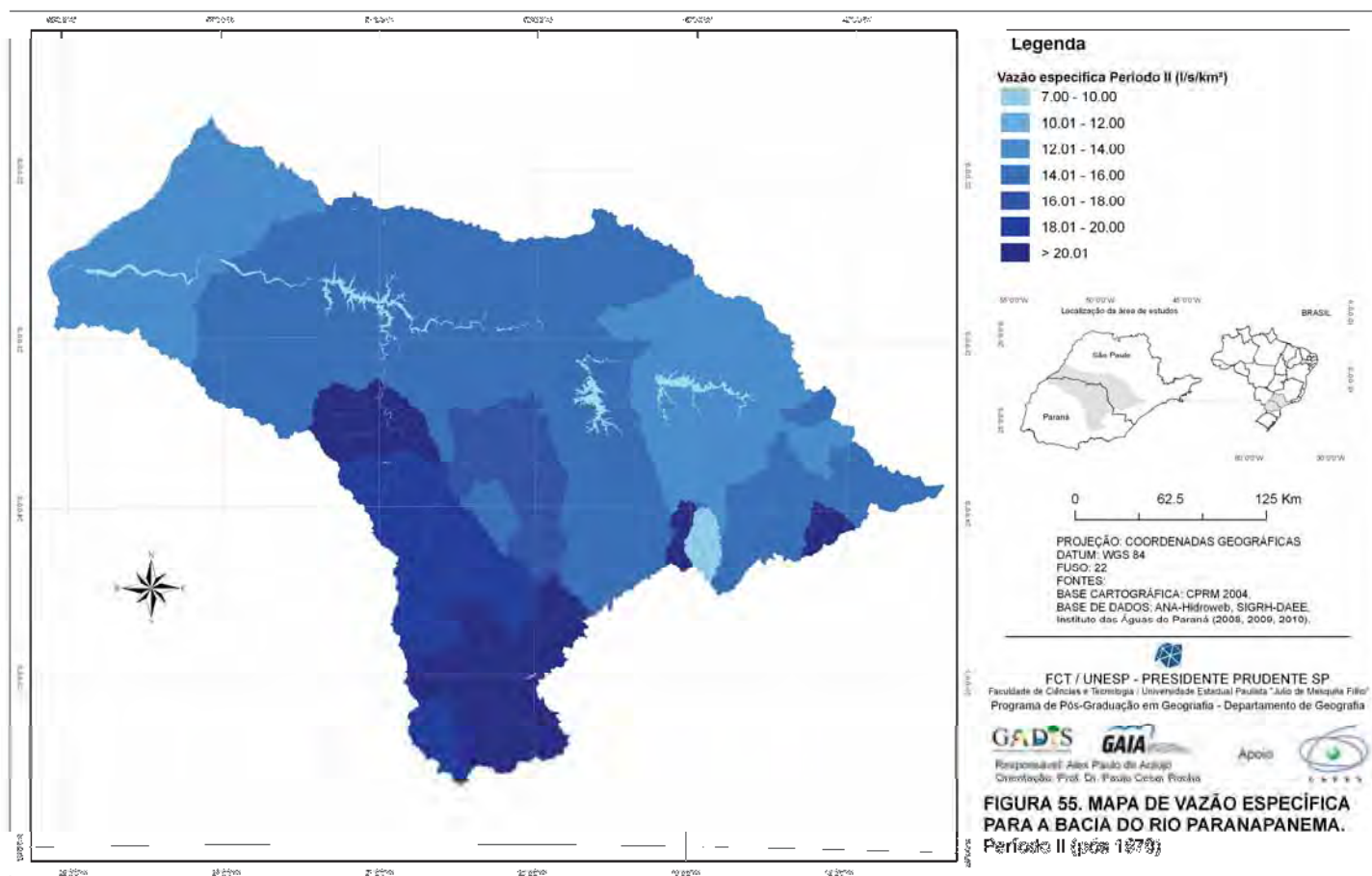












5.3 Sazonalidades das vazões na bacia do rio Paranapanema

Além da avaliação da variabilidade das magnitudes de vazões interanuais dos rios, é importante compreender as características e variações sazonais das vazões dos rios, ao longo do ano. Para Schwabbold (2000), a influência do clima (zonas climáticas), responsável pelo regime de chuvas relacionam-se as descargas dos rios durante o ano, portanto, determina sua sazonalidade e pulsações.

Em virtude da extensão da bacia do rio Paranapanema (longitudinal e latitudinal) e sistemas climáticos atuantes, o regime de chuvas apresenta características diversas. Verifica-se a presença do regime climático típico da região sul do Brasil, na porção meridional da bacia e do regime característico da sudeste, na margem paulista entre trechos do médio e baixo curso. Somado a isso, conforme Monteiro (1973), a bacia está posicionada numa faixa de transição climática entre climas mencionados, que lhe confere características climáticas transicionais com limites não lineares nas dinâmicas das chuvas. A presença de áreas de topografia elevada também contribui para a distinção de áreas climáticas, na bacia, com as áreas de cabeceiras dos principais rios.

Para o entendimento do comportamento sazonal das descargas dos rios da bacia em questão, agruparam-se três padrões de postos fluviométricos, de acordo com a observação do comportamento hidroclimático sazonal. Essas áreas se diferenciam, em virtude do regime climático, topografia e de barragens no controle dos débitos da bacia, conforme explicitado nas Figuras 56, 57, 58 e 59.

Na Figura 56, apresentam-se as características sazonais dos postos localizados na bacia do rio Tibagi e Cinzas, que exibem características de vazões similares sob influência climática do regime de chuvas da região meridional (porção paranaense) da bacia. Tais vazões têm um comportamento de distribuição ao longo do ano, sem um período longo de águas baixas, com elevados débitos durante o verão, mas também com um acréscimo de vazões durante o inverno, relacionado às chuvas predominantes no sul do Estado do Paraná.

Os períodos da vazante desses rios estão concentrados nos meses de março a maio e agosto a setembro. Observa-se que os escoamentos são mais regulares entre os períodos sazonais, que indica um relacionamento com o regime de chuvas e possivelmente com outras variáveis hidrológicas como a geologia.

Nas Figuras 57 e 58, expõem-se os postos agrupados segundo as características de descargas, relativos a um comportamento de aumento das vazões durante o verão, característico da região sudeste do Brasil. Observa-se que, ao longo do ano, os aumentos dos débitos se iniciam no mês de setembro, prolongando-se até março, enquanto o período de vazante desses postos concentra-se entre abril e agosto.

Nota-se igualmente que, para alguns postos (rio Capivari) com menor área de drenagem, a elevação dos débitos concentra-se principalmente no início do ano, tendo uma menor variação sazonal nos períodos posteriores; o escoamento de base pode ser indicativo do estabelecimento do regime sazonal desses rios.

Na Figura 58, em particular, estão organizados os hidrogramas dos postos localizados no alto curso do rio Paranapanema. Neles se constata que o regime de descargas possui um período de cheia, durante o verão, com a elevação dos débitos. Em alguns rios, a variação sazonal é nítida entre o período de cheia e vazante, com início da vazante entre abril e agosto e cheia, entre setembro a março.

Observa-se também que alguns postos têm a sazonalidade das vazões distribuída ao longo do ano, com a elevação dos débitos, sobretudo em alguns meses da vazante desses rios, durante o inverno. Esse comportamento indica seu relacionamento com o regime climático atuante, característico da porção meridional da bacia, assim como a influência na menor área de drenagem e gradiente hidráulico nos escoamentos dos rios, que influencia no regime médio das vazões.

A influência antrópica no comportamento sazonal das vazões pode ser constatada na Figura 59. Esse grupo de postos, localizados especialmente na calha do rio Paranapanema, demonstram a regulação existente na bacia. Os débitos são maiores no verão, em virtude da concentração das chuvas nesse período, e o acúmulo das vazões a jusante, no entanto, quanto analisadas as características sazonais ao ano, está numa baixa variação sazonal com uma distribuição homogênea dos débitos, resultado em parte do sistema de regulação dos débitos dos rios, ao longo do ano.

Uma síntese do regime sazonal da bacia pode ser visualizada, na Figura 60, representação na qual se percebe a distribuição dos diferentes padrões na bacia, demonstrando uma regionalização do regime sazonal. Nota-se que os números de subidas das vazões (águas altas), ao longo do ano, são distintos entre o conjunto dos postos, destacando-se o comportamento anual dos pulsos sazonais das águas unimodal e trimodal para alguns rios, assim como a característica unimodal das vazões para rio com regime regulado por barragens.

O padrão trimodal dos rios (postos), na região meridional da bacia, se apoia na análise da influência do regime de chuvas atuante na bacia, característico da região sul do Brasil, com pluviosidades bem distribuídas durante o ano.

O comportamento sazonal do clima pode ser observado nos hietogramas de precipitação de alguns postos pluviométricos localizados em diferentes regiões da bacia (Figura 61). Há um regime com distribuição das chuvas durante todo ano, sendo observado para algumas estações o registro das menores precipitações, durante o inverno, e aumento, no verão. Na porção sul,

representada pelas estações Apucarana, Ponta Grossa e Tomazina, as chuvas são bem distribuídas durante o ano, confirmando o padrão das vazões sazonais dos rios situados nessa região.

A leitura dos dados de precipitação com os diagramas de vazões demonstram de forma didática as significativas influências entre as variações e os fatores que controlam o regime de vazões. O controle das represas nos débitos é evidente nos histogramas da calha do rio Paranapanema, uma vez que se verificam vazões constantes em contraposição as precipitações irregulares.

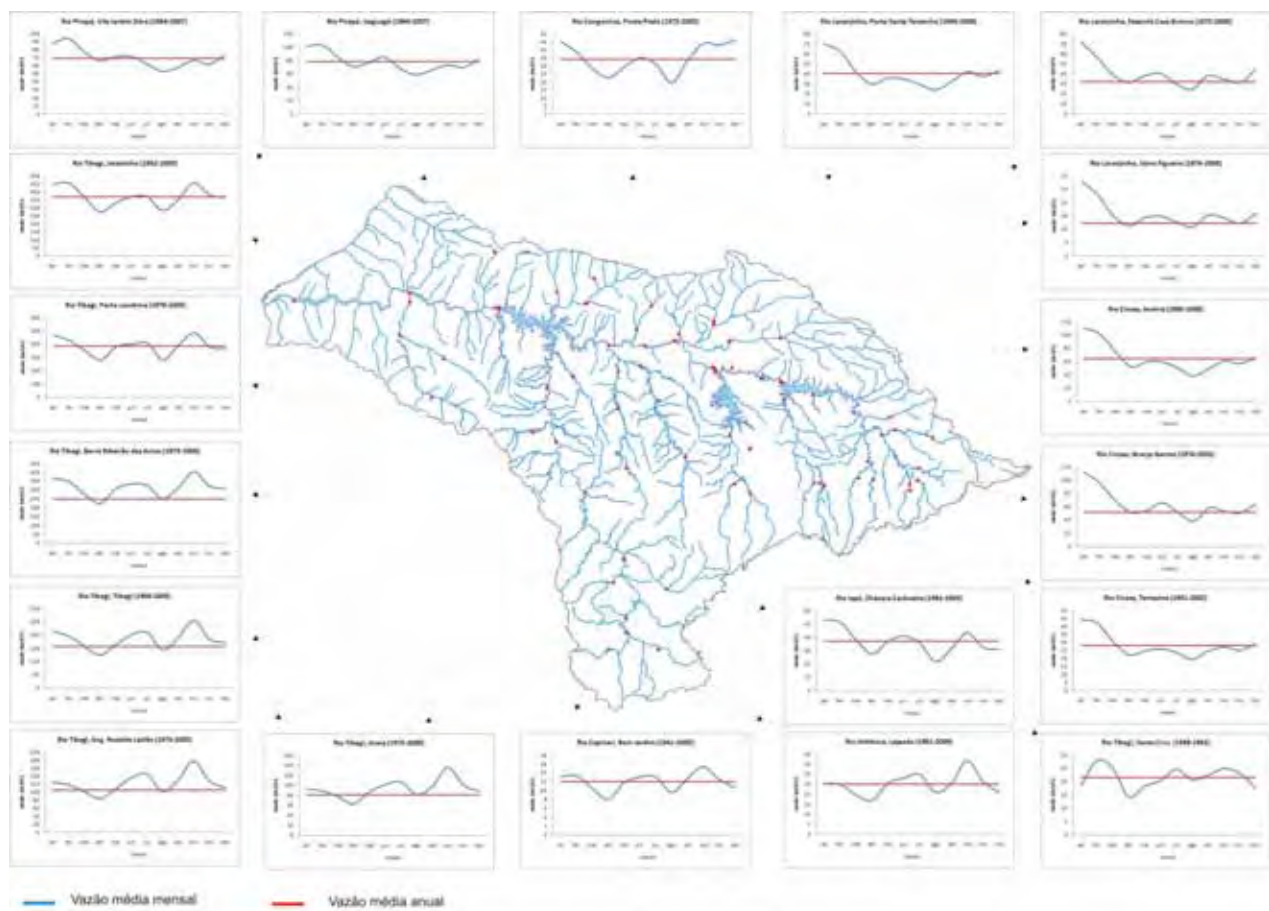


Figura 56. Hidrogramas sazonais de vazões das pontos local do rio Paranapanema, com comportamento hidrológico de metros anoplados com as estações.

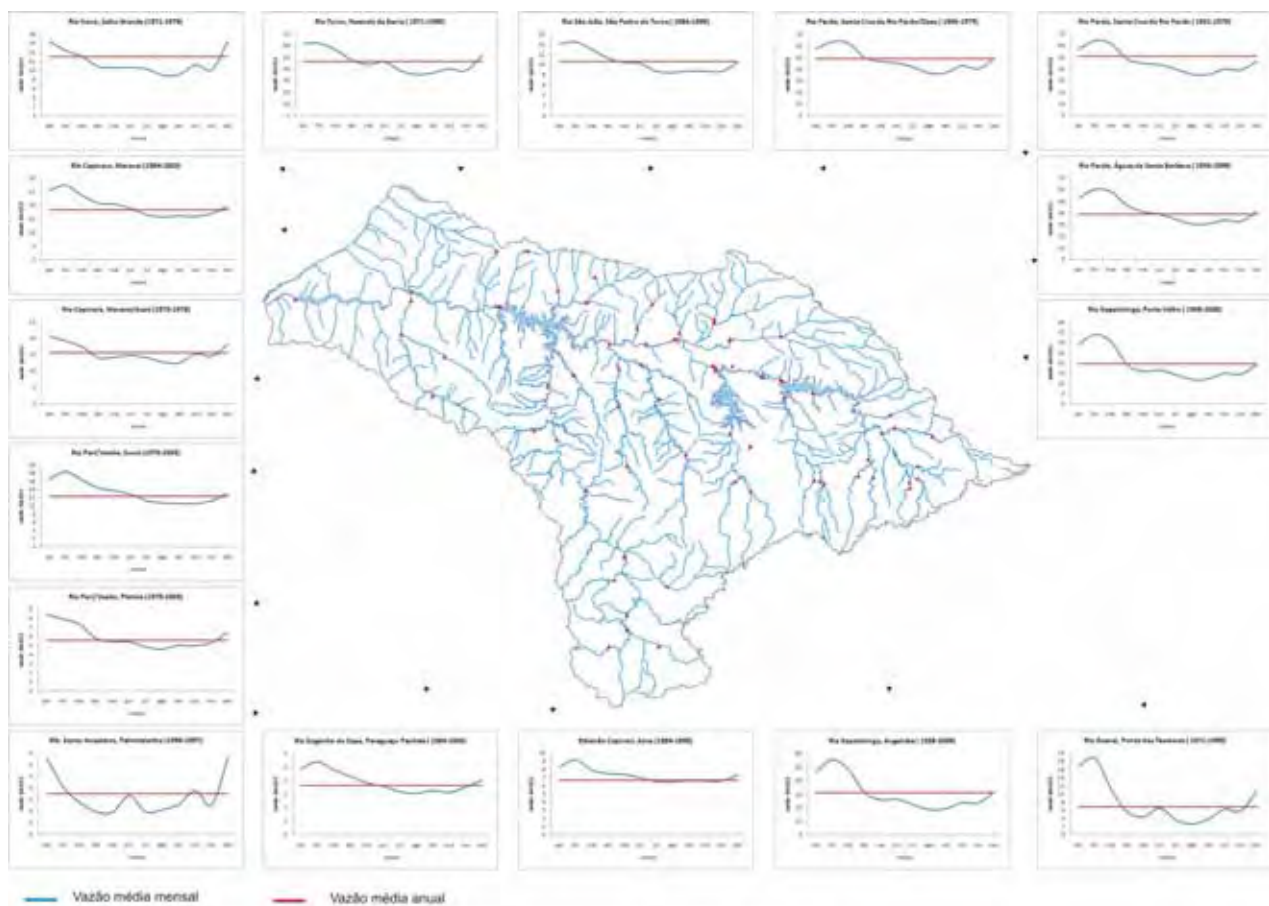


Figura 37. Hidrografos sazonais de vários dos pontos localizados no Paratapanema, comportamento hidrológico com aumento da área de drenagem.

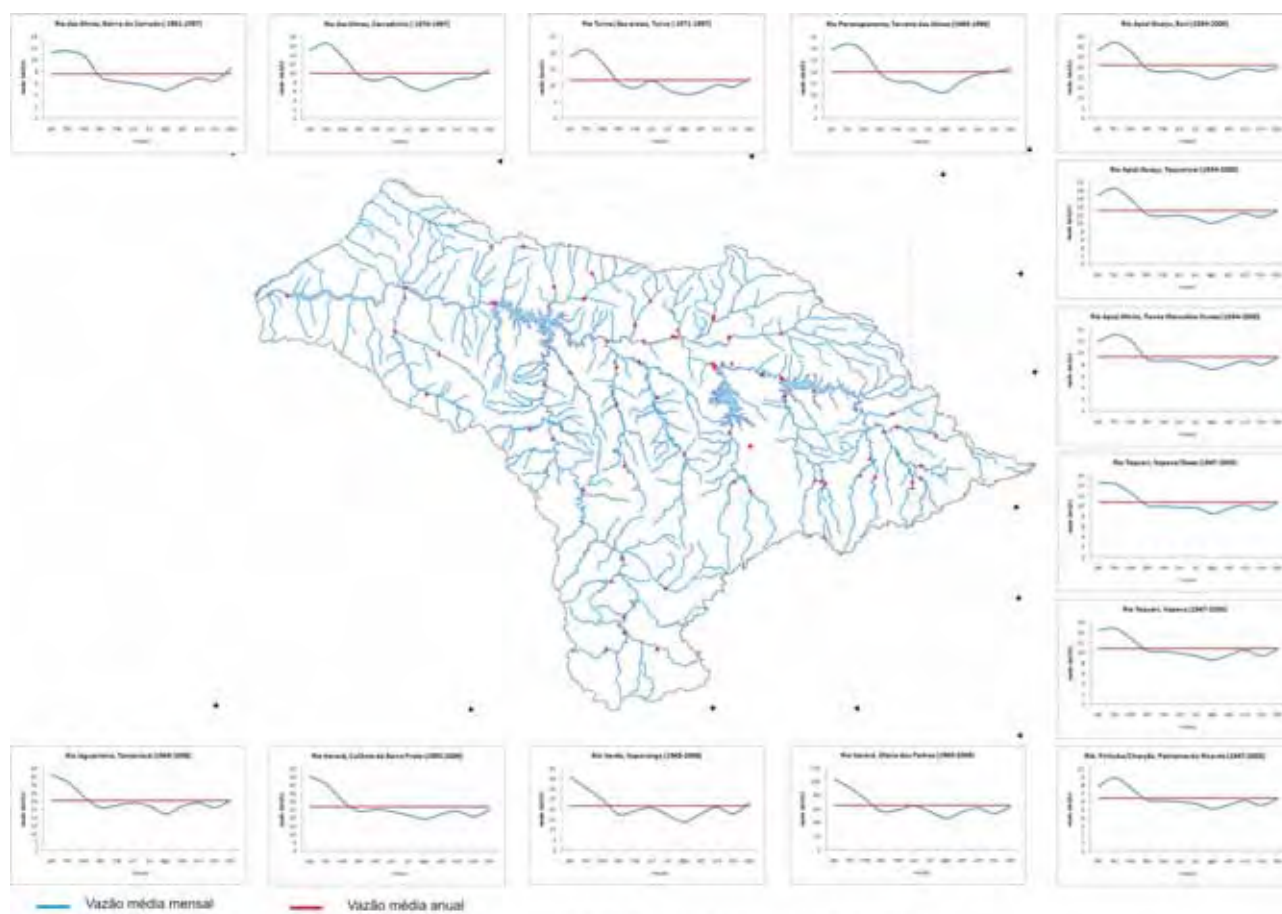


Figura 58. Hidrogramas montados de vazões dos pontos boca do rio Paraquapema, comportamento hidrológico transicional e com características de pontos de cabeceira.

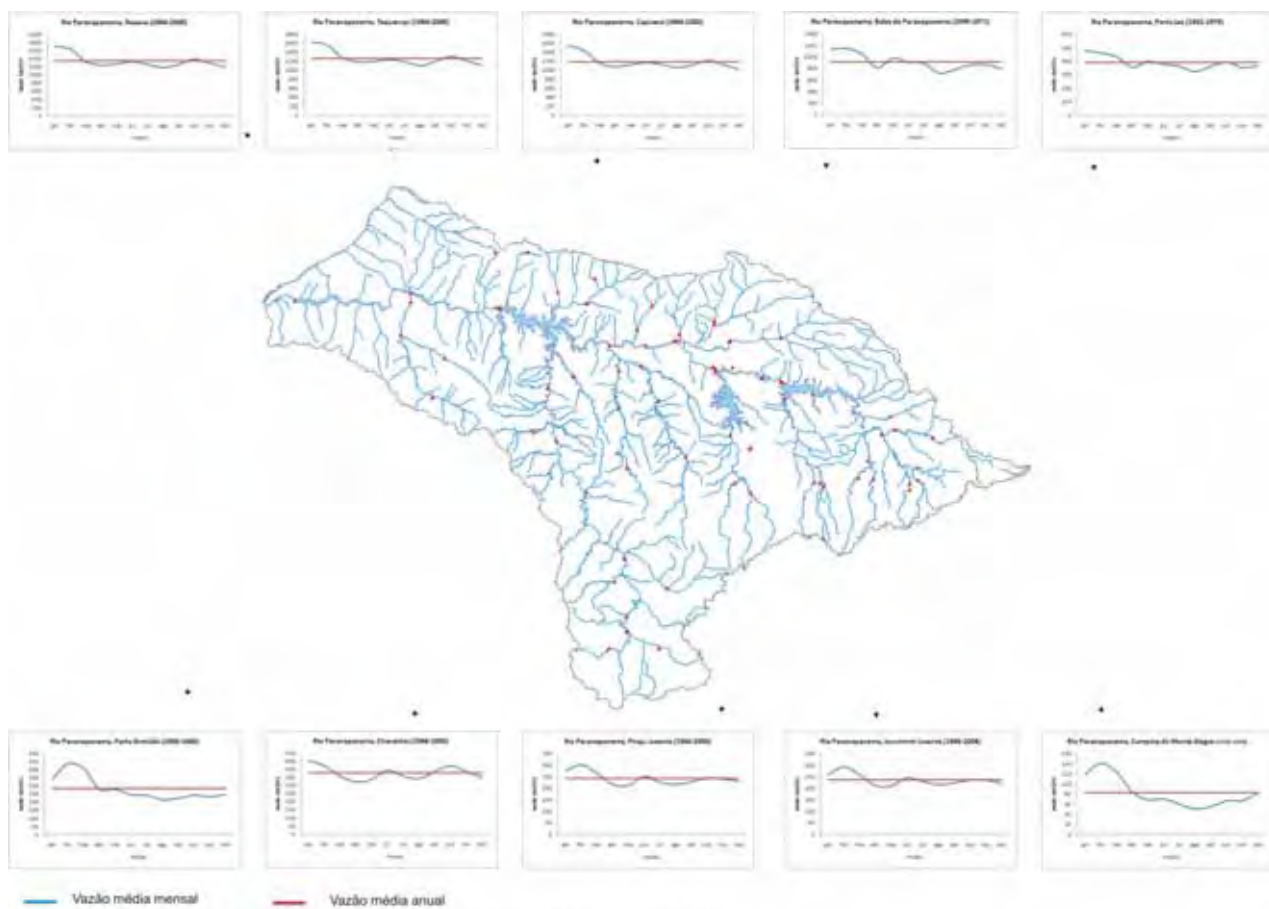


Figura 35. Hidrogramas sazonais de vazões dos pontos local do rio Parnaíba, comportamento hidrológico controlado por barragem.

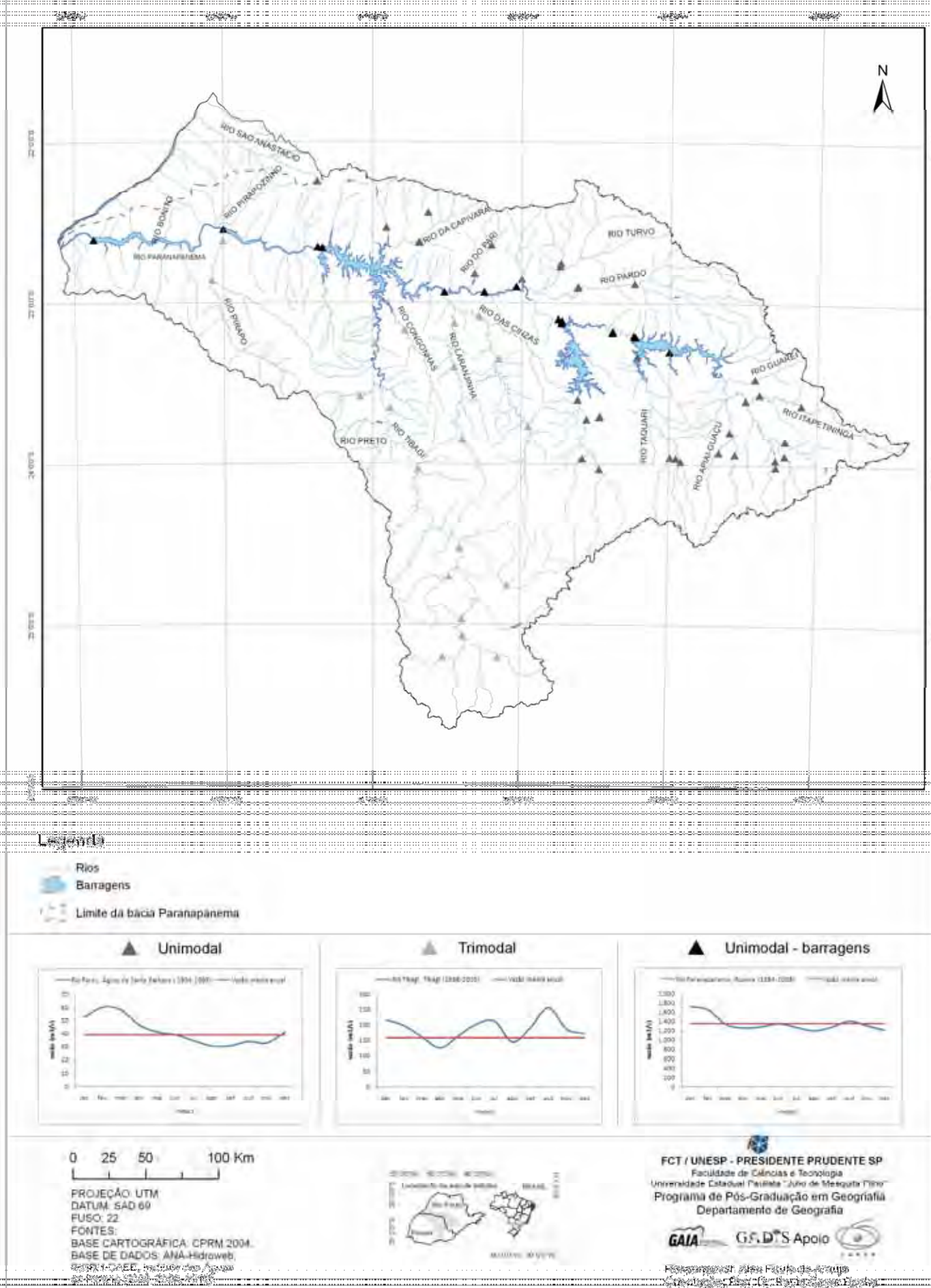
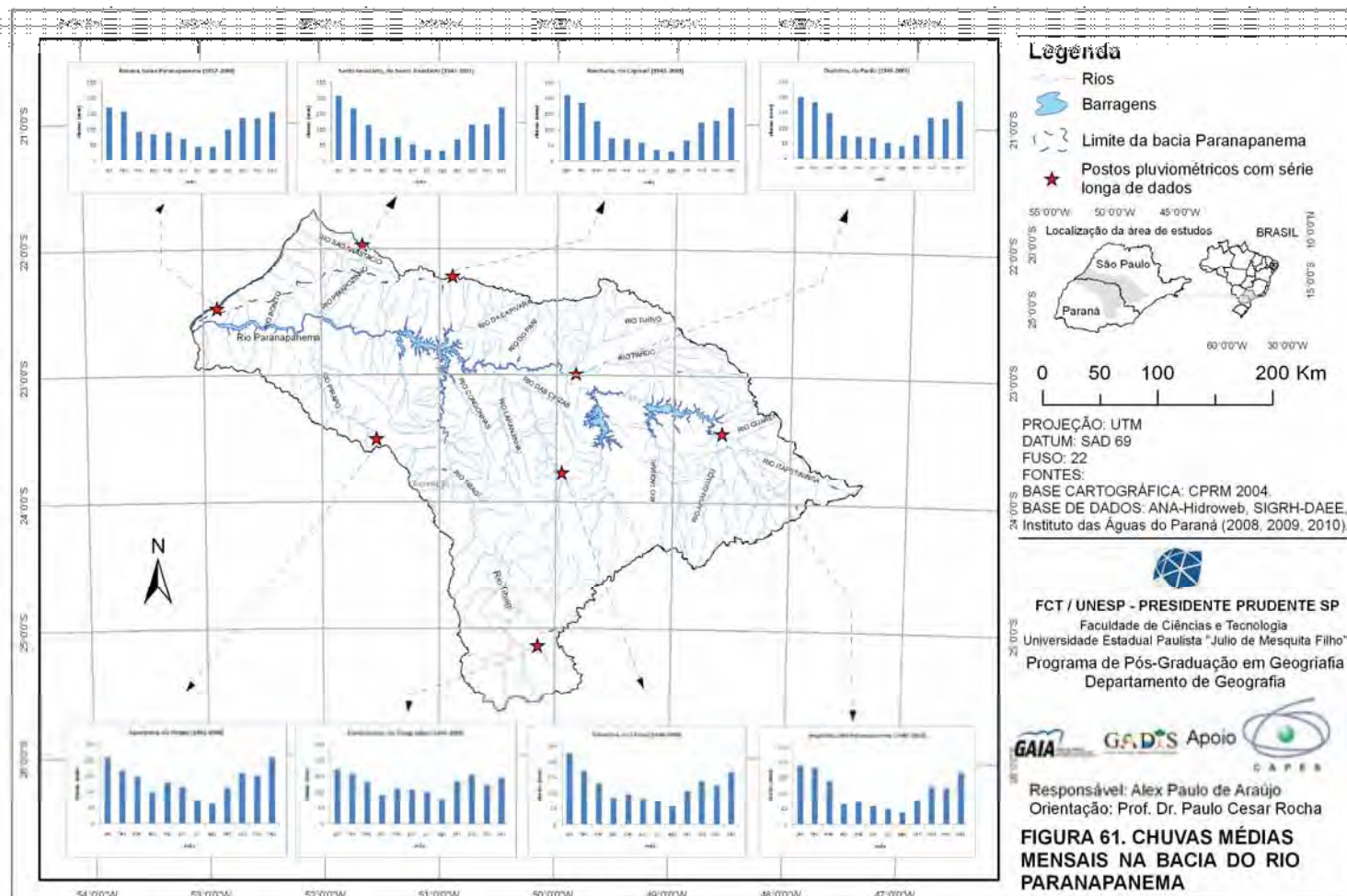


Figura 60: Mapa síntese do comportamento sazonal das vazões da bacia do rio Paranapanema



5. 4 Características morfométricas no condicionamento do regime dos rios da bacia

As principais características físicas da bacia hidrográfica do rio Paranapanema podem ser observadas na Tabela 17. Os resultados identificam como ponto de saída (*output*) o posto fluviométrico. No que se refere à forma da bacia, os valores do coeficiente de compacidade (K_c) maior que a unidade (1) indicam que as bacias são irregulares, sendo que o menor valor adimensional calculado foi para os postos de menor área de drenagem, por exemplo, para posto Lajeado, no Alto Tibagi. Os valores desse coeficiente também mostram que as bacias não são muito sujeitas a enchentes. Esse dado é confirmado no índice Fator de Forma (K_f) e pelo Índice de Circularidade (IC), que apresentam valores baixos para todas as bacias, o que indica que a contribuição dos tributários não se concentra em um único ponto, ao longo do rio principal, concluindo-se que a bacia não apresenta forma circular, mas forma assimétrica, passando a alongada.

O índice densidade de drenagem deve ser compreendido como um número adimensional e possivelmente subestimado, em virtude da escala cartográfica das drenagens da bacia disponível na escala 1 : 250.000. De acordo com a literatura sobre o tema, o grau de desenvolvimento do sistema de drenagem da bacia é baixo (pobre), em virtude dos valores próximos de 0,5 km/km², relacionados à quantidade de rios mapeados nessa escala. Porém, os valores permitem avaliar as diferenças regionais entre os diferentes trechos dos rios e relacioná-los ao seu sistema de drenagem efetivo.

Constata-se que as bacias afluentes do rio Paranapanema, no seu baixo curso, como os rios Pirapó (margem paranaense), Novo e Capivara (margem paulista), têm os menores valores de densidade de drenagem, e que, por outro lado, as bacias formadoras do alto curso do rio Paranapanema apresentam valores maiores, indicativos de serem bem drenadas. Tais características são indicativas das variações geológicas entre as áreas, já que as rochas do baixo cursos da bacia são predominantemente areníticas.

Observa-se também que alguns rios, como o Tibagi e Cinzas, não demonstram variações significativas entre o índice de densidade de drenagem, o que pode estar ligado à forma da bacia (alongada).

Outro parâmetro morfométrico obtido foi a Extensão Média do Escoamento Superficial (I), índice que se relaciona com a densidade de drenagem e possibilita indicar a distância média do escoamento. Os dados corroboram a ideia de que, em rios bem drenados, o escoamento da água da chuva para encontro com os rios é mais rápido, conforme valores apontados na Tabela 17.

Tabela 17. Principais variáveis morfométricas da bacia, relacionadas à dinâmica de escoamento

Tabela 17. Principais variáveis morfológicas da bacia, relacionadas à dinâmica de escoamento											
Rios	Código/ANA	Nome do Posto	Forma da Bacia								
			Comprimento axial (km)	Comprimento total dos rios (Lt) Km	Área (km²)	Perímetro (km)	Coefficiente de Compacidade (Kc)	Fator de Forma (Kf)	Índice de Circularidade (IC)	Densidade de drenagens (km/km²)	Extensão média do Escoamento Superficial (l)
Afluentes no médio e baixo Parapananema (margem paulista)	64333000	Salto Grande 6D-009	57.31	457.71	1007.08	220.50	1.95	0.31	0.26	0.45	0.55
	64344000	Platina 7D-011	25.33	170.57	428.86	128.47	1.74	0.67	0.33	0.40	0.63
	64345000	Sucui 7D-006	48.21	372.35	925.88	206.35	1.90	0.40	0.27	0.40	0.62
	64394000	Paraguaçu Paulista 7D-014	20.95	56.68	153.03	81.57	1.85	0.35	0.29	0.37	0.68
	64395000	Maracai 7D-013	59.43	577.20	1563.73	336.43	2.38	0.44	0.17	0.37	0.68
	64395000	Maracai/Assis 7D-008	58.82	578.02	1564.41	269.83	1.91	0.45	0.27	0.37	0.68
	64346000	Ajicê 7D-012	36.67	237.13	646.16	170.27	1.88	0.48	0.28	0.37	0.68
	64328050	Fazenda da Barra	83.44	1624.91	3871.64	384.14	1.73	0.56	0.33	0.42	0.60
Bacia do Rio Pardo	64328000	São Pedro do Turvo I 6D-008	46.74	358.32	888.25	183.39	1.72	0.41	0.33	0.40	0.62
	64320000	Santa Cruz do Rio Pardo 6D-001	145.56	1878.00	4173.19	525.45	2.28	0.20	0.19	0.45	0.56
	64315000	Águas de Santa Bárbara 6D-002	103.85	1501.79	3324.80	403.52	1.96	0.31	0.26	0.45	0.55
	64323000	Santa Cruz do Rio Pardo	144.34	1877.17	4171.28	523.47	2.27	0.20	0.19	0.45	0.56
Rio Taquari	64191000	Itapeva	58.98	423.91	806.20	192.15	1.89	0.23	0.27	0.53	0.48
	64190000	Palmeiras do Ricardo 5E-015	49.20	305.11	551.10	188.85	2.25	0.23	0.19	0.55	0.45
	64185000	Itapeva 5E-002	53.59	436.55	832.43	203.62	1.98	0.29	0.25	0.52	0.48
	64370000	Andirá	167.46	3164.71	5612.10	662.42	2.48	0.20	0.16	0.56	0.44
Rio Crizas	64362000	Granja Garota	136.01	2253.22	3969.11	567.63	2.52	0.21	0.15	0.57	0.44
	64360000	Tomazina	83.45	1131.19	2015.27	355.28	2.22	0.29	0.20	0.56	0.45
Rio Laranjinha	64390000	Porto Santa Terezinha	154.01	2015.81	3440.97	519.60	2.48	0.15	0.16	0.59	0.43
	64382000	Fazenda Casa Branca	122.17	1478.58	2609.34	399.81	2.19	0.17	0.21	0.57	0.44
	64380000	Usina Figueira	67.85	537.23	1027.49	227.40	1.99	0.22	0.25	0.52	0.48

Afluentes formadores do rio Paranapanema	64035000	Bairro Cerrado 5E-004	40.82	269.31	475.84	146.43	1.88	0.29	0.28	0.57	0.44
	64040000	Cerradinho 5E-014	46.59	307.08	533.26	159.59	1.94	0.25	0.26	0.58	0.43
	64005000	Ferreira das Almas	44.11	372.68	663.94	167.04	1.82	0.34	0.30	0.56	0.45
	64015000	Turvo 5E-009	41.87	408.61	708.81	167.53	1.76	0.40	0.32	0.58	0.43
	64082000	Campina do Monte Alegre	98.02	3030.00	5783.44	476.49	1.75	0.60	0.32	0.52	0.48
	64215050	Jurumirim Jusante	205.38	8980.93	17892.55	992.48	2.08	0.42	0.23	0.50	0.50
	64220050	Piraju Jusante	220.47	9195.68	18385.90	936.19	1.93	0.38	0.26	0.50	0.50
	64270050	Chavantes Jusante	257.66	13861.28	27769.90	1195.50	2.01	0.42	0.24	0.50	0.50
	64516080	UHE Capivara	446.88	41304.12	84684.37	1871.63	1.80	0.42	0.30	0.49	0.51
	64535080	UHE Taquaruçu – Barragem	519.34	42841.87	88707.87	2005.45	1.89	0.33	0.28	0.48	0.52
Rio Paranapanema	64571080	UHE Rosana – Barragem	610.97	47196.74	100791.30	2199.26	1.94	0.27	0.26	0.47	0.53

5.5 Variabilidade climática na bacia do rio Paranapanema/Alto Paraná

O regime de chuvas e sua variabilidade é uma importante informação hidrológica para a avaliação dos regimes dos rios, tendo em vista que a dinâmica dessa complexa variável vertical do fluxo (*input*), no espaço e no tempo, influencia o sistema hídrico, de sorte que é imprescindível sua compreensão.

Na escala dos Estados de São Paulo e Paraná, é constatado que a literatura sobre o regime pluvial normalmente reúne estudos da dinâmica climática, no sentido de caracterizar a distribuição temporal e espacial dos regimes de chuvas, seja pela sua variabilidade interanual, seja pela sua sazonalidade, no período de aproximadamente 30 anos.

No âmbito da bacia do rio Paranapanema, recentes estudos têm abordado o regime pluviométrico da bacia, como o trabalho de Nery, Carfan e Parizotto (2009), que avaliaram o regime de chuvas do período 1974-2004.

Destacam-se também trabalhos regionalizados de setores da bacia, como na bacia Médio Paranapanema, na margem paulista, de Nery e Alves (2009), que contemplaram a variabilidade sazonal e interanual das precipitações, no período de 1940 a 2000, enfatizando os anos anômalos e relacionando-os com a influência de ENOS - Oscilação Sul. Acerca do baixo curso do rio Paranapanema, margem paranaense, encontram-se os estudos de Souza, Martins e Nery (2002), referentes à bacia do rio Pirapó, concernentes ao período 1980-1998, bem como o de Roseghini, Nery e Martins (2002), que focalizaram a variabilidade sazonal da precipitação no noroeste do Paraná, no período de 1972 a 1997. Ainda sobre esse trecho do rio, encontram-se as investigações de Braidó, Zandonadi e Silveira (2006) e Zandonadi et al., (2007), com uma caracterização do regime de pluviosidade (anos secos e úmidos) aplicado ao balanço hídrico em diferentes regiões do baixo curso Paranapanema, com comportamentos pedológicos, topográficos e pluviométricos diferentes.

Sant'Anna Neto (1999), ao analisar o comportamento da pluviosidade no Estado de São Paulo, nos últimos 100 anos, constatou uma tendência de aumento das chuvas entre os períodos 1941/1970 e 1971/1993, de aproximadamente 10% para o segundo período, concentrados nos limites da bacia do Paraná (Figura 62). Para esse autor, a variabilidade da dinâmica climática apresenta ciclos mais ou menos regulares de períodos chuvosos alternados, que se repetem em ciclos curtos variando de 4 a 8 anos, com ciclo maiores, variando entre 9 e 13 anos.

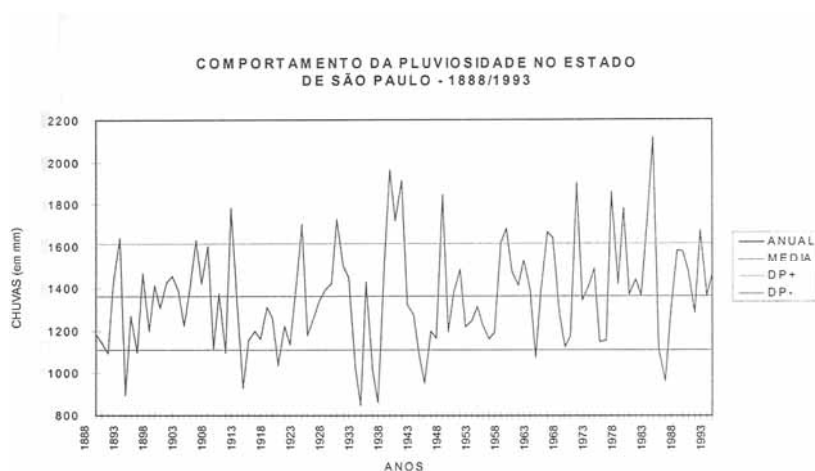


Figura 62. Variabilidade das precipitações para o Estado de São Paulo.
Fonte: Sant'Anna Neto (2003)

Grimm et al. (1998) estudaram as precipitações em 101 postos pluviométricos, nos Estados de São Paulo e Paraná, por testes estatísticos paramétricos e não paramétricos, havendo constatado uma não-estacionariedade das séries, no sentido de aumento de precipitações médias no período pós-1970, alterações identificadas com sinais sazonais no outono, primavera e inverno.

Silva e Guetter (2003) comprovaram, em alguns municípios do Estado do Paraná, uma aceleração do ciclo hidrológico, desde o início da década de 70, verificado no aumento da frequência de chuvas mais intensas, no aumento de vazões médias e na ocorrência de estiagens com maior duração.

Para demonstrar esse aumento de precipitações na bacia, observa-se a Figura 63, com dados interanuais de chuvas no alto curso do rio Paranapanema. A inspeção visual do gráfico leva a identificar um aumento das precipitações pós década de 1970. O regime anual de chuvas, nesse posto, ao longo da série, é de 1271,7 mm/ano, sendo 1135 no período entre 1940 e 1970 e 1404.1 mm/ano, no período posterior a 1970.

Aplicado o teste estatístico *t* pareado para o dois períodos (distribuição normal), houve diferenças significativas entre períodos (rejeitando H_0 = períodos iguais), sendo que o período pós 1970 é maior que o período anterior p valor (0,000).

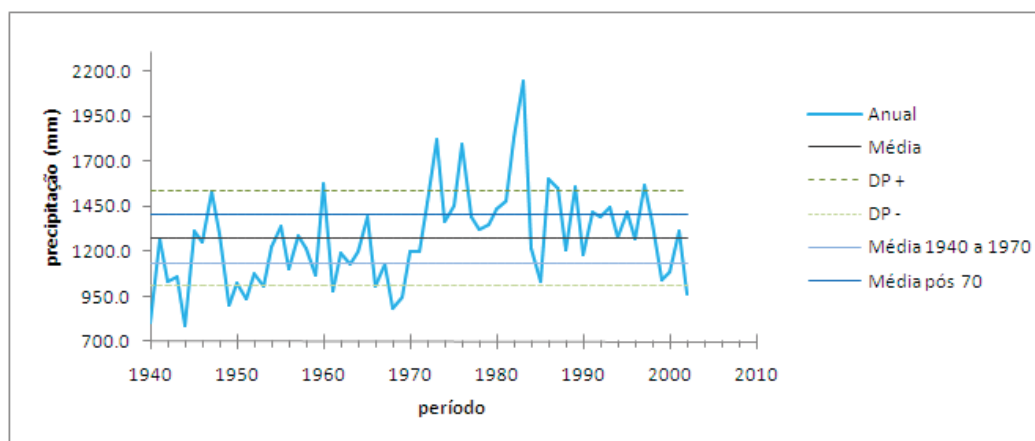


Figura 63. Variabilidade das precipitações para o alto curso do rio Paranapanema, município de Angatuba (Posto ANA: 2348016).

5.5.1 Possíveis causas da variabilidade climática na bacia do rio Paranapanema/Alto Paraná

A busca por respostas para a variabilidade climática constitui um desafio para o estudo do clima, sobretudo para determinar quais fatores comandam um determinado evento climático, nas escalas local, regional, zonal e global. Para Molion (2005), além do efeito estufa, as mudanças de padrões na circulação da atmosfera e a interface superfície do mar/atmosfera contribuem para a variabilidade climática global.

Os ciclos de pluviosidade apontados por Sant'Anna Neto (1999) podem estar relacionados à frequência de eventos interanuais e interdecadais, à influência de eventos de curto prazo, como El Niño/La Niña/Oscilação Sul (ENOS), na variabilidade pluviométrica na Bacia do Paraná, segundo indicações feitas por Grimm et al. (1998) e Nery, Carfan e Parizotto (1999). Já os eventos de baixa frequência, vinculados à temperatura de superfície do mar (TSM), como a Oscilação Decadal do Pacífico (ODP/ ENOS) e seu relacionamento com regime de chuvas e temperaturas, ainda não são bem conhecidos (MOLION, 2005).

Segundo Mantua et al. (1997) e Molion (2005), a Oscilação Decadal do Pacífico (ODP) exibe eventos que persistem por 20 a 30 anos, sendo caracterizada por duas fases. A fase fria é caracterizada por anomalias negativas de TSM, no Pacífico Tropical, e, simultaneamente, anomalias de TSM positivas no Pacífico Extratropical em ambos os hemisférios. Já a fase quente apresenta anomalias de TSM positivas, no Pacífico Tropical, e negativas, no Pacífico Extratropical.

Outra característica apontada por Molion (2005) consiste nos maiores registros de El Niño e La Niña, de acordo a fase da ODP. Na Figura 64, verifica-se a persistência de eventos de La Niña, na Fase Fria da ODP (1947 a 1976), e uma maior frequência no período posterior de El Niño, na Fase Quente da ODP (1977 a 1998).

No trabalho de Molion (2005), o autor assinala um correlacionamento entre as fases da ODP e os processos hidrológicos, como os níveis de água do rio Paraguai, observando-se uma convergência do aumento das precipitações e vazões na bacia do Prata, na fase quente ODP (1977-1998), e diminuição na sua fase fria (1947-1976). Uma possível causa física para a redução de totais pluviométricos, na fase fria, é a redução da convergência do fluxo de umidade sobre essas regiões. Se se considerar a incidência de ENOS curtos, de acordo com a fase da ODP, como a ocorrências dos eventos El Niño (anomalias positivas da TSM, no Oceano Pacífico) e eventos La Niña (anomalias negativas de TSM, no Oceano Pacífico), conclui-se que constituem alguns dos maiores responsáveis pelos desvios em relação às normais climatológicas ocorridas (NERY; SUNCHK; HYPOLIT, 2006; GRIMM et al., 1998; MÜLLER; KRÜGER; KAVISKI, 1998), percebendo-se que a ocorrência da ODP tem impactos diretos nos processos hidrológicos.

Prestes et al. (2010) registraram, em seus estudos preliminares, uma possível influência da ODP na variabilidade de chuvas, no Estado do Rio Grande Sul, principalmente na fase fria, com redução da pluviosidade, apesar de não aplicarem testes estatísticos para confirmar o relacionamento indicados pela inspeção visual.

Com os dados dos índices ENOS e ODP é possível observar a influências de alguns eventos anômalos, no comportamento das vazões (Figura 64), sobretudo em termos de alternâncias e intensidades. Alguns eventos de alta ou baixa frequência podem responder, em tempos distintos, sobre o escoamento dos rios, sendo necessários uma maior investigação e testes estatísticos, a fim de identificar possíveis influências, sobretudo para grandes rios.

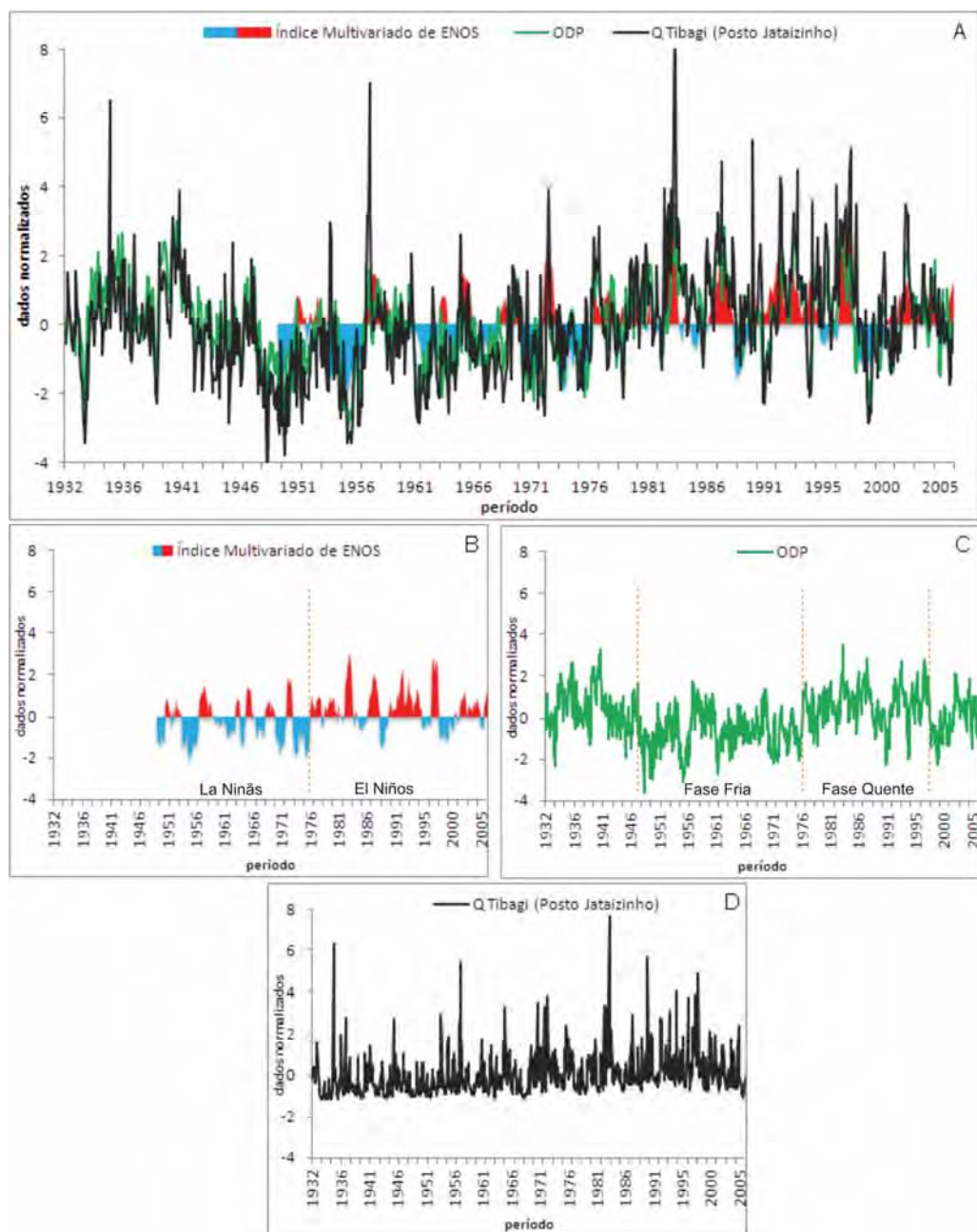


Figura 64. Série temporal dos índices normalizados de ENOS, OPD e Q. A: Sobreposição dos índices; B: Série temporal do Índice Multivariado de El Niño/La Niña-Oscilação Sul (ENOS); C: Série temporal do índice ODP; D: Série temporal de vazões – posto Jataizinho.

Fonte: Banco de dados ESRL/NOAA/PSD, Mantua et al., 1997, Hidroweb/ANA (2006), Molion (2005).

<http://jisao.washington.edu/pdo/PDO.latest>

<http://www.esrl.noaa.gov/psd/people/klaus.wolter/MEI/table.html>

5.5.2 Alterações no uso do solo na bacia do rio Paranapanema

As diferentes modificações na cobertura da terra e uso do solo, na bacia do rio Paranapanema, certamente cooperam para as variabilidades do regime de vazões dos seus rios.

Apesar do aumento médio das chuvas, na bacia do Alto rio Paraná, as alterações antrópicas interferem igualmente no sistema hídrico e somam-se ao seu regime.

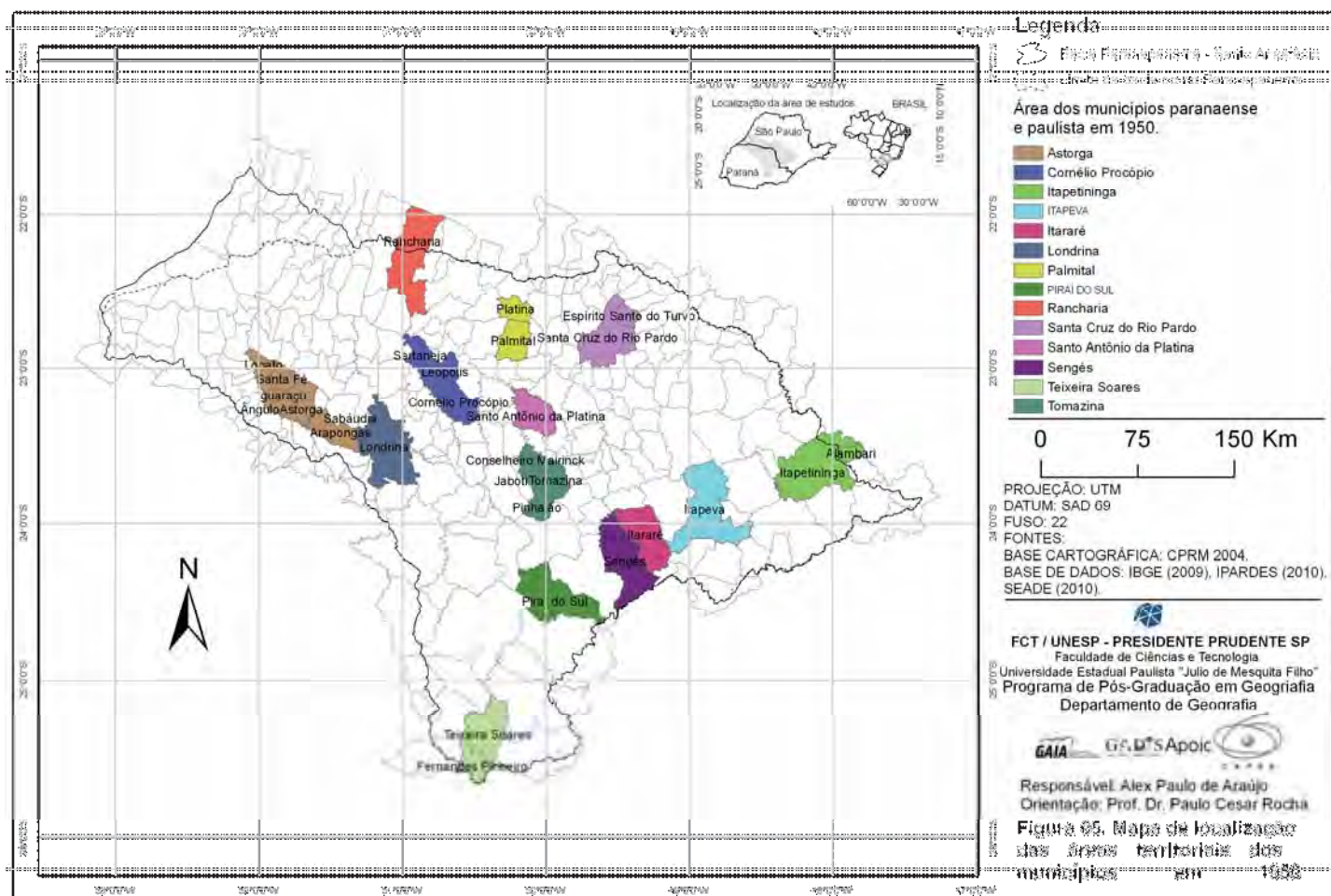
O Brasil passou por profundas transformações, no século XX, especialmente no que se refere às mudanças entre o meio rural/urbano e nas alterações/expansão no uso do solo. Com base nos dados dos Censos Agropecuários dos Estados do Paraná e São Paulo, ao longo dos últimos 50 anos do século XX, foi avaliada a evolução temporal das alterações no uso do solo na bacia, expondo-se, na Figura 65, a localização e suas respectivas dimensões administrativas e territoriais para os Censos de 1950.

Os 14 municípios selecionados para o Censo de 1950 correspondem, atualmente, a 31 municípios que passaram por processos de desmembramento, conforme a Tabela 18.

Tabela 18. Evolução dos desmembramentos territoriais dos municípios da bacia

Estado	Municípios (1950)	Municípios desmembrados / Ano
SP	Itapetininga	Alambari (1991)
SP	Itapeva	Taquarivaí (1991)
SP	Itararé	-
SP	Palmital	Platina (1954)
SP	Rancharia	-
SP	Santa Cruz do Rio Pardo	Espírito Santo do Turvo (2000)
PR	Arapongas	Astorga (1952), Sabáudia (1952), Munhoz de Melo (1956), Iguaçu (1956), Santa Fé (1956), Lobato (1956), Flórida (Iguaçu -1961), Ângulo (Iguaçu-1993)
PR	Cornélio Procopio	Leópolis (1960), Sertaneja (1960)
PR	Londrina	-
PR	Pirai do Sul	-
PR	Santo Antonio da Platina	-
PR	Sengés	-
PR	Teixeira Soares	Fernandes Pinheiro (1997)
PR	Tomazina	Jaboti (1952), Pinhalão (1952), Conselheiro Mairinck (Jaboti-1961)

Fonte: SEADE, IPARDES, PARANÁ CIDADE.



Conforme já salientamos anteriormente, a alteração no uso do solo e na cobertura da terra, nos Estados de São Paulo e Paraná, seguiu uma dinâmica temporal diferente. No Estado de São Paulo, o desmatamento realizado pela *frente pioneira* já tinha ocorrido em sua grande magnitude; no entanto, no Paraná, alguns processos ainda estavam em andamento.

As Figuras 1A a 7A do Apêndice G, referentes aos municípios paulistas e paranaenses, demonstram a evolução temporal das alterações no uso do solo, na bacia do rio Paranapanema/Santo Anastácio.

Verifica-se que o tipo de uso do solo e cobertura, presente em cada Estado, expressa a história de ocupação das áreas em questão. A evolução das culturas permanentes, no Estado de São Paulo, pode ser caracterizada, sobretudo no médio curso paulista do rio Paranapanema, com um decréscimo pós 1970. No Estado do Paraná, constata-se a existência das culturas permanentes, principalmente no norte paranaense, com cultivo do café nessas regiões, com um crescimento da cultura permanente dessa área, até anos de 1960, com uma diminuição no período posterior; em contrapartida, há uma expansão das culturas temporárias e pastagens, demonstrando uma mudança (substituição) de uma pela outra, nesse período conforme exemplificado no município de Arapongas (Figura 66).

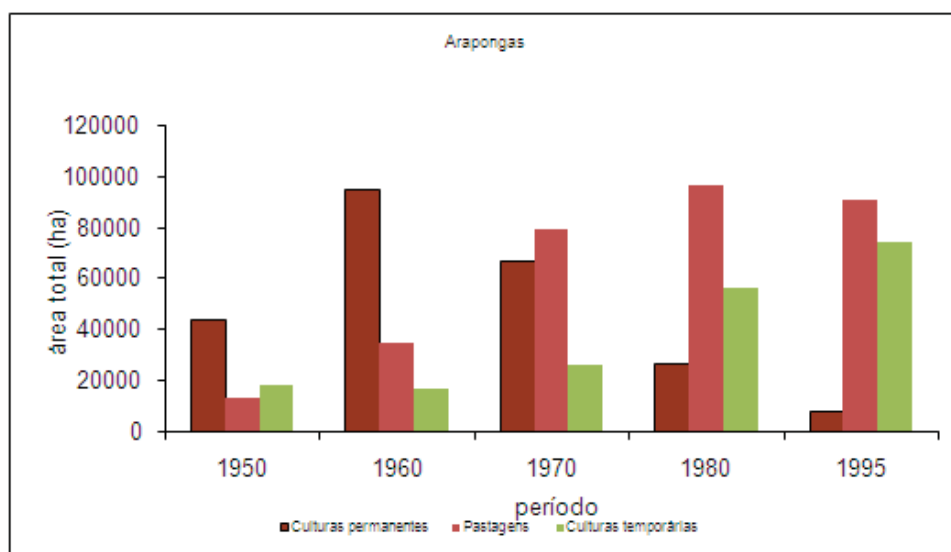


Figura 66: Evolução do uso do solo no município de Arapongas, norte do Paraná.

A redução das culturas permanentes no Paraná, como o café, em parte está ligada às perdas pelas geadas. Para Marengo (2001), as ondas de frio, associadas à passagem de frentes frias no sul do Brasil, no inverno, prejudicaram a cafeicultura no sul e no sudeste do Brasil, ao longo do século XX.

Outros fatores preponderantes foram às mudanças e políticas de desenvolvimento econômico, realizadas no Brasil, após os anos 1950. Nesse período, em vista do estímulo à produção

industrial, sobretudo em São Paulo, em virtude da centralidade industrial paulista e do fortalecimento das exportações industriais, os cultivos tradicionais perderam força.

Se, por um lado, o modelo de desenvolvimento industrial gerou reflexos negativos ao setor agrícola, por outro, os estímulos à diversificação agrícola e à sua modernização permitiram ao Estado do Paraná o aumento da produção de outras culturas, como o trigo e soja, assim como o setor agropecuário (TRINTIN, 2001).

Todavia, não foram somente as culturas que tiveram grande dinamismo, no período em análise. Os dados de pastagens demonstram o crescimento das áreas verificadas em quase todos os municípios consultados. Esses fatos salientam a importância econômica dessa atividade para a região, seja no uso da pecuária leiteira, seja do gado de corte, a fim de confirmar que o processo de modernização da agricultura, somado à expansão da frente agrícola, no Brasil, contribuíram para as mudanças no uso do solo (Figura 4A – Apêndice G).

Quanto ao grau de redução das matas, na bacia, contatam-se alguns panoramas distintos: na margem paulista, de modo geral, as matas já se encontram reduzidas em alguns fragmentos, sendo verificado apenas um crescimento nas áreas de cabeceiras do rio Paranapanema, como nos municípios Itapetininga (Figura 67); o crescimento de áreas reflorestadas para atividades econômicas da silviculturas também é observado, nos municípios do alto Paranapanema (Figuras 5A e 6A – Apêndice G).

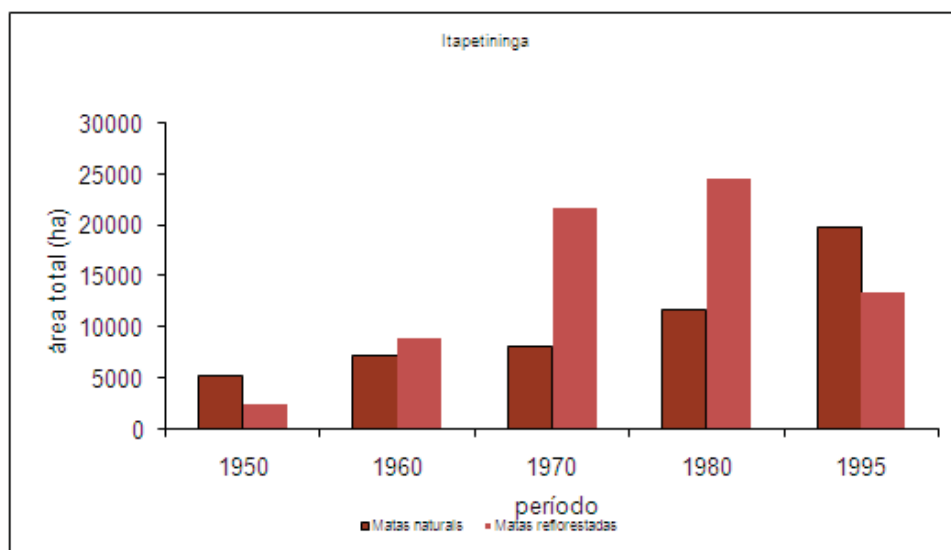


Figura 67: Evolução das matas no município de Itapetininga, Alto Paranapanema.

Na margem paranaense, as áreas mais preservadas se localizam na porção meridional da bacia, exemplificadas pelos municípios de Teixeira Soares e Piraí do Sul. A redução paulatina das matas, ao longo das décadas de 1950 a 1990, pode ser comprovada nas regiões do

norte paranaense, como mostrado na Figura 68, destacando-se esses processos respectivamente nos municípios de Arapongas, Londrina, Cornélio Procópio.

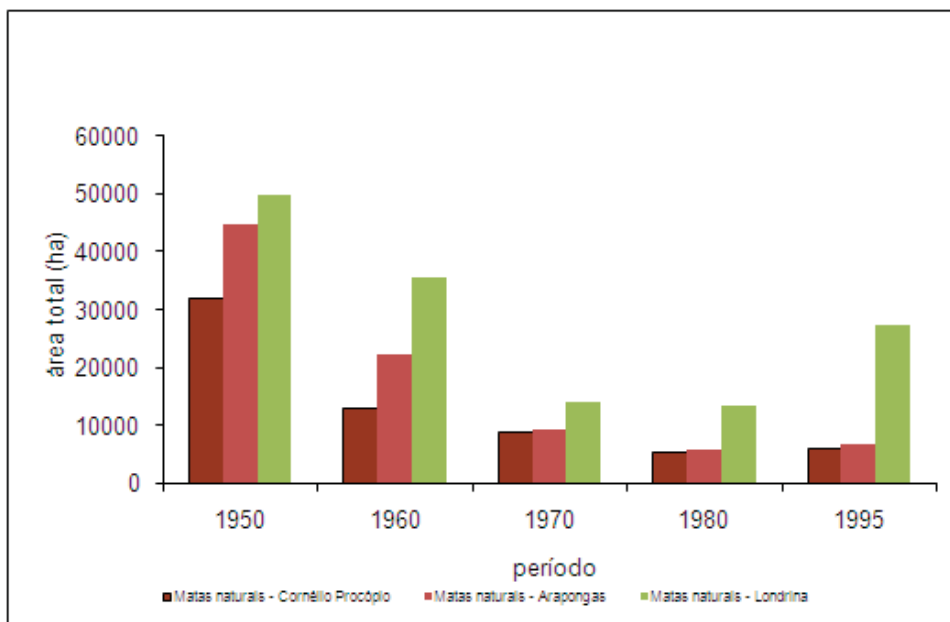


Figura 68: Evolução das matas naturais em alguns municípios do norte paranaense.

Os resultados apresentados sobre a dinâmica do uso do solo, na bacia, confirmam as mudanças nos tipo de cobertura da terra e uso do solo, na bacia do Paranapanema, no período em análise, o que contribui sinergicamente para sua variabilidade hidrológica, indicando sua alteração; além das mudanças no escoamento, cada uso da terra (atividade) tem impactos diferentes na retirada hídrica da bacia, de modo que atividades agrícolas que utilizam a irrigação como insumos aumentam a pressão sobre o sistema hídrico e sua disponibilidade.

É importante ressaltar que tem havido, recentemente, uma tendência de redução das áreas com pastagens e substituição pela cultura anual da cana-de-açúcar, que, combinada com a utilização da irrigação, certamente terá maiores impactos sobre os rios em questão.

Outro parâmetro relevante a considerar refere-se à dinâmica de uso do solo, na bacia, a qual não é homogênea entre todas as regiões ou bacias, ampliando a importância de um adequado planejamento dos diferentes usos da águas desses rios, tendo em vista, em termos regionais, as diferentes potencialidades hídricas, variáveis ambientais e dinâmicas econômicas.

5.6 Relacionamentos entre variáveis

Com o intuito de estabelecer relacionamentos entre as variabilidades hidrológicas e o regime da bacia no espaço e no tempo, a fim de edificar respostas para os processos hidrológicos

que regem as vazões, assim como para a compreensão integrada do sistema hídrico e dos componentes da paisagem da bacia, procurou-se sistematizar essas informações com auxílio da análise estatística multivariada: agrupamento e análise de componentes principais (ACP).

A análise de agrupamento permite a identificação de regiões com características homogêneas. Na Figura 69, a análise de agrupamento mostrou que os postos fluviométricos podem ser organizados espacialmente em quatro grupos. Para facilitar a interpretação e leitura do dendograma, os grupos foram plotados na Figura 70.

Tais grupos podem indicar relacionamentos entre seus componentes, como o uso da terra, que caracterizam o regime dos rios. O primeiro grupo é formado por postos do baixo Tibagi e rio Pirapó, que possuem como característica similar a dinâmica de uso do solo na região norte do Paraná (culturas permanentes e temporárias) e o regime pluviométrico. O segundo agrupamento compreende os postos localizados no alto Paranapanema, que se caracterizam por ter similaridade entre variáveis de uso do solo, como mata natural e culturas, assim como parâmetros morfométricos, com trechos de cabeceira onde a maior a topografia é ondulada/escarpada, contribuindo para um maior desenvolvimento da rede de drenagem. Já o terceiro grupo é formado pelos postos com menores ligações de similaridades, como os dos afluentes do baixo Paranapanema, margem paulista, e as estações da calha do rio Paranapanema. Pode-se concluir que, para alguns postos do rio Paranapanema, à medida que aumenta a área de bacia hidrografia, estes são menos sensíveis às variações fisiográficas ou eventos climáticos locais, em determinados trechos da bacia.

Por fim, o quarto grupo constitui faixa central da bacia no sentido sul/norte, com similaridade em alguns parâmetros morfométricos, como extensão de escoamento superficial e forma da bacia, somados ao regime pluviométrico de vazões.

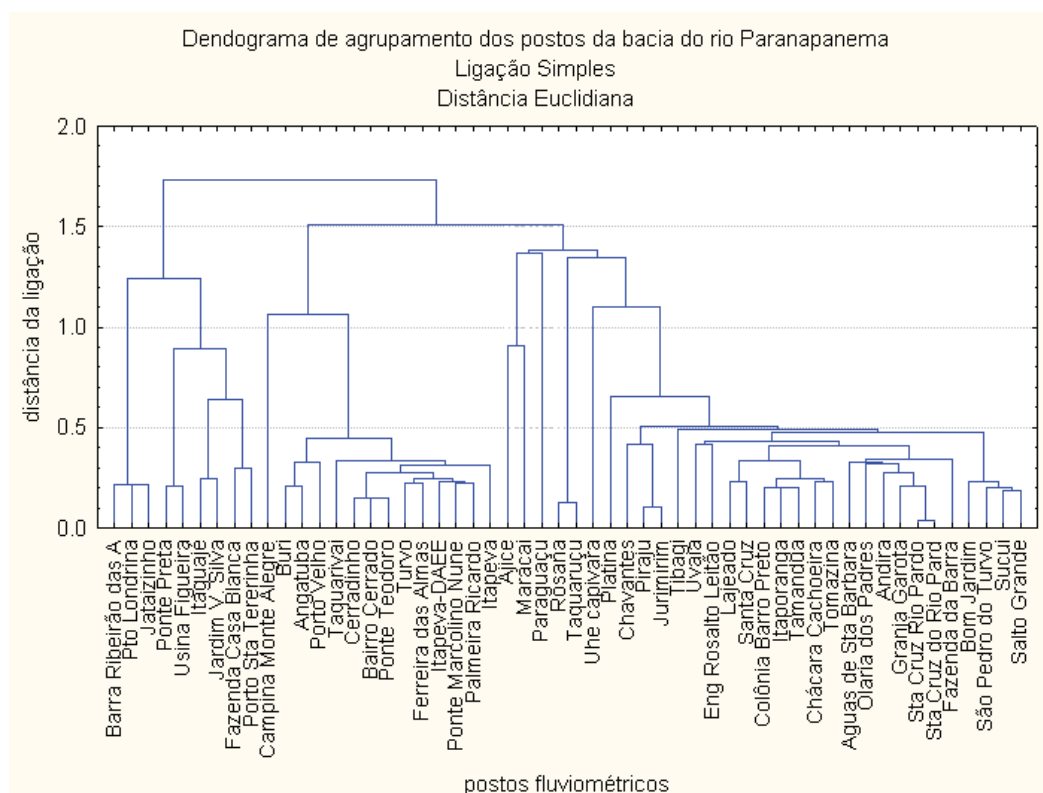


Figura 69. Dendrograma de similaridade dos postos fluviométricos da bacia do rio Paranapanema, com base em 23 componentes.

Na Tabela 19 e nas Figuras 71 e 72, são apresentados os resultados da ACP aplicados às variáveis consideradas. Com a ACP calculada, obtiveram-se as estatísticas da série; dentre as 16 componentes geradas, foram amostradas apenas as duas primeiras componentes, em virtude de sua representatividade.

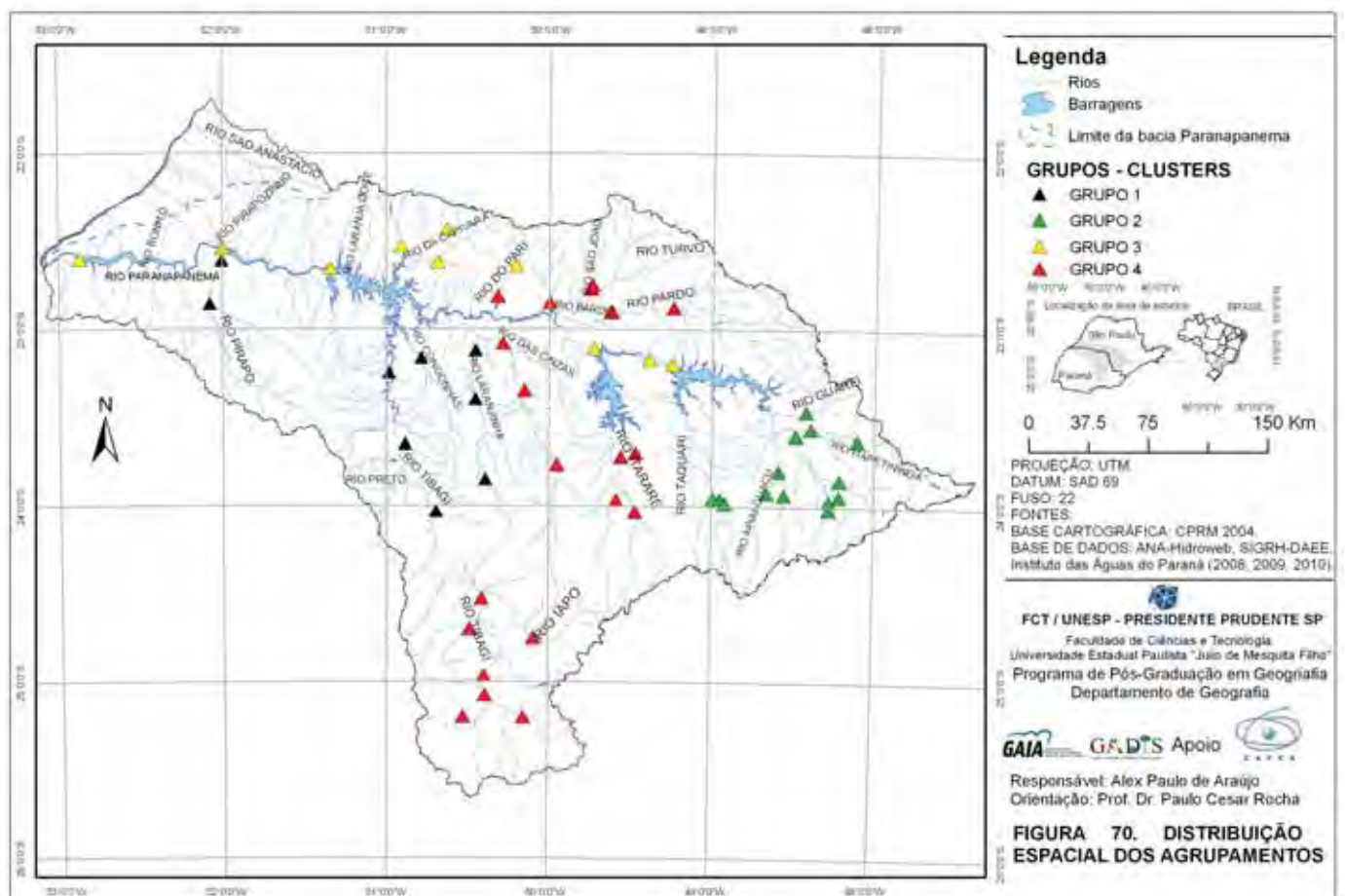
Tabela 19. Estatísticas das componentes principais, indicando a percentagem da variabilidade de explicação das variáveis da bacia do rio Paranapanema.

Variáveis	Componentes Principais	
	Componente 1 (Fator 1)	Componente 2 (Fator 2)
Comprimento do Rio	0.672985	0.039413
Área	0.683186	0.097302
KC	0.015019	-0.444677
KF	0.085209	0.720802
IC	-0.020871	0.451688
Densidade Drenagem	-0.073229	-0.634734
Extensão Escoamento Superficial	0.050092	0.618641
Chuvas	0.682292	-0.337315
Chuvas até 1970	0.621246	-0.400400

Chuvas pós 1970	0.499031	-0.405146
Q	0.694103	0.085910
Q até 1970	0.686425	0.123422
Q pós 1970	0.715113	0.093444
Cultura Permanente 50-60	0.716415	-0.540953
Cultura Temporária 50-60	-0.771894	-0.479794
Pastagem 50-60	-0.898787	-0.143858
Mata Natural 50-60	-0.490361	-0.750412
Mata Reflorestada 50-60	-0.686282	-0.586401
Cultura Permanente 80-95	0.344436	-0.813355
Cultura Temporária 80-95	0.232786	-0.777545
Pastagem 80-95	-0.317553	-0.212952
Mata Natural 80-95	-0.864078	-0.136099
Mata Reflorestada 80-95	-0.730549	0.482465
% Variabilidade explicada	33.40268	22.61220
% total da variabilidade explicada	33	56

Os autovalores da ACP fornecem os coeficientes de representatividade de cada componente principal. Assim, a porcentagem de variância total explicada pela primeira componente principal é 33,40%, pela segunda, 22,61%. Dessa forma, as duas primeiras componentes representam mais de 50% da variância total.

A Figura 72 contém uma projeção dos dados das variáveis das duas primeiras componentes nos eixos (quadrantes), o que possibilita observar as variáveis mais importantes, assim como a contribuição de cada variável, na explicação da formação dos grupos de postos representados na Figura 71.



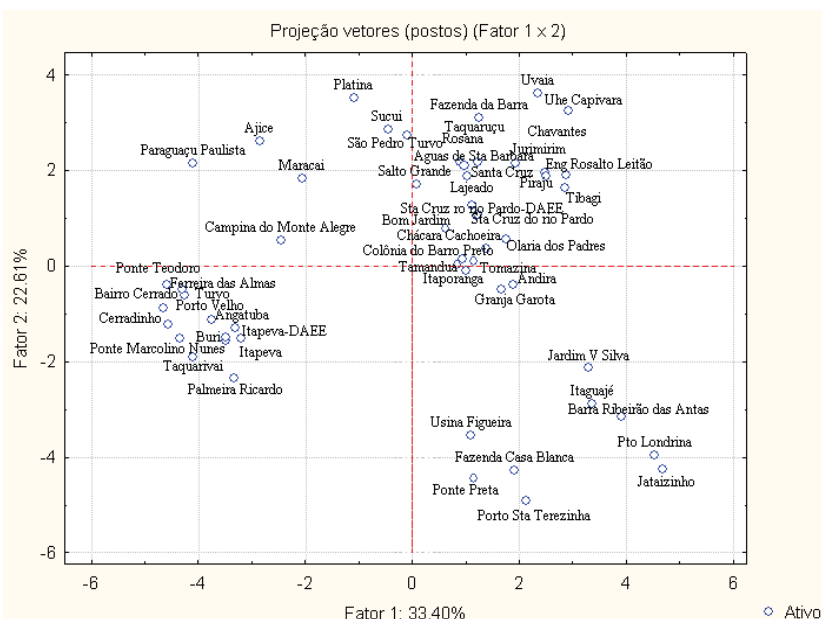


Figura 71. Ordenação espacial dos postos (cases) das duas componentes principais da bacia do rio Paranapanema.

Se levada em conta a projeção dos escores das duas componentes no espaço (eixos/quadrantes), para a espacialização das estações, podem-se visualizar nitidamente quatro grupos de dados (Figura 73). Essa distribuição espacial se correlaciona com os grupos formados pela técnica de agrupamento.

A ordenação dos dados da ACP, visualizados na Figura 72, demonstra a formação de um grupo com correlação positiva, em ambas as componentes para os postos da bacia localizados calha do rio Paranapanema, alto Tibagi e Itararé. No quadrante do fator 2 positivo e fator 1 negativo, verificam-se os postos localizados nos rios que drenam o médio e baixo curso do rio Paranapanema margem paulista. Nota-se igualmente a formação de um grupo com correlação negativa em ambas as componentes (fator 1 e 2), constituído pelos postos instalados no alto Paranapanema (nascentes); no quarto quadrante, os postos da margem paranaense dos rios Cinzas, Pirapó e baixo Tibagi.

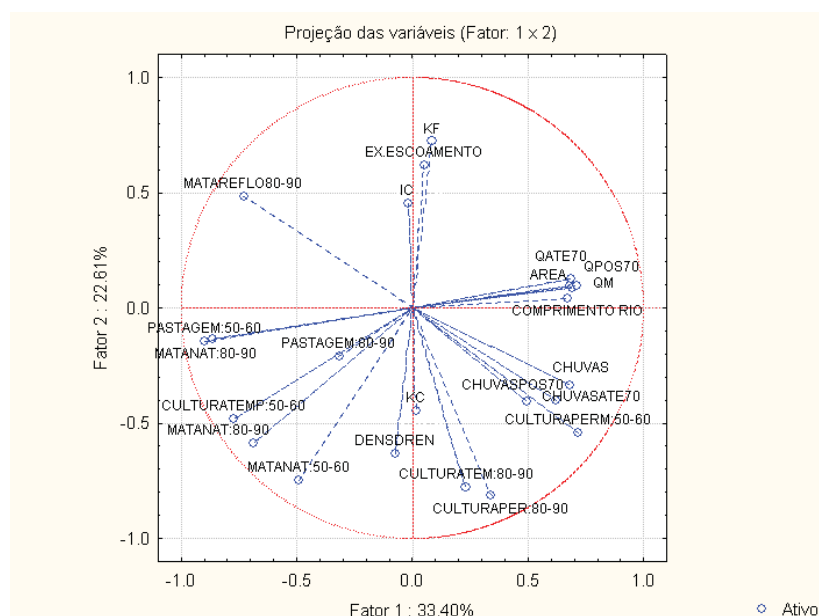


Figura 72. Ordenação espacial das variáveis das duas componentes principais da bacia do rio Paranapanema

A variáveis fortemente associadas ao Fator 1, que contribuíram para o ordenamento espacial, foram: Q pós 1970, cultura permanente 50-60, cultura temporária 50-60, pastagem 50-60, mata natural 80-95, mata reflorestada 80-95; No Fator 2: coeficiente de compacidade (K_c), mata natural 50-60, cultura permanente 80-95 e cultura temporária 80-95.

Cabe enfatizar, também, as variáveis que possuem sinais significativos de explicação da variabilidade da ACP, como Q, chuvas, Q até 1970, área de drenagem e comprimento do rio, que tiveram estatísticas das componentes próximas a 0.7 e confirmam sua importância para a ordenação espacial dos postos.

O caráter de ordenação regional da análise de agrupamento e ACP revelam as contribuições integradas de cada componente da bacia, na determinação de áreas similares de comportamento hidroclimático, morfométrico e de uso da terra. O conjunto das variáveis de entrada no sistema hídrico e seus respectivos pesos têm condicionado a variabilidade espacial e temporal da bacia, sobretudo pelas grandezas escalares dos rios. Do ponto de vista sazonal, algumas variáveis possuem maior significado no regime hidrológico, como, por exemplo, a chuva; porém, a expressão das vazões interanuais podem ser resultados de acoplamento de outros parâmetros.

O relacionamento temporal (interanual) entre as vazões com as precipitações das estações pluviométricas selecionadas pode ser verificado na Tabela 20. Os resultados da análise de regressão para esses postos apontam para uma baixa correlação, uma vez que o R^2 para esses dados foi baixo, com exceção para os postos localizados no rio Pirapó e Tibagi (alto), com valores de R^2 de 0.73 e 0.69, respectivamente.

Tabela 20. Relacionamento temporal entre variáveis vazão e chuvas, em trechos da bacia.

Rio	Posto Chuva	Posto Vazão	Equação regressão	R	R^2	R^2 ajustado
Pardo	Ourinhos	Santa Cruz do Rio Pardo	$Q = 1.75 + 0.0369 P$	0.69	0.48	0.47
Capivari	Rancharia	Paraguaçu Paulista	$Q = 0.891 + 0.000678 P$	0.62	0.39	0.37
Guareí	Angatuba	Ponte dos Teodoros	$Q = - 1.19 + 0.00641 P$	0.63	0.40	0.39
Paranapanema (baixo)	Rosana	UHE- Rosana	$Q = 694 + 0.493 P$	0.39	0.15	0.13
Cinzas	Tomazina	Tomazina	$Q = 4.60 + 0.0161 P$	0.48	0.23	0.22
Tibagi (alto)	Santa Cruz	Santa Cruz	$Q = - 16.2 + 0.0296 P$	0.83	0.69	0.68
Pirapó	Apucarana	Vila Jardim Silva	$Q = - 38.6 + 0.0654 P$	0.85	0.73	0.72

Esses resultados reforçam a diversidade de variáveis que rege o regime dos rios. Da relação chuva x vazão, pode-se comentar que o tempo entre o volume precipitado e fluxos fluviais não é simultâneo, ou seja, as respostas dos fluxos dos rios refletem escalas temporais diferentes. Em acréscimo, as mudanças nas outras variáveis hidrológicas (cobertura da terra) alteram o escoamento, de maneira que pode alterar a relação chuva x vazão, ao longo do tempo.

Entende-se ainda que, para o estabelecimento de uma melhor acurácia na relação chuva x vazão, faz-se necessária uma análise com maior densidade de postos pluviométricos, para obtenção dos valores médios de chuva nas bacias, assim como estabelecer um adequado relacionamento e modelagem entre essas duas importantes componentes do sistema hídrico.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nesta Dissertação, procurou-se preencher uma lacuna dos estudos hidrológicos para toda a bacia do rio Paranapanema e suas Unidades de Gestão, permitindo compreender a variabilidade hidrológica desses rios, assim como demonstrar as características quantitativas e qualitativas de suas vazões.

Nesse sentido, foi empregado um conjunto de técnicas e análises, que levou a responder aos objetivos deste estudo. Diante da natureza, dimensão e volume de dados, informações e análises avaliados nesta área de estudos, podemos concluir e fazer as seguintes recomendações.

Para avaliar o regime de vazões dos rios da bacia Paranapanema, esse trabalho procurou reunir e sistematizar um conjunto de dados hidrometeorológicos, variáveis ambientais e antrópicas capazes de identificar os padrões das vazões e suas alterações, ao longo do espaço e do tempo.

A identificação do regime e suas alterações também propiciam a avaliação das diferentes disponibilidades hídricas existentes na bacia, bem como a construção de um indicador de vazões que considere a variabilidade hidrológica dos rios como natural dos sistemas hídricos. Com efeito, para o equilíbrio dos sistemas ambientais, é necessário o entendimento da sua variabilidade, de sorte a fazer prescrição de um hidrograma ecológico para os rios.

As técnicas hidrológicas e estatísticas empregadas neste estudo, em consonância com componentes-chave do regime dos rios indicados por Poff et al. (1997) e Richter et al. (1997), serviram de maneira adequada para a avaliação do comportamento estocástico das vazões dos rios. Dessa forma, constatou-se que o regime interanual dos rios da bacia Paranapanema sofreu alterações, sendo observado um aumento das vazões anuais, durante a década de 1970. Para alguns rios da bacia, em posto com maior área de drenagem, alguns sinais de aumento dos débitos e intensificação da variabilidade (picos máximos e mínimos) são sensíveis, em alguns anos anteriores, o que pode indicar um período transicional ou, ainda, o hiato hidrológico existente entre os períodos não é abrupto, em virtude de as respostas dos sistemas fluviais serem em escalas temporais e espaciais diferentes e pelos conjuntos de elementos que condicionam e caracterizam os rios, quer dizer, o regime dos rios é produto constituinte da variabilidade hidrológica da sua bacia hidrográfica.

Somado à presença de mais águas nos rios, em virtude de um aumento na pluviosidade (*input*) na bacia hidrográfica, verificaram-se igualmente intensas alterações no uso e cobertura do solo da bacia, que, certamente, colaboraram sinergicamente para o aumento das descargas, além do controle dos padrões de vazões pelas barragens, que constitui um macrosistema antrópico regulador das vazões dos grandes rios, isto é, os débitos ao longo da calha dos rios sofrem uma descontinuidade pela regulação dos reservatórios, durante o ano hidrológico.

Diante disso, esta pesquisa também sinalizou para reafirmar os impactos nas vazões dos rios pelas formas de apropriação dos recursos hídricos, seja pela geração de hidroeletricidade, seja pelas diferentes alterações no uso da terra.

Outra característica inerente à bacia refere-se à sua sazonalidade hidrológica: por compreender diferentes faixas climáticas/latitudinais, variações topográficas e trechos fortemente influenciados pelas atividades antrópicas, a bacia apresenta um padrão médio sazonal de vazões em escala anual de um pulso a três pulsos sazonais, durante o ano hidrológico, associado, em alguns casos, ao padrão regulado por sistemas hidroelétricos. O comportamento sazonal das vazões, em parte, está associado ao regime climático da bacia, por estar localizada em uma faixa de transição climática, possui diversos regimes de pluviosidade nos trechos da bacia.

Os processos que comandam o regime climático possuem ainda diversas escalas (local, regional, planetária) e, apesar das baixas correlações estatísticas, nota-se que alguns eventos anômalos (ciclo curto e longo) cooperam positivamente ou negativamente nas variáveis de entrada da bacia (precipitação) e, conseqüentemente, na variabilidade hidrológica do rios.

A diversidade e grandeza dos parâmetros ambientais e morfométricos, de uso do solo e os regimes hidrológicos, na bacia hidrográfica do rio Paranapanema, dificultam uma análise integrada da bacia, porém, as análises de estatística multivariada (agrupamento e ACP) permitiram avaliar e indicar a formação de quatro regiões, na bacia, que possuem similaridade e variabilidades semelhantes entre os parâmetros hidrológicos, físicos e antrópicos.

As vazões médias de longo período da bacia do rio Paranapanema variam de 1,82 m³/s, no rio Engenho do Sapé (posto Paraguaçu Paulista), a 1190,21 m³/s, no rio Paranapanema, em Rosana. As vazões específicas médias variam de 7,8 a 28,6 l/s/km², em regiões de cabeceira, sendo a média nacional igual a 21 l/s/km². Considerando a série temporal, observa-se uma redução desses valores para 7 e 26,9 l/s/km² até 1970, passando para 8,7 a 29,7 l/s/km², no período posterior.

No contexto do mapeamento proposto, as representações cartográficas oferecem ao leitor e ao gestor uma rápida extração de informações sobre as características hídricas da bacia. Desse modo, os mapas procuram dar suporte aos inventários, estudos, análises e ações sobre os sistemas hídricos, em especial, apontando as potencialidades e restrições para a bacia, diante das demandas e tomadas de decisões.

Assim, espera-se o desenvolvimento de novos estudos e relacionamento detalhados sobre as magnitudes, periodicidade e duração dos débitos máximos e mínimos, nos diferentes trechos da bacia. Tais estudos podem detalhar o grau de alterações hidrológicas sobre a evolução dos sistemas fluviais, das formas/técnicas de manejo de conservação e suas implicações nos regimes dos rios, a importância da variabilidade e pulsações dos rios para a manutenção ecológica, a

modelagem das variáveis que compõem o regime dos rios, para previsão e alertas de cenários hídricos (escassez e abundância), aplicação desses métodos a outras bacias de grandezas distintas e avaliação de outros componentes que indicam o comportamento e as alterações no regime dos rios.

Por conseguinte, os resultados alcançados neste trabalho procuram fornecer um instrumental metodológico de análise e aplicação de estudos em rios, sob uma perspectiva geográfica. Assim, no âmbito da Geografia Física e da Hidrogeografia, esta pesquisa busca subsidiar as ações de gerenciamento e planejamento dos recursos hídricos dos Estados e da União, bem como dos Comitês das bacias hidrográficas como a do Paranapanema e de outros canais fluviais.

REFERÊNCIAS

ABREU, Adilson Avansi de. A teoria Geomorfológica e sua edificação: Análise crítica. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, Uberlândia, ano 4, n. 2, p. 51-67, 2003.

AB'SABER, Aziz Nacib. Os Baixos Chapadões do Oeste Paulista. **Geomorfologia**. São Paulo, Universidade de São Paulo/Instituto de Geografia, n.17, p. 1-8, 1969.

AB'SABER, Aziz Nacib. **São Paulo: Ensaio Entreveros**. São Paulo: Edusp, 2004.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). Disponível em: <http://www.ana.gov.br/> acesso em: 10 de ago. de 2008.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Inventário das estações fluviométricas**. Agência Nacional de Águas, Superintendência de Administração da Rede Hidrometeorológica – v. 1, n. 1, 2006 – Brasília : ANA, 2006.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Inventário das estações pluviométricas**. Agência Nacional de Águas, Superintendência de Administração da Rede Hidrometeorológica – v. 1, n. 1, 2006 – Brasília : ANA, 2006

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/>. Acesso em 02 fevereiro de 2010,

ALMEIDA, André Quintão. **Influência do desmatamento na disponibilidade hídrica da bacia hidrográfica do córrego do Galo, Domingos Martins, ES**, 2007, 93 f, Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Espírito Santo, Vitória, 2007.

ALMEIDA, F. F. M. de; HASUI, H.; PONÇANO, W. L.; DANTAS, A. S. L.; CARNEIRO, C. D. R.; MELO, M. S. de; BISTRICHI, C. A. **Mapa geológico do estado de São Paulo: legenda detalhada (escala 1:500.000)**. São Paulo: IPT, 1981. 126 p. v.1 (Publicação, 1184).

AMARAL, Ilídio do. Aspectos da evolução da Geomorfologia. **Notícia Geomorfológica**, Campinas, v.9, n. 18, p. 3-18, dez. 1969.

ARAUJO, Alex Paulo de. **Dinâmica fluvial do córrego do Cedro e processos de erosão marginal**. 2007, 84 f, Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Geografia) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2007.

BOIN, M. N. **Chuvas e erosões no Oeste Paulista: uma análise climatológica aplicada**. Tese de Doutorado – UNESP – IGCE, Rio Claro, p. 1-24, 2000.

BRAIDO, Leandro M. H.; ZANDONADI, Leandro; SILVEIRA, Hélio. Determinação de risco de seca na bacia do Paranapanema III – PR. In: IV Seminário Latinoamericano de Geografia Física. Maringá: UEM, out., 2006.

BRASIL. Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). **Guia do empreendedor de pequenas centrais hidrelétricas**. Brasília: ANEEL, 2003.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – CPRM. **Diagnóstico e planejamento da utilização dos recursos hídricos da bacia do rio Paranapanema**. S.l.: CNEC, v. 1, 198-.

BRUIJNZEEL, L. A. Predicting the hydrological impacts of tropical Forest conversion: The need for integrated research. In: GASH, J. H. C.; NOBRE, C. A. ROBERTS, J. M.; VICTORIA, R. L. **Amazonian Deforestation and Climate**. Chichester: John Wiley & Co. 1996.

CASCO, Sylvina Lorena; NEIFF, Matias; NEIFF, Juan José, Biodiversidad en ríos del litoral fluvial, Utilidad del software PULSO, **Miscelánea**, Tucumán, n, 14, p, 419 – 434, 2005.

CASSETI, Valter. **Geomorfologia**, [S.l.]: [2005], Disponível em: <<http://www.funape.org.br/geomorfologia/>>, Acesso em 03 de dezembro de 2010.

CENTRO DE PREVISÃO DE TEMPO E ESTUDOS CLIMÁTICOS (CPTEC/INPE). Disponível em: <<http://www7.cptec.inpe.br/>>. Acesso em 10 de maio de 2010.

CGIAR-CSI GeoPortal. Disponível em: <<http://srtm.csi.cgiar.org/>>. Acesso em: 04 de abril de 2009.

CHORLEY, Richard J. A Geomorfologia e a teoria dos sistemas gerais. **Notícia Geomorfológica**, Campinas, v.11, n. 21, p. 3-22, jun, 1971.

CHOW, Ven Te; MAIDMENT, David R.; MAYS, Larry W. **Hidrología aplicada**. Santafé de Bogotá: McGraw-Hill, 1994.

CHRISTOFOLETTI, Antônio. **Geomorfologia fluvial: o canal fluvial**. São Paulo: Edgard Blucher , 1981. v.1.

CHRISTOFOLETTI, Antonio. **Geomorfologia**. São Paulo: Edgard Blucher, 2ª edição, 1980.

CHRISTOFOLETTI, Antônio. Geometria hidráulica. **Notícia Geomorfológica**. Campinas, PUC-Campinas, n. 32, v.16, p. 3-37, dez., 1976.

CHRISTOFOLETTI, Antonio. O desenvolvimento da Geomorfologia. **Notícia Geomorfológica**, Campinas, v.12, n. 23, p. 13-30, jun 1972.

CLAKE, Robin Thomas, TUCCI, Carlos Eduardo Morelli, COLLISCHONN, Walter. Variabilidade temporal no regime hidrológico da bacia do rio Paraguai. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. Vol. 8 n 1 jan mar 2003 p. 201-211.

COLLISCHONN, W., 2001, **Simulação hidrológica de grandes bacias**. 2001. 194 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) - IPH/UFRGS, Porto Alegre.

COMPANHIA BRASILEIRA DE ALUMÍNIO. Disponível em: <<http://www.aluminiocba.com.br>>. Acesso em 02 fevereiro de 2010.

COMISSÃO GEOGRÁFICA e GEOLÓGICA (SP). **Exploração dos rios Itapetininga e Paranapanema pelo engenheiro Theodoro F. Sampaio** :relatório apresentado ao Ilm. e Exm. Sr. Dr. Pedro Vicente de Azevedo, presidente da provincia, sobre os estudos effectuados em 1886 por ordem do Ilm. e Exm. Sr. Conselheiro João Alfredo Corrêa de Oliveira, então presidente sa provincia pelos engenheiros Theodoro Fernandes Sampaio 1º ajudante, Francisco de Paula Oliveira, geologo, J.F. Washington de Aguiar, conductor /Comissão Geographica e Geologica da Provincia de S. Paulo ; Theodoro Fernandes Sampaio, Francisco de Paula Oliveira, J.F. Washington de Aguiar. São Paulo: Horizonte Geográfico, 2003.

CONGRESSO BRASILEIROS DE METEOROLOGIA (CBMET). Disponível em: <www.cbmet.com>. Acesso em 02 fevereiro de 2010.

CONTI, José Bueno. Considerações sobre mudanças climáticas globais. In: SANT'ANNA NETO, João Lima, ZAVATINI, João Afonso. **Variabilidade e mudanças climáticas**: implicações ambientais e socioeconômicas. Maringá, Eduem, 2000, p. 17-28.

COSTA NETO, J. B. [org.] **Reserva da biosfera da mata atlântica**: a reversa da biosfera da mata Atlântica no estado de São Paulo. São Paulo: Conselho Nacional da Reserva da Biosfera da Mata Atlântica, Caderno 5 série gestão da RBMA, out, 1997.

DAVIS, William M. El ciclo geografico. In: MENDOZA, J. G., JIMÉNEZ, J. M. , CANTERO N. O. **El pensamiento geográfico**. Madrid: Alianza Universidad Textos, 1982 p. 178-182.

DEPARTAMENTO DE ÁGUA E ESGOTO DO ESTADO DE SÃO PAULO (DAEE.) Disponível em: <http://www.daee.sp.gov.br/cgi-bin/principal.exe/index> Acesso em: 10 Set. 2008.

DREW, David. **Processos interativos homem – meio ambiente**. 3ª ed. São Paulo: Difel, 1994.

DUKE ENERGY BRASIL. Disponível em: <<http://www.duke-energy.com.br/home.asp>>. Acesso em: 02 fevereiro de 2010.

EARTH SYSTEM RESEARCH LABORATORY. Disponível em: <<http://www.esrl.noaa.gov/>>. Acesso em: 04 abril de 2009.

FUNDAÇÃO SISTEMA ESTADUAL DE ANÁLISE DE DADOS (SEADE). Disponível em: <<http://www.seade.gov.br>>. Acesso em: 04 de abril de 2009.

GEOBANK – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL (CPRM). Disponível em: <<http://geobank.sa.cprm.gov.br/>>. Acesso em: 01 de outubro de 2008.

GRIMM, Alice Marlene; MÜLLER, Ingrid Illich; KRÜGER, Cláudio M.; KAVISKI, Eloy. Variações pluviométricas nos estados de São Paulo e Paraná entre os períodos pré e pós 1970 e suas possíveis causas. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA**, X, 1998, Brasília. Disponível em: <<http://www.cbmet.com>> . Acesso em: 10 mar. 2010

GRUPO DE PESQUISA GESTÃO AMBIENTAL E DINÂMICA SOCIOESPACIAL (GADIS). **Mapa de precipitação da bacia do rio Paranapanema**. Presidente Prudente: UNESP, (2009). Disponível em: <<http://bacias.fct.unesp.br/Plone>>. Acesso em 01 de março de 2010.

HACK, John T. Interpretação da topografia erodida em regiões temperadas úmidas. **Notícia Geomorfológica**, Campinas, v.12, n. 24, p. 3-37, dez. 1972.

GUERRA, Antonio J, T,; CUNHA, Sandra B da. **Geomorfologia e meio ambiente**, Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2000.

GUERRA, Antonio J, T,; MARÇAL, Mônica dos S. **Geomorfologia Ambiental**, Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2006.

HACK, John T, Interpretação da topografia erodida em regiões temperadas úmidas. **Notícia Geomorfológica**, Campinas, v,12, n, 24, p, 3-37, dez, 1972.

HOWARD, Alan D.. Equilíbrio e dinâmica dos sistemas geomorfológicos. **Notícia Geomorfológica**, Campinas, v.13, n. 26, p. 3-20, dez. 1973.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Disponível em:
<<http://mapas.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 01 de outubro de 2008.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo Agropecuário do Paraná de 1995**. Rio de Janeiro: IBGE.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo Agropecuário de São Paulo de 1995**. Rio de Janeiro: IBGE.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo Agropecuário do Paraná de 1980**. Rio de Janeiro: IBGE, 1983.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo Agropecuário de São Paulo de 1980**. Rio de Janeiro: IBGE, 1984.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo Agropecuário do Paraná de 1970**. Rio de Janeiro: IBGE.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo Agropecuário de São Paulo de 1970**. Rio de Janeiro: IBGE.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo Agrícola do Paraná/Santa Catarina de 1960**. Rio de Janeiro: IBGE, 1955.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo Agrícola de São Paulo de 1960**. Rio de Janeiro: IBGE, 1955.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo Demográfico e Econômico do Paraná de 1950**. Rio de Janeiro: IBGE, 1955.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo Agrícola de São Paulo de 1950**. Rio de Janeiro: IBGE, 1955.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO Paulo – IPT **Mapa geológico do estado de São Paulo (escala 1:500.000)**. São Paulo, 1981.

INSTITUTO PARANAENSE DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL – IPARDES. Disponível em: <<http://www.ipardes.gov.br/index.php>>. Acesso em: 04 de abril de 2009.

JOINT INSTITUTE FOR THE STUDY OF THE ATMOSPHERE AND OCEAN (JISAO). Disponível em: <<http://jisao.washington.edu/pdo/>>. Acesso em 04 de abril de 2009.

JOLY, F. **A cartografia**. Campinas: Papirus, 1990.

JUNK, W.J.; BAYLEY, P.B. & SPARKS, R.E., 1989. The Flood Pulse Concept in River-Floodplain Systems. In: D.P. Dodge (Ed) Proceedings of the International Large River Symposium. **Can. Spec. Public. Fish. Aquat. Sci.**, n. 106, p. 110-127.

JUNK, W. J. e SILVA, C. J. da. O conceito do pulso de inundação e suas implicações para o Pantanal de Mato Grosso. In: **Anais do II Simpósio sobre recursos naturais e sócio-econômicos do Pantanal**. Manejo e Conservação. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). Corumbá, p. 17-28, 1999.

KNIGHTON, David. **Fluvial forms and processes**. London: Edward Arnold, 1984.

LATUF, Marcelo de Oliveira; ALMEIDA, Raquel de Souza; ARAÚJO, Nayara Silva Perrazo de, Ajustamento da rede de drenagem e delimitação automática da bacia hidrográfica do rio de ondas, In: MONDARDO, Marcos Leandro (ORG), **Espaços Agrários e Meio Ambiente**, Rio de Janeiro: Ponto da Cultura Ltda, 236 p., 2010,

LEFÉVRE, Valdemar. Notas iniciais. **Revista do Instituto Geográfico e Geológico**. São Paulo, v. 6, n. 1 e 2, ano 5, jan.-mar. 1948.

LEPSCH, Igor Fernando, BELLINAZZI Jr., R., BERTOLINI, D., ESPÍNDOLA, C. R. **Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso**. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1991.

LOCH, Ruth E. Nogueira. **Cartografia**: representação, comunicação e visualização de dados espaciais. Florianópolis. Ed. Da UFSC, 2008.

MARENGO, José Antonio. Impactos das condições climáticas e da variabilidade e mudanças do clima sobre a produção e os preços agrícolas: Ondas de frio e seu impacto sobre a cafeicultura nas regiões sul e sudeste do Brasil. In: LIMA, Magda A. de; CABRAL, Osvaldo Machado Rodrigues e MIGUEZ, José Domingos Gonzalez. **Mudanças climáticas globais e a agropecuária brasileira**, Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2001.

MARTINELLI, Marcello. **Mapas da Geografia e Cartografia temática**. São Paulo: Contexto, 2003.

MATA CILIAR. Disponível em <<http://www.mataciliar.pr.gov.br>>. Acesso em: 10 de janeiro 2010.

MANTUA, N.J.; HARE, S.R.; ZHANG Y.; WALLACE, J.M.; FRANCIS R.C: A Pacific interdecadal climate oscillation with impacts on salmon production. **Bull. Amer. Meteor. Soc.** v. 78, p. 1069-1079, 1997.

MENDONÇA, Francisco; DANNI-OLIVEIRA, Inês Moresco. **Climatologia**: noções básicas e climas do Brasil. São Paulo: Oficina de textos, 2007.

MINERAIS DO PARANÁ (MINEROPAR). **Mapa Geológico do estado do Paraná** (escala 1:650.000). Paraná, 2001.

MINGOTI, Sueli Aparecida. **Análise de dados através de métodos de estatística multivariada**: uma abordagem aplicada. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2005

MOLCHANOV, A. A, **Hidrologia florestal**, Lisboa: Lisboa: Fundação Calouste Gulbekian, 1963.

MOLION, L.C.B. Aquecimento global, El Niños, manchas solares, vulcões e Oscilação Decadal do Pacífico. **Climanálise**, 8, ago., 2005. Disponível em: <<http://www6.cptec.inpe.br/revclima/revista>>. Acesso em: 10 mar. 2010,

MONTEIRO, C. A. F. **A dinâmica climática e as chuvas do Estado de São Paulo**: estudo geográfico sob forma de Atlas São Paulo, IGEOUSP, 1973.

MONTGOMERY, Douglas C.; RUNGER, George C. **Estatística aplicada e probabilidade para engenheiros**. Rio de Janeiro: LTC, 2003.

MOREIRA, F. et al. Análise de consistência de dados fluviométricos. **Água em revista**, Belo Horizonte, ano IV, n. 7, p. 43-47, mai., 1996.

MÜLLER, I. I. ; KRÜGER, C. M.; KAVISKI, E. Análise de estacionariedade de séries hidrológicas na bacia incremental de Itaipu. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos** v. 3, n. 4, p. 51-71,out/dez, 1998.

NAGHETTINI, Mauro; PINTO, Éber José de Andrade. **Hidrologia Estatística**. Belo Horizonte: CPRM, 2007.

NEIFF, J. J. Ideas para la interpretacion ecologica del Parana. **Interciencia**, v. 15, n.6, p. 424-441, 1990.

NEIFF, Juan, José; Malvárez, Ana Inés, Grandes humedales fluviales in: **Bases ecológicas para la clasificación e inventario de humedales em Argentina**, Buenos Aires, 2004. Disponível em: <<http://www.neiff.com.ar/>>. Acesso em: 10 de outubro de 2009.

NERY, Jonas Teixeira. Dinâmica climática da região sul do Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, Presidente Prudente, v. 1, n. 1. p. 61-75, 2005.

NERY, Jonas T.; CARFAN, ANA C.; PARIZOTTO, Tatiana M. Análise da precipitação pluvial na bacia do Paranapanema. **Revista Brasileira de Climatologia**. Presidente Prudente, set., p. 103-118, 2009.

NERY, Jonas Teixeira; ALVES, Rosangela Teles. Variabilidade da precipitação pluvial na UGRH do Médio Paranapanema, Estado de São Paulo. **Acta Scientiarum. Technology**. Maringá, v. 31, n. 1, p. 93-102, 2009.

NERY, Jonas Teixeira; SUNCHK, Eraldo Silva; HYPOLIT, João Maurício. Anomalia da precipitação pluvial do Estado de São Paulo. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA**, XIV, 2006, Florianópolis. Disponível em: <<http://www.cbmet.com>> . Acesso em: 10 mar. 2010

COELHO NETTO, Ana L. Hidrologia de encosta na interface com a geomorfologia. In: GUERRA, Antônio José Teixeira; CUNHA, Sandra Baptista da. **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1994. p. 93 – 148.

NIMER, Edmon. **Climatologia do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 1989.

NUNES, Lucí Hidalgo. Repercussões globais, regionais e locais do aquecimento global. **Terra Livre**, São Paulo, v. I, n. 20, p. 101-110, jan./jul., 2003.

ORGANIZAÇÃO METEOROLÓGICA MUNDIAL (OMM). **Guía de prácticas hidrológicas**: adquisición y proceso de datos, análisis, predicción y otras aplicaciones. OMM: Genebra/Suíça, nº 168, 5ª Edición, p.781, 1994.

PARANACIDADE. Disponível em: <<http://www.paranacidade.org.br/modules/news/>>. Acesso em: 10 de janeiro 2010.

PENTEADO, Margarida M. **Fundamentos de Geomorfologia**. Rio de Janeiro: IBGE, 1983.

PETTS, G. E. A perspective on the abiotic processes sustaining the ecological integrity of running waters. **Hidrobiologia**. v. 422-423, p. 15-27. 2000. Disponível em: <<http://www.springerlink.com/content/x1670226j385g1p1/>>. Acesso em: 04 de novembro de 2009.

POFF, H.L., ALLAN, D., BAIN, M.B., KARR, J.R., PRESTEGAARD, K.L., RICHTER, B.D., SPARKS, R.E., & STROMBERG, J.C., 1997. The natural flow regime: a paradigm for river conservation and restoration. **Bioscience**, Washington DC, v. 47, n. 11. P. 769-784.

PRESTES, Solismar D., SOUSA, Antonio J. da S., ROLIM, Pedro A. M., SANTO, Alessandro R. S. do E., SOUSAS, José R. A. de. Relações entre a Oscilação Decadal do Pacífico e a Variabilidade da Precipitação em Porto Alegre, RS. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA**, XVI, 2010, Belém. Disponível em: <<http://www.cbmet.com>> , Acesso em: 10 mar, 2010

RICHTER, B.D., BAUMGARTNER, J.V., WIGINGTON, R. & BRAUN, D.P., 1997. How Much Water Does a River Need. **Freshwater Biology**, New York, 37. p. 231-249.

RIOS, Leonardo. CALUJURI, Maria do Carmo. A bacia hidrográfica do ribeirão do Feijão: uma proposta de ordenação das sub-bacias através de variáveis limnológicas. In: **Acta Limnologica Brasiliensia**. Vol. VII, p. 151-161, 1995.

ROCHA, Paulo Cesar. **Dinâmica dos canais no sistema rio-planície fluvial do alto rio Paraná, nas proximidades de Porto Rico-PR**. 2002. 171 f. Tese (Doutorado em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais) - Universidade Estadual de Maringá, Maringá.

ROCHA, P. C., COMUNELLO, Éder, SOUZA FILHO, Edvard Elias de. Considerações sobre a variabilidade hidrológica do alto rio Paraná. **Geo UERJ**, Rio de Janeiro, ed esp, p.2022-2031, 2003.

ROCHA, P. C., ROCHA, Renata R. de Araújo. A variabilidade hidrológica dos rios Aguapeí e Peixe, bacia do alto Paraná – Brasil. In: FÓRUM AMBIENTAL PAULISTA, 3, 2007, Tupã. **Periódico eletrônico/CDROM**.Tupã: Associação amigos da natureza da Alta Paulista, 2007. p. 2064-2087.

ROCHA, Paulo C., SOUZA FILHO, Edvard E. de; FERNANDEZ, Oscar V. Q. Aspectos do controle de descargas efetuado por barramentos no Alto Rio Paraná. **Boletim Paranaense de Geociências**, Curitiba, n. 69, p. 117-122, 1998.

ROSEGHINI, Wilson F. F.; NERY, Jonas Teixeira; MARTINS M.L.O. Variabilidade sazonal da precipitação na região noroeste do Paraná. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA**, XII, 2002, Foz de Iguaçu. Disponível em: <<http://www.cbmet.com>> . Acesso em: 10 mar. 2010.

ROSS, J, L, S. **Ecogeografia do Brasil**: subsídios para planejamento ambiental. São Paulo: Oficina de Textos, 2006.

ROSS, J. L. S.; MOROZ, I. C. Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo. **Revista do Departamento de Geografia – FFCH/USP**, São Paulo, v. 10, p. 41-57, 1996.

SILVA, Maria E. S.; GUETTER, Alexandre K. Mudanças climáticas regionais observadas no estado do Paraná. **Terra Livre**, São Paulo, v. I, n. 20, p. 111-126, jan./jul., 2003

SANTA CRUZ GERAÇÃO DE ENERGIA S.A.. Disponível em: <<http://www.santacruzgeracao.com.br/index.htm>>. Acesso em: 10 de janeiro 2010.

SANT'ANNA NETO, João Lima. Da complexidade física do universo ao cotidiano da sociedade: mudança, variabilidade e ritmo climático. **Terra Livre**, São Paulo, v. I, n. 20, p. 51-63, jan./jul., 2003.

SANT'ANNA NETO, João Lima. Avaliação das mudanças no regime das chuvas do Estado de São Paulo durante um século (1888 - 1993). **Acta Scientiarum. Technology**. Maringá, v. 21(4), p. 915-921, 1999.

SANTOS, Leonardo J. C.; OKA-FIORI, Chisato; NALDY, Emerson C.; FIORI, Alberto P.; SILVEIRA, Claudinei T. da; SILVA, Julio M. F. da; ROSS, Jurandyr L. S. Mapeamento geomorfológico do estado do Paraná. **Revista Brasileira de Geomorfologia**. Uberlândia: UGB, Ano 7, n. 2, 2006.

SANTOS, Maria J. Z. dos. Mudanças Climáticas e o planejamento agrícola. In: SANT'ANNA NETO, João Lima, ZAVATINI, João Afonso. **Variabilidade e mudanças climáticas**: implicações ambientais e socioeconômicas. Maringá, Eduem, 2000, p. 65-80.

SANTOS, Milton. **A natureza do espaço**: técnica e tempo, razão e emoção. São Paulo: Hucitec, 1996.

SCHWARZBOLD, A. O que é um rio?. **Ciência & Ambiente**. Porto Alegre, n. 21, p. 57-68, 2000.

SCHOBENHAUS, Carlos; CAMPOS, Diógenes, de A.; DERZE, Gilberto R.; ASMUS, Haroldo E. **Geologia do Brasil**. Brasília: Departamento Nacional da Produção Mineral, 1994.

SHIMAKURA, Silva. **CE003 - Estatística II**. Notas. 2006. Disponível em: <<http://leg.ufpr.br/~shimakur/CE003/>>. Acesso em: 10 de dezembro de 2009.

SILVA, Augusto J. Pedreira da, LOPES, Ricardo da Cunha, VASCONCELOS, Antônio Maurílio, BAHIA, Ruy B. C. Bacias Sedimentares Paleozóicas e Meso-Cenozóicas Interiores In: BIZZI, Luiz Augusto; SCHOBENHAUS, Carlos; VIDOTTI, Roberta Mary; GONÇÄVES, João Henrique. **Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil**: texto, mapas & SIG. Brasília: CPRM – Serviço Geológico do Brasil, 2003.

SILVA, Maria E. S.; GUETTER, Alexandre K. Mudanças climáticas regionais observadas no estado do Paraná. **Terra Livre**, São Paulo, v. I, n. 20, p. 111-126, jan./jul., 2003

SILVEIRA, André L. L. da Ciclo Hidrológico e bacia hidrográfica. In: TUCCI, C.E.M. **Hidrologia: ciência e aplicação**, Porto Alegre-RS, Editora da Universidade – UFRGS, 2ª edição, 1997. p. 35-51.

SISTEMA DE GERENCIAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DO ESTADO DE SÃO PAULO (SIGRH). Disponível em: <<http://www.sigrh.sp.gov.br>>. Acesso em: 11 Set. 2008.

SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEORREFERENCIADAS DO SETOR ELÉTRICO (SIGEL). Disponível em: <<http://sigel.aneel.gov.br/brasil/viewer.htm>>. Acesso em: 01 de outubro de 2008.

SOUSA, Patrícia de; MARTINS, Maria de Lourdes O. F., NERY, Jonas Teixeira. Variabilidade de precipitação na bacia hidrográfica do rio Pirapó. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA**, XII, 2002, Foz de Iguaçu. Disponível em: <<http://www.cbmet.com>>. Acesso em: 10 mar. 2010.

SOUZA et al. **Sistema Computacional para Análises Hidrológicas**. Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos. Brasília: junho, 2009

SUÁREZ, José Martin. Contribuição à Geologia do Extremo Oeste do Estado de São Paulo-2. **Boletim Geográfico**, Rio de Janeiro, v. 34, n. 248, p. 119-155, jan/mar, 1976.

SUERTEGARAY, D. M. 2000. O Espaço geográfico uno e múltiplo. In: Suertegaray, D. M. A., Basso, L. A., Verduin, R. (orgs), **Ambiente e lugar urbano**: a grande Porto Alegre. Ed. Universidade/UFRGS, Porto Alegre.

SUGUIO, Kenitiro; BIGARELLA, João J. **Ambientes fluviais**. 7, ed, Florianópolis: UFSC, 1990.

SUPERINTENDÊNCIA DE DESENVOLVIMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS E SANEAMENTO AMBIENTAL (SUDERHSA). Disponível em: <http://www.suderhsa.pr.gov.br/> acesso em: 10 de janeiro de 2009.

TUCCI, Carlos E. M. **Regionalização de vazões**. Rio Grande do Sul: Ed. Universidade/UFRGS, 2002.

TUCCI, C.E.M. **Hidrologia: ciência e aplicação**, Porto Alegre-RS, Editora da Universidade – UFRGS, 2ª edição, 1997. 943p

TUCCI, Carlos E. M.; CLARKE, Robin T. Impacto das mudanças da cobertura vegetal no escoamento: revisão. **RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 2, n. 1, p. 135-152, jan/jun. 1997.

TUCCI, Carlos E. M.; MENDES, Carlos A. **Avaliação ambiental integrada de bacia hidrográfica**. Brasília: Ministério de Meio Ambiente / SQA, 2006

TUNDISI, José Galizia; TUNDISI, Takano Matsumura. Rios. In: TUNDISI, José Galizia; TUNDISI, Takano Matsumura. **Limnologia**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. p. 355-380.

TRINTIN, Jaime Graciano. **A economia Paranaense: 1985-1998, 2001**, 200 f, Tese (Doutorado em Ciências Econômicas) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

TRICART, Jean. **Método de estudos hidrológicos**. Salvador: Universidade da Bahia. 1960.

VANNOTE, R.L., MINSHALL, G.W., CUMMINS, K.W., SEDELL, J.R. & CUSHING, C.E., The river continuum concept. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* n. 37, p. 130-137, 1980.

VICTOR, Mauro Antonio Moraes. **A Devastação Florestal**. São Paulo: Sociedade Brasileira de Silvicultura, p. 48, 1975.

VIDE, Javier Martín. **El tiempo y el clima**. Barcelona: Rubes editorial, p. 127, 2003.

VILLELA, Swami Marcondes e Mattos, Arthur. **Hidrologia Aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill, 1978.

WARD, J.V., 1989. The four-dimensional nature of lotic ecosystems. **Journal North American Benthological Society**. n. 8, p. 2-8, 1989.

WARD, J.V. & STANFORD, J.A., 1993. Research needs in regulated river ecology. **Regulated Rivers: Research & Management**. John Willey & Sons Ltd. Vol. 8, 205-209 pp.

ZANDONADI, Leandro; SILVEIRA, Hélio; BRAIDO, Leandro M. H.; BALDO, Maria Cleide. Proposta de caracterização edafoclimática para determinar o risco de queda de safra na bacia do Paranapanema IV – PR. In: **XII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada**. Natal, 2007.

ZOCCHI, Paulo. **Paranapanema: da nascente à foz**. São Paulo: Audichromo, 132p . 2002.

BIBLIOGRAFIA

ALVES, Margarida Maria Silva; PATRUS, Maria Letícia Rabelo Alves; PINTO, Éber José de Andrade. Análise de consistência de dados pluviométricos da bacia do alto São Francisco. **Água em revista**. Belo Horizonte. ano III, n, 6, p. 58-65, nov., 1995.

FERNANDEZ, O. V. Q.; SOUZA FILHO, E. E. Efeitos do regime hidrológico sobre a evolução de um conjunto de ilhas no Rio Paraná-PR. **Boletim Paranaense de Geociências**. Curitiba, v, 43, p. 161-171, 1995.

GALDINO, S.; PADOVANI, C. R.; SORIANO, B. M. A.; VIEIRA, L. M. **Mudanças no regime hidrológico da bacia hidrográfica do Rio Taquari – Pantanal**. Corumbá: Embrapa Pantanal. 2002, 24p.

Grizio, Edinéia Vilanova. **Regime de descarga do Rio Paraguai superior**. 2008, 83 f, Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Estadual de Maringá, Maringá.

KHAN, Valentina; ZAVIALOV, Peter. Interannual to interdecadal variability of precipitation in Southern Brazil. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA**, X, 1998, Brasília, Disponível em: <<http://www.cbmet.com>> , Acesso em: 10 mar, 2010.

KHAN, V.M.; KIM, I.S.; SARAIVA, J.M. A relação entre as anomalias de TSM no hemisfério sul com as anomalias da precipitação no sul do Brasil. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA**, X, 1998, Brasília, Disponível em: <<http://www.cbmet.com>> , Acesso em: 10 mar, 2010.

MENDOZA, Josefina Gómez, JIMÉNEZ, Julio Muñoz, CANTERO, Nicolás Ortega, **El pensamiento geográfico**. Madrid: Alianza Editorial, 1988.

NERY, J.T.; VARGAS, W.M.; MARTINS, M.L.O.F. Caracterização da precipitação no Estado do Paraná. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v, 4(2), p. 81-89, 1996.

NERY, Jonas Teixeira; VARGAS, Walter Mario; ORSINI, Maria de Lourdes. Estimativa da precipitação do Estado de São Paulo. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA**, X, 1998, Brasília, Disponível em: <<http://www.cbmet.com>> , Acesso em: 10 mar, 2010.

NERY, Jonas Teixeira; MARTINS, Maria de Lourdes Orsini Fernandes; SANT'ANNA NETO, João Lima. Variabilidade da precipitação no Brasil Meridional. **Acta Scientiarum**, Maringá, v, 24, n, 6, p. 1687-1695, 2002.

SANT'ANNA NETO, João Lima e NERY, Jonas Teixeira. Variabilidade e mudanças climáticas no Brasil e seus impactos regionais. In: SOUZA, Celia Regina de Gouveia et all. **Quaternário do Brasil**. Ribeirão Preto: Holos, 2005, p. 28-51.

SOUZA, Patrícia de; NERY, Jonas Teixeira; MARTINS, Maria de Lourdes O. F. Análise da precipitação no estado do Paraná associada com o Índice de Oscilação do Pacífico. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA**, XII, 2002, Foz de Iguaçu, Disponível em: <<http://www.cbmet.com>> , Acesso em: 10 mar, 2010.

TRICART, Jean. GUERRA DE MACÊDO. N. **Esquema de planejamento hidráulico do rio Itapicurú**. Salvador: Publicações da universidade da Bahia, 1959.

TUNDISI. José Galizia. **Água no Século XXI: Enfrentando a Escassez**. São Paulo: Rima. 2. Ed.. 2005.

SÃO PAULO. Conselho Estadual de Recursos Hídricos. **Plano Estadual de Recursos Hídricos: 2004 / 2007** Resumo. /// São Paulo. DAEE. 2006. 92p. il. Disponível em: http://www.sigrh.sp.gov.br/sigrh/basecon/perh2004_07.html Acesso em 16 de dezembro de 2010.

PARANÁ. Instituto das Águas do Paraná. Disponível em: <http://www.aguasparana.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=38> Acesso em 16 de dezembro de 2010.

PARANÁ (Estado). Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Instituto das Águas do Paraná. **Plano Estadual de Recursos Hídricos do Paraná**. Curitiba: COBRAPE/ SEMA/ AGUASPARANA, 2010.

APÊNDICES

APÊNDICE A: Equações empregadas neste estudo

A expressão para o cálculo do coeficiente de variação (CV) definido como:

$$CV = \left(\frac{\sigma}{\bar{X}} \right) \cdot 100(\%)$$

$$CV = \left(\frac{\sigma}{\bar{Q}} \right) \cdot 100(\%)$$

Que pode ser calculado como um simples coeficiente entre o desvio padrão e a média, expresso em porcentagem.

Para cálculo do Desvio Padrão:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q})^2}{n-1}}$$

APÊNDICE B

TABELA 01A: Inventário das estações com séries históricas com dados hidrológicos de Cota.

	Prefixo/COD	Nome da estação	Latitude	Longitude	Área (Km²)	Curso d'Água	Download da Série Histórica dos Dados de Cota
1	64394000	Paraguacu Paulista 7D-014	22 26 13	50 37 34	144	Rio do Sape/Engenho	1990-2000
2	64346000	Ajice 7D-012	22 31 52	50 54 25	646	Ribeirão Capivari	1979-2004
3	64395000	Maracai/Assis 7D-008	22 37 23	50 41 29	1560	Rio Capivara	1969-1979
4	64395000	Maracai 7D-013	22 37 13	50 41 02	1560	Rio Capivara	1979-2004
5	64345000	Sucui 7D-006	22 48 58	50 18 53	934	Rio do Pari/Rib do Veado	1969-2004
6	64344000	Platina 7D-011	22 38 20	50 12 06	431	Rio do Pari/Rib do Veado	1979-2004
7	64333000	Salto Grande 6D-009	22 51 07	49 59 53	1006	Rio Novo	1971-1980
8	64328000	Sao Pedro do Turvo I 6D-008	22 46 20	49 44 23	4292	Rio Turvo	1970-1980
9	64327000	Sao Pedro do Turvo 6D-010	22 45 05	49 44 06	720	Rio Sao Joao	1980-2004
10	64320000	Santa Cruz do Rio Pardo 6D-001	22 54 21	49 37 24	4259	Rio Pardo	1955-1980
11	64315000	Aguas de Santa Barbara 6D-002	22 52 43	49 14 17	3407	Rio Pardo	1955-2004
12	64323000	Santa Cruz do rio Pardo	22 54 00	49 37 00	4191	Rio Pardo	1930-1980
13	64135000	Ponte dos Teodoros 5E-013	23 27 59	48 25 12	530	Rio Guarei	1969-2004
14	64095000	Taquarivai 5E-001	23 55 27	48 39 32	959	Rio Apiai Guacu	1946-1999
15	64120100	Buri 5E-008	23 47 56	48 35 14	2024	Rio Apiai Guacu	1933-1980
16	64113000	Ponte Marcolino Nunes 5E-011	23 56 04	48 33 04	714	Rio Apiai Mirim	1969-2001
17	64065000	Porto Velho 5E-006	23 37 35	48 06 19	1524	Rio Itapetininga	1947-2004
18	64075000	Angatuba	23 33 50	48 23 23	2521	Rio Itapetininga	1935-2008
19	64015000	Turvo 5E-009	23 51 00	48 12 40	77300	Rio Turvo/Rib das Areias	1971-2001

20	64035000	Bairro Cerrado 5E-004	24 00 48	48 16 23	49500	Rio das Almas	1960-1981
21	64040000	Cerradinho 5E-014	23 58 09	48 16 37	53400	Rio das Almas	1980-2001
22	64200000	Porto Taquari	23 20 00	49 13 00	3581	Rio Taquari	1938-1961
23	64185000	Itapeva 5E-002	23 57 41	48 56 59	835	Rio Taquari	1946-2004
24	64190000	Itapeva	23 59 00	48 55 00	812	Rio Taquari	1951-1980
25	64191000	Palmeiras do Ricardo 5E-015	23 57 24	48 59 23	635	Ribeirão Pirituba/Rib do Chação	1981-2004
26	64248000	Salto do Itararé	23 36 00	49 37 00	4997	Rio Itararé	1931-1971
27	62242000	Tamanduá	23 58 00	49 34 59	1622	Rio Jaguariaíva	1977-2002
28	64231000	Colônia Barro Preto	24 02 00	49 28 00	1573	Rio Itararé	1985-2001
29	64250000	Itaporanga	23 42 00	49 28 00	1450	Rio Verde	1951-1980
30	64250010	Itaporanga	23 42 27	49 28 13	1449	Rio verde	1951-
31	64390000	Porto Santa Terezinha	23 07 21	50 27 01	3445	Rio laranjinha	1931-2002
32	64382000	Fazenda Casa Branca	23 24 00	50 27 00	2602	Rio laranjinha	1976-2006
33	64380000	Usina Figueira	23 51 01	50 23 28	1030	Rio laranjinha	1953-2006
34	64370000	Andirá	23 04 59	50 16 59	5622	Rio das cinzas	1931-2002
35	64362000	Granja Garota	23 21 00	50 09 00	3976	Rio das cinzas	1976-1983
36	64360000	Tomazina	23 46 00	49 57 00	2015	Rio das cinzas	1929-1989
37	64508500	Ponte Preta	23 10 00	50 47 00	1054	Congonhas	1975-2007
38	64507000	Jataizinho	23 15 05	50 58 55	21915	Rio Tibaji	1931-1966
39	64502000	Sítio Igrejinha	23 34 59	51 04 59	720	Rio Taquara	1987-2006
40	64501000	Porto Londrina	23 39 00	50 53 00	18768	Rio Tibaji	1978-2005
41	64491000	Barra Ribeirão das Antas	24 01 56	50 41 33	15600	Rio Tibaji	1974-2007
42	64465000	Tibagi	24 31 36	50 24 40	8948	Rio Tibaji	1931-2005
43	64447000	Eng Rosaldo Leitão	24 57 55	50 23 37	5731	Rio Tibaji	1975-2005
44	64444000	Uvaia	25 04 32	50 23 20	4450	Rio Tibaji	1974-2007
45	64440000	Santa Cruz	25 12 00	50 09 01	1340	Rio Tibaji	1937-1967
46	64442800	Lajeado	25 11 57	50 31 27	1319	Rio Imbituva	1980-2007
47	64477600	Chacara canhoeira	24 45 01	50 05 22	1604	Rio Iapó/Tibaji	1980-2005
48	64460000	Bom Jardim	24 42 00	50 29 00	722	Rio Capivari/Tibaji	1941-2000
49	64550000	Jardim Vila Silva	22 51 25	52 04 41	4627	Rib Pirapó	1967/2007
50	64005000	Ferreira das Almas 5E-003	23 56 30	48 12 47	681	Rio Paranapanema	1947-2001
51	64082000	Campina do Monte Alegre	23 36 00	48 29 00	5833	Rio Paranapanema	1931-1988
52	64150000	Porto Paranapanema	23 18 00	49 00 00	12739	Rio Paranapanema	1938-1961

53	64220000	Piraju	23 11 00	49 23 00	18235	Rio Paranapanem a	1928-1980
54	64225000	Usina Salto Palmital	23 06 00	49 36 00	18912	Rio Paranapanem a	1941-1969
55	64275000	Porto Ermidão	23 06 00	49 45 00	27646	Rio Paranapanem a	1951-1981
56	64273000	Porto Ermidao (Irape) 6E-001	23 05 53	49 44 40	27962	Rio Paranapanem a	1937-1969
57	64335000	Porto Jaú	22 54 00	50 02 00	38850	Rio Paranapanem a	1952-1988
58	64335100	Porto Jaú	22 54 00	50 01 00	38600	Rio Paranapanem a	-
59	64515000	Balsa do Paranapanema	22 39 00	51 22 00	83200	Rio Paranapanem a	1949-1972
60	8D-001	Palmitalzinho	22 14 24	51 22 11	600	Rio Santo Anastácio	1995-1998
61	64516000	PCH - Laranja Doce	22 14 49	51 10 21	208	Ribeirão Laranja Doce	2001-2009
62	64541000	ETA - Maringá	23 19 33	51 50 42	1078	Pirapó	2001-2009
63	64546900	Santa Fé	23 02 01	51 45 10	1019	Bandeirantes do Norte	2002-2009
64	64560000	Itaguagé	22 36 38	52 00 15	5037	Pirapó	1964-2009
65	64215050	Jurumirim Jusante	23 12 11	49 14 30	18130	Rio Paranapanem a	1968-2009
66	64215080	UHE Jurumirim - Barragem	23 12 34	49 13 48	18130	Rio Paranapanem a	1961-2009
67	64270050	Chavantes Jusante	23 06 40	49 43 28	27500	Rio Paranapanem a	1971-2009
68	64270080	UHE Chavantes - Barragem	23 07 30	49 43 43	27500	Rio Paranapanem a	1969-2009
69	64220050	Piraju Jusante	23 10 30	49 23 00	18600	Rio Paranapanem a	1968-2009
70	64345075	UHE Canoas II - Barragem	22 56 00	50 15 00	35560	Rio Paranapanem a	1999-2009
71	64345080	UHE Canoas I - Barragem	22 56 00	50 31 00	40920	Rio Paranapanem a	1999-2009
72	64516080	UHE Capivara	22 39 24	51 20 16	85000	Rio Paranapanem a	1983-2009
73	64535080	UHE	22 32 31	52 00 00	88000	Rio	1992-2009

		Taquaruçu - Barragem				Paranapanem a	
74	64571080	UHE Rosana - Barragem	22 36 06	52 52 07		Rio Paranapanem a	1987-2009

Fonte: ANA (2006).

TABELA 02B: Inventário das estações séries históricas com dados hidrológicos de vazão

	Prefixo/COD	Nome da estação	Latitude	Longitude	Área (Km ²)	Curso d'Água	Download da Série Histórica dos Dados de Vazão
1	64394000	Paraguacu Paulista 7D-014	22 26 13	50 37 34	144	Rio do Sape/Engenho Ribeirão Capivari	1990-2000 intervalos
2	64346000	Ajice 7D-012	22 31 52	50 54 25	646		1979-2004
3	64395000	Maracai/Assis 7D-008	22 37 23	50 41 29	1560	Rio Capivara	1969-1979
4	64395000	Maracai 7D-013	22 37 13	50 41 02	1560	Rio Capivara	1979-2004
5	64345000	Sucui 7D-006	22 48 58	50 18 53	934	Rio do Pari/Rib do Veado	1969-2004
6	64344000	Platina 7D-011	22 38 20	50 12 06	431	Rio do Pari/Rib do Veado	1979-2004
7	64333000	Salto Grande 6D-009	22 51 07	49 59 53	1006	Rio Novo	1971-1980
8	64328000	Sao Pedro do Turvo I 6D-008	22 46 20	49 44 23	4292	Rio Turvo	1970-1980
9	64327000	Sao Pedro do Turvo 6D-010	22 45 05	49 44 06	720	Rio Sao Joao	1980-2004
10	64320000	Santa Cruz do Rio Pardo 6D-001	22 54 21	49 37 24	4259	Rio Pardo	1055-1980
11	64315000	Aguas de Santa Barbara 6D-002	22 52 43	49 14 17	3407	Rio Pardo	1955-2004
12	64323000	Santa Cruz do rio Pardo	22 54 00	49 37 00	4191	Rio Pardo	1930-1980
13	64135000	Ponte dos Teodoros 5E-013	23 27 59	48 25 12	530	Rio Guareí	1969-2004
14	64095000	Taquarivai 5E-001	23 55 27	48 39 32	959	Rio Apiai Guacu	1946-1999
15	64120100	Buri 5E-008	23 47 56	48 35 14	2024	Rio Apiai Guacu	1933-1980
16	64113000	Ponte Marcolino Nunes 5E-011	23 56 04	48 33 04	714	Rio Apiai Mirim	1969-2001
17	64065000	Porto Velho 5E-006	23 37 35	48 06 19	1524	Rio Itapetininga	1947-2002
18	64075000	Angatuba	23 33 50	48 23 23	2521	Rio Itapetininga	1935-2008

19	64015000	Turvo 5E-009	23 51 00	48 12 40	77300	Rio Turvo/Rib das Areias	1971-2001
20	64035000	Bairro Cerrado 5E-004	24 00 48	48 16 23	49500	Rio das Almas	1960-1981
21	64040000	Cerradinho 5E-014	23 58 09	48 16 37	53400	Rio das Almas	1980-2001
22	64200000	Porto Taquari	23 20 00	49 13 00	3581	Rio Taquari	-
23	64185000	Itapeva 5E-002	23 57 41	48 56 59	835	Rio Taquari	1946-2004
24	64190000	Itapeva	23 59 00	48 55 00	812	Rio Taquari	1951-1980
25	64191000	Palmeiras do Ricardo 5E-015	23 57 24	48 59 23	635	Ribeirão Pirituba/Rib do Chação	1981-2004
26	64248000	Salto do Itararé	23 36 00	49 37 00	4997	Rio Itararé	-
27	62242000	Tamanduá	23 58 00	49 34 59	1622	Rio Jaguariáiva	1977-2002
28	64231000	Colônia Barro Preto	24 02 00	49 28 00	1573	Rio Itararé	1984-2001
29	64250000	Itaporanga	23 42 00	49 28 00	1450	Rio Verde	1969-1980
30	64250010	Itaporanga	23 42 27	49 28 13	1449	Rio verde	-
31	64390000	Porto Santa Terezinha	23 07 21	50 27 01	3445	Rio laranjinha	1931-2005
32	64382000	Fazenda Casa Branca	23 24 00	50 27 00	2602	Rio laranjinha	1976-2005
33	64380000	Usina Figueira	23 51 01	50 23 28	1030	Rio laranjinha	1976-2005
34	64370000	Andirá	23 04 59	50 16 59	5622	Rio das cinzas	1931-2002
35	64362000	Granja Garota	23 21 00	50 09 00	3976	Rio das cinzas	1976-2005
36	64360000	Tomazina	23 46 00	49 57 00	2015	Rio das cinzas	1926-2005
37	64508500	Ponte Preta	23 10 00	50 47 00	1054	Congonhas	1975-2007
38	64507000	Jataizinho	23 15 05	50 58 55	21915	Rio Tibaji	1931-1999
39	64502000	Sítio Igrejinha	23 34 59	51 04 59	720	Rio Taquara	-
40	64501000	Porto Londrina	23 39 00	50 53 00	18768	Rio Tibaji	1978-2005
41	64491000	Barra Ribeirão das Antas	24 01 56	50 41 33	15600	Rio Tibaji	1974-2007
42	64465000	Tibagi	24 31 36	50 24 40	8948	Rio Tibaji	1931-2005
43	64447000	Eng Rosaldo Leitão	24 57 55	50 23 37	5731	Rio Tibaji	1975-2005
44	64444000	Uvaia	25 04 32	50 23 20	4450	Rio Tibaji	1974-
45	64440000	Santa Cruz	25 12 00	50 09 01	1340	Rio Tibaji	1937-1962
46	64442800	Lajeado	25 11 57	50 31 27	1319	Rio Imbituva	1980-2007
47	64477600	Chacara canhoeira	24 45 01	50 05 22	1604	Rio Iapó/Tibaji	1980-2005
48	64460000	Bom Jardim	24 42 00	50 29 00	722	Rio Capivari/Tibaji	1941-2000
49	64550000	Jardim Vila Silva	22 51 25	52 04 41	4627	Rio Pirapó	1967/2008
50	64005000	Ferreira das Almas 5E-003	23 56 30	48 12 47	681	Rio Paranapanema	1969-2001
51	64082000	Campina do Monte Alegre	23 36 00	48 29 00	5833	Rio Paranapanema	1969-1989
52	64150000	Porto Paranapanema	23 18 00	49 00 00	12739	Rio Paranapanema	-
53	64220000	Piraju	23 11 00	49 23 00	18235	Rio Paranapanema	1969-1980

54	64225000	Usina Salto Palmital	23 06 00	49 36 00	18912	Rio Paranapanema	-
55	64275000	Porto Ermidão	23 06 00	49 45 00	27646	Rio Paranapanema	1969-1981
56	64273000	Porto Ermidão (Irape) 6E-001	23 05 53	49 44 40	27962	Rio Paranapanema	1937-1969
57	64335000	Porto Jaú	22 54 00	50 02 00	38850	Rio Paranapanema	-
58	64335100	Porto Jaú	22 54 00	50 01 00	38600	Rio Paranapanema	1952-1988
59	64515000	Balsa do Paranapanema	22 39 00	51 22 00	83200	Rio Paranapanema	1949-1972
60	8D-001	Palmitalzinho	22 14 24	51 22 11	600	Rio Santo Anastácio	1995-1997
61	64516000	PCH - Laranja Doce	22 14 49	51 10 21	208	Ribeirão Laranja Doce	2001-2009
62	64541000	ETA - Maringá	23 19 33	51 50 42	1078	Pirapó	2001-2009
63	64546900	Santa Fé	23 02 01	51 45 10	1019	Bandeirantes do Norte	2002-2009
64	64560000	Itaguagé	22 36 38	52 00 15	5037	Pirapó	1964-2009
65	64215050	Jurumirim Jusante	23 12 11	49 14 30	18130	Rio Paranapanema	1968-2009
66	64215080	UHE Jurumirim - Barragem	23 12 34	49 13 48	18130	Rio Paranapanema	1983-2009
67	64270050	Chavantes Jusante	23 06 40	49 43 28	27500	Rio Paranapanema	1971-2009
68	64270080	UHE Chavantes - Barragem	23 07 30	49 43 43	27500	Rio Paranapanema	1983-2009
69	64220050	Piraju Jusante	23 10 30	49 23 00	18600	Rio Paranapanema	1966-2009
70	64345075	UHE Canoas II - Barragem	22 56 00	50 15 00	35560	Rio Paranapanema	1999-2009
71	64345080	UHE Canoas I - Barragem	22 56 00	50 31 00	40920	Rio Paranapanema	1999-2009
72	64516080	UHE Capivara	22 39 24	51 20 16	85000	Rio Paranapanema	1983-2009
73	64535080	UHE Taquaruçu - Barragem	22 32 31	52 00 00	88000	Rio Paranapanema	1992-2009
74	64571080	UHE Rosana - Barragem	22 36 06	52 52 07		Rio Paranapanema	1987-2009

Fonte: ANA (2006).

Tabela 03C: Diagrama de Barra das estações fluviométricas da bacia do rio Paranapanema



Tabela 03C: Continuação[illegible]

Apêndice C

Quadro 01. Resultados da análise de consistência método duplas massa				
Rio - bacia	Posto Fluviométrico	Código	Equação	R ²
Capivara	Maracaí 7D-013	64395000	$y = 0.126x - 188.2$	0.999
Capivara	Ajicê	64346000	$y = 0.033x - 49.57$	0.999
Capivara	Paraguaçu Paulista 7D-014	64394000	$y = 0.231x - 351.1$	0.998
Rio Pari	Platina	64344000	$y = 0.103x - 155$	0.998
Rio Pari	Sucuí	64345000	$y = 0.242x - 363.6$	0.999
Turvo	Sao Pedro do Turvo 6D-010	64327000	$y = 0.196x - 294.8$	0.998
Turvo	Fazenda da Barra	64328050	$y = 0.850x - 1282$	0.999
Rio Pardo	Santa Cruz do rio Pardo	64323000	$y = 1.098x - 2.485$	1
Rio Pardo	Aguas de Santa Barbara 6D-002	64315000	$y = 0.846x - 6.551$	0.999
Rio Pardo	Santa Cruz do Rio Pardo 6D-001	64320000	$y = 1.054x + 4.065$	1
Taquari	Palmeira do Ricardo	64191000	$y = 0.133x - 2.12$	0.998
Taquari	Itapeva	64190000	$y = 0.226x - 4.432$	0.998
Taquari	Itapeva/Daee	64185000	$y = 0.225x - 4.457$	0.999
Pirapó	Jardim Vila Silva	64550000	$y = 0.194x + 23.14$	0.996
Pirapó	Itaguagé	64560000	$y = 0.219x + 21.45$	0.997
Cinzas	Porto Santa Terezinha	64390000	$y = 1.447x + 12.96$	0.999
Cinzas	Fazenda Casa Branca	64382000	$y = 1.127x - 15.28$	0.999
Cinzas	Usina Figueira	64380000	$y = 0.425x + 2.317$	0.999
Laranjinha	Andirá	64370000	$y = 2.274x + 26.98$	0.999
Laranjinha	Granja Garota	64362000	$y = 1.814x - 30.16$	0.999
Laranjinha	Tomazina	64360000	$y = 0.978x + 39.91$	0.998
Itararé	Tamanduá	62242000	$y = 0.859x - 14.24$	0.998
Itararé	Itaporanga	64250010	$y = 0.603x - 37.70$	0.992
Itararé	Olaria dos Padres	64247000	$y = 1.859x - 30.07$	0.998
Itararé	Colônia do Barro Preto	64231000	$y = 0.816x - 9.231$	0.992
Tibagi	Jartaizinho	64507000	$y = 1.213x + 47.46$	1
Tibagi	Porto Londrina	64501000	$y = 0.965x - 22.11$	1
Tibagi	Barra Ribeirão das Antas	64491000	$y = 0.822x - 36.61$	1
Tibagi	Tibagi	64465000	$y = 0.509x + 375.3$	0.998
Tibagi	Eng. Rosalto Leitão	64447000	$y = 0.337x + 253.8$	0.998
Tibagi	Uvaia	64444000	$y = 0.262x + 161.7$	0.998
Tibagi	Santa Cruz	64440000	$y = 0.86x + 58.72$	0.998
Tibagi	Lageado	64442800	$y = 0.070x + 50.74$	0.998
Tibagi	Chácara Cachoeira	64477600	$y = 0.095x + 79.68$	0.997
Tibagi	Posto Bom Jardim	64460000	$y = 0.041x + 7.201$	0.999
Alto Paranapanema	Ponte dos Teodoros	64135000	$y = 0.153x + 1.390$	0.999
Alto Paranapanema	Porto Velho	640665000	$y = 0.436x + 4.888$	0.999
Alto Paranapanema	Angatuva	64075000	$y = 0.696x + 13.43$	1
Alto Paranapanema	Taquarivaí	64095000	$y = 0.282x + 55.31$	0.999

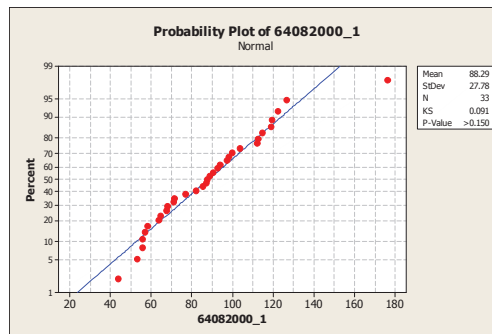
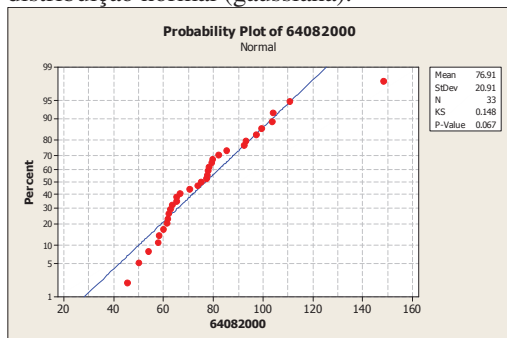
Alto Paranapanema	Buri	64120100	$y = 0.555x + 114.1$	0.998
Alto Paranapanema	Ponte Marcolino Nunes	64113000	$y = 4917x - 198.8$	0.998
Alto Paranapanema	Bairro do Cerrado	64035000	$y = 0.161x + 3.172$	0.998
Alto Paranapanema	Cerradinho	64040000	$y = 0.196x + 2.078$	0.998
Alto Paranapanema	Ferreira das Almas	64005000	$y = 0.411x + 5333$	0.999
Alto Paranapanema	Turvo	64150000	$y = 0.248x + 2.857$	0.999
Paranapanema	Campina do Monte Alegre	64082000	$y = 0.155x + 152.2$	0.996
Paranapanema	UHE Jurumirim Jusante	64215050	$y = 0.393x + 17.56$	0.999
Paranapanema	Piraju Jusante	64220050	$y = 0.405x + 23.66$	0.999
Paranapanema	UHE Chavantes Jusante	64270050	$y = 0.630x - 52.99$	0.999
Paranapanema	UHE Capivara	64516080	$y = 1.964x + 22.15$	1
Paranapanema	UHE Taquaruçu	64535080	$y = 2.092x - 48.29$	1
Paranapanema	UHE Rosana - Barragem	64571080	$y = 0.448x - 82.95$	0.999

APÊNDICE D

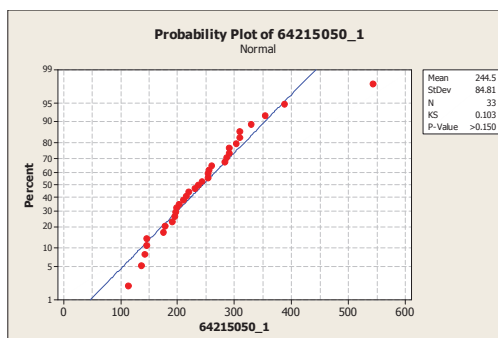
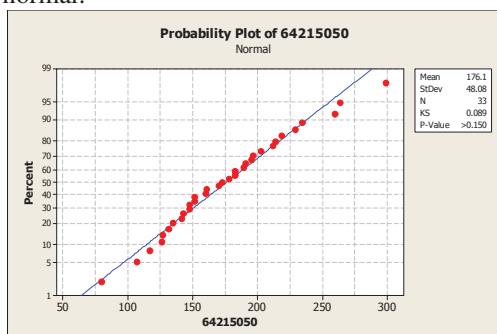
Resultado do teste de normalidade dos postos da bacia do rio Paranapanema

Rio Paranapanema:

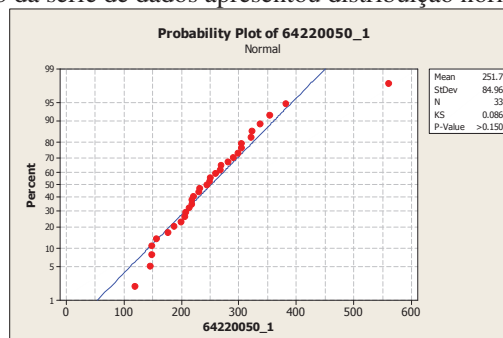
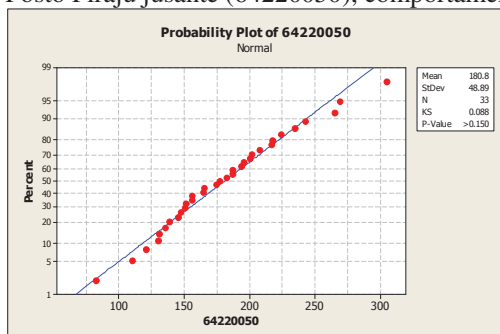
Posto Campina do Monte Alegre (64082000), comportamento da série de dados apresentou distribuição normal (gaussiana).



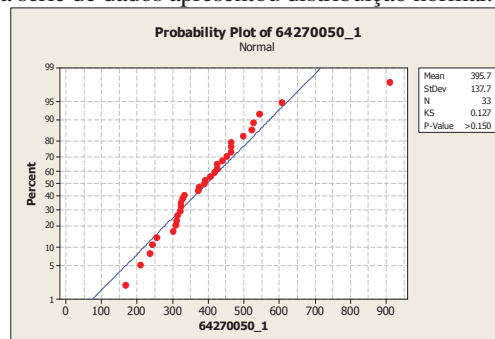
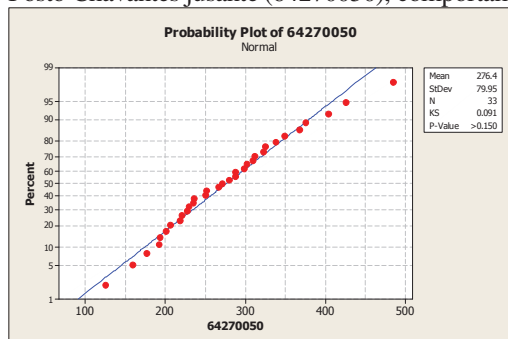
Posto Jurumirim Jusante (64215050), comportamento da série de dados apresentou distribuição normal.



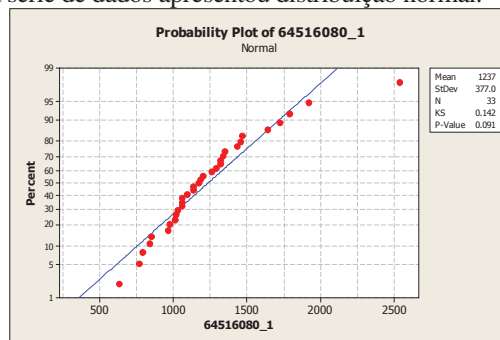
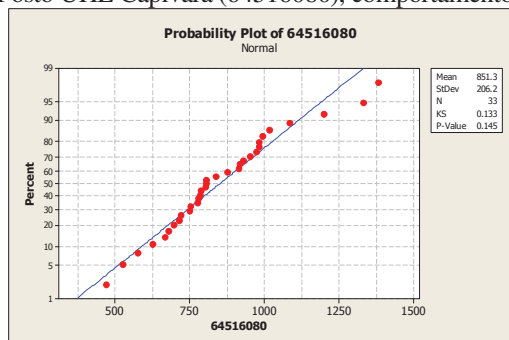
Posto Piraju jusante (64220050), comportamento da série de dados apresentou distribuição normal.



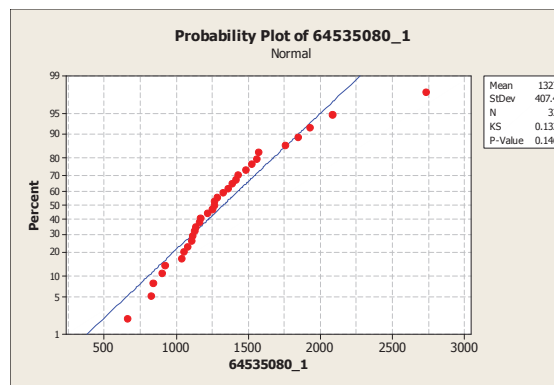
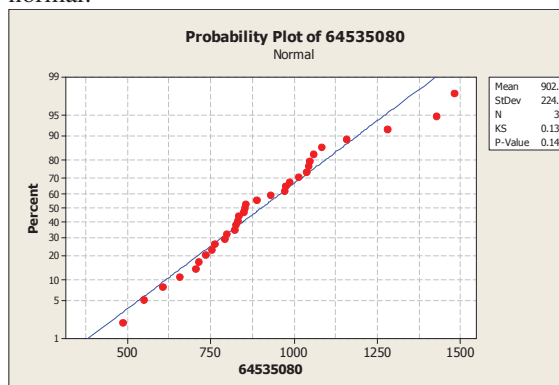
Posto Chavantes jusante (64270050), comportamento da série de dados apresentou distribuição normal.



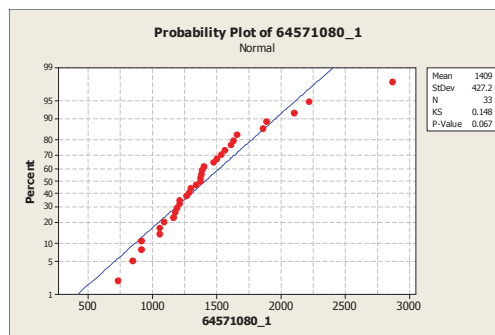
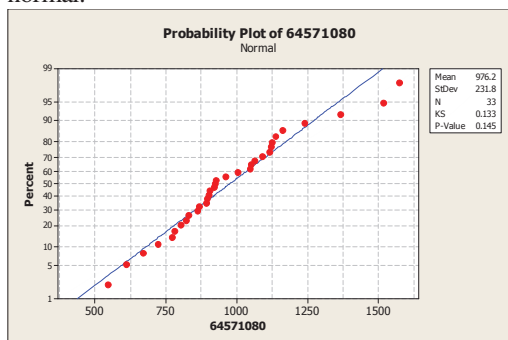
Posto UHE Capivara (64516080), comportamento da série de dados apresentou distribuição normal.



Posto UHE Taquaruçu – Barragem (64535080), comportamento da série de dados apresentou distribuição normal.

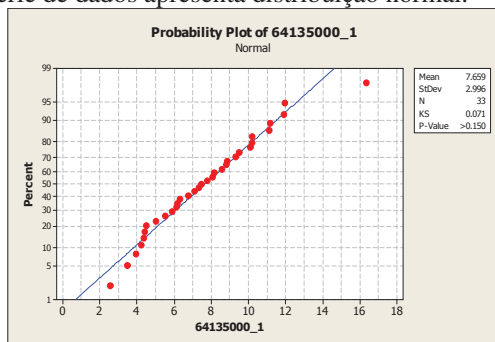
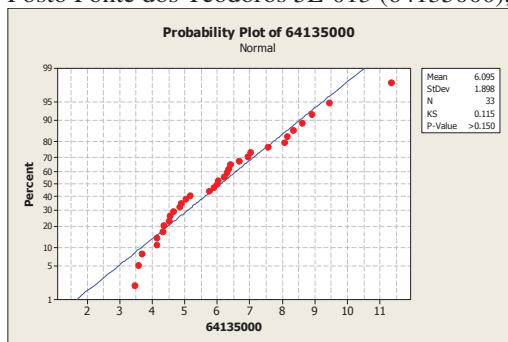


POSTO UHE Rosana – Barragem (64571080), comportamento da série de dados apresentou distribuição normal.

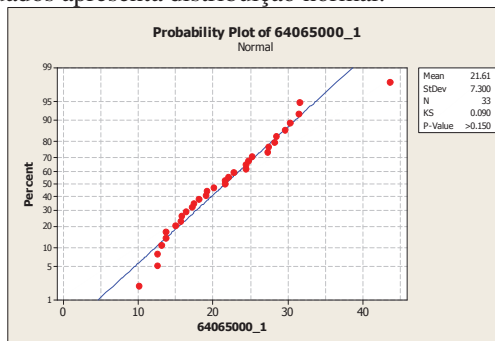
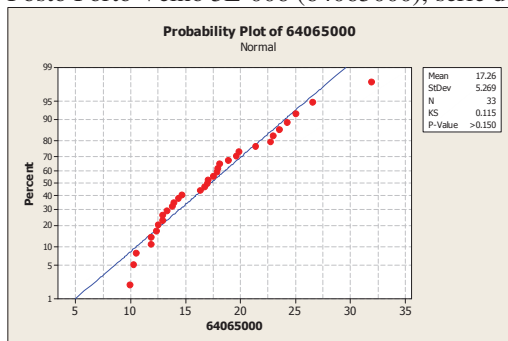


Afluentes do Alto curso do rio Paranapanema:

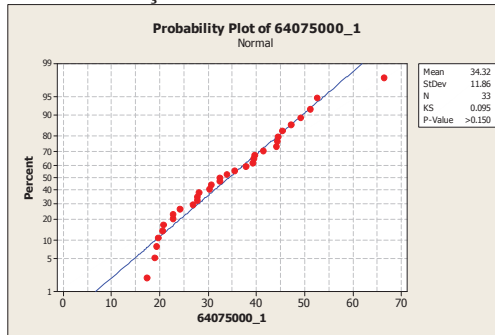
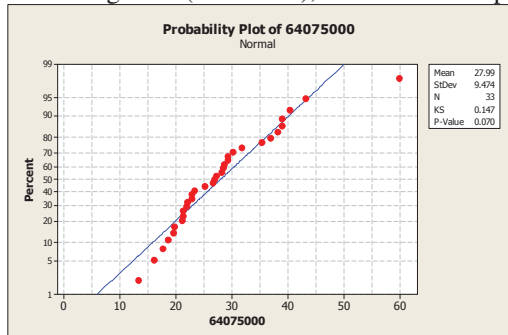
Posto Ponte dos Teodoros 5E-013 (64135000), série de dados apresenta distribuição normal.



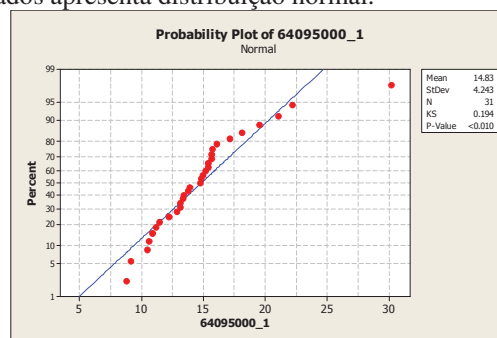
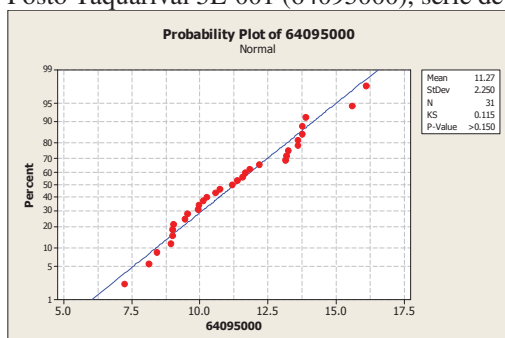
Posto Porto Velho 5E-006 (64065000), série de dados apresenta distribuição normal.



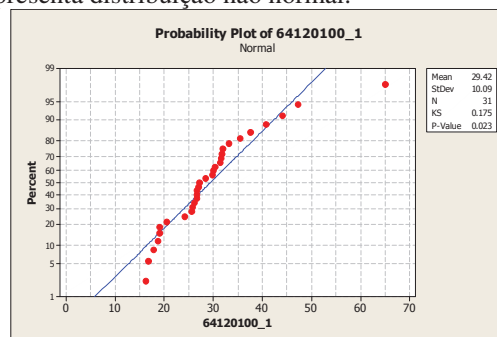
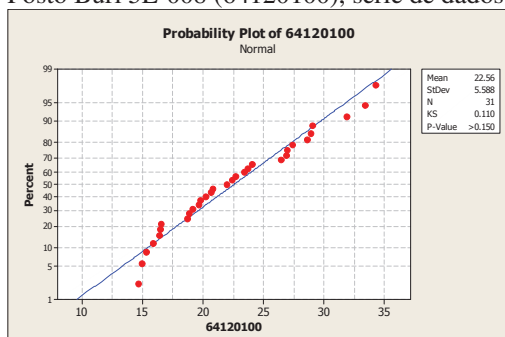
Posto Angatuba (64075000), série de dados apresenta distribuição normal.



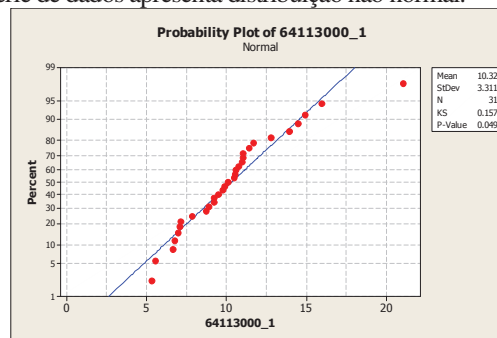
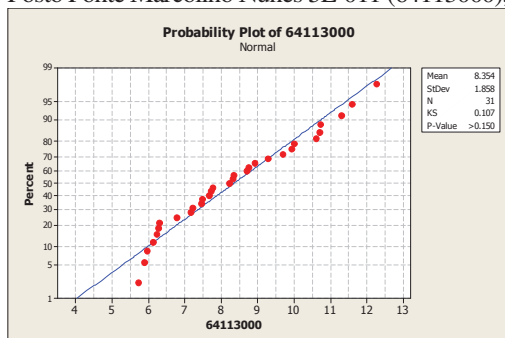
Posto Taquarivai 5E-001 (64095000), série de dados apresenta distribuição normal.



Posto Buri 5E-008 (64120100), série de dados apresenta distribuição não normal.

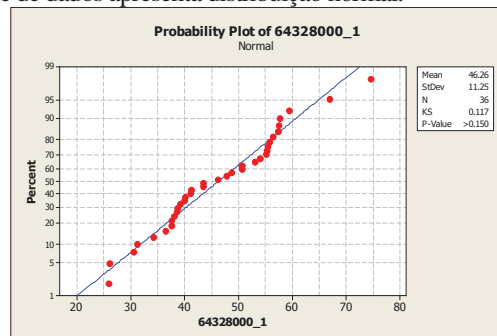
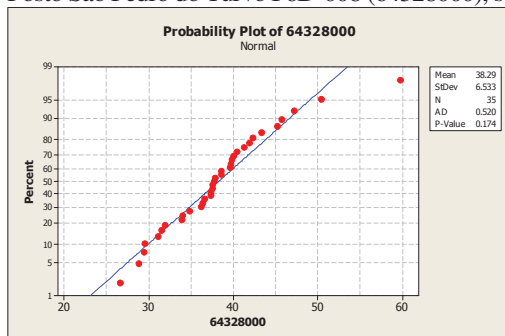


Posto Ponte Marcolino Nunes 5E-011 (64113000), série de dados apresenta distribuição não normal.

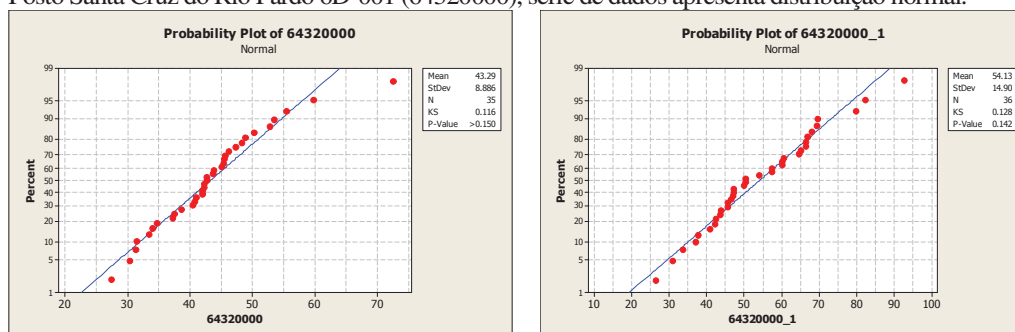


Rio Pardo/Turvo:

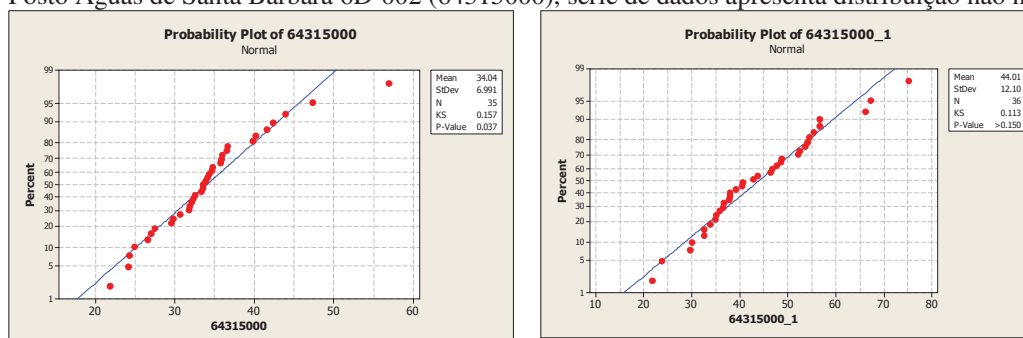
Posto São Pedro do Turvo I 6D-008 (64328000), série de dados apresenta distribuição normal.



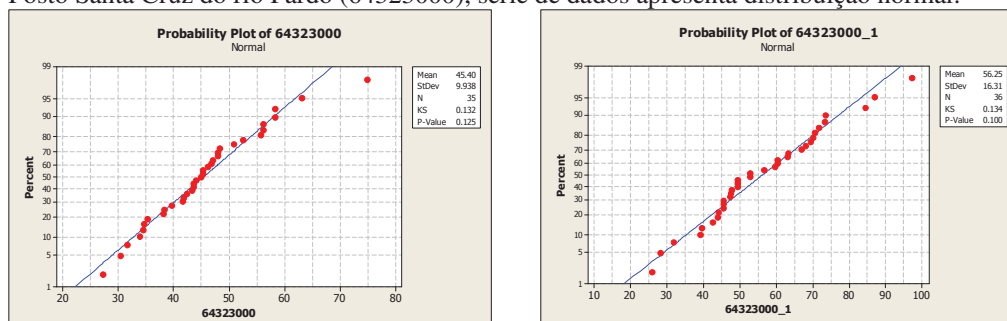
Posto Santa Cruz do Rio Pardo 6D-001 (64320000), série de dados apresenta distribuição normal.



Posto Águas de Santa Barbara 6D-002 (64315000), série de dados apresenta distribuição não normal.

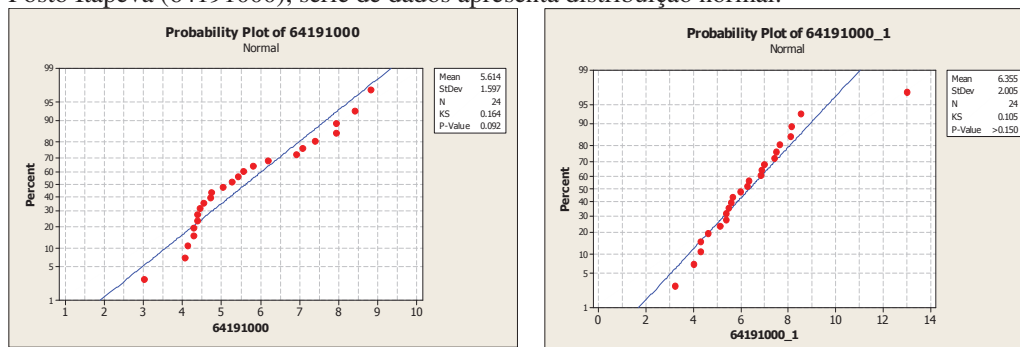


Posto Santa Cruz do rio Pardo (64323000), série de dados apresenta distribuição normal.

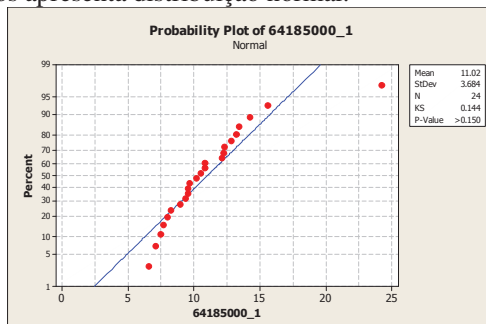
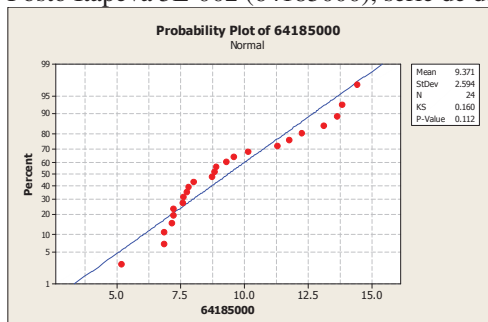


Rio Taquari:

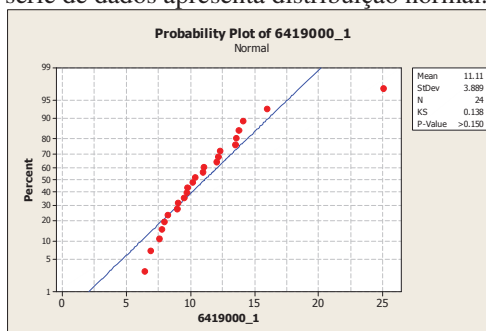
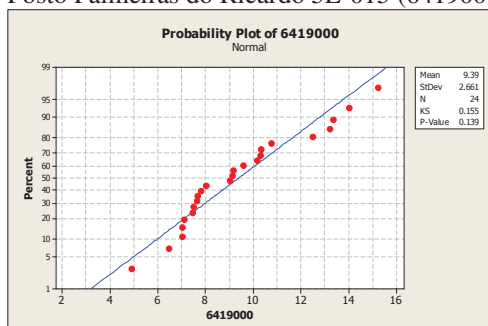
Posto Itapeva (64191000), série de dados apresenta distribuição normal.



Posto Itapeva 5E-002 (64185000), série de dados apresenta distribuição normal.

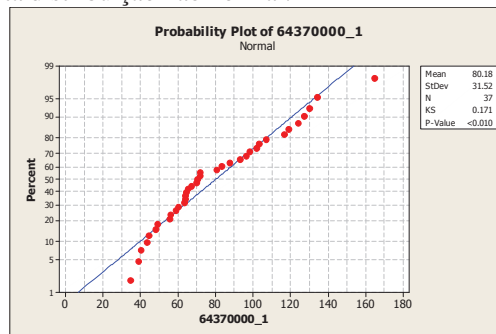
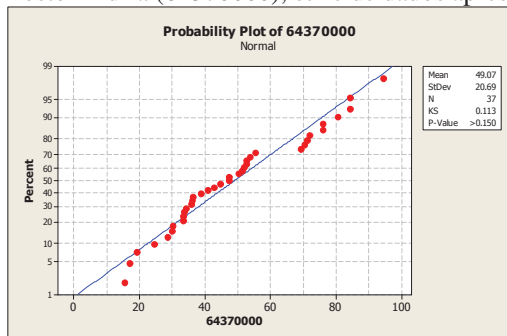


Posto Palmeiras do Ricardo 5E-015 (6419000), série de dados apresenta distribuição normal.

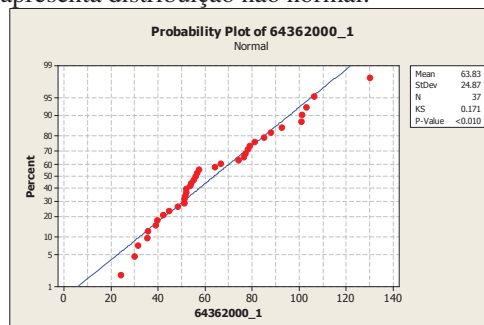
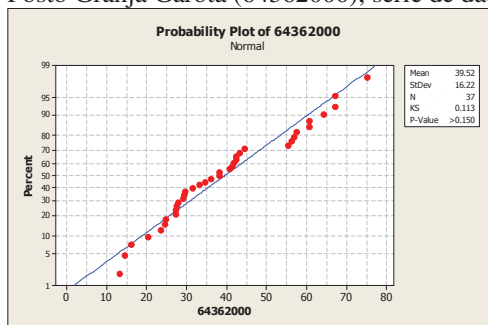


Rio Cinzas/Laranjinha:

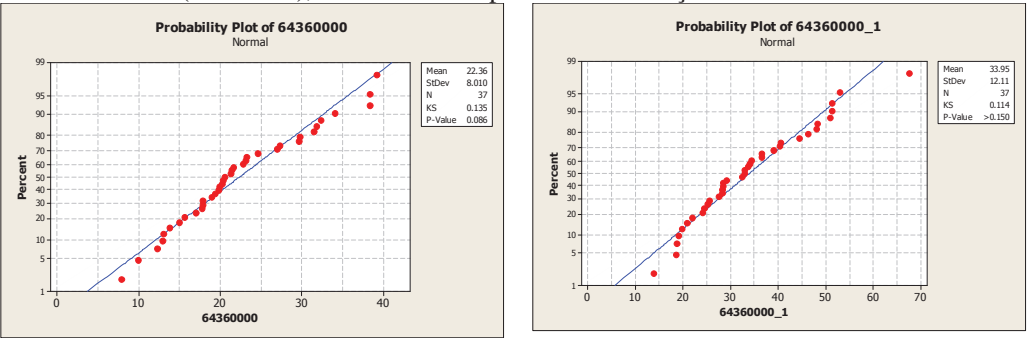
Posto Andirá (64370000), série de dados apresenta distribuição não normal.



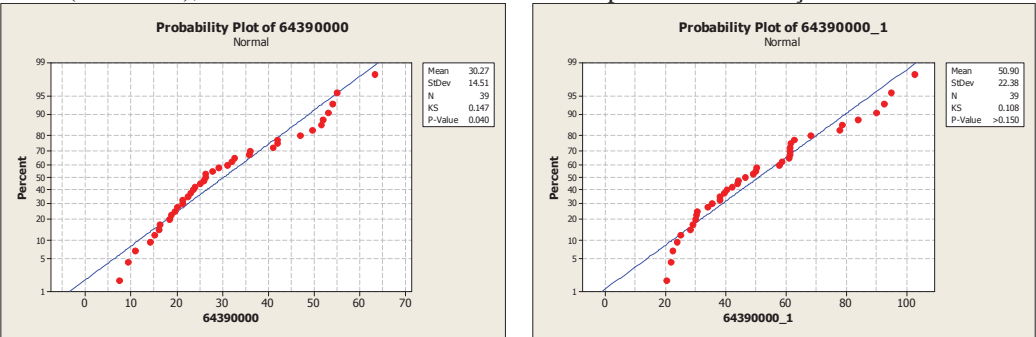
Posto Granja Garota (64362000), série de dados apresenta distribuição não normal.



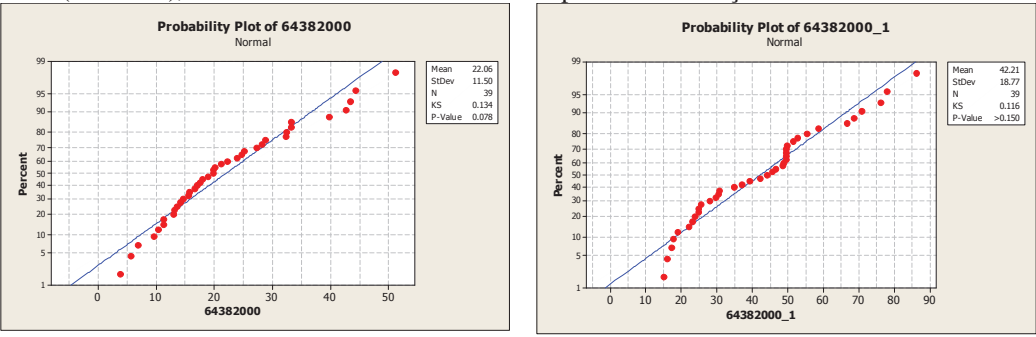
Posto Tomazina (64360000), série de dados apresenta distribuição normal.



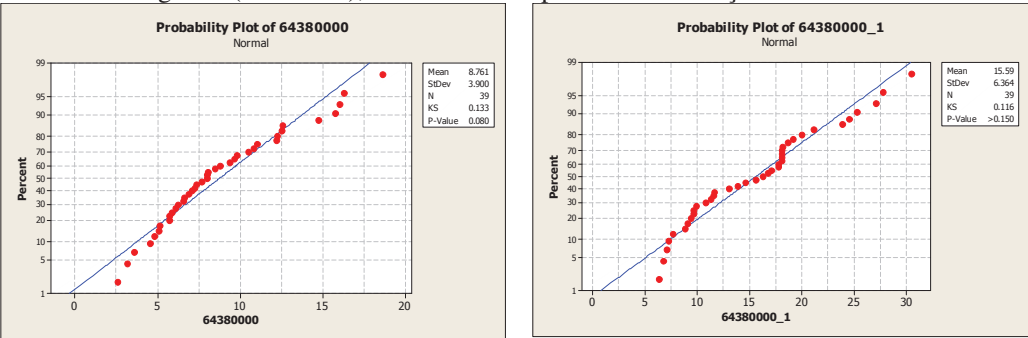
Posto (64390000), Porto Santa Terezina série de dados apresenta distribuição não normal.



Posto (64382000), Fazenda Casa Branca série de dados apresenta distribuição não normal.

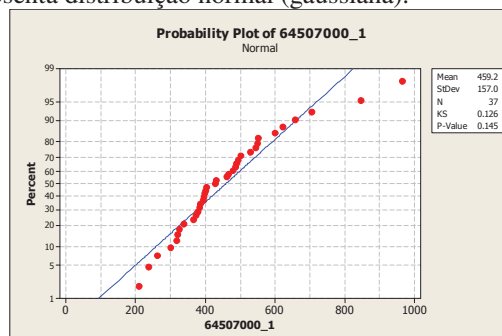
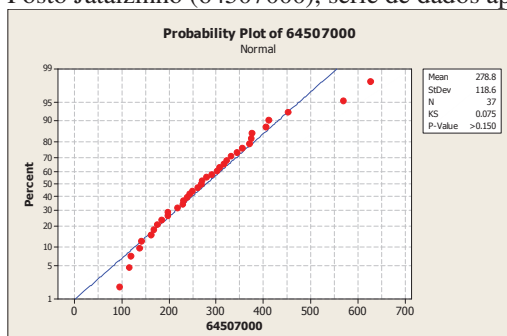


Posto Usina Figueira (64380000), série de dados apresenta distribuição não normal.

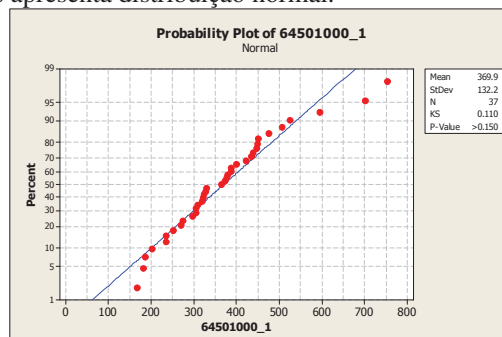
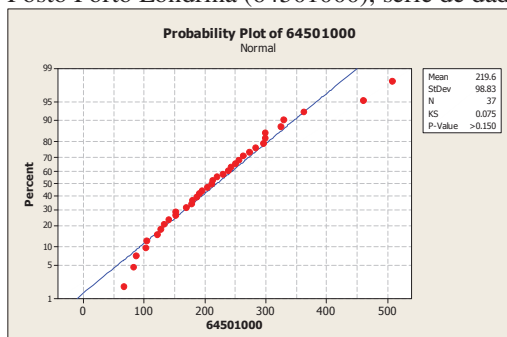


Bacia do Rio Tibagi:

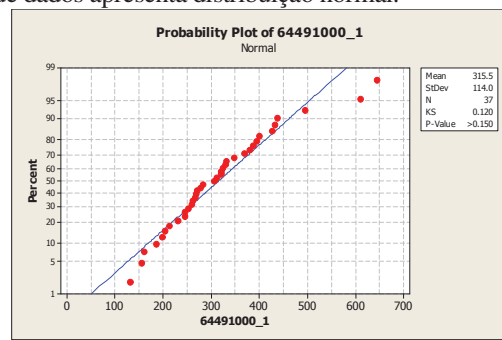
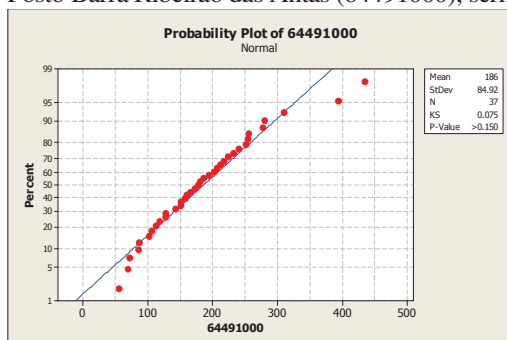
Posto Jataizinho (64507000), série de dados apresenta distribuição normal (gaussiana).



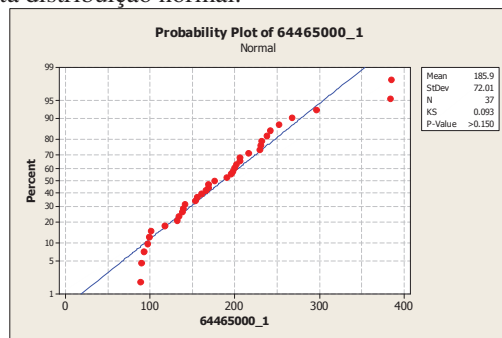
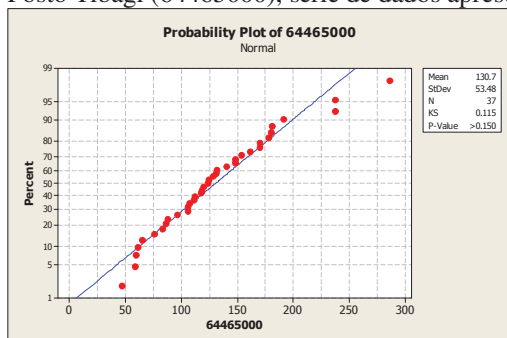
Posto Porto Londrina (64501000), série de dados apresenta distribuição normal.



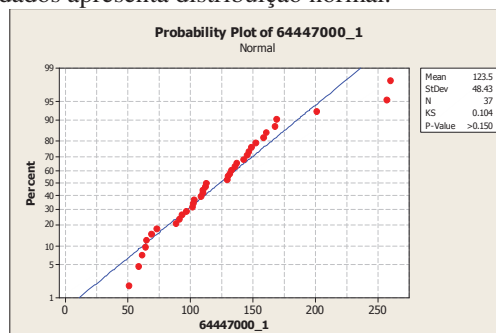
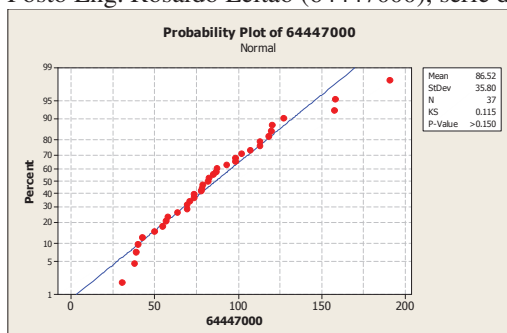
Posto Barra Ribeirão das Antas (64491000), série de dados apresenta distribuição normal.



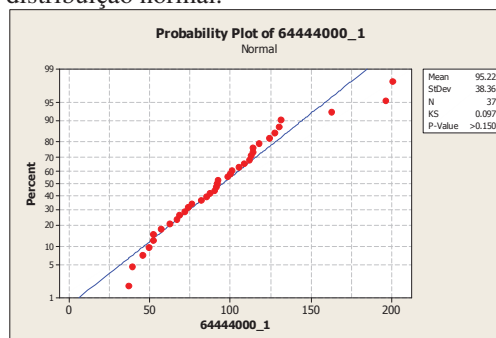
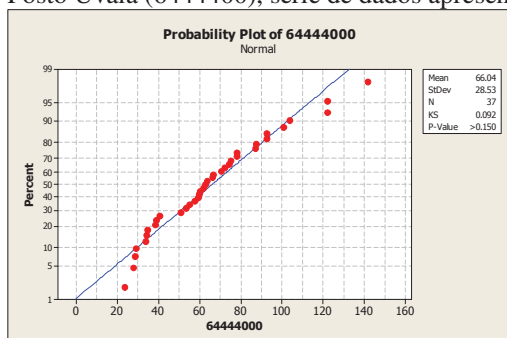
Posto Tibagi (64465000), série de dados apresenta distribuição normal.



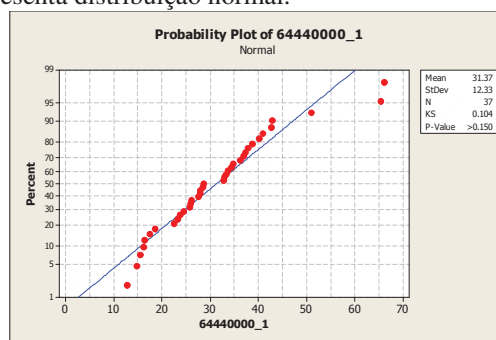
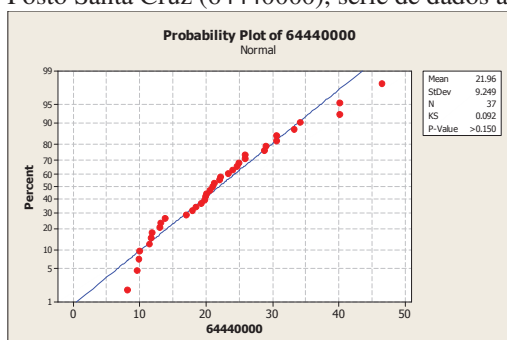
Posto Eng. Rosaldo Leitão (64447000), série de dados apresenta distribuição normal.



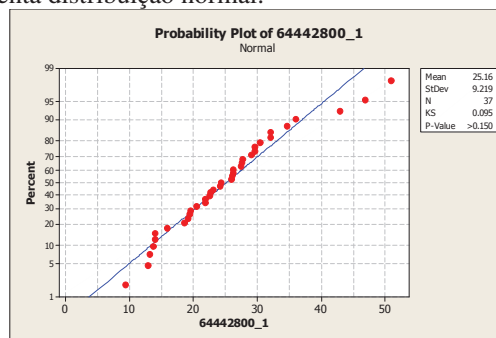
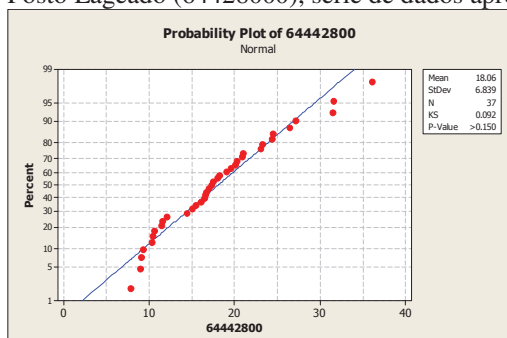
Posto Uvaia (64444000), série de dados apresenta distribuição normal.



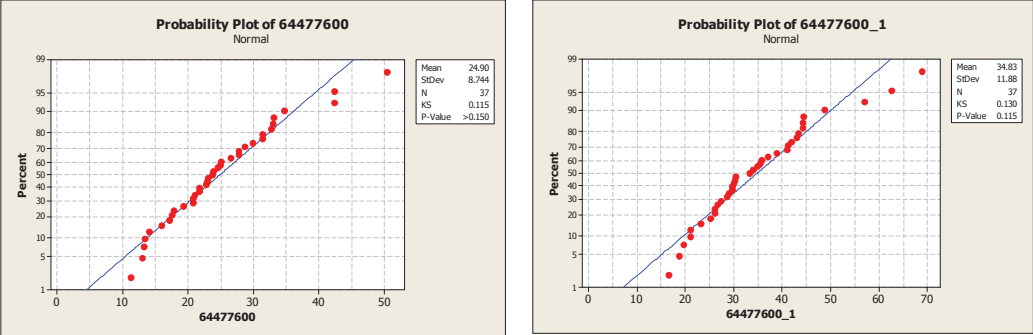
Posto Santa Cruz (64440000), série de dados apresenta distribuição normal.



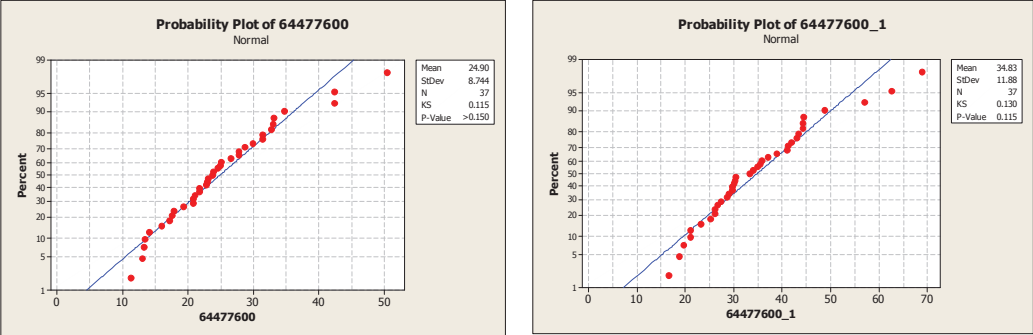
Posto Lageado (64428000), série de dados apresenta distribuição normal.



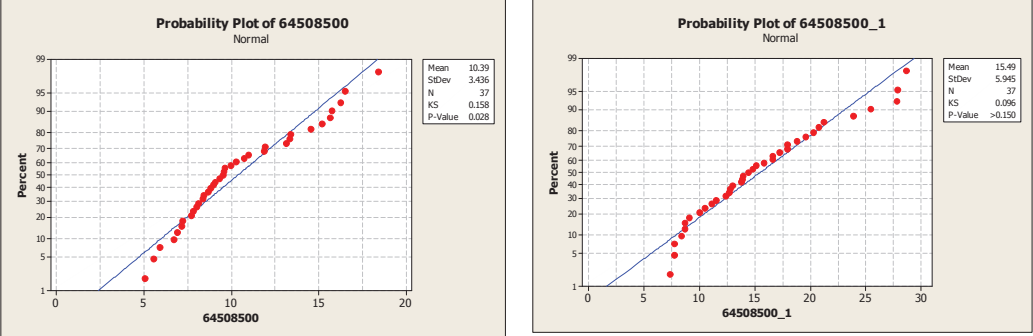
Posto Chácara Cachoeira (6447600), série de dados apresenta distribuição normal.



Posto Bom Jardim (64460000), série de dados apresenta distribuição normal.

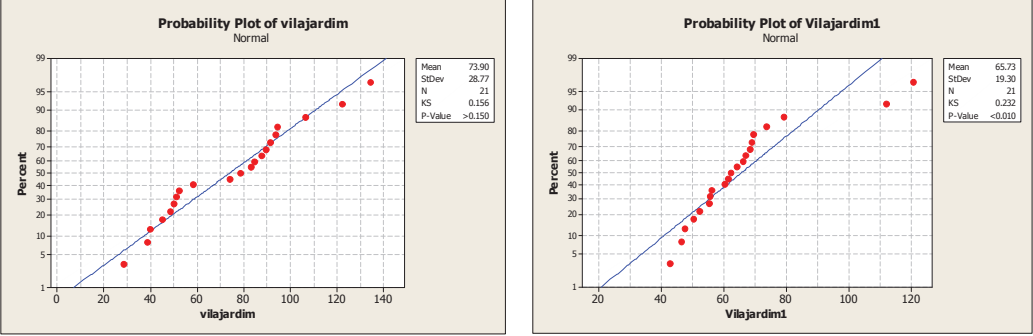


Posto Ponte Preta (64508500), série de dados apresenta distribuição não normal.

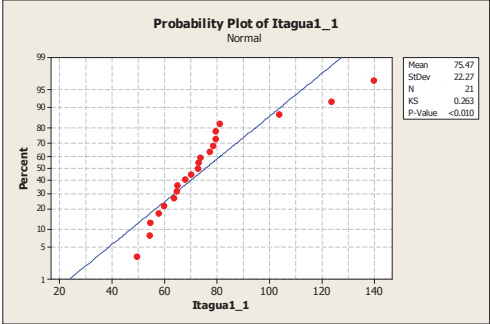
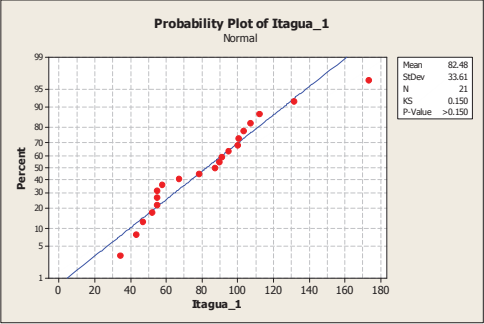


Bacia rio Pirapó:

Posto Vila Jardim Silva (64550000), série de dados apresenta distribuição não normal.



Posto Itaguaí (64560000), série de dados apresenta distribuição não normal.



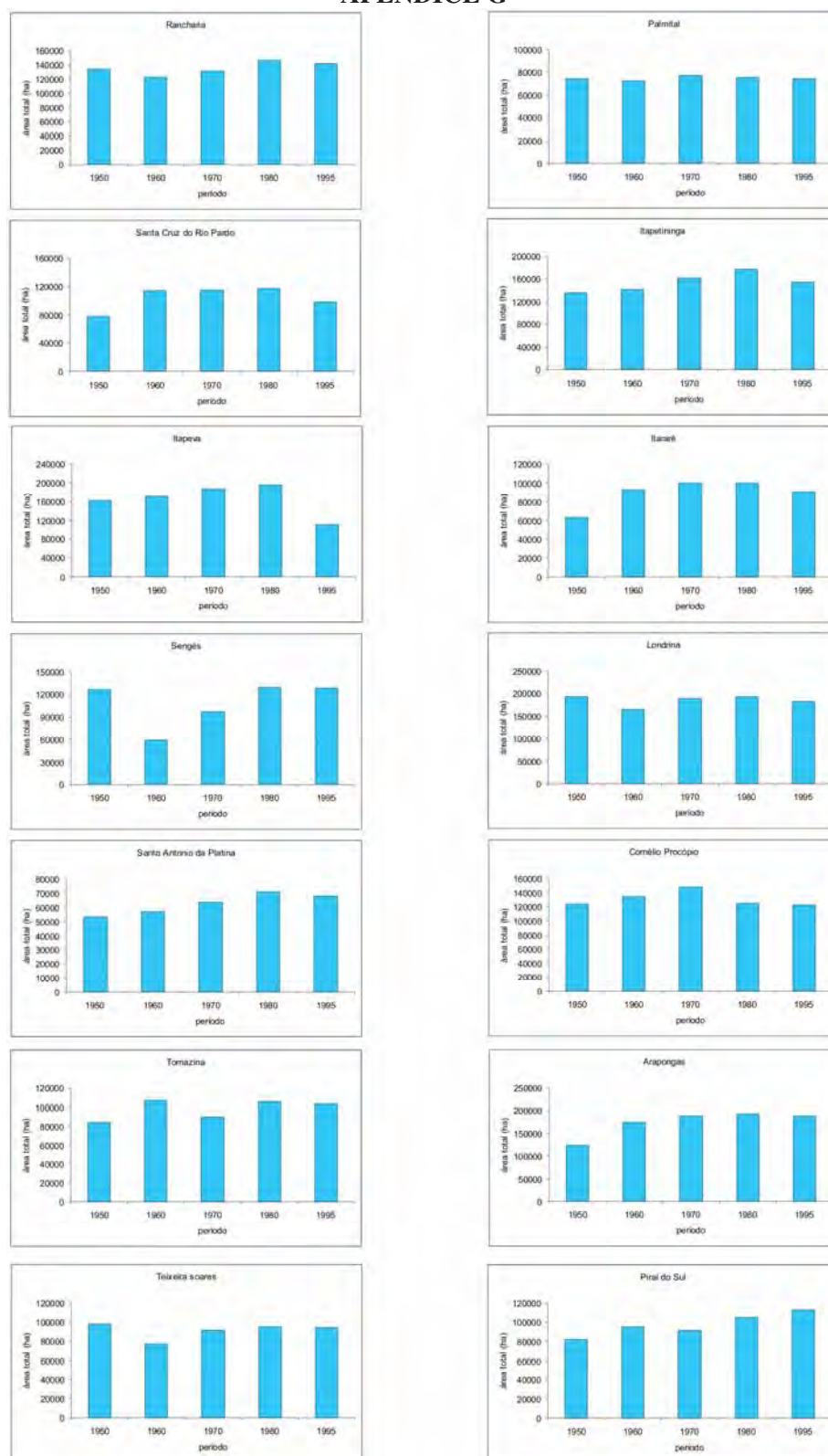
APÊNDICE E

TABELA 04D. Informações sobre as estações pluviométricas

Nome do Posto	Código ANA	Município	Latitude	Longitude	Altitude (m)	Rio	Período dados (início)
Tomazina	2349033	Tomazina	-23 46 00	-49 57 00	483	Cinzas	1/7/1937
Apucarana (Fazenda Ubatuba)	2351008	Apucarana Ponta Grossa	-23 30 00	-51 32 00	746	Pirapó	1/8/1961
Santa Cruz	2550003	Grossa	-25 08 00	-50 09 00	790	Tibagi	1/18/1945
Rancharia Santo	2250009	Rancharia Santo	-22 13 00	-50 53 00	550	Capivari Santo	1/10/1941
Anastácio Fazenda Itapora	2151059	Anastácio	-21 58 00	-51 39 00	450	Anastácio	1/12/1937
Ourinhos Fazenda	2252007	Rosana	-22 28 00	-52 53 00	260	Paranapanema	1/11/1956
Ourinhos Fazenda	2249034	Ourinhos	-22 59 00	-49 50 00	460	Pardo Alto	1/1/1937
Atterradinho	2348016	Angatuba	-23 27 00	-48 35 00	580	Paranapanema	1/10/1939

[illegible]

APÊNDICE G



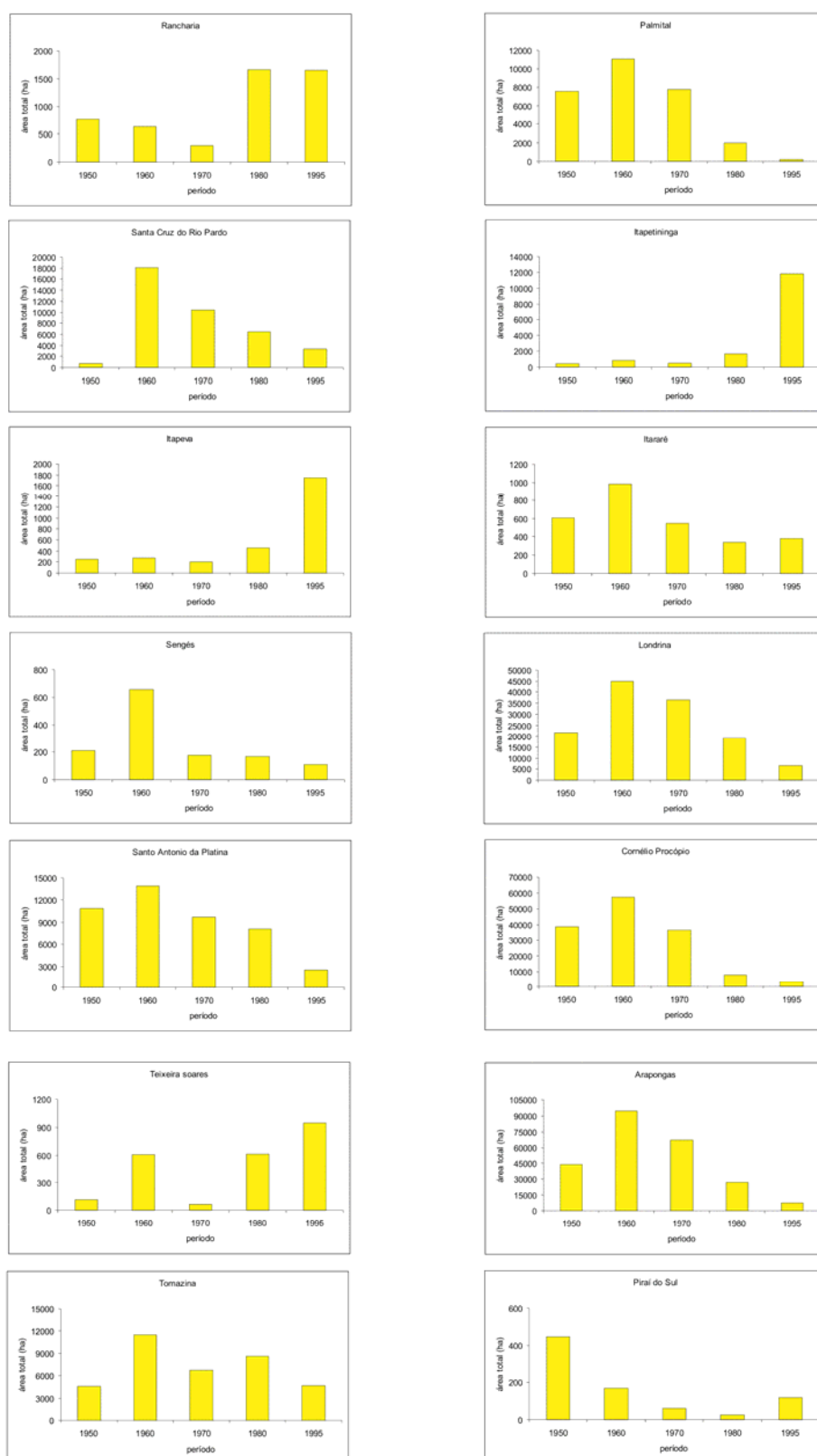


Figura 2A. Evolução do uso da terra na bacia do rio Paranapanema – culturas permanentes.
 Fonte: IBGE – Censo Agrícola de São Paulo (1950; 1960), Censo Agropecuário de São Paulo (1970; 1980; 1995).



Figura 3A. Evolução do uso da terra na bacia do rio Paranapanema – culturas temporárias.
 Fonte: IBGE – Censo Agrícola de São Paulo (1950; 1960), Censo Agropecuário de São Paulo (1970; 1980; 1995).



Figura 4A. Evolução do uso da terra na bacia do rio Paranapanema – pastagens.

Fonte: IBGE – Censo Agrícola de São Paulo (1950; 1960), Censo Agropecuário de São Paulo (1970; 1980; 1995).



Figura 5A. Evolução do uso da terra na bacia do rio Paranapanema – matas naturais.

Fonte: IBGE – Censo Agrícola de São Paulo (1950; 1960), Censo Agropecuário de São Paulo (1970; 1980; 1995).

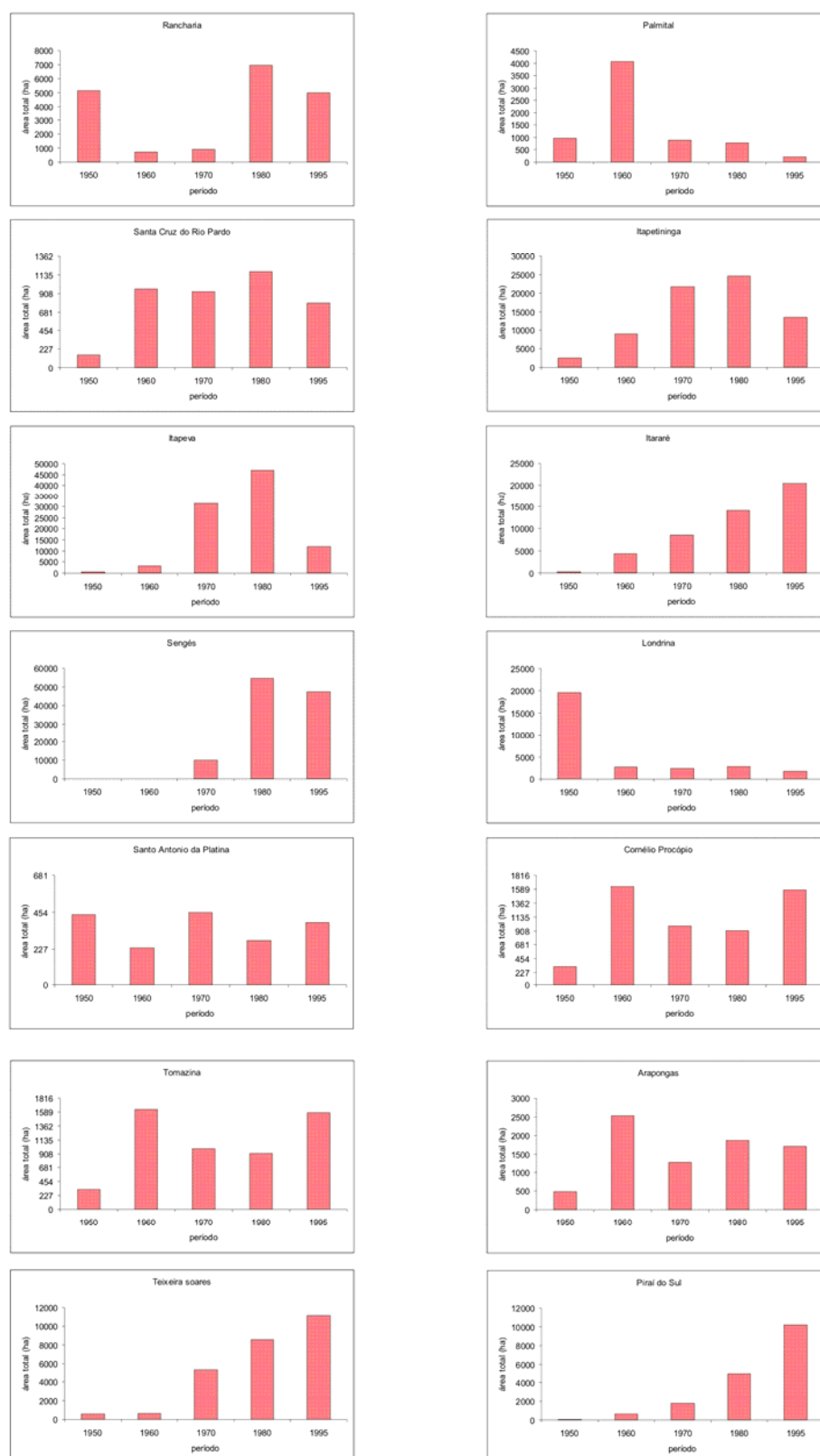


Figura 6A: Evolução do uso da terra na bacia do rio Paranapanema – matas reflorestadas.
 Fonte: IBGE – Censo Agrícola de São Paulo (1950; 1960), Censo Agropecuário de São Paulo (1970; 1980; 1995).

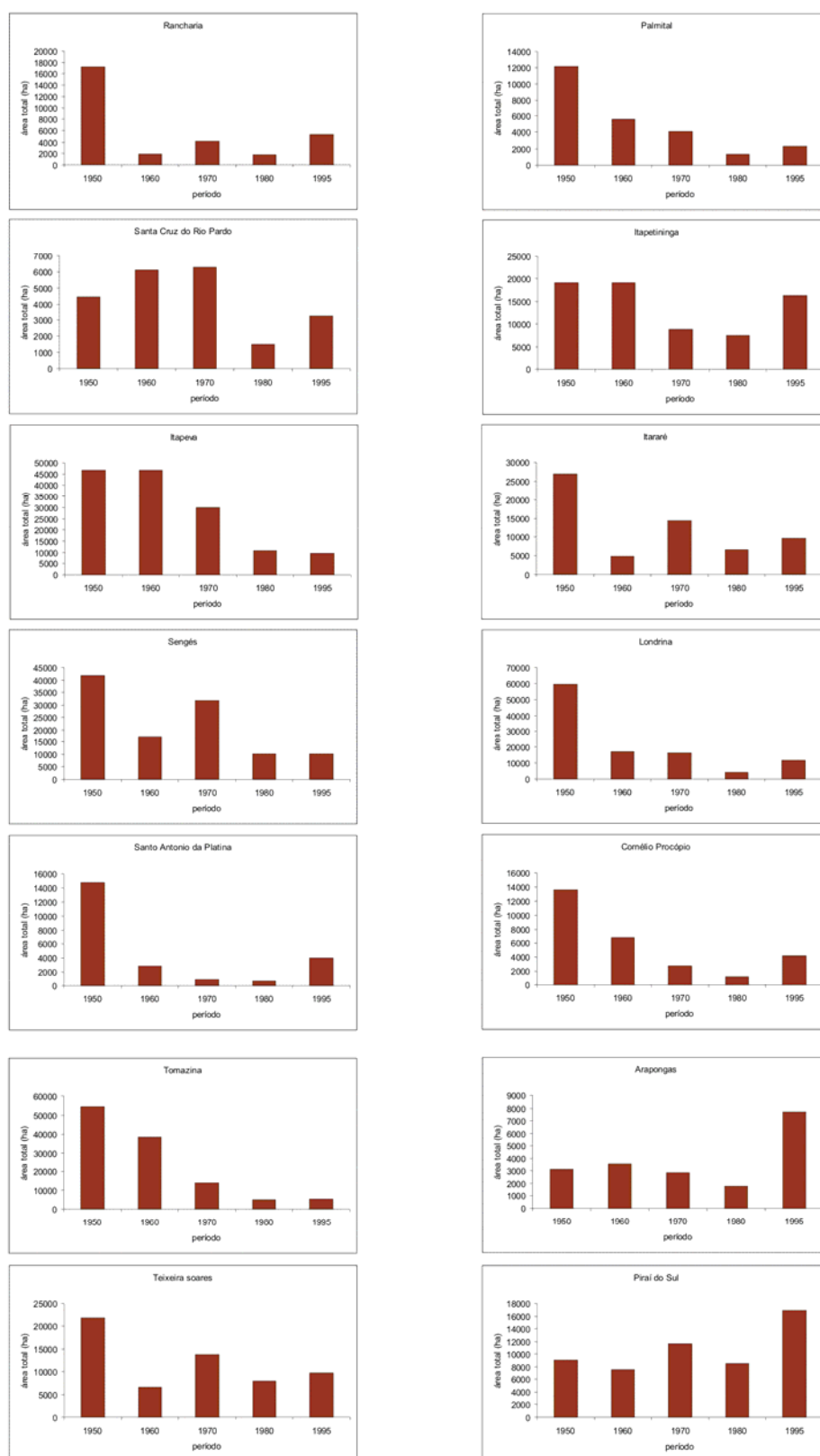


Figura 7A. Evolução do uso da terra na bacia do rio Paranapanema – terras não utilizadas.

Fonte: IBGE – Censo Agrícola de São Paulo (1950; 1960), Censo Agropecuário de São Paulo (1970; 1980; 1995).