

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS, LETRAS E ARTES
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA
MESTRADO EM GEOGRAFIA

RAFAELA HARUMI FUJITA

**O PERFIL LONGITUDINAL DO RIO IVAÍ E SUA RELAÇÃO COM A
DINÂMICA DE FLUXOS**

Maringá
2009

RAFAELA HARUMI FUJITA

**O PERFIL LONGITUDINAL DO RIO IVAÍ E SUA RELAÇÃO COM A
DINÂMICA DE FLUXOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia, área de concentração Análise Regional e Ambiental, do Centro de Ciências Humanas, Letras e Artes da Universidade Estadual de Maringá, como requisito para a obtenção do título de mestre em Geografia

Orientador: Prof. Dr. Manoel Luiz dos Santos
Co-orientador: Prof. Dr. José Cândido Stevaux

Maringá
2009

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
(Biblioteca Central - UEM, Maringá – PR., Brasil)

F961p Fujita, Rafaela Harumi
O perfil longitudinal do rio Ivaí e sua relação com a
dinâmica de fluxos / Rafaela Harumi Fujita. -- Maringá :
[s.n.], 2009.
98 f. : il. color., figs.

Orientador : Prof. Dr. Manoel Luiz dos Santos.
Co-orientador : Prof. Dr. José Cândido Stevaux.
Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de
Maringá, Programa de Pós-Graduação em Geografia, área de
concentração: Análise Regional e Ambiental, 2009.

1. Rio Ivaí. 2. Perfil longitudinal. 3. Anomalia de
drenagem. 4. Dinâmica fluvial. I. Universidade Estadual de
Maringá. Programa de Pós-Graduação em Geografia. II.
Título.

CDD 21.ed. 551.41

“O PERFIL LONGITUDINAL DO RIO IVAÍ E SUA RELAÇÃO COM A
DINÂMICA DE FLUXOS”

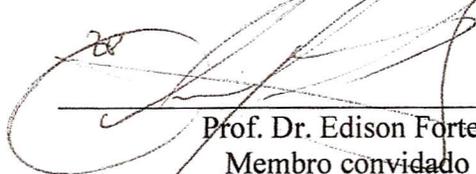
Dissertação de Mestrado apresentada a Universidade Estadual de Maringá, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Geografia, área de concentração: Análise Regional e Ambiental.

Aprovada em 28 de abril de 2009.

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Manoel Luiz dos Santos
Orientador-presidente
Universidade Estadual de Maringá



Prof. Dr. Edison Fortes
Membro convidado
Universidade Estadual de Maringá



Prof. Dr. Oscar Vicente Quinonez Fernandez
Membro convidado
UNIOESTE – Marechal Cândido Rondon

“Na natureza não há castigo nem prêmios, só conseqüências.”
(Provérbio Chinês)

Dedico este trabalho

A meus pais Lauro e Francisca e minha querida irmã Sayuri pelo amor, carinho e compreensão em todos os momentos.

Agradecimentos

Ao Professor **Dr. José Cândido Stevaux** por todos estes anos de orientação, ensinamentos, apoio, confiança e amizade. Ao meu “pai científico”, a quem admiro por sua ética e profissionalismo;

Ao Professor **Dr. Manoel Luiz dos Santos** meus sinceros agradecimentos pela orientação e pela amizade demonstrada ao longo destes anos.

A **CAPES** pela concessão da bolsa, que a mim permitiu tempo integral de dedicação para os estudos e sem a qual não seria possível atingir meus objetivos acadêmicos;

Ao **CNPq** pelo apoio financeiro e logístico;

Ao **GEMA** (Grupo de Estudos Multidisciplinares do Meio Ambiente – UEM –Universidade Estadual de Maringá) pela utilização das instalações e equipamentos;

A **Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental - SUDERHSA**, pela atenção e fornecimento dos dados e informações hidrológicas do rio Ivaí;

Aos professores **Edvard Elias Souza-Filho, Nelson Louvatto Gaspareto, Marta Luízia de Souza, Edison Fortes e Susana Volkmer** pelo incentivo e apoio em todos os momentos;

À geógrafa **Maria de Moraes**, minha amiga e companheira, pelo auxílio nas análises laboratoriais, pelos ensinamentos, amizade e “puxões de orelha” que me ajudaram muito nesta caminhada;

À família GEMA: **Alan Charles Fontana, Carina Petsch, Daiany Manieri, Diego Tuollo, Edinéia Grizio, Édipo Cremon, Eduardo Morais, Fabiana Cristina Meira, Marcos Modenezi (Cisso), Maria Estela Dala Vila, Mausy Domingues, Mirian Couto, Pedro França Jr, Ordilei de Melo, Otávio Montanher, Vladimir de Souza** pela amizade, companheirismo e muitas risadas. Em especial à **Isabel Leli e Priscila Gon** que além de tudo me ajudaram em campo e laboratório;

Aos professores **Mário Lincoln Etchebehere, Edgardo Latrubesse, Oscar Quiñonez, Edison Fortes** pelos auxílios e contribuições;

Aos meus colegas de mestrado **Alan Charles Fontana, Fabiana Cristina Meira, Marcia Aparecida de Oliveira, Matheus Ribeiro, Mausy Marchel Domingues, Sandra Betineli**, com os quais juntos estudamos, sorrimos, mas também por vezes choramos, compartilhando nossos sofrimentos do mestrado, mas também pessoais;

Aos amigos **Aguinaldo Silva, André Franco, Celso Vieira, Débora Martins Pinto, Edilaine Destefani, Edimara Rupulo, Emerson Costa, Jefferson Baggio, Matheus Ribeiro, Maurício Meurer, Mauro Parolin, Renato Paes, Sandra Betinelli, Sue Ellen Prata, Valdecir Galvão (Branco), Vanessa dos Santos** pelo carinho, amizade, incentivo, conselhos e apoio em todas as horas;

À secretária do Programa de Pós-Graduação, **Cida**, pela atenção, colaboração e eficiência no decorrer destes anos;

A todos que direta e indiretamente colaboraram para a realização deste trabalho o meu sincero obrigado;

E finalmente, àqueles que são meu “Porto Seguro”, as minhas pedras preciosas. Palavras são ínfimas para externar meus agradecimentos

Ao meu pai **Lauro Tikasa Fujita**, minha mãe **Francisca Ferreira Fujita**, que muitas vezes abdicaram de seus sonhos para que os meus pudessem se realizar, e minha irmã, **Daniele Sayuri Fujita**, pelos ensinamentos, correções e principalmente pelas “broncas”, todo o meu amor e minha eterna gratidão.

SUMÁRIO

Índice	ii
Índice de Figuras	iv
Índice de Quadros	vi
Índice Tabelas	vii
Índice do Apêndice	viii
RESUMO	ix
ABSTRACT	xi
Cap. I – INTRODUÇÃO	1
Cap. II – PRESSUPOSTOS TEÓRICOS	5
Cap. III – PRESSUPOSTOS METODOLÓGICOS	11
Cap. IV – CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	18
Cap. V – PERFIL LONGITUDINAL DO RIO IVAÍ E DE ALGUNS DE SEUS PRINCIPAIS TRIBUTÁRIOS E A APLICAÇÃO DO ÍNDICE DE RDE	38
Cap. VI – CONTROLE HIDROLÓGICO	62
Cap. VII – CONCLUSÕES	79
Cap. VIII – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	82
Cap. IX – APÊNDICE	89

ÍNDICE

Capítulo I – INTRODUÇÃO	1
I.1. OBJETIVO GERAL	2
I.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	2
I.3. HIPÓTESE	3
I.4. JUSTIFICATIVA	3
Capítulo II – PRESSUPOSTOS TEÓRICOS	5
II.1- PERFIL LONGITUDINAL	5
II.2- ÍNDICE DE GRADIENTE (RDE)	7
II.3- ALGUMAS CONSIDERAÇÕES A RESPEITO DE GEOMETRIA HIDRÁULICA	8
Capítulo III – PRESSUPOSTOS METODOLÓGICOS	11
III.1- PERFIL LONGITUDINAL E MÉTODOS PARA DETERMINAÇÃO DE ANOMALIAS DE DRENAGEM	11
III.2- LEVANTAMENTO DE DADOS EM CAMPO	13
III.3- ANÁLISE LABORATORIAL E DE GABINETE	14
Capítulo IV – CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	18
IV.1- GEOLOGIA DA BACIA DO IVAÍ	18
IV.2- ARCABOUÇO ESTRUTURAL	18
IV.3- GEOMORFOLOGIA	24
IV.4- CLIMA	30
IV.5 - VEGETAÇÃO NATURAL	32
IV.6 – HIDROGRAFIA	35
Capítulo V – PERFIL LONGITUDINAL DO RIO IVAÍ E DE ALGUNS DE SEUS PRINCIPAIS TRIBUTÁRIOS E A APLICAÇÃO DO ÍNDICE DE RDE	38
V.1- PERFIL LONGITUDINAL DO RIO IVAÍ	38
V.2- PERFIL LONGITUDINAL DO RIO DOS PATOS	40
V.3- PERFIL LONGITUDINAL DO RIO SÃO JOÃO	41

V.4- PERFIS LONGITUDINAIS DE ALGUMAS DRENAGENS SECUNDÁRIAS DA BACIA DO RIO IVAÍ	42
V.5- APLICAÇÃO DO ÍNDICE DE GRADIENTE (RDE) NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO IVAÍ	42
V.5.1- ÍNDICE DE RDE DETECTADOS NA BACIA DO RIO IVAÍ	42
V.5.1.1- Rio Ivaí	42
V.5.1.2- Rio Dos Patos	44
V.5.1.3- Rio São João	46
V.6- ÍNDICES DE RDE_{TRECHO}	48
V.7- ÍNDICES DE RDE_{TOTAL}	48
V.8- ANÁLISE DOS PERFIS TRANSVERSAIS DO RIO IVAÍ	53
V.9- DISCUSSÃO	59
Capítulo VI – CONTROLE HIDROLÓGICO	62
VI.1- ESTUDO HIDROLÓGICO	62
VI.2- CARACTERIZAÇÃO DO RIO IVAÍ AO LONGO DE SEU PERFIL LONGITUDINAL	63
VI.2.1- SEÇÃO RIO DOS PATOS	63
VI.2.2- SEÇÃO TERESA CRISTINA	64
VI.2.3- SEÇÃO CÂNDIDO DE ABREU	66
VI.2.4- SEÇÃO PORTO UBÁ DO SUL	66
VI.2.5- SEÇÃO PORTO PARAÍSO DO NORTE	67
VI.2.6- SEÇÃO FOZ	67
VI.3- RELAÇÃO MORFO-HIDRÁULICA DAS ANOMALIAS	68
VI.3.1- PADRÕES ESPACIAIS DA RELAÇÃO MORFO-HIDRÁULICA	72
VI.3.2- DESCRIÇÃO DOS AGRUPAMENTOS	75
VI.4- DISCUSSÃO	76
Capítulo VII – CONCLUSÕES	79
VII.1- CONSIDERAÇÕES FINAIS	81
CAPÍTULO VIII – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	82
CAPÍTULO IX – APÊNDICE	89

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Gráfico hipotético de um rio para demonstrar áreas com trechos anômalos (em ascensão – A e em subsidência – B), determinados em função da linha de ajuste	12
Figura 2 - Mapa de localização da área em estudo, com estações de amostragens	19
Figura 3 - Mapa geológico da área de estudo	21
Figura 4 - Mapa dos principais elementos estruturais, considerados para análise de padrão de fraturamento	23
Figura 5 - Estação Teresa Cristina, onde se observam outeiros e vales	24
Figura 6- Município de Faxinal – PR, Relevo movimentado formado por topos alongados (diques de diabásio) e encostas íngremes	25
Figura 7- Mapa das sub - unidades morfoesculturais da bacia do rio Ivaí	27
Figura 8 - Carta das ecorregiões da bacia hidrográfica do rio Ivaí. Fonte: Meurer, 2008	28
Figura 9 - Mapa de clima	32
Figura 10 - Unidades fitogeográficas presentes na bacia do rio Ivaí	33
Figura 11- Tipos de padrões de drenagem	36
Figura 12 - Mapa de hidrografia da bacia do rio Ivaí	37
Figura 13 – Perfis longitudinais do rio Ivaí nas escalas aritmética e logarítmica, nota-se os trechos em desajustes fluviais	39
Figura 14 - Perfil longitudinal do rio dos Patos em escalas aritmética	40
Figura 15 - Perfil longitudinal do rio São João em escala aritmética	41
Figura 16 – Perfis longitudinais dos afluentes do rio Ivaí, em escala aritmética	43
Figura 17- Perfil longitudinal integrado do rio Ivaí	45
Figura 18 - Perfil longitudinal integrado do rio dos Patos	46
Figura 19 - Perfil longitudinal integrado do rio São João	47
Figura 20 - Mapa de distribuição das anomalias detectadas pelo RDE_{TRECHO}	49
Figura 21 - Mapa de distribuição dos RDE_{TOTAL} na bacia do rio Ivaí	50
Figura 22 – Perfis longitudinais do vale ao longo do rio Ivaí	57

Figura 23 - Hidrogramas das Estações Fluviométricas ao longo do curso do rio Ivaí, no período de 2007-2008	65
Figura 24 – Seção Teresa Cristina, ao fundo nota-se a paisagem composta por relevos ondulados	66
Figura 25 - Perfis de morfologia e velocidade de fluxo das estações mensuradas	69
Figura 26 - Divisão dos eixos na análise dos componentes principais	73
Figura 27 - Ordenação dos eixos da Análise de Componentes Principais (ACP)	75

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 - Fatores constituintes do coeficiente de Manning (BRAVARD & PETIT, 2000, mod.)	16
Quadro 2- Quadro síntese das Formações rochosas presentes na bacia do rio Ivaí	22
Quadro 3- Unidades geomorfológicas da bacia do rio Ivaí. Modificada de Santos et al (2006)	26
Quadro 4 - Estações fluviométricas utilizadas para gabaritação dos dados de campo	62

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1. Tabela resumo das variáveis morfométricas do rio Ivaí	51
Tabela 2- Tabela resumos das variáveis morfométricas do rio dos Patos	51
Tabela 3-. Tabela resumos das variáveis morfométricas do rio São João	52
Tabela 4. Tipos de vale, posição no perfil longitudinal e índice RDE do trecho	58
Tabela 5 - Tabela Resumo das variáveis estudadas	74

LISTA DO APÊNDICE

Apêndice 1 – Perfis longitudinais dos afluentes do rio Ivaí, em escala aritmética	89
Apêndice 2 – Seqüência de mapa de distribuição de anomalias de drenagem ao longo do rio Ivaí	98

RESUMO

A bacia hidrográfica do rio Ivaí é a segunda maior do estado do Paraná (22°56'17"-25°35'27" S e 50°44'17" - 53°41'43" W), ocupa uma área de 36.587 km², no entanto pode-se considerar, em que pese sua importância econômica, um rio pouco estudado. O propósito maior deste estudo foi realizar uma análise da bacia do rio Ivaí, a partir de seu perfil longitudinal verificando a sua relação com a dinâmica de fluxos. Adicionalmente, procurou-se identificar possíveis desajustes fluviais e zonas anômalas ao longo do perfil longitudinal e correlacioná-las com as variáveis da morfo-hidráulica. Para isto, foram aplicadas metodologias para a determinação de desajustes fluviais e anomalias de drenagem (McKeown et al (1988) e Hack (1973), respectivamente). Em trechos identificados como anômalos foram selecionadas 6 seções de estudo (Patos, Teresa Cristina, Cândido de Abreu, Porto Ubá do Sul, Porto Paraíso do Norte e Foz), onde foram coletadas algumas variáveis, como: morfologia de fundo, velocidade de fluxo e vazão instantânea, água, para determinação de carga suspensa, e sedimento de fundo, para determinação de texturas granulométricas. Foram também obtidos os valores de rugosidade (coeficiente de Manning), Vazão de média, Vazão com recorrência de 2,33, número de Froude, número de Reynolds, declividade (slope), *stream power* e *stream power* específico, por fim os resultados das seções foram ordenados por meio da Análise dos Componentes Principais (ACP), para identificar gradientes espaciais. O rio Ivaí possui uma extensão de 798 km, de sua nascente no rio dos Patos até sua foz junto ao rio Paraná, as altitudes variam de 1160 a 240 m, que representa uma amplitude de relevo de 920 m. Em relação à curva côncava de um rio equilibrado, o rio Ivaí apresenta-se em desajuste fluvial de nascente à foz, onde se podem distinguir áreas em ascensão (convexas) e subsidências (côncavas) seguidas por rupturas de declive. Dos 32 trechos mensurados no rio Ivaí, 13 apresentaram-se anômalos, sendo 9 com anomalias de 2ª ordem e 4 segmentos com anomalias de 1ª ordem. Ao analisar a distribuição dos índices de RDE, na bacia do rio Ivaí, observa-se um gradiente nas concentrações de altos valores no alto e médio curso, em função da alta densidade de drenagem associada a fatores como diversidade litológica e controle estrutural, entretanto no baixo curso, onde foram identificados valores de RDE mais amenos, verifica-se baixa densidade de drenagem, devido ao controle estrutural decorrente do alinhamento tectônico de NW e NE. Ao longo do rio Ivaí, foram verificadas modificações na largura, profundidade e velocidade do fluxo. As seções Patos, Teresa Cristina, Cândido de Abreu e Foz possuem seções assimétricas, já Porto Ubá do Sul e Porto Paraíso do Norte seções simétricas com talwegues centralizados e encaixados. Das seções estudadas, somente a Seção Foz apresentou material de fundo, com domínio de texturas argilosas (81%), as demais leito rochoso. Maiores velocidades médias foram registradas na seção Patos (1,72 m/s) seguido por Teresa Cristina (1,36 m/s) e Porto Paraíso do Norte (1,17 m/s), já as menores velocidades médias foram observadas na Seção Foz (0,145 m/s). Verificou-se um acréscimo das vazões à jusante até a Seção Porto Paraíso do Norte (1743,00 m³/s), com redução significativa da vazão para a Seção Foz (200,34 m³/s), em função das baixas velocidades de fluxo, provocadas pelo represamento causado pelo rio Paraná. Em geral, quanto a carga suspensa, foi diagnosticada maior concentração de matéria orgânica em comparação ao sedimento suspenso. Patos, Cândido de Abreu, Teresa Cristina e Porto Paraíso do Norte foram as seções que apresentaram os maiores valores de *stream power* e *stream power* específico, no entanto Foz apresentou os menores valores de *stream power* e *stream power*

específico em função da largura de sua seção mas também devido as velocidades muito reduzidas. O rio Ivaí foi classificado como um rio de fluxo turbulento, não uniforme, instável e tranqüilo de corrente e por meio da ordenação das variáveis, foi dividido em três agrupamentos, sendo eles: Patos – Teresa Cristina, Cândido de Abreu - Porto Ubá do Sul - Porto Paraíso do Norte e Foz. Diante dos resultados verificou-se que a dinâmica de fluxos do rio Ivaí sofre grande influência de variáveis como controle litológico e estrutural, confluência de canais fluviais, mas também do *stream power*, ou seja, da energia que o canal possui em determinada seção para executar os processos de erosão, transporte e deposição, e que os desequilíbrios e anomalias detectadas refletem à dinâmica de fluxos.

PALAVRAS-CHAVE: rio Ivaí, perfil longitudinal, índice de gradiente (RDE), dinâmica de fluxos

ABSTRACT

The basin of the Ivaí river is the second largest in the Paraná state ($22^{\circ} 56'17'' - 25^{\circ} 35'27''$ S and $50^{\circ} 44'17'' - 53^{\circ} 41'43''$ W), occupies an area of $36,587 \text{ km}^2$, however it can be considered, in spite of its economic importance, a little river studied. The purpose of this study was to perform more analysis of Ivaí river basin, from the longitudinal profile verifying your relationship with the dynamics of flows. Additionally, we tried to identify possible disturb river and anomalous areas along the longitudinal profile and correlate them with the variables of the morpho-hydraulics. For this, methods have been applied for the determination of disturb and river drainage anomalies (McKeown et al (1988) and Hack (1973), respectively). In excerpts identified as anomalous were selected for study 6 sections (Patos, Teresa Cristina, Cândido de Abreu, Porto Ubá do Sul, Porto Paraíso do Norte and Foz), which were collected some variables, such as morphology of substance, flow velocity and instantaneous flow rate, water, for determination of suspended load and bed sediment for determination of granulometric texture. We also obtained the values of roughness (Manning coefficient), the mean flow, flow with recurrence of 2.33, the Froude number, Reynolds number, slope, stream power and specific stream power, finally the results of sections were ordered by the Principal Components Analysis (PCA) to identify spatial gradients. Ivaí river has a length of 798 km, of the from Patos river to the confluence with the Parana River, the altitude varies from 1,160 to 240 m, representing a range of relief of 920 m. In relation to the concave curve of a balanced river, the Ivaí river comes in unbalance river from source to mouth, where they can be distinguished on the rise areas (convex) and subsidence (concave) followed by breaks of slope. Of the 32 sections measured in the Ivaí river, 13 were anomalous, 9 with anomalies of 2nd order and 4 segments with anomalies in 1st order. Analyzing the distribution of rates of RDE in the Ivaí river basin, there is a gradient in concentrations of high values in the upper and middle course, according to the high density of drainage associated with factors as diverse lithological and structural control, but in low current, where they were identified values of RDE more mild, there is low density of drainage due to structural control due to the alignment tectonics of NW and NE. Along the Ivaí river, changes were observed in the width, depth and speed of flow. Sections Patos, Teresa Cristina, Cândido de Abreu and Foz have asymmetric sections, as Porto Ubá do Sul e Porto Paraíso do Norte symmetrical sections with centralized and thalveges nested. Sections studied only in Section Foz occur bed load, with of clay (81%), the other rocky bed. Higher average speeds were recorded in the section Patos (1.72 m / s) followed by Teresa Cristina (1.36 m / s) and Porto Paraíso do Norte (1.17 m / s) has the lowest average rates were observed in Foz section (0.145 m / s). There was an increase in flows to the downstream section Porto Paraíso do Norte ($1743.00 \text{ m}^3 / \text{s}$), with significant reduction of flow to Section Foz ($200.34 \text{ m}^3 / \text{s}$), depending on the low-speed flow, caused by damming caused by the Paraná River. In general, as the suspended load, was diagnosed highest concentration of organic matter in comparison to the suspended sediment. Patos, Cândido de Abreu, Teresa Cristina and Porto Paraíso do Norte were the sections that showed the highest values of stream power and specific stream power, however Foz showed lower values of stream power and specific stream power according to the width of your section but also because the very low speeds. The Ivaí river was classified as a river of turbulent flow, irregular, unstable, and the current calm and through the ordering of the variables was divided into three groups, which were: Patos - Teresa Cristina, Cândido de Abreu - Porto Ubá do Sul – Porto Paraíso

do Norte and Foz. The results showed that the dynamic flow of the Ivaí river suffers great influence of variables such as lithological and structural control, confluence of river channels but also the stream power, i.e. energy that channel in a particular section has to run the processes of erosion, transport and deposition, and that the disturbances and anomalies found reflect the dynamics of flows.

KEYWORDS: Ivaí river, longitudinal profile, gradient index (RDE), dynamic flow

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO

Os rios são de grande importância para as atividades e para a sobrevivência humana; atualmente a maior parte encontra-se sob intenso uso, seja pela instalação de reservatórios e usinas hidrelétricas, seja pelo fornecimento de água para irrigação e consumo urbano e industrial, seja para navegação e lazer. Devido a estas atividades, as mudanças que ocorrem na dinâmica e na morfologia fluvial por processos naturais, podem ser aceleradas, alterando demasiadamente as características da evolução natural dos sistemas, impondo novas condições que podem não ser favoráveis a sua dinâmica e ecologia fluvial original (LATRUBESSE, et. al, 2005).

Os grandes rios do Sul, Sudeste e Centro-oeste brasileiro pertencem praticamente a uma única bacia hidrográfica, com mais de 2.500.000 km² – a bacia hidrográfica do rio Paraná. Esta imponente rede de drenagem encontra-se atualmente represada em quase sua totalidade em território brasileiro, restando para o rio Paraná, apenas 200 km de trecho livre que se desenha entre a barragem de Porto Primavera, no tríplice limite dos estados de São Paulo, Paraná e Mato Grosso do Sul e o lago de Itaipu na fronteira entre o Brasil e Paraguai. Nesse trecho, o rio Paraná, em sua margem esquerda, recebe as águas do rio Ivaí, um importante afluente praticamente em condições naturais se comparados aos rios da região.

A bacia hidrográfica do rio Ivaí, segunda maior do estado do Paraná (22°56'17"- 25°35'27" de latitude sul e 50°44'17" - 53°41'43" de longitude oeste) ocupa uma área de 36.587 km², sendo que sua drenagem tronco se estende por 798 km, desde a nascente do rio dos Patos, seu afluente formador principal.

Estudos sobre o rio Ivaí remontam a 1865, com a exploração dos irmãos naturalistas José e Francisco Keller, a partir da colônia de Tereza Cristina, na época denominada vila de Therezina até a foz com o rio Paraná. Nas expedições ao longo do rio Ivaí, os naturalistas *moviam-se conforme a correnteza do rio, ainda que se deparasse com perigosas corredeiras e quedas de água* (STRAUBE & URBEN-FILHO, 2006).

Recentemente, o rio Ivaí vem sendo estudado em sua totalidade no tocante às características climáticas (ANDRADE, 2002 e BALDO, 2006), hidrológicas (DESTEFANI, 2005), de evolução do uso do solo (PAIVA, 2008) e geomórfica (SANTOS & FORTES, 2008 e MEURER, 2008). Maior ênfase tem sido dada ao baixo curso em trabalhos relacionados aos processos hidrossedimentares (BIAZIN, 2005; KUERTEN, 2006; BARROS, 2006; FRANCO, 2007) e à geologia e geomorfologia de sua planície aluvial (SANTOS et al, 2008). Além disso, existe um pequeno número de relatórios internos sobre trabalhos específicos e localizados cuja disponibilidade é bastante restrita (ITAIPU, CNEM, DER, etc.). No entanto pode-se considerar o rio Ivaí, em que pese sua importância econômica, um rio pouco estudado.

Sendo assim, a proposta geral deste estudo foi realizar uma análise da bacia do rio Ivaí, sob a ótica de seu perfil longitudinal total, verificando a sua relação com a dinâmica de fluxo. Tal exercício poderá contribuir para o fornecimento de informações sobre o mecanismo de forças atuantes neste sistema fluvial, auxiliando para o avanço dos estudos sobre o referido rio, podendo dar subsídios para trabalhos futuros.

I.1- OBJETIVO GERAL

Este trabalho tem como finalidade analisar o perfil longitudinal do rio Ivaí, verificando a sua relação com a dinâmica de fluxo.

I.2 - OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Verificar o comportamento do fluxo fluvial ao longo de todo rio (velocidade, vazão, estrutura de fluxo) determinado em seções transversais do canal;
- Diagnosticar as características hidrossedimentares do rio (carga de fundo, suspensão, forma de leito);
- Determinar trechos que apresentam mudanças importantes no fluxo e diagnosticar quais seriam estas mudanças;
- Constatar como se comporta a relação das variáveis da geometria hidráulica (largura, profundidade e vazão) ao longo do perfil longitudinal;

- Averiguar como se distribui a potência de canal (*stream power*) ao longo do perfil longitudinal e qual sua relação com a dinâmica fluvial (erosão, transporte, sedimentação formas de leito);
- Examinar qual a dinâmica fluvial nos trechos aluviais e em trechos rochosos.

I.3- HIPÓTESE

O rio Ivaí ao longo de seu curso apresenta diferenças na morfologia do canal e dinâmica de fluxos em função da presença de anomalias de drenagens, pelo que se pode prever:

- a) que os trechos com anomalias possuam características peculiares;
- b) que a geometria e morfologia do canal fluvial se alterem ao longo do curso;
- c) que existam diferenças na estrutura de fluxo no rio Ivaí;
- d) que a litologia e a estrutura exerçam grande influência na dinâmica hidráulica.

I.4- JUSTIFICATIVA

O presente estudo justifica-se pela importância econômica e ambiental que a bacia hidrográfica do rio Ivaí representa para o estado do Paraná e, conseqüentemente, para os municípios que dela fazem parte e uso de sua drenagem, para os mais diversos fins.

Apesar disso, estudos no rio Ivaí ainda são muito escassos, a maior parte das pesquisas fora concentradas no trecho inferior desse sistema, junto à foz com o rio Paraná. Mesmo em âmbito nacional, estudos que se referem ao reconhecimento da dinâmica de todo um curso fluvial, em rios do porte do Ivaí, ainda não foram realizados, de modo que este estudo seria o pioneiro nessa atividade o que contribuiria para o conhecimento dos processos fluviais que ocorrem ao longo de seu curso.

Os rios atuam como agentes modificadores da superfície por onde escoam, construindo e destruindo a paisagem. O perfil longitudinal de um canal fluvial representa um elemento muito importante para o estudo da geomorfologia fluvial, auxiliando no entendimento da configuração do sistema atual. A aplicação do índice de gradiente (RDE), também é escassa na literatura, principalmente no Brasil. Etchebehere (2000) foi um dos precursores na aplicação deste índice, difundindo este método para a detecção de anomalias em bacias de drenagem, com o intuito de entender a evolução da rede de drenagem e o seu substrato rochoso, que apresenta grande importância para os estudos da paisagem, uma vez que permite comparar rios de diferentes escalas e magnitudes.

No Brasil, o uso de novos métodos aplicados ao ambiente fluvial está sendo crescente, como é o caso do uso do ADCP (Perfilador Doppler-acústico), para a determinação da vazão, velocidade e estrutura de fluxo e, mais raramente, na dinâmica das formas de leito, e de ecosondas que auxiliam na elaboração de mapas batimétricos que são fundamentais para o conhecimento da geometria e da morfologia dos grandes canais fluviais, ambos métodos servem de suporte para estudos sobre a dinâmica de fluxos e transporte sedimentar.

Diante das transformações antrópicas nos sistemas fluviais, torna-se indispensável um estudo detalhado da morfologia, dinâmica sedimentar e de fluxos de um rio ainda considerado natural, sem a presença de grandes obras de engenharia. Com isso, conhecer o comportamento deste rio torna-se de fundamental importância geoambiental, para o rio Ivaí e, conseqüentemente, para o estado do Paraná, pois as informações geradas a partir deste estudo podem vir a servir para o manejo, planejamento e gerenciamento desse sistema, bem como o desenvolvimento de futuras pesquisas na área de geografia, ecologia, entre outras ciências.

CAPÍTULO II

PRESSUPOSTOS TEÓRICOS

II.1- PERFIL LONGITUDINAL

Os rios são caracterizados por apresentarem processos hidrológicos e geomorfológicos, frente a mudanças climáticas e temporais. Neste sentido, Petts (2000) comenta que eles devem ser vistos sob três dimensões espaciais – longitudinal, lateral e vertical. Frente a essas dinâmicas espaciais, a longitudinal vem a contribuir para a geomorfologia, principalmente quando se considera o conceito do “Continuo Fluvial” (*River Continuum Concept - RCC*), proposto por Vannote et al (1980), que consideram os rios como sistemas que apresentam um gradiente contínuo de condições ambientais.

Considerando ainda os rios como sistemas com equilíbrio dinâmico, Montgomery (1999) propõe uma alternativa ao RCC, denominada “Domínios de Processos” (*Process Domain Concept*), o qual considera a influência dos processos geomorfológicos na variabilidade espacial e temporal que ocorre nos sistemas. De acordo com este autor, a combinação do clima, da geologia e da topografia determina a área de formação dos sistemas, influenciando os processos que ali irão ocorrer.

Entendem-se como rios em equilíbrio (*graded rivers*), os cursos fluviais que apresentam a curva de seu perfil longitudinal mais ajustada a uma equação logarítmica, não apresentando ao longo de seu curso nenhum processo de agradação ou entalhe fluvial (ETCHEBEHERE, 2000, FORTES, 2003), ou seja, rios que atingiram um estágio de estabilidade (MORISSAWA, 1968).

Os canais fluviais são grande importância para as análises de cunho tectônico por serem elementos sensíveis a modificações crustais, respondendo de imediato aos processos deformativos (ETCHEBEHERE, 2000), no entanto, os perfis longitudinais configuram uma das representações mais empregadas para a detecção destas modificações, pois respondem aos processos de soerguimento atual e também podem indicar estruturas ativas (GORNITZ & SEEBER, 1990).

O perfil longitudinal é um elemento importante para o entendimento dos processos geomorfológicos que ocorrem na paisagem (KNIGHTON, 1998) e consiste num método simples e eficaz, que basicamente utiliza-se de dados de altitude e extensão do canal, para a geração de uma curva de ajustamento logarítmico côncavo ascendente, onde se verificam maiores declividades nas nascentes e menores em direção à foz, sendo a representação gráfica característica de rios em estado de equilíbrio.

Normalmente, os rios ao longo de seu curso possuem segmentos em equilíbrio (ajustados) e em desequilíbrios (desajustados). Neste contexto, Carlson (1969) ressalta que os trechos em equilíbrio apresentam inclinações suaves e constantes no perfil longitudinal, já os trechos em desajustes apresentam irregularidades ou mesmo deformações em seu traçado.

Levando em consideração a premissa que os cursos d'água buscam sempre o equilíbrio dinâmico, vários autores, dentre eles Guedes et al (2006) utilizaram de curvas de melhor ajuste (funções logarítmica), com coeficientes superiores a 0,8 para determinar trechos seja em equilíbrio, seja anômalos nos perfis longitudinais. Para a determinação destes trechos, adotaram afastamentos iguais ou superiores a dez metros, como indicativos de prováveis anomalias, refletindo possíveis deformações de caráter neotectônico.

A presença de rupturas nos perfis é decorrente de vários fatores, dentre eles a entrada de tributários, heterogeneidade da composição litológica e atividade tectônica local (VOLKOV et al,1967). Dessa forma, em áreas onde as rochas são mais friáveis, por exemplo, registram-se os menores gradientes de declividades. Por sua vez, nos locais onde se encontram rochas mais resistentes à erosão, ocorrem gradientes mais acentuados (GORNITZ & SEEBER, 1990).

O perfil longitudinal dos canais fluviais é um elemento chave para a geomorfologia fluvial e hidrologia, pois reflete declive e gradientes de energia e mudanças ao longo do curso fluvial (PHILLIPS & LUTZ, 2008). Vários autores ressaltam que a concavidade da curva do perfil é a resposta da interação entre a vazão, carga de fundo, carga de sedimento e as características morfológicas do canal ao longo de seu curso. Mas para poder compreender seu traçado é necessário que seja feito um estudo detalhado levando em conta a geologia, a evolução

morfogenética, bem como o estudo das mudanças na morfologia, sinuosidade e estrutura de fluxo no canal fluvial (DEMOULIN, 1998).

II.2- ÍNDICE DE GRADIENTE (RDE)

Hack (1973) propôs o índice de gradiente RDE (*gradient index*) como um elemento bastante prático para a determinação de “anomalias” significativas na concavidade natural do perfil longitudinal, o que possibilitou a normalização dos valores de gradiente e a identificação de anomalias de drenagem em cada trecho de seu curso.

O índice de RDE pode ser aplicado nos canais fluviais por trechos ou em sua totalidade.

$$RDE_{\text{TRECHO}} = (\Delta H / \Delta L) \times L$$

$$RDE_{\text{TOTAL}} = (\Delta H / \lg L)$$

Onde: ΔH corresponde à diferença altimétrica entre dois pontos seleccionados do curso de água; ΔL corresponde o comprimento do trecho analisado; L corresponde à extensão total do canal e $\lg L$ corresponde ao logaritmo natural da extensão total do curso d'água.

Seeber & Gornitz (1983), em seu estudo nos rios do Himalaia consideraram que, quando o índice de RDE_{TRECHO} dividido pelo índice de RDE_{TOTAL} resultar valores a acima de 2, estes podem determinar anomalias, classificadas em duas categorias. Quando os índices obtidos estiverem entre os limiares 2 a 10 as anomalias são categorizadas de 2ª ordem, já se os valores obtidos forem iguais ou superiores a 10, estas anomalias serão classificadas de 1ª ordem. Mas se valores forem inferiores a 2 serão estes trechos estarão em equilíbrio (ETCHEBEHERE, 2000).

A utilização desse índice permite detectar, no perfil longitudinal de um rio, alterações no seu curso, uma vez que relaciona a declividade do canal com a extensão do respectivo trecho, fornecendo assim, um índice para comparação de trechos fluviais de diferentes magnitudes (MARTINEZ, 2004).

A aplicação dos índices RDE no Brasil ainda é recente. Etchebehere (2000) foi um dos pioneiros a empregar esta metodologia para a detecção de possíveis anomalias em diferentes escalas. A partir do ano de 2000, a utilização dos índices de RDE começa a se difundir no Brasil, sendo empregados em diversos estudos geomorfológicos, como na bacia do rio Pirapó (MARTINEZ, 2004), na bacia do ribeirão Anastácio (GUEDES et al, 2006 e GUEDES, 2008).

Muitos autores, como Chen et al (2003) e Chen et al (2006), comentam que o índice de RDE, ou também denominado índice de Hack, está intrinsecamente ligado com o *stream power* (potência do canal), pois é o produto da vazão e da declividade da lâmina de água, assim sendo reflete a capacidade do rio erodir o substrato e transportar sua carga sedimentar (ETCHEBEHERE, 2000).

Além disso, o índice de RDE constitui como uma importante ferramenta para a identificação de mudanças ao longo do canal fluvial, que podem ser influenciadas por diversos fatores, dentre eles pode-se citar: confluência de tributários, variações na resistência à erosão do substrato rochoso, erosão remontante por mudança brusca em nível de base à jusante ou ainda por deformações neotectônicas locais ou na bacia de drenagem (ACKLAS Jr. et al., 2003).

II.3- ALGUMAS CONSIDERAÇÕES A RESPEITO DE GEOMETRIA HIDRÁULICA

O ajuste de um rio às várias condições hidrológicas reflete em sua morfologia, isto é, nos perfis longitudinais e transversais (SUGUIO & BIGARELLA, 1979). A análise da morfologia do canal baseia-se em medições que ajudam na qualificação e quantificação dos processos atuantes em função de algumas variáveis da geometria hidráulica.

De acordo com Leopold & Maddock (1953), a geometria hidráulica descreve as relações entre as características hidráulicas do canal, principalmente largura, profundidade, velocidade, carga suspensa e vazão. A forma do canal e a área da seção transversal se pode diferenciar dentro de um mesmo segmento de estudo (ALAN & CASTILHO, 2007), e qualquer alteração na vazão do canal fluvial

resultará em uma mudança nas variáveis hidráulicas. Leopold & Maddok (1953) ressaltam que os elementos da geometria hidráulica são de grande importância para o entendimento do sistema, uma vez que determinam a forma da seção transversal do canal e a sua variação ao longo de seu curso à jusante, produzindo um sistema em equilíbrio.

A vazão fluvial está diretamente relacionada com a área da seção transversal (largura x profundidade média) e a velocidade do fluxo. A distribuição da velocidade da água de um rio depende de vários fatores, principalmente da energia do gradiente e a relação entre a água e a resistência pelo atrito com o canal dada pela rugosidade e pelo perímetro úmido. A rugosidade, por sua vez, é constituída pela somatória de uma série de fatores (irregularidades, obstruções, vegetação, formas de leito, etc.) isolados e derivados da relação água-leito (BRAVARD & PETIT, 2000).

Geralmente, as maiores velocidades estão localizadas próximas à superfície e diminuem quando se aproximam do fundo e das margens. Em canais simétricos, as maiores velocidades estão abaixo da superfície e centralizadas no canal, ao passo que, em direção às margens e ao fundo as velocidades diminuem. Já em canais assimétricos, as velocidades deslocam-se do centro do canal e migram para áreas de maiores profundidades (MORISAWA, 1968).

Em rios aluviais, a geometria hidráulica aborda as relações das variáveis morfológicas (largura e profundidade do canal) e hidrodinâmica (velocidade de fluxo) com a vazão. A relação entre a seção do canal e a velocidade de fluxo determina também o tamanho máximo do material a ser transportado (competência), e o volume de água que passa pela seção determina a quantidade de material transportado (capacidade) (SUGUIO & BIGARELLA, 1979). Em rios que correm sobre rocha (*bedrock channel*¹), o ambiente hidráulico é bem diferenciado dos rios aluviais. Em geral, nestes rios ocorrem maiores gradientes, velocidades e intensidades na turbulência do fluxo, ao se comparar estes parâmetros com os dos rios aluviais.

¹ Bedrocks channel - rios que apresentam inexistência de sedimentos, até mesmo em condições de baixas velocidades de fluxo, porém não são passíveis de serem erodidos (GOUDIE, 2004)

O fluxo ao percorrer o canal desenvolve uma série de trabalhos cuja energia é oriunda da transformação da energia potencial ($E_p = \gamma \cdot h$ – peso específico da água multiplicado pela altura) em energia cinética ($E_c = 0,5\gamma v^2$ – peso específica da água multiplicado pela quadrado da velocidade dividido por dois). Com essa energia, o canal realiza vários tipos de trabalhos: 1) vencer a viscosidade cisalhante e turbulência (fricção interna), 2) vencer o atrito contra a borda do canal (fricção externa), 3) erosão, 4) transporte de sedimento. A parte da energia para a realização destes dois últimos trabalho é denominada potência de canal (“*stream power*”) (NANSON & CROKE, 1992).

A potência total do canal ou *stream power* (Ω) e a potência específica do canal ou *stream power* específico (ω), (*stream power* por unidade de largura do canal) representam variáveis de grande importância para os estudos de geomorfologia fluvial, pois afetam na capacidade de transporte de sedimentos e influenciam no controle de diversos aspectos da forma do canal (NANSON & CROKE, 1992). Charton (2008) complementa que o *stream power* define a capacidade que o fluxo fluvial possui para transportar os sedimentos, além de expressar o dispêndio de energia do rio para realizar os processos fluviais, de erosão, transporte e deposição ao longo de seu curso.

Por fim, o *stream power* específico serve como um excelente parâmetro para os estudos tridimensionais da evolução da rede de drenagem (KNIGHTON, 1999), além disso, como já foi ressaltado anteriormente, está intrinsecamente ligado ao índice de RDE.

CAPÍTULO III

PRESSUPOSTOS METODOLÓGICOS

Este estudo foi realizado em três etapas. A primeira com a elaboração e análise do perfil longitudinal e aplicação de metodologias para a determinação de anomalias de drenagem para o rio Ivaí e alguns de seus tributários. A segunda etapa consistiu em levantamento de dados em campo e a terceira na análise laboratorial e de gabinete. Estas etapas serão descritas minuciosamente a seguir.

III.1- PERFIL LONGITUDINAL E MÉTODOS PARA DETERMINAÇÃO DE ANOMALIAS DE DRENAGEM

Para este estudo foi elaborado o perfil longitudinal do rio Ivaí e de alguns de seus principais tributários (rios dos Patos, São João, Keller, Anhumáí, Paranaíba, Mourão, Antas, Ligeiro, Alonso, Corumbataí). Para isto, foram utilizadas cartas topográficas do Exército Nacional e IBGE nas escalas de 1:100.000 e 1:50.000 e curvímeter analógico. Os perfis longitudinais foram obtidos a partir de um gráfico, onde o eixo das coordenadas corresponde às altitudes (m) e o eixo das abscissas a extensão do curso fluvial (km).

Para a análise do perfil longitudinal utilizou-se a metodologia mencionada por McKeown et al (1988 apud ETCHEBEHERE,2000) a qual leva em consideração que todo curso fluvial procura o seu equilíbrio, sofrendo para isso erosão ou agitação seu próprio leito. Assim sendo, buscou-se determinar uma equação e uma linha de melhor ajuste ao perfil, sendo consideradas anomalias os afastamentos superiores a 10 metros dessa linha. Trechos acima da linha de melhor ajuste forma considerados áreas ascendentes e abaixo desta, áreas subsidentes (Fig. 1).

Para o cálculo do índice de gradiente (RDE) por trecho e em sua totalidade foi utilizada a metodologia descrita por Hack (1973) utilizando as seguintes equações:

$$\text{RDE trecho} = (\text{DH}/\text{DL}) \times \text{L}$$

Onde:

DH é a diferença altimétrica entre dois pontos seleccionados do curso d'água;

DL é o comprimento do trecho analisado;

L corresponde à extensão acumulada do rio até o ponto médio do trecho onde o índice RDE está sendo calculado.

$$RDE_{total} = (DH/Lg L)$$

Onde:

DH é a diferença altimétrica entre a cota superior e inferior do canal, ou seja, a diferença entre a cota localizada a montante do rio e a cota localizada na sua foz; Lg

L é o logaritmo natural da extensão total do curso d'água.

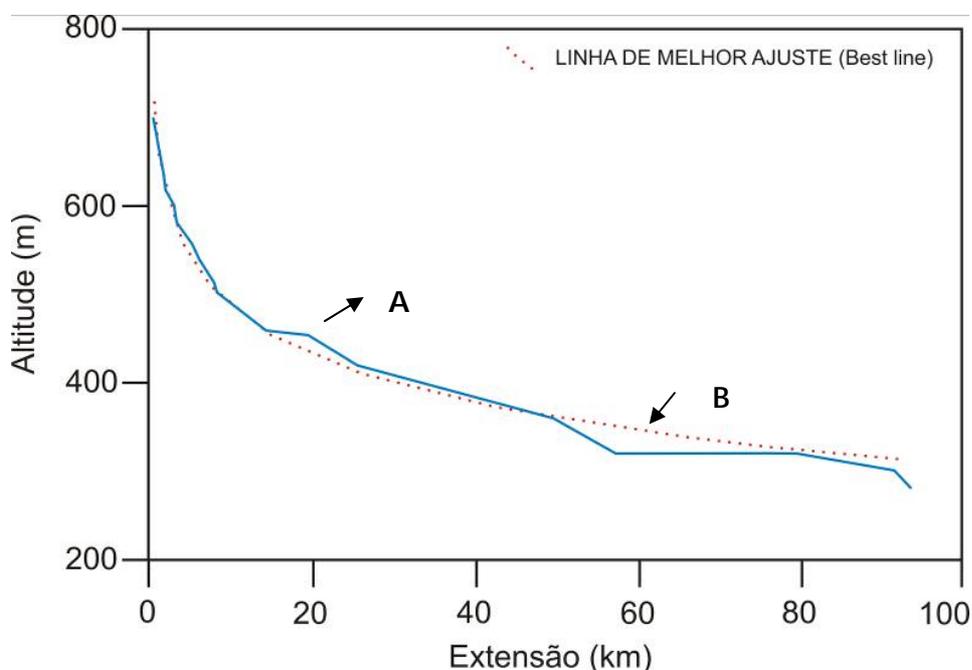


Figura 1 - Gráfico hipotético de um rio para demonstrar áreas com trechos anômalos (em ascensão – A e em subsidência – B), determinados em função da linha de ajuste

Para a determinação das anomalias de drenagem foi utilizada a razão entre $RDE_{Trecho} / RDE_{total}$. Os valores compreendidos entre os limiares 2 e 10 correspondem a anomalias de 2ª ordem, já os valores superiores a 10, anomalias de 1ª ordem. E por fim, foram gerados mapas de isovalores de RDE_{total} e também mapas de isovalores das anomalias obtidas por meio da razão entre $RDE_{Trecho} / RDE_{total}$, ambos processados no software *Surfer 8.0*.

III.2- LEVANTAMENTO DE DADOS EM CAMPO

O levantamento de dados em campo foi realizado no período de 24 a 26 de julho de 2007 e 09 de abril de 2008, onde foram obtidas 6 seções ao longo do curso do rio Ivaí: a) Seção Rio dos Patos, b) Seção Teresa Cristina, c) Seção Cândido de Abreu, d) Seção Porto Ubá, e) Seção Porto Paraíso do Norte e f) Seção Foz. Estas seções foram escolhidas uma vez que possuem no local ou em suas proximidades estações fluviométricas e apresentaram-se em trechos com anomalias detectadas pelo RDE.

Em campo foram efetuadas seções transversais no canal, utilizando uma ecossonda modelo Furuno GP 1650-WF, acoplada a um Sistema de Posicionamento Global (GPS), ambos os equipamentos conectados a um computador portátil e ao software de navegação *Fugawi3*. Os sinais recebidos pela ecossonda e pelo GPS são armazenados em forma de tabelas e a correspondência entre as medições de profundidade (fornecidas pela ecossonda) e os dados de localização (fornecidos pelo GPS), resultam em um conjunto de pontos batimétricos georreferenciados, a partir dos quais é possível caracterizar a morfologia do canal fluvial.

Concomitante às coletas de dados batimétricos, nas seções Teresa Cristina, Cândido de Abreu, Porto Ubá, Porto Paraíso do Norte e Foz, foram obtidos dados de velocidade e estrutura de fluxo utilizando um perfilador Doppler-acústico de corrente – ADCP da marca RD Instruments modelo Rio Grande 600 kHz. Para a Seção Patos, a velocidade do fluxo foi mensurada por meio de um molinete fluviométrico e a vazão determinada pelo valor da área da seção vezes a velocidade média do fluxo.

Em cada seção, foram determinados três pontos para coleta de amostras de água e sedimento de fundo: Margem Direita (MD), Centro (C) e Margem Esquerda (ME), somente na Seção Patos que foram efetuadas coletas apenas nas regiões marginais. Nesses pontos foram coletadas amostras de água utilizando garrafa de Van Dohr vertical para a obtenção de sedimento e matéria orgânica em suspensão, armazenada em garrafas de polietileno em temperatura de até 4°C. Amostras de sedimento de fundo foram obtidas utilizando pegador de fundo tipo Pertersen modificado (0,0345m²), armazenados em sacos plásticos.

III.3- ANÁLISE LABORATORIAL E DE GABINETE

Em laboratório, as amostras de água foram processadas para a obtenção da carga em suspensão obtidas pelo do método descrito por Orfeo (1995). Para isto, foram seguidas as seguintes etapas:

- Queima de filtros de microfibras com abertura de 0,47mm em mufla por um período de 1 h a temperatura constante de 480°C.
- Pesagem dos filtros em balança analítica de precisão;
- Processamento de alíquotas de água, por meio de provetas, de 500 ml;
- Os filtros são conectados a uma bomba a vácuo e a recipientes para a o despejo das águas processadas.
- Após a filtração, as amostras são secadas em estufa a uma temperatura de 105°C por um período de 24 h.
- Após a secagem, os filtros são pesados repetidamente até atingir o peso constante.
- A determinação da carga em suspensão é dada pela diferença do peso final do filtro pelo peso inicial, multiplicados pelo volume filtrado (g/L).
- Para a determinação do conteúdo mineral e da matéria orgânica em suspensão, os filtros são queimados por 4 horas em mufla 480°C. Novamente os filtros passaram por processo de pesagem em balança analítica;
- A diferença de peso verificada corresponde ao conteúdo de matéria orgânica na carga suspensa;
- Para a obtenção da carga total em suspensão, dada em mg/L, é realizada a seguinte equação:

$$C_{ss} = (\text{Peso final} - \text{Peso Inicial}) \times 1000/0,5$$

Onde: C_{ss} - carga total em suspensão, 1000 – para a conversão das unidades g em mg e 0,5- volume filtrado (l).

- A matéria orgânica em suspensão é dada pela seguinte equação:

$$MO = (\text{Peso final} - \text{Peso pós-queima}) \times 1000/0,5$$

Onde: MO – Matéria orgânica em suspensão, 1000 – para a conversão das unidades g em mg e 0,5 - volume filtrado (l).

- O sedimento em suspensão é dado pela diferença da carga suspensa total (C_{ss}) menos a matéria orgânica em suspensão (S_s= C_{ss} – MO)

As amostras de sedimento foram secas a sombra e processadas através do método de peneiramento e pipetagem descritos por Suguio (1973), para a obtenção da textura granulométrica. As amostras com presença de matéria orgânica foram submetidas à queima utilizando 50 ml de peróxido de hidrogênio para 50 g de amostra. A amostra foi levada à chapa aquecedora a uma temperatura de 40°C, e depois elevada para 80°C, até a completa queima. Depois o material foi levado à estufa para término de secagem, para então ser destorroado e preparado para o peneiramento e/ou pipetagem.

Foram também obtidos os valores de rugosidade (coeficiente de Manning), Vazão de bankfull (margens plenas), número de Froude, número de Reynolds, declividade (slope), *stream power* e *stream power* específico, obtidos pelas equações a seguir:

- Coeficiente de Manning

$$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4 + n_5).m$$

Onde n= coeficiente de Manning, n₀= material de fundo, n₁= grau de irregularidade da seção, n₂= variação da seção transversal, n₃= obstrução, n₄= presença de vegetação e m= grau de meandramento (Quadro 1).

- Vazão de Bankfull (margens plenas)

Para os cálculos foram utilizados os valores de vazão de bankfull a vazão média, obtida pela série histórica, e a vazão com recorrência de 2,3 anos (Q_{2,3}), calculada a partir da seguinte equação:

$$I_r = \frac{(n+1)}{m}$$

Onde: I_r intervalo de recorrência, n número total de eventos considerados e m número de ordem do evento organizado numa escala em ordem decrescente.

n_0 = material do fundo	Terra	0,020
	Areia grossa e cascalho fino	0,025
	Cascalho grosso	0,028
n_1 = grau de irregularidade da seção	Fraca	0,005
	Média	0,010
	Forte	0,020
n_2 = variação da seção transversal	Gradual	0,000
	Alternância ocasional	0,005
	Alternância freqüente	0,010-0,015
n_3 = obstrução	Desprezível	0,000
	Fraca	0,010-0,015
	Apreciável	0,020-0,030
	Forte	0,040-0,060
n_4 = presença de vegetação	Fraca	0,005-0,010
	Mediana	0,010-0,025
	Importante	0,025-0,050
	Muito importante	0,050-0,100
m = grau de meandramento	Fraco	1,00
	Apreciável	1,15
	Forte	1,30

Quadro 1. Fatores constituintes do coeficiente de Manning (BRAVARD & PETIT, 2000, mod.)

- Número de Froude

$$Fr = v/(g.D)^{-2}$$

Onde v é a velocidade média; g a aceleração da gravidade e D a profundidade. – Assim, o limite do fluxo rápido-trânquilo é dado pelos valores do número Froude >1 ou <1 , respectivamente. O valor 1 é denominado de crítico.

- Número de Reynolds

$$Re = v.Rp/\mu$$

Onde v é a velocidade do fluxo; Rp o raio hidráulico ($Rp = \text{área da seção dividida pelo seu perímetro úmido}$); μ = a viscosidade. Assim quando $Re < 500$ o fluxo é laminar, 500 a 2500 o fluxo é de transição e > 500 o fluxo é turbulento.

- Declividade (slope)

A declividade foi obtida por meio da equação expressa a seguir, sugerida por Latrubesse (2008).

$$V = d^{0.67} \cdot S^{0.5} / n$$

Onde: v é a velocidade média da seção, d a profundidade média, S a declividade e n o coeficiente de Manning.

- *Stream Power* e *Stream Power* específico

$$\Omega = \gamma Q_b s$$

Onde Ω = energia da corrente (*stream power*); Q_b = vazão da seção (geralmente a vazão de margens plenas = Q_b); γ = peso específico do fluido e s = gradiente hidráulico. A aplicação do “stream power”, contudo requer seu valor em função da extensão do canal, ou seja, o “stream power” específico:

$$\omega = \gamma Q s / w \text{ ou } \Omega / w$$

Onde w é a largura do canal e ω é o *stream power* específico.

Os dados obtidos em campo e laboratório foram tabulados e, posteriormente, as estações foram ordenadas por meio da Análise dos Componentes Principais (ACP), com o objetivo de identificar gradientes espaciais baseados nas variáveis da geometria hidráulica, além das variáveis vazão, coeficiente de Manning, número de Froude, número de Reynolds, declividade, *stream power* e *stream power* específico (calculado utilizando a vazão de *bankfull* e a vazão instantânea), utilizando-se o programa PCOrd (versão 4.1).

CAPÍTULO IV

CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A bacia hidrográfica do rio Ivaí é a segunda maior do estado do Paraná, está situada entre as coordenadas geográficas 22 °56'17" - 25°35'27" de latitude sul e 50°44'17" - 53°41'43" de longitude oeste, ocupando uma área de 36.587 km² e aproximadamente 20% do território paranaense (Fig. 2). Possui um formato alongado e orientação norte-noroeste. A denominação rio Ivaí nasce na confluência do rio dos Patos, principal curso de origem, com o rio São João, na serra da Boa Esperança, nas proximidades do município de Ivaí, a uma altitude de 500 metros e percorre uma extensão 798 km, desde seu principal curso de origem até sua desembocadura com o rio Paraná, na altitude de 240 m.

IV.1- GEOLOGIA DA BACIA DO IVAÍ

A bacia do rio Ivaí, localizada no estado do Paraná, está inserida na Bacia hidrográfica do rio Paraná, em função de sua expressiva dimensão possui uma alta complexidade geológica, drenando litologias da Bacia Sedimentar do Paraná, representadas pelos Grupos Passa Dois, São Bento, Caiuá e sedimentos recentes (Fig. 3 e Quadro 2).

IV.2- ARCABOUÇO ESTRUTURAL

A bacia do rio Ivaí se desenvolve de um modo geral acompanhando o mergulho monoclinal das camadas paleozóicas e mesozóicas da Bacia Sedimentar do Paraná. A área da bacia é cortada por uma série de lineamentos estruturais de origem e tamanhos variados, dominadas por falhas, fraturas e lineações com direção preferencial NW-SE, paralela ao Arco de Ponta Grossa (CPRM, 1981).

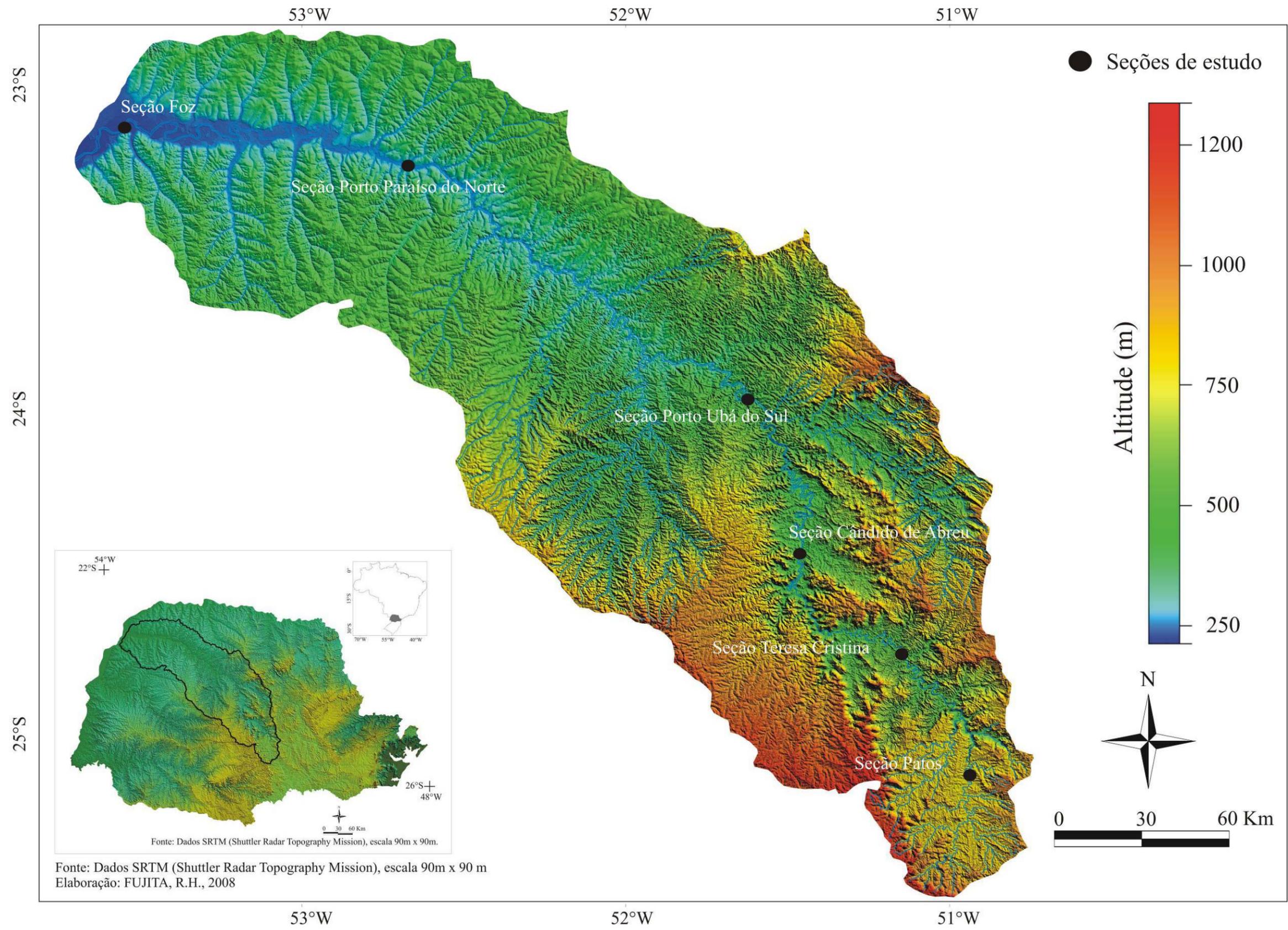


Figura 2 - Mapa de localização da área em estudo, com estações de amostragens

Na bacia do Paraná os alinhamentos refletem ou limitam áreas com grande densidade de diques e soleiras de diabásio, que são consideradas feições profundas que atingiram o manto superior e por isso constitui-se nas principais fontes de extravasamento de lavas básicas da região centro-oriental da Bacia do Paraná, além de condicionarem as rochas alcalinas (FERREIRA, 1982). Na bacia do rio Ivaí, esses alinhamentos referem-se às fraturas, ressaltadas nas imagens de sensores remotos como lineamentos fotogeológicos (Fig. 4).

As fraturas observadas na área em estudo possuem direções preferenciais de NW-SE associadas ao alinhamento do rio Alonso, que controla o rio Ivaí e alguns de seus tributários. O alinhamento do rio Alonso limita uma extensa área com concentrações lineares de diques de diabásio, que se inicia no meridiano de 51°W, segue pelo rio Alonso passando por São Pedro do Ivaí e sul de Paraíso do Norte, na direção N55W, atingindo o paralelo 23°S, perfazendo 270 km de extensão (FERREIRA, 1982).

As áreas de diques e lineamentos devem estar relacionadas à reativação tectônica dos alinhamentos e geração de novos fraturamentos preenchidos por diques, ocorrida no período Jurássico-Cretáceo (CPRM, 1981). Na região de Cândido de Abreu, os diques possuem largura máxima de 20 km e extensão não superior a 80 km. Na área de abrangência do alinhamento do rio Alonso ocorre movimentos estruturais de soerguimento mergulhando os blocos para o interior da bacia (CPRM, 1981). Na parte superior do rio Ivaí, a arquitetura regional dos estratos é representada por falhas e fraturas, que refletem no sistema de drenagem fluvial.

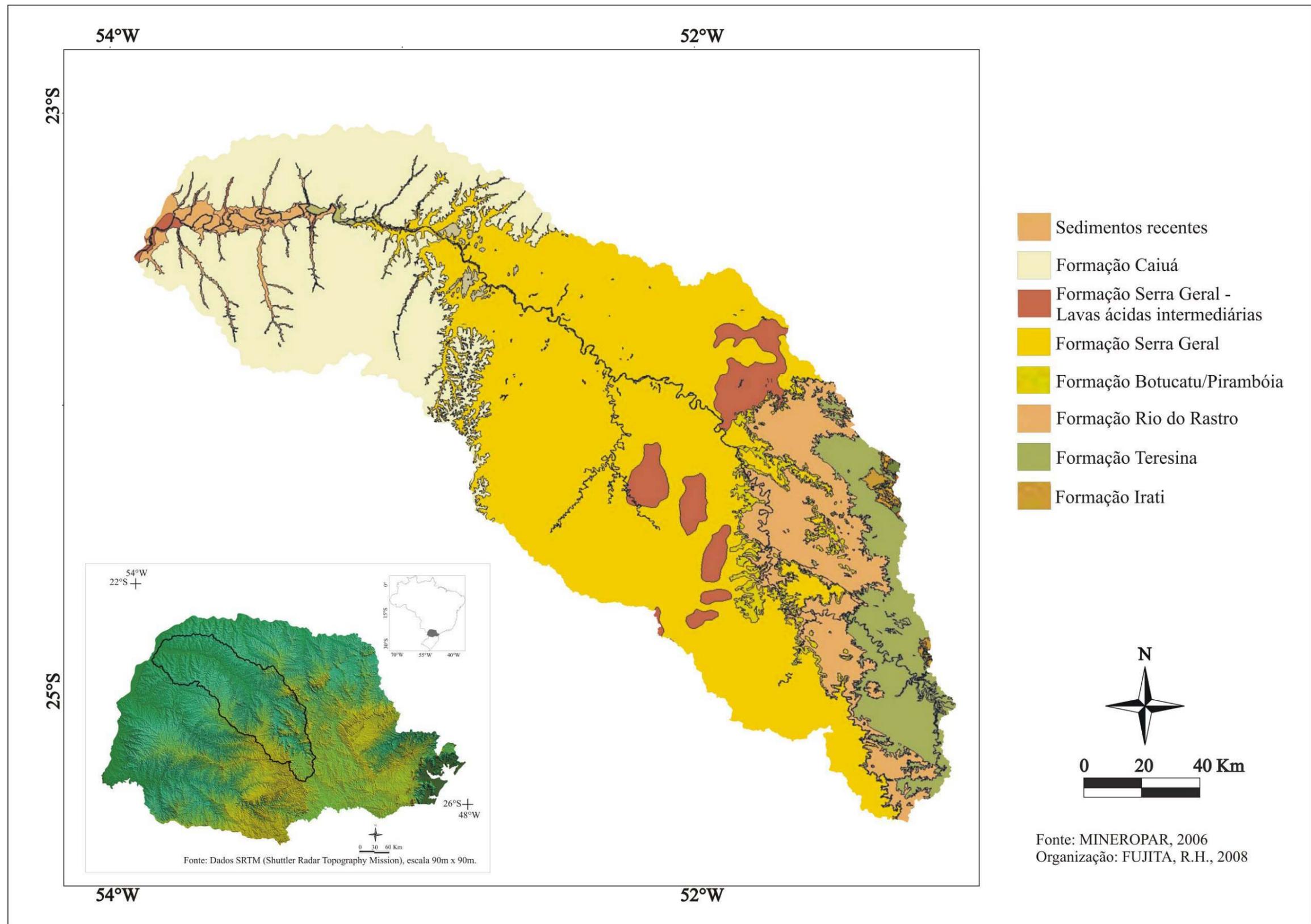


Figura 3- Mapa geológico da área de estudo

Idade Geológica	Nome do Grupo	Nome da Formação	Características sedimentares	Espessura (m)	Local de Ocorrência
Cenozóico		Sedimentos recentes	Pelitos, areias e cascalhos.	?	Toda a bacia
		Aluviões	Sedimentos inconsolidados		Planície aluvial e terraços
Mesozóico	Grupo Caiuá	Formação Rio Paraná	Formação Rio Paraná constitui-se de arenitos marrom-avermelhados e arroxeados, finos a médios, quartzosos, secundariamente arcoseanos. Estratificação cruzada de médio a grande porte, tangencial na base.	20-270	Curso inferior
		Formação Goio-Erê	Formação Goio-Erê é constituída de arenitos quartzosos freqüentemente subarcoseanos, marrom avermelhados a cinza-arroxeados, de granulação fina a muito fina, ocasionalmente média. Ocorrem sob forma de estratos tabulares de poucos metros de espessura com estratificação cruzada, intercalados com bancos de espessura métrica a decimétrica, de aspecto maciço ou de estratificação subhorizontal mal definida.		
	Grupo São Bento	Formação Serra Geral	Derrames de basalto toelítico, preto, afanítico, contendo camadas intertrapianas de arenitos róseos, com texturas finas a médias.	50-1000	Curso médio e inferior
		Formação Botucatu	Arenitos róseos a avermelhados, de texturas finas e caracterizados por estratificações cruzadas de grande porte e estratificações acanaladas.	50-260	Curso Médio
		Formação Pirambóia	Arenitos esbranquiçados, amarelados, avermelhados, siltico argilosos, com granulação média a muito fina, grãos polidos, subangulares e subarredondados, mal selecionados; com presença de intercalação de argilitos e siltitos.	5-20	Curso Médio
	Paleozóico	Grupo Passa Dois	Formação Rio do Rastro	Sedimentos clásticos de cores variegadas. Composto predominantemente de siltitos e arenitos finos esverdeados e arroxeados na parte basal e argilitos e siltitos vermelhos com intercalações lenticulares de arenitos finos	15-70
Formação Terezina			Siltitos arenosos de cores cinza esverdeado e verde com intercalações de arenitos de texturas finas a médias, bancos de calcários oolíticos, coquinas e folhelhos cinza escuros.	60-85	Curso Superior
Formação Serra Alta			folhelhos finos, preto-esverdeados, com pequenas lentes calcáreas, por xistos listrados, cinzento-esverdeados e por arenitos argilosos, vermelho-amarelados, tendo como uma de suas particularidades a presença de faixas estreitas ou nódulos grossos de sílex.	95-145	Curso Superior
Formação Irati			Argilitos e folhelhos cinza-escuros a pretos, pirobetuminosos associados a níveis de rochas carbonáticas	60-105	Curso Superior

Quadro 2- Quadro síntese das Formações rochosas presentes na bacia do rio Ivaí

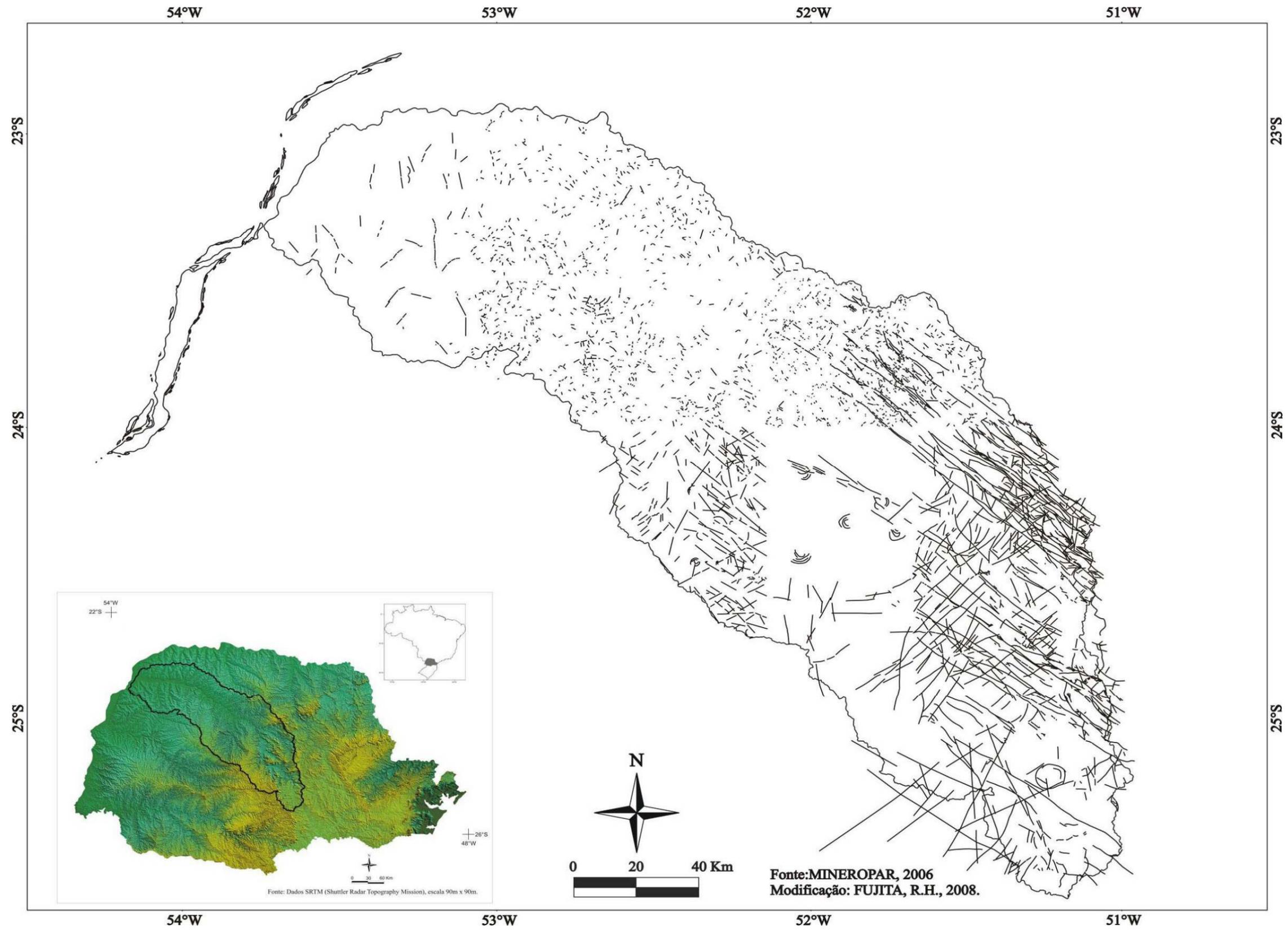


Figura 4 - Mapa dos principais elementos estruturais, considerados para análise de padrão de fraturamento

IV.3- GEOMORFOLOGIA

De acordo com a classificação realizada por Maack (2002), a bacia do rio Ivaí encontra-se situada no Segundo e Terceiro Planalto Paranaense.

O Segundo Planalto, de acordo com o autor citado, é caracterizado por apresentar “escarpas de estratos”, denominada de cuestras, configurado por um relevo suavemente ondulado, com colinas, outeiros e boqueirões, mas também paisagens de outeiros e vales junto a serra da Boa Esperança (Fig. 5).



Figura 5 - Estação Teresa Cristina, onde se observam outeiros e vales

O Terceiro Planalto representa o reverso da cuesta da escarpa da Serra Geral, constituída por estratos do arenito Botucatu, mas também com espessos derrames de lavas basálticas muito compactas (MAACK, 2002). Na bacia do rio Ivaí, o compartimento denominado por Maack (2002) de Terceiro Planalto, aloca-se no médio e baixo curso do rio Ivaí. No médio curso, o relevo apresenta-se suavemente ondulado a ondulado, com topos alongados, vertentes convexas, com presença de saltos e cachoeiras (Fig. 6). Já em área de domínio do Arenito Caiuá, o relevo configura-se uniforme e horizontalizado de colinas convexas, caracterizado por extensas chapadas e platôs suavemente ondulado.



Figura 6- Município de Faxinal – PR, Relevo movimentado formado por topos alongados (diques de diabásio) e encostas íngremes

Mais recentemente, a partir da análise da interação entre as formas de relevo, natureza das rochas, eventos tectônicos e a dinâmica morfogenética, Santos et al (2006) identificaram para o estado do Paraná três grandes unidades morfoestruturais, cinco unidades morfoesculturais e cinquenta sub-unidades morfoesculturais.

Dentre as unidades identificadas pelo autor, a bacia do rio Ivaí (Fig 7), devido a sua grande extensão, abrange duas unidades morfoestruturais, representadas pela Bacia Sedimentar do Paraná e pelas Bacias Cenozóicas e Depressões Tectônicas; três unidades morfoesculturais, representadas pelo Segundo e Terceiro Planalto e pelas planícies; e por vinte sub-unidades morfoesculturais, inseridas nas unidades anteriores, as quais estão listadas no quadro 3.

De modo geral, segundo Mineropar (2006) e Santos et al (2006) o relevo da bacia do rio Ivaí, no alto curso apresenta-se com alta e média declividade, presença de topo alongados e aplainados, com predomínio de vertentes côncavas e vales em V. Por sua vez, no médio e baixo curso, o relevo possui

predominantemente declividades médias a baixa, com formas de topos alongados e aplainados, vertentes convexas e vales em V, mas também encaixados.

Unidade Morfoestrutural	Unidade Morfoescultural	Sub-unidade Morfoescultural
Bacia Sedimentar do Paraná	Segundo Planalto Paranaense	Planalto de Ponta Grossa
		Planalto do Guatá
Bacias Sedimentares Cenozóicas e Depressões Tectônicas	Terceiro Planalto Paranaense	Planalto de Irati
		Planaltos Residuais da Formação Teresina
		Planalto de Prudentópolis
		Planaltos Residuais da Formação Serra Geral
		Planalto do Alto Ivaí
		Planalto Cândido de Abreu
		Planalto de Ortigueira
		Planalto de Santo Antônio da Platina
		Planlto Pitanga/Ivaiporã
		Planalto de Palmas/Guarapuava
Planalto do Alto/Médio Piquiri		
Planalto de Apucarana		
Planalto de Londrina		
Planalto de Maringá		
Planalto de Campo Mourão		
Planalto de Paranaíba		
Planalto de Umuarama		
	Planícies	Planícies Fluviais

Quadro 3- Unidades geomorfológicas da bacia do rio Ivaí. Modificada de Santos et al (2006)

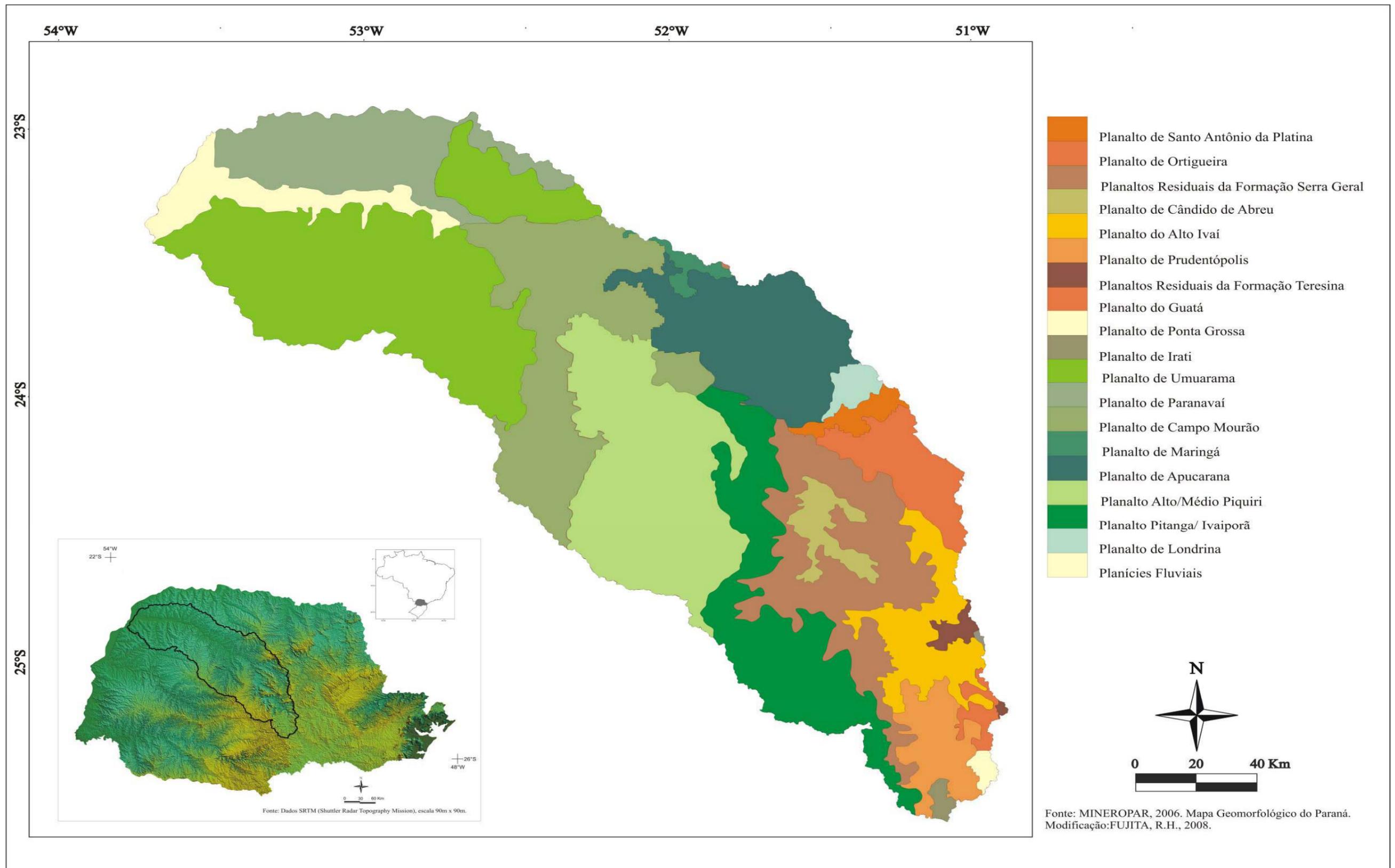


Figura 7- Mapa das sub - unidades morfoesculturais da bacia do rio Ivaí

Em 2008, Meurer propõe a uma classificação para a bacia do rio Ivaí, levando em consideração as variáveis de controle (geologia, pedologia, vegetação, topografia, clima e precipitação), dinâmica hidro-sedimentar, características morfométricas e distribuição da energia do canal ao longo do perfil longitudinal, denominada de Setorização em Ecorregiões, abrangendo cinco écorregiões e dez sub-écorregiões (Fig. 8), sendo elas:

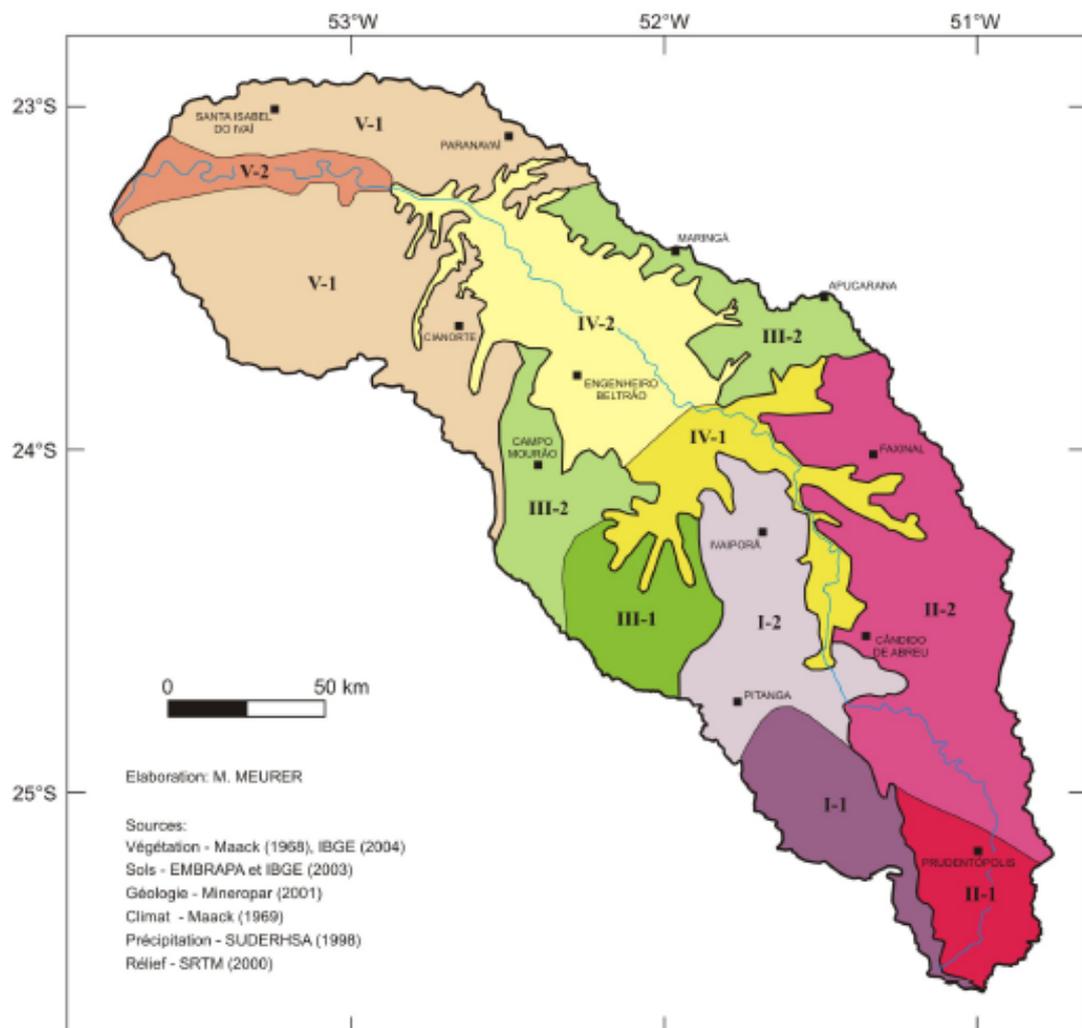


Figura 8 - Carta das ecorregiões da bacia hidrográfica do rio Ivaí. Fonte: Meurer, 2008

I Ecorregião do alto planalto basáltico

I.1 Floresta Ombrófila Mista sobre o planalto basáltico, com altitudes superiores a 500 metros. Solos profundos (predominantemente Neossolos Líticos e

secundariamente Latossolos), submetidos a um clima temperado úmido com verão quente e precipitações inferiores a 1600 mm/ano.

I.2 Floresta Ombrófila Mista sobre o planalto basáltico, com altitudes superiores a 500 metros. Solos profundos (predominantemente Neossolos Líticos e secundariamente Latossolos), submetidos a um clima temperado úmido com verão quente e precipitações superiores a 1600 mm/ano.

II Ecorregião do alto planalto Sedimentar

II.1 Floresta Ombrófila Mista sobre o planalto sedimentar, com altitudes superiores à 500 metros. Solos relativamente profundos (Argissolos e Latossolos e Neossolos Líticos secundários), submetidos a um clima temperado úmido, menos quente, com precipitações inferiores a 1600 mm/ano.

II.2 Floresta Ombrófila Mista sobre o planalto sedimentar, com altitudes superiores à 500 metros. Solos pouco profundos (Neossolos Líticos, mas também Argissolos e Latossolos), submetidos a um clima temperado úmido, menos quente, com precipitações inferiores a 1600 mm/ano.

III Ecorregião do Médio planalto basáltico

III.1 Floresta Estacional Semi-decidual sobre o planalto basáltico, com altitudes superiores a 500 metros. Solos pouco profundos (Neossolos Líticos), submetidos a um clima temperado úmido, com baixas temperaturas e chuvas abundantes, superiores a 1600 mm/ano e algumas regiões chegam a apresentar 1800 mm/ano.

III.2 Floresta Estacional Semi-decidual e Floresta Ombrófila Mista sobre o planalto basáltico com altitudes superiores a 500 metros. Solos pouco profundos (Neossolos Líticos), submetidos a um clima temperado úmido, apresentando baixas temperaturas e precipitações em torno de 1600 mm/ano.

IV Ecorregião do Médio Vale

VI.1 Floresta Estacional Semi-decidual no vale do rio Ivaí, apresenta altitudes inferiores a 500 metros. Solos profundos (Nitossolos) derivados do basalto

e submetidos a um clima temperado úmido, com temperaturas baixas e pluviosidade abundante, superiores a 1600 mm/ano.

VI.2 Floresta Estacional Semi-decidual no vale do rio Ivaí, apresenta altitudes inferiores a 500 metros. Solos profundos (Nitossolos) derivados do basalto e submetidos a um clima temperado úmido, com temperaturas baixas e pluviosidade menos abundante, inferiores a 1600 mm/ano

V Ecorregião com colinas de arenito e vales fluviais

V.1 Floresta Estacional Semi-decidual sobre colinas de arenito, apresenta altitudes inferiores a 500 metros. Solos profundos (Argissolos e Latossolos), submetidos a um clima temperado úmido com inverno quente e seco. Recipitações médias anuais inferiores a 1600 mm.

V.2 Floresta Estacional Semidecidual e Campos, sobre a planície aluvial do rio Ivaí, apresenta solos profundos (Latosolos e Gleysolos) submetidos a um clima temperado úmido com inverno quente e seco e precipitações médias anuais inferiores a 1600 mm.

IV.4- CLIMA

Segundo IAPAR (1994), baseado na classificação de Koëpen a bacia hidrográfica do rio Ivaí possui dois tipos climáticos principais: o subtropical, que compreende o curso superior da bacia, que apresenta temperatura média no mês mais frio abaixo de 18°C (mesotérmico), com verões frescos, temperatura média no mês mais quente abaixo de 22°C e sem estação seca definida, e o tropical, que apresenta temperaturas médias que variam de 18°C a 22°C, com verões quentes e presença de geadas, que abrange os cursos inferior e médio (Fig. 9).

Neste sentido, Andrade (2002) comenta que a bacia do rio Ivaí localiza-se numa região de transição de baixa para média latitude, o que ocasiona características tanto de clima temperado como subtropical na bacia. O autor verificou que a bacia do rio Ivaí apresenta uma variabilidade temporal e espacial na pluviometria, e apesar de não tão marcada, apresenta períodos chuvosos e de seca.

Os meses mais chuvosos estão associados aos meses de janeiro, fevereiro e março, por sua vez os períodos de seca compreendem os meses de junho, julho e agosto.

Ainda em relação à pluviosidade, Baldo (2006) compartimentou a bacia do rio Ivaí em quatro grupos, por meio da similaridade do padrão pluviométrico, sendo eles:

Grupo A - Abrange a região do baixo Ivaí, onde se verificam precipitações anuais médias de 1443,0 mm, sendo a mais baixa de toda a bacia, encontra-se numa área de transição climática com expressivas características de tropicalidade.

Grupo B – Localiza-se na área de transição do médio para o baixo Ivaí, este compartimento abrange características semelhantes ao grupo A, mas com pluviosidades anuais superiores, sendo registrados valores médios anuais de 1609,0 mm.

Grupo C – Abrange a região do alto e médio curso do rio Ivaí, inserido na área de transição entre o Segundo e Terceiro Planalto e na transição entre o clima tropical e subtropical. Possui pluviosidades médias anuais de 1706,0 mm.

Grupo D – Este compartimento está inserido na transição do segundo para o terceiro planalto, mais precisamente no curso superior do rio Ivaí, onde se encontram os municípios de Guarapuava e Pitanga. Neste compartimento foram registrados os maiores valores de precipitação média anual para todos os grupos, de 1821,8 mm, tendo como clima predominante o subtropical.

Tanto Andrade (2002) como Baldo (2006), concluem que na região a montante do rio Ivaí as altas altitudes (orografia) associada à continentalidade são as variáveis determinantes para o aumento da precipitação e do tipo climático predominante, Clima Subtropical, já a região mais a jusante sofre grande influência do Trópico de Capricórnio e da Massa Tropical continental, proporcionando um Clima com características de tropicalidade.

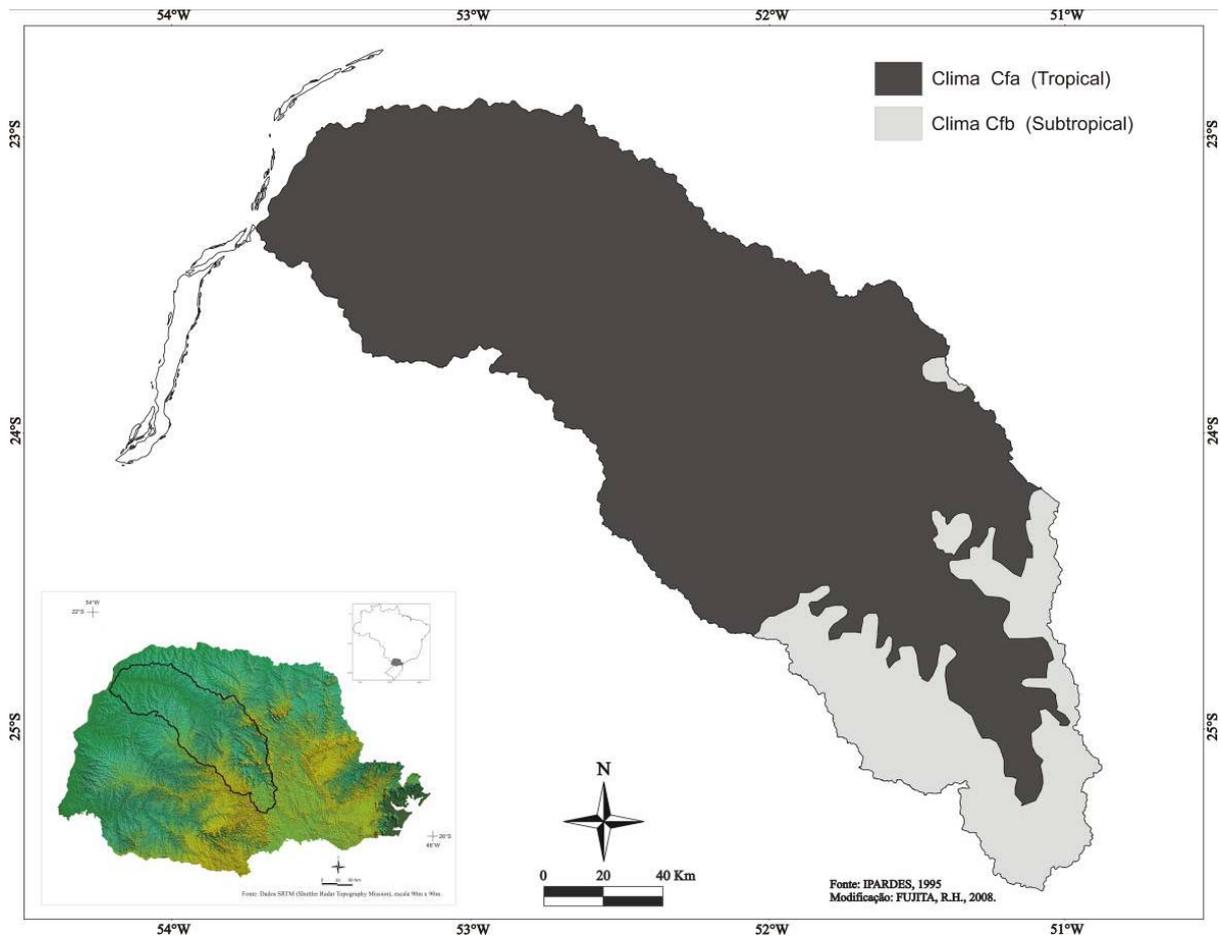


Figura 9 - Mapa de clima

IV.5 - VEGETAÇÃO NATURAL

Das sete regiões fitogeográficas que ocorrem no estado do Paraná, a bacia hidrográfica do rio Ivaí abrange duas, a Floresta estacional semidecidual e a Floresta ombrófila mista, além de apresentar uma pequena mancha de Cerrado (Fig. 10).

IV.5.1- Floresta Ombrófila Mista

A Floresta Ombrófila Mista ocupa regiões que apresentam temperaturas médias anuais em torno de 18°C, mas que apresentam de 3 a 6 meses com temperaturas inferiores a 15°C e precipitação média de 1500 mm, distribuída durante o ano (SANTOS, 2001).

A concepção de Floresta Ombrófila Mista procede da ocorrência da mistura de floras de diferentes origens, definindo padrões fitofisionômicos típicos, em zonas climáticas caracteristicamente pluviais. Sua fisionomia é marcada pela

presença do pinheiro do Paraná (*Araucaria augustifolia*), mas também pelos gêneros primitivos como *Drymis* (australásicos) e *Podocarpus* (afro-asiático). Outros gêneros e espécies associadas compõem esta região fitogeográfica, dentre elas: *Ocotea* (imbúia, canela), *Ilex paraguayensis* (erva- mate), *Mimosa scabrella* (bracatinga), entre outras.

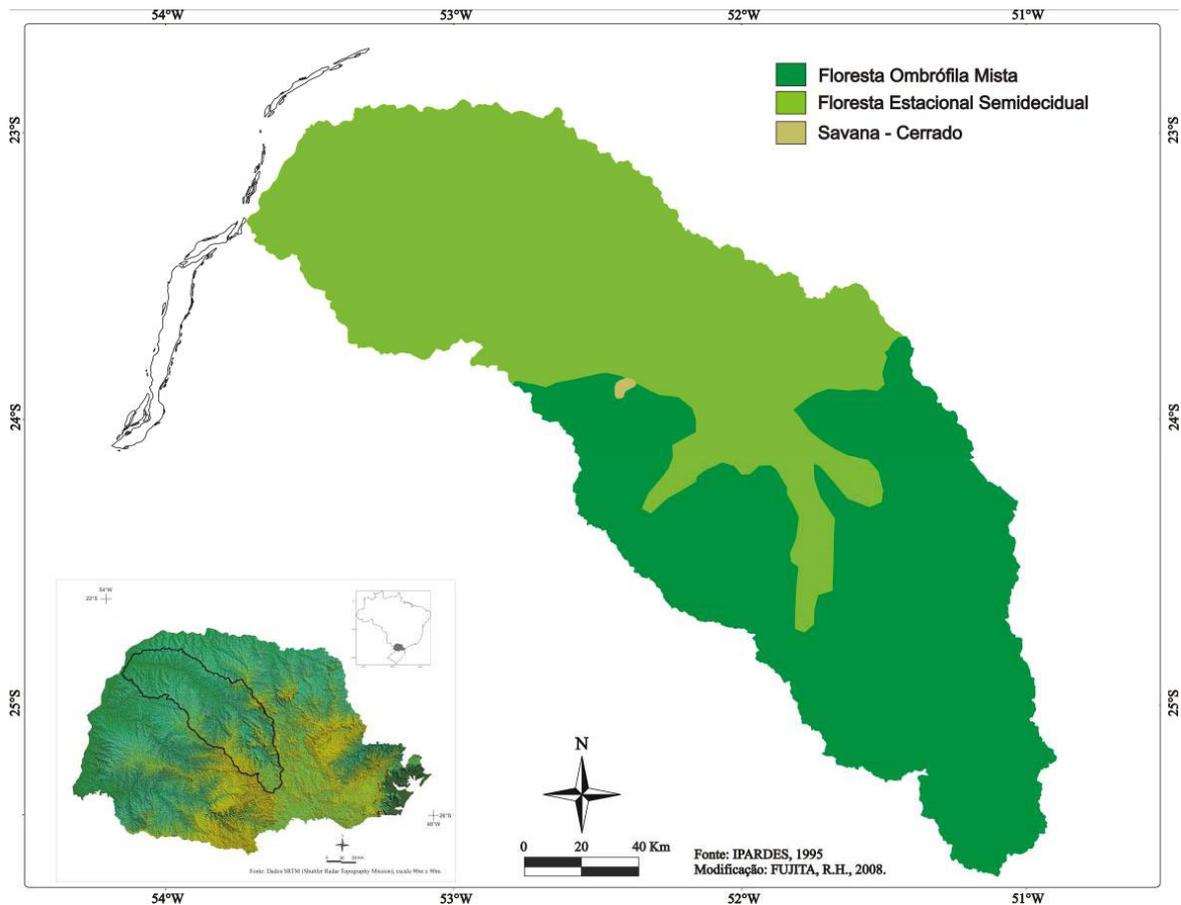


Figura 10 - Unidades fitogeográficas presentes na bacia do rio Ivaí

A formação mais característica da Floresta Ombrófila Mista está localizada em altitudes de 800 m, temperaturas amenas e geadas freqüentes, o que caracteriza o nível montano. Vários autores sugerem, dentre eles Rivera (2007) que a região fitogeográfica da Floresta Ombrófila Mista, não constitui uma formação homogênea e contínua, mas sim pela associação com outros tipos de vegetações.

No Paraná a Floresta Ombrófila Mista, recebe também a denominação de Floresta das Araucárias, e ocorrem na alta e média bacia do rio Ivaí, sob forma

montana, com altitudes variando de 400 a 1000m e submontana, em áreas com altitudes inferiores a 400 m.

IV.5.2- Floresta Estacional Semidecidual

Segundo o IBGE (1992) a Floresta Estacional Semidecidual é um tipo de vegetação condicionada a uma dupla estacionalidade climática, uma tropical com verões chuvosos, seguida por estiagem acentuada e outra subtropical sem período seco, mas com seca fisiológica provocada pelo frio no inverno, com temperaturas médias inferiores a 15°C, o que ocasiona na vegetação a perda de parte das folhas (20 a 50%) nos períodos desfavoráveis.

Entre as principais espécies desta região fitogeográfica, podem-se citar: *Cariniana strelensis* (jequitibá), *Aspidosperma polyneuron* (peroba rosa), *Cedrela fissilis* (cedro), *Ficus* spp. (figueira), entre outras.

No Paraná, de acordo com Santos (2001), esta região fitogeográfica configura-se por ser uma floresta exuberante com uma grande diversidade de espécies vegetais, desenvolvida sobre as férteis terras roxas, originadas dos derrames basálticos e sobre o arenito Caiuá, onde assume menor porte, devido às condições do solo e menores pluviosidades.

Na bacia do rio Ivaí, encontram-se na região correspondente ao terceiro Planalto paranaense sob forma de floresta estacional semidecidual aluvial (na planície aluvial no entorno dos rios) e floresta estacional semidecidual submontana (abaixo dos 500 m de altitude) e montana (acima de 500m de altitude).

IV.5.3- Cerrado

Conforme IBGE (1992), a Savana, também denominada de Cerrado, constitui uma vegetação xeromorfa, preferencialmente de clima estacional (pelo menos 6 meses de estiagem), composta de herbáceas, estratos arbustivos baixos e esparsos. Normalmente ocorrem em regiões que apresentam solos lixiviados aluminizados.

No Paraná, em especial na bacia do rio Ivaí, este tipo de vegetação ocorre sob forma de fragmentos de Cerrado, do tipo Savana gramíneo lenhosa, composto por plantas lenhosas raquíticas que possuem maior resistência ao fogo e ao pisoteio

do gado, sendo observado este tipo de vegetação na região do município de Campo Mourão.

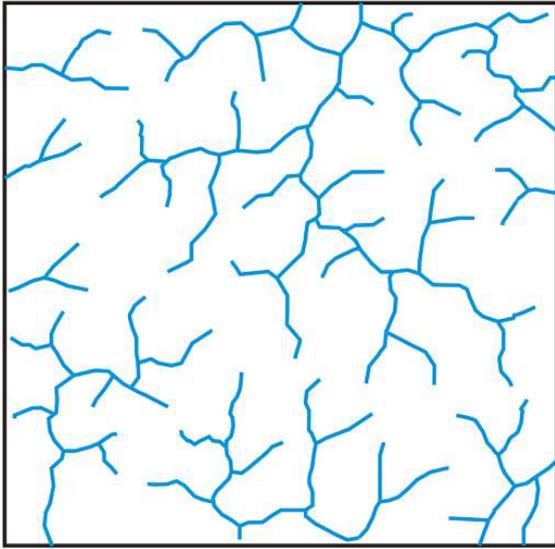
IV.6 - HIDROGRAFIA

O rio Ivaí é classificado como um rio antecedente, predominantemente de planalto, apresentando vários saltos e cachoeiras em seu percurso, principalmente no alto e médio curso (BALDO, 2006). Dos seus 798 km de extensão apresenta somente 150 km de trecho navegável, já nas proximidades da foz com o rio Paraná, trecho este que o rio Ivaí também desenvolve sua planície de inundação.

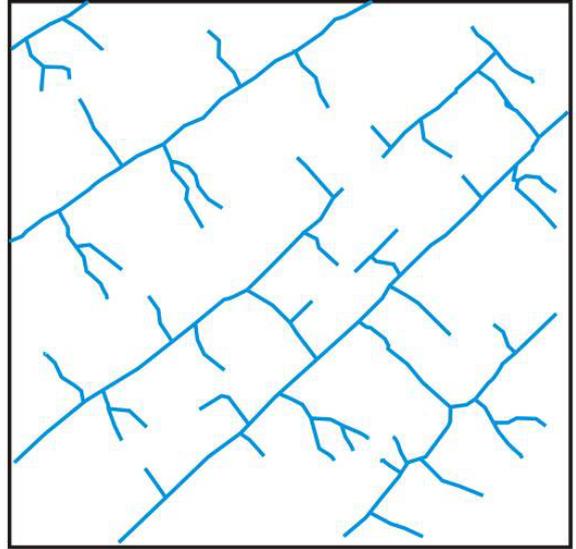
Ao todo o rio Ivaí recebe a contribuição de mais de 100 afluentes, dentre os quais podemos destacar os rios Patos e São João (tributários formadores), Alonso ou rio do Peixe, Anhumáí, Antas, Corumbataí, Keller, Ligeiro, Mourão, Paranaíba, entre outros (MAACK, 2002).

De acordo com Destefani (2005), o regime hidrológico do rio Ivaí possui baixa periodicidade sem período sazonal definido de cheia e estiagem. Ressalta ainda, que as vazões estão diretamente relacionadas às pluviosidades e a forma da bacia, segundo ela, a bacia possui uma pequena área de captação em relação à extensão do curso de água.

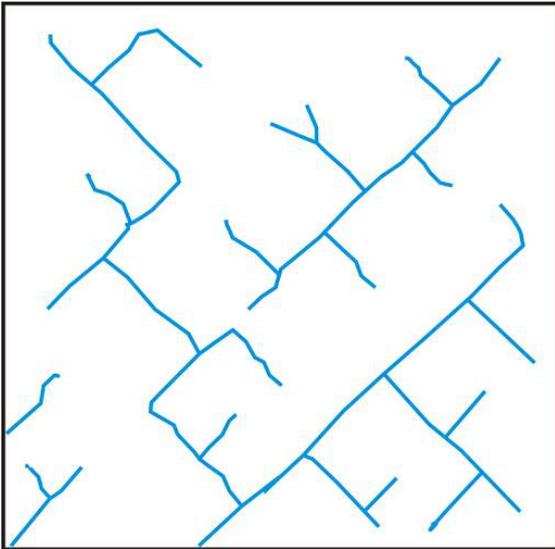
Conforme os tipos de padrão de drenagem (Fig. 11) o rio Ivaí apresenta um padrão de drenagem complexo. No alto e médio curso a drenagem possui concomitantemente padrão dendrítico, retangular e paralelo. Este comportamento é marcado fortemente pela estrutura geológica. No baixo curso, a influência do arenito Caiuá é bem assinalada. Nessa área o padrão de drenagem toma tipicamente dendrítico, encontrando-se, contudo, padrões retangulares e em treliça (Fig. 12).



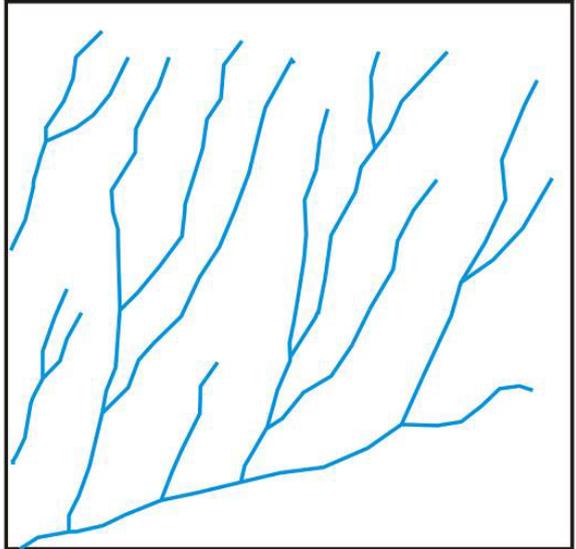
Dendrítica



Treliça



Retangular



Paralela

Figura 11- Tipos de padrões de drenagem

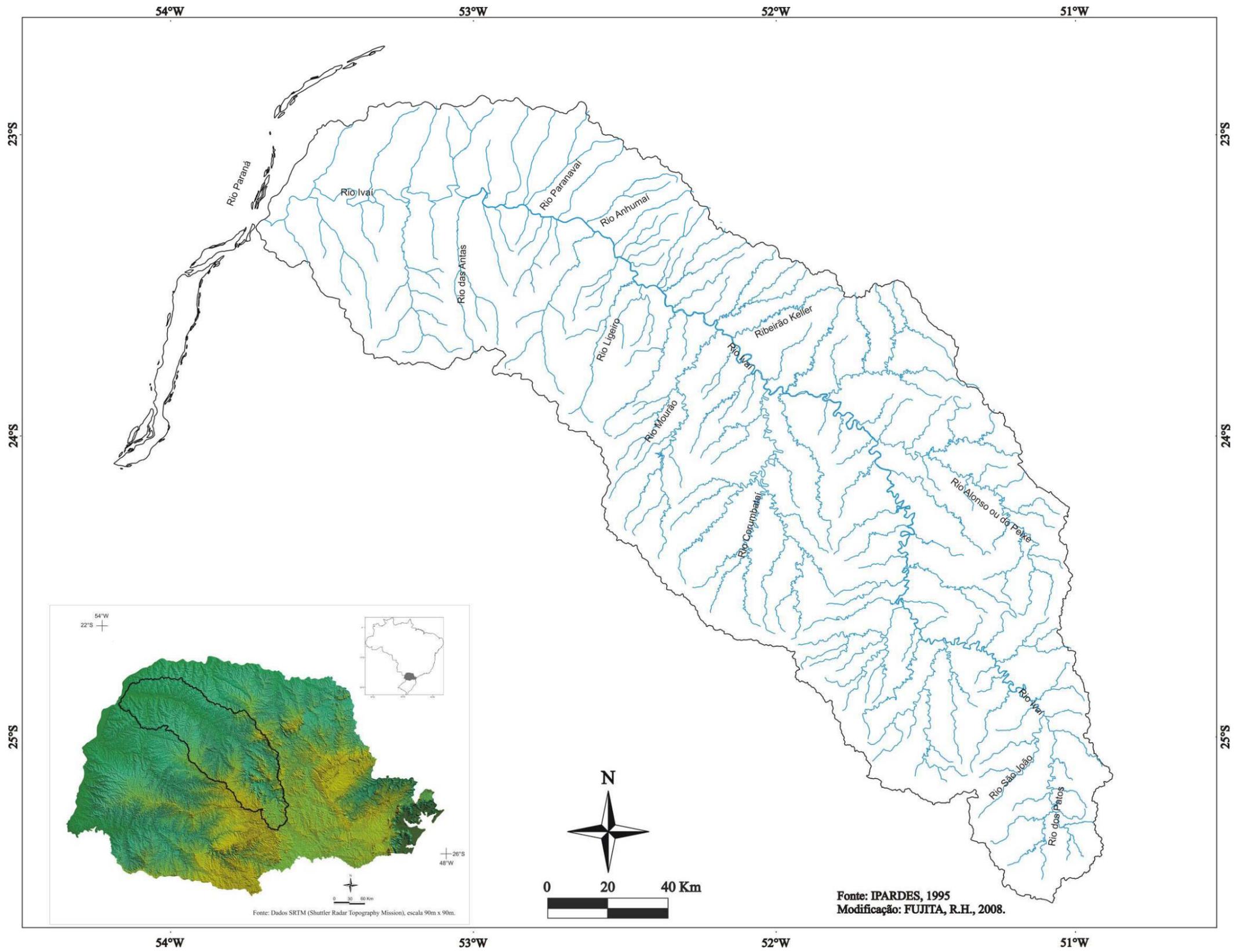


Figura 12 - Mapa de hidrografia da bacia do rio Ivaí

CAPÍTULO V

PERFIL LONGITUDINAL DO RIO IVAÍ E DE ALGUNS DE SEUS PRINCIPAIS TRIBUTÁRIOS E A APLICAÇÃO DO ÍNDICE DE RDE

Neste capítulo serão apresentados os resultados o perfil longitudinal e a aplicação do índice de RDE obtidas para o rio Ivaí e alguns de seus tributários, além de uma análise em macro escala da bacia, a partir de perfis transversais. Primeiramente serão abordados os resultados dos perfis longitudinais das principais drenagens da bacia do rio Ivaí (rio Ivaí, rio dos Patos e rio São João), em seguida a análise dos perfis de alguns afluentes das margens esquerda e direita da bacia do rio Ivaí, sendo eles: Rios Corumbataí, Mourão, Ligeiro e Antas (margem esquerda) e rios Alonso, Keller, Anhumá e Paranaíba (margem direita). Logo após, serão detalhados os resultados referentes à aplicação do índice de RDE para a bacia do rio Ivaí e em seguida uma análise dos índices de RDE_{TRECHO} e RDE_{TOTAL} . E finalmente, apresenta-se uma pequena discussão a partir dos resultados morfométricos e de macro-escala obtidos para a bacia do rio Ivaí.

V.1- PERFIL LONGITUDINAL DO RIO IVAÍ

O rio Ivaí possui uma extensão de 798 km, de sua nascente no rio dos Patos até sua foz junto ao rio Paraná, nas proximidades da ilha Ivaí. As altitudes variam de 1160 a 240 m, que representa uma amplitude de relevo de 920 m (Fig. 13).

Seu perfil revela um desajuste em relação à curva côncava de um rio equilibrado, de nascente à foz. Nele podem-se distinguir áreas em ascensão (convexas) e subsidências (côncavas) seguidas por rupturas de declive presente em todo o perfil longitudinal. As áreas em ascensão localizam-se entre os quilômetros 22 a 112,5 e 287 a 422 e as áreas em subsidência estão localizadas entre os quilômetros 115,5 a 167,5 km, perfazendo somente uma extensão de 52 km e entre 422 a 798, totalizando uma extensão de 376 km em subsidência. Nos primeiros 120 km de seu perfil longitudinal, o rio Ivaí possui maior energia no relevo, apresentando

declividades acentuadas (0,2 a 0,04), entre as cotas 1160 a 820m. A partir da altitude de 800 m, 29 km de extensão, verifica-se a presença um pequeno patamar seguido de declividades acentuadas até a altitude de 500 m, onde o rio dos Patos encontra-se com o rio São João dando origem ao rio Ivaí.

A partir da altitude de 400 m, 422 km de extensão, o rio Ivaí apresenta um longo trecho côncavo até sua desembocadura com o rio Paraná na altitude de 240 m (798 km). É neste trecho que se verificam a desembocadura dos rios Alonzo (400 m/375,5km), Corumbataí (300 m/427,6km), Mourão, Keller, Anhumai, Paranaíba (280 m/520, 527, 604 e 629km, respectivamente), Ligeiro (260 m/572km) e Antas (240 m/703km), que perfazem seus principais afluentes.

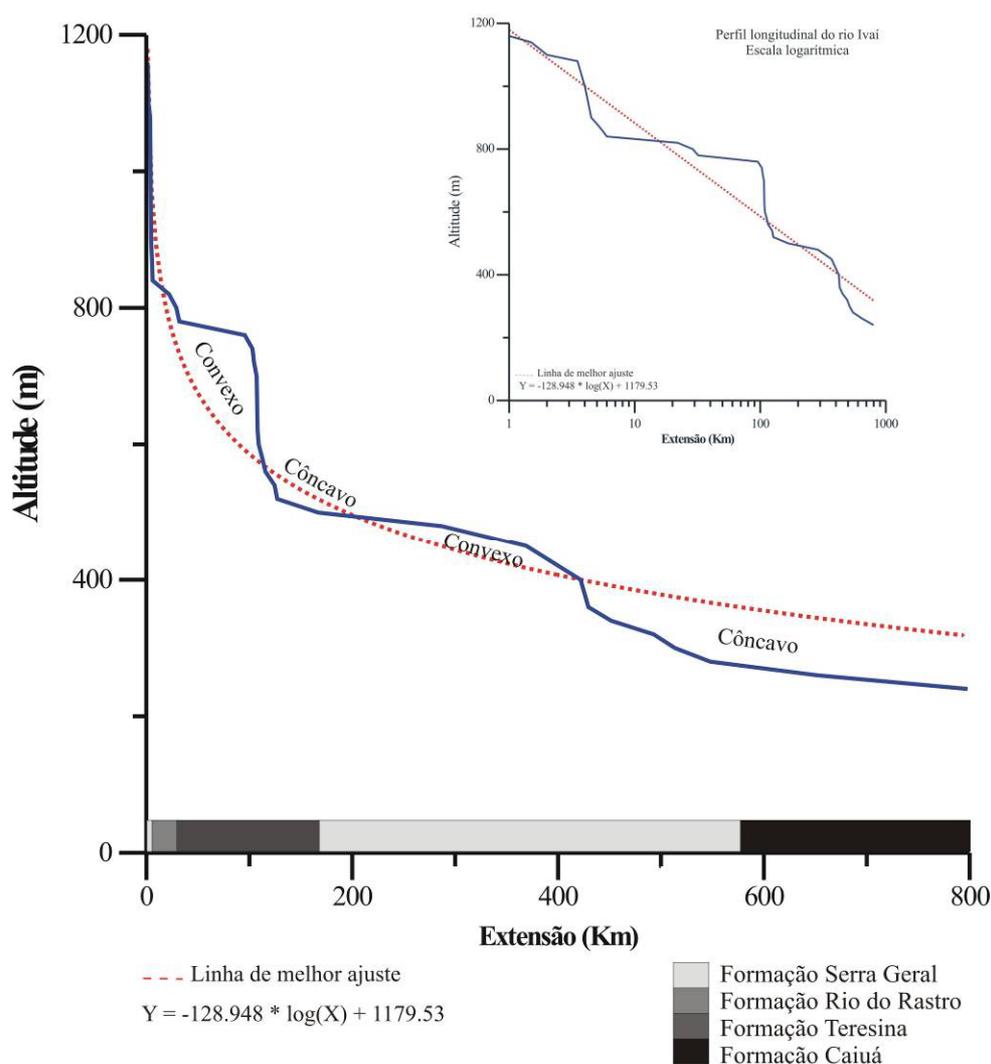


Figura 13 – Perfis longitudinais do rio Ivaí nas escalas aritmética e logarítmica, nota-se os trechos em desajustes fluviais

V.2- PERFIL LONGITUDINAL DO RIO DOS PATOS

O rio dos Patos possui uma extensão de 127 km, de sua nascente no município de Prudentópolis a sua foz nas proximidades do município de Ivaí. As altitudes variam de 1160 m a 500 m, representando uma amplitude de 660 m (Fig. 14). O rio encontra-se, em sua maior parte, desajustado, sendo distinguidos dois trechos em subsidência (côncavos) e um em ascensão (convexo), exceto para os seus primeiros 3,5 km (cota 1160 a 1000m) o rio dos Patos encontra-se em equilíbrio.

O trecho localizado entre as altitudes 820 a 560 m (22 a 112,5 km de extensão) constitui um segmento em subsidência que totaliza uma extensão de 90,5 km. Neste intervalo, verificam-se rupturas com desnível de até 120 m, marcada pela presença de corredeiras e saltos, muitos dos quais aproveitados para a exploração do turismo, mas também para a produção de energia elétrica, como é o caso do salto Barão do rio Branco.

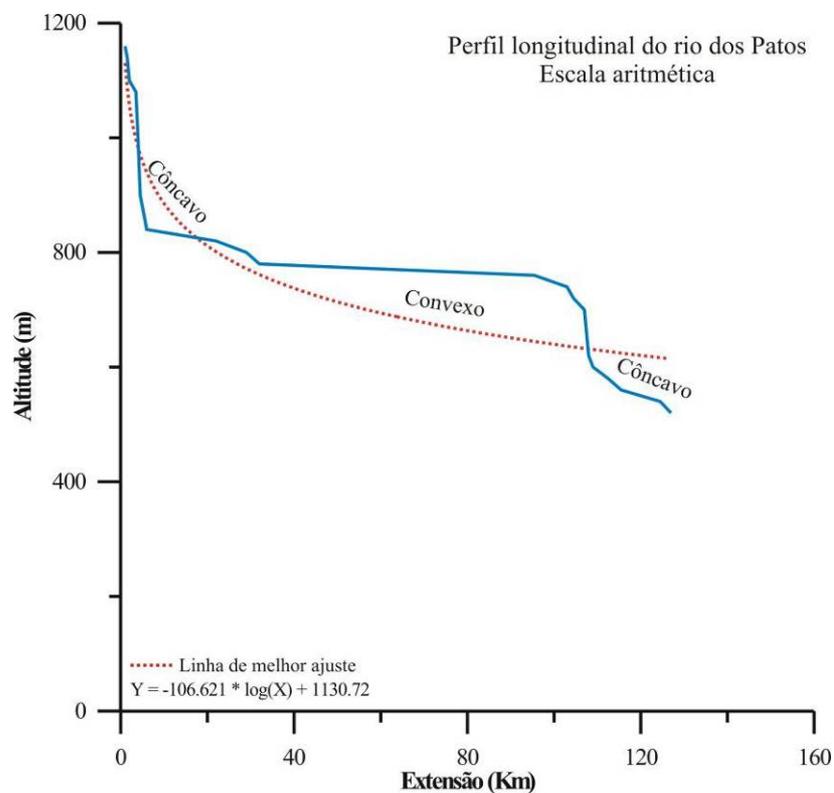


Figura 14 - Perfil longitudinal do rio dos Patos em escalas aritmética

V.3- PERFIL LONGITUDINAL DO RIO SÃO JOÃO

O rio São João possui 121,2 km de extensão, de sua nascente no município de Prudentópolis até a sua confluência com o rio dos Patos, nas proximidades do município de Ivaí. Apresenta amplitude de relevo de 540m (altitude 1040 a 500 m) (Fig. 15). Somente os primeiros 1,5 km o rio São João encontram equilibrados, sendo que a partir desse ponto o desajuste é marcante. Duas áreas em subsidência são observadas entre as altitudes 840 a 800 m e entre 620 a 500 m, perfazendo um total de 13,2 km de extensão de canal. Apresenta também um trecho em ascensão entre as cotas 800 a 620m que se entende por 106,5 km.

Dois segmentos de declividades acentuadas são reconhecidos, o primeiro entre as cotas 1040 a 800 m, com desnível de 160 m, trata-se de um trecho em equilíbrio, e o segundo entre as altitudes 760 a 500 m, com desnível de 260 m, correspondendo o trecho final do rio São João que se encontra em desequilíbrio. Neste trecho o rio São João desenvolve seu cânion com presença de corredeiras e saltos. Destaca o salto São João de 84 m de altura, utilizado principalmente para a exploração turística.

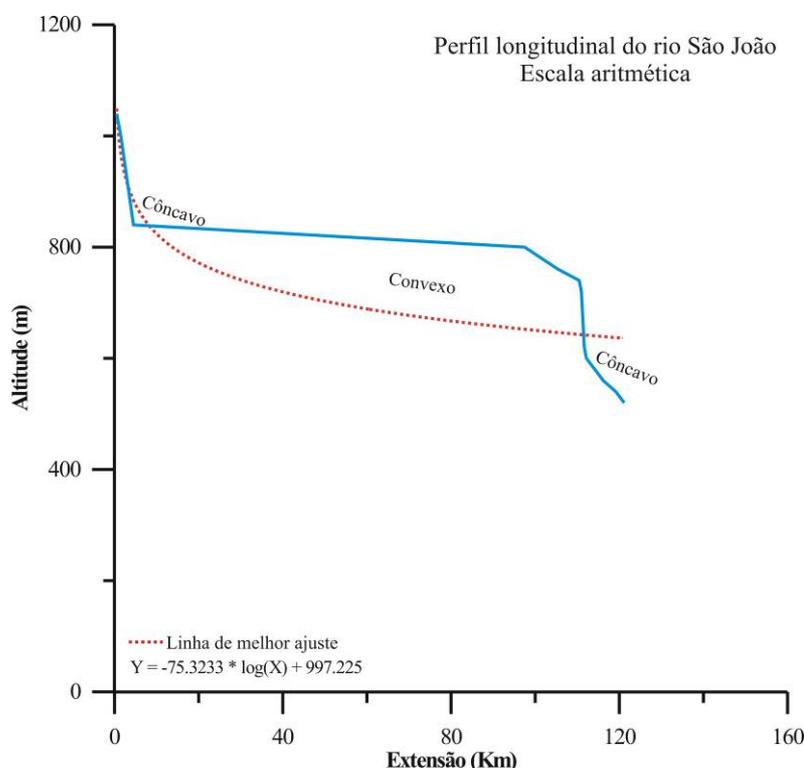


Figura 15 - Perfil longitudinal do rio São João em escala aritmética

V.4- PERFIS LONGITUDINAIS DE ALGUMAS DRENAGENS SECUNDÁRIAS DA BACIA DO RIO IVAÍ

Por meio da análise do perfil longitudinal dos afluentes, verifica-se que todos possuem sua desembocadura junto ao rio Ivaí entre as altitudes 400 a 240 m. As drenagens que apresentaram as maiores altitudes foram os rios Corumbataí (1000 m), Alonso (840 m) e Mourão (800 m). Declividades acentuadas, denotando maior energia no relevo foram observadas nos rios Keller, Mourão, Ligeiro, Corumbataí e Anhumá (Fig. 16 e Apêndice 1).

Todos os afluentes apresentaram rupturas ou quebras ao longo de seu perfil longitudinal, principalmente nos trechos situados nas proximidades com a foz do rio Ivaí. O rio Mourão ao longo de seu perfil apresenta várias rupturas ou quebras topográficas, sendo que uma delas, na altitude de 500 m, fora aproveitada para a implantação de uma usina hidrelétrica para a produção de energia, como é o caso também no rio dos Patos.

De acordo com a linha de melhor ajuste (*best line*), verifica-se que o único afluente a possuir um perfil longitudinal aparentemente equilibrado foi o ribeirão Keller, mesmo que este possua trechos em subsidência e ascensão ao longo de seu perfil. Os demais afluentes apresentaram desajustes fluviais, ou seja, segmentos em ascensão e subsidências; os rios Ligeiro, Mourão e Paranaíba foram os que obtiveram desajustes fluviais de nascente à foz. De modo geral, os afluentes da margem esquerda do rio Ivaí foram os que apresentaram desajustes fluviais em maior amplitude, como é o caso dos rios Ligeiro e Mourão.

V.5- APLICAÇÃO DO ÍNDICE DE GRADIENTE (RDE) NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO IVAÍ

V.5.1- Índice de RDE Detectados na bacia do rio Ivaí

V.5.1.1- Rio Ivaí

Dos 32 trechos mensurados no rio Ivaí, 14 apresentaram-se anômalos, sendo 10 com anomalias de 2ª ordem e 4 segmentos com anomalias de 1ª ordem (Tab.1).

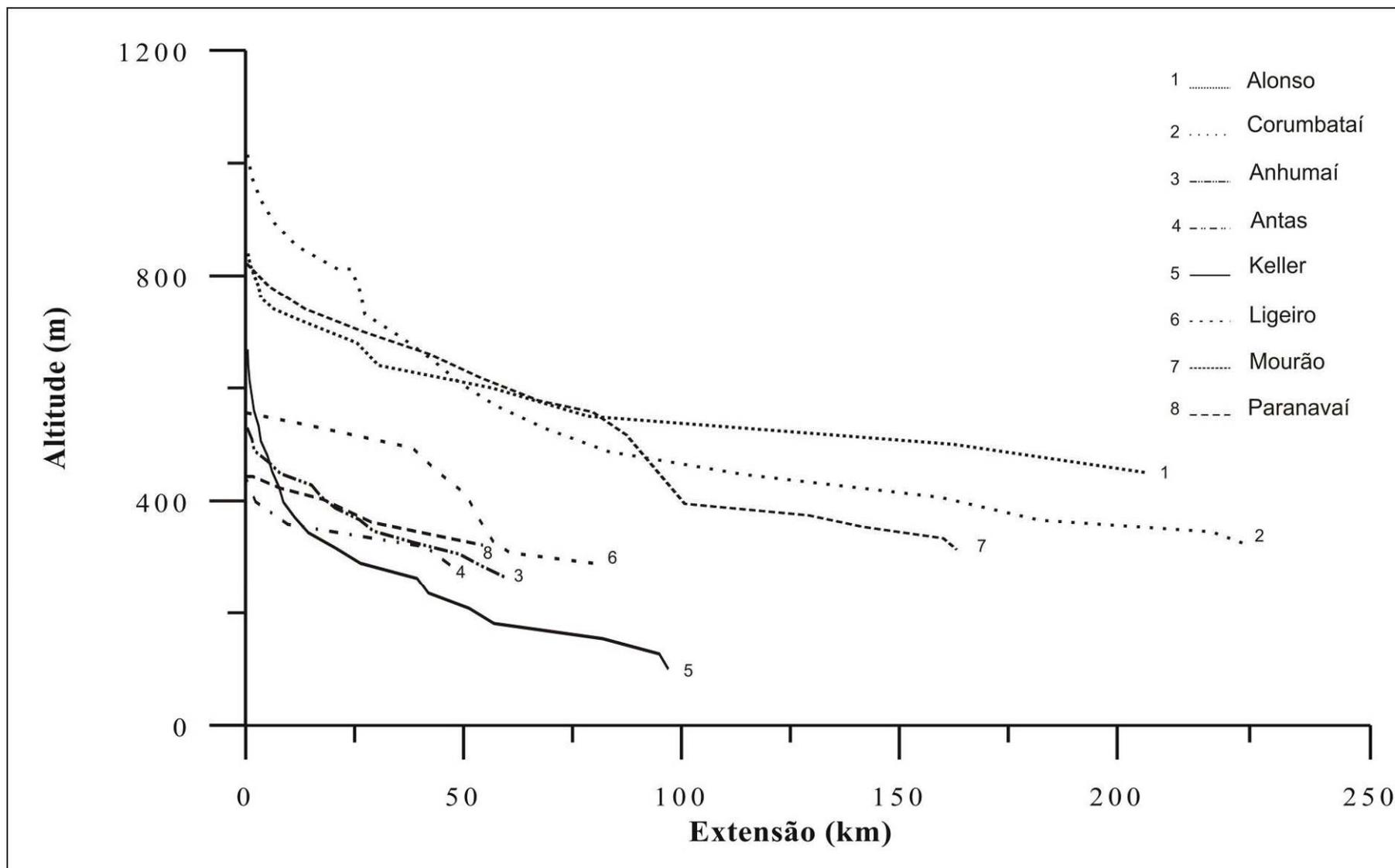


Figura 16 – Perfis longitudinais dos afluentes do rio Ivaí, em escala aritmética

As anomalias de 2ª ordem estão situadas entre as altitudes 1000 a 900 m, 580 a 500 m, 400 a 320 m e 300 a 260 m. Já os mais expressivos valores de RDE, anomalias de 1º ordem, foram detectados entre as altitudes 720 a 580 m.

Os trechos anômalos na bacia do rio Ivaí abrangem várias unidades litoestratigráficas: Grupo Passa Dois, com as Formações Rio do Rastro e Teresina, Grupo São Bento, com a Formação Serra Geral e o Grupo Caiuá, com a Formação Rio Paraná e Goio-erê.

Conforme a figura 17 e apêndice 2, os mais expressivos valores de RDE foram detectados em área de ocorrência da Formação Teresina, no alto curso do rio Ivaí. Por sua vez, as anomalias detectadas em área de ocorrência da Formação Serra Geral foram mais amenas, restringindo-se a anomalias de 2ª ordem. Observa-se também que os setores com quebras ou rupturas de declividade coincidem com os trechos anômalos detectados pelo RDE.

V.5.1.2- Rio dos Patos

O rio dos Patos apresentou 10 trechos com índices RDE anômalos em 22 trechos medidos. (Tab. 2). Entre as cotas 1160 a 1080 m e 900 a 760 m (distâncias) o rio dos Patos apresenta trechos em equilíbrio, com índices de RDE inferiores a 2. Os trechos anômalos estão distribuídos entre as cotas 500 a 740 m e 1000 m (distâncias) Os mais expressivos valores de RDE 16, 15, 25 e 10 foram identificados nos segmentos compreendidos pelas cotas 720, 700, 620, e 600 m (104,5 a 109 km de extensão), respectivamente.

A distribuição dos índices de RDE ao longo do rio dos Patos mostra concentrações no alto e baixo curso do rio (Fig. 18 e Apêndice 2). No alto rio dos Patos, afloram rochas da Formação Serra Geral onde se encontram os menores valores de RDE. No baixo curso, onde predomina a Formação Teresina, encontram-se os maiores valores detectados.

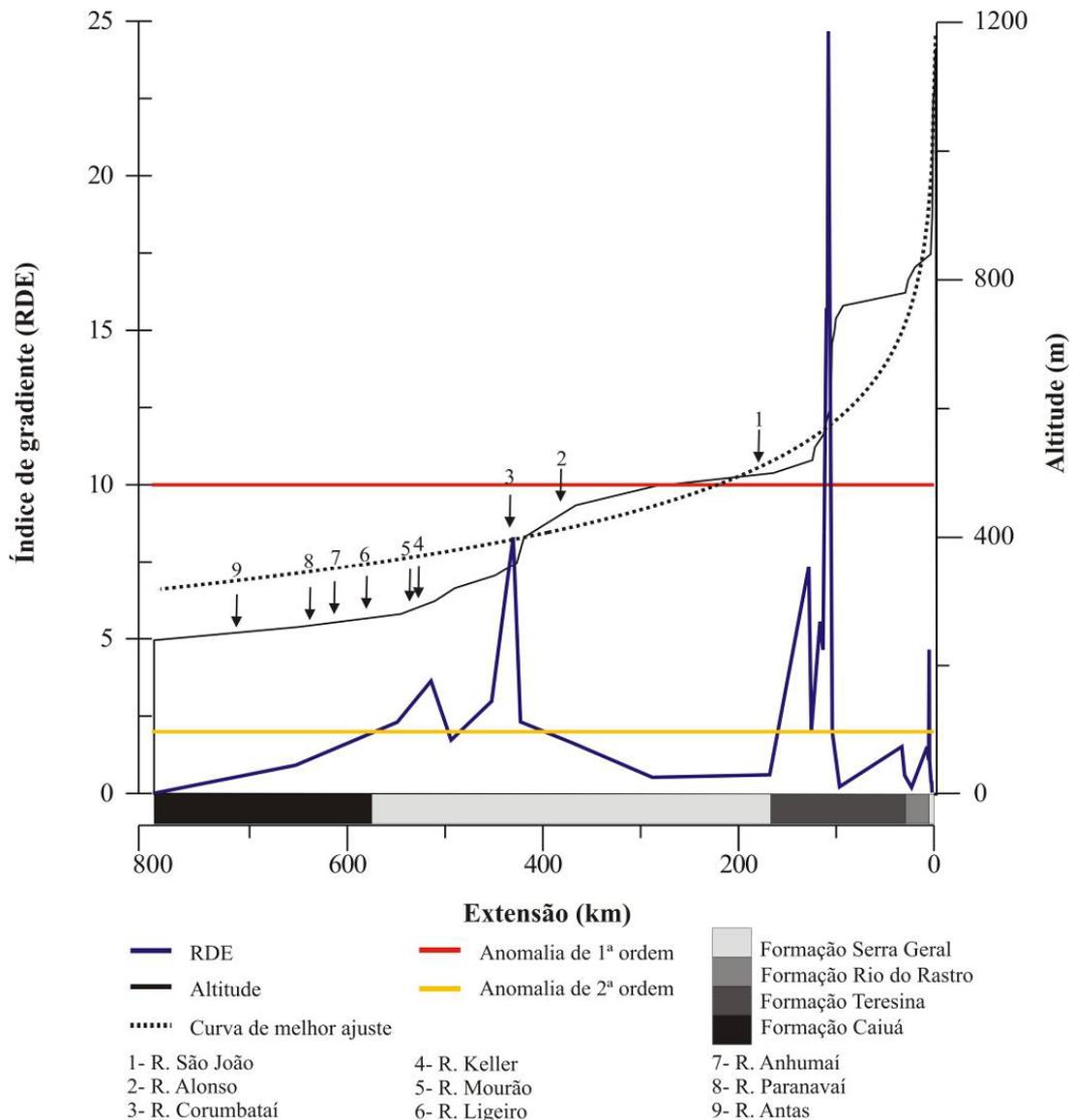


Figura 17- Perfil longitudinal integrado do rio Ivaí

Nos trechos 5 e 14 foram detectadas anomalias de 2ª ordem, por sua vez os trechos 15, 16, 17 e 18 correspondem às anomalias de 1ª ordem. Os mais altos valores de RDE detectados no rio dos Patos ocorrem na Formação Teresina, coincidindo com uma forte ruptura no declive do perfil no trecho 16 coincidindo com o maior índice de RDE. Neste local, localiza-se o salto Barão com 64 m de altura, que é utilizado pela “Santa Clara Indústria de Cartões” para a produção de energia elétrica através de uma pequena usina hidrelétrica. Já próximo à desembocadura, na confluência com o rio São João ocorre uma pequena alteração no índice RDE, que não ultrapassa ao limiar 10.

V.5.1.3- Rio São João

Ao longo do rio São João o índice RDE foi calculado em 13 trechos, dos quais 10 apresentaram anomalias superiores a 2 (Tab. 3).

Entre as cotas 1040 a 1000 m e 840 a 760 m (trechos 1, 3 e 4) o rio São João encontra-se em equilíbrio. Nos trechos 2, 5, 6 e 12 foram detectadas anomalias de 2ª ordem com índices de RDE entre os limiares 2 a 10, localizados nas altitudes 1000 a 840 m, 760 a 720 m e 540 a 520 m respectivamente, para uma extensão de 17 km. Os trechos 7, 8, 9, 10, 11 e 13 apresentaram anomalias de 1ª ordem (índices de RDE > 10).

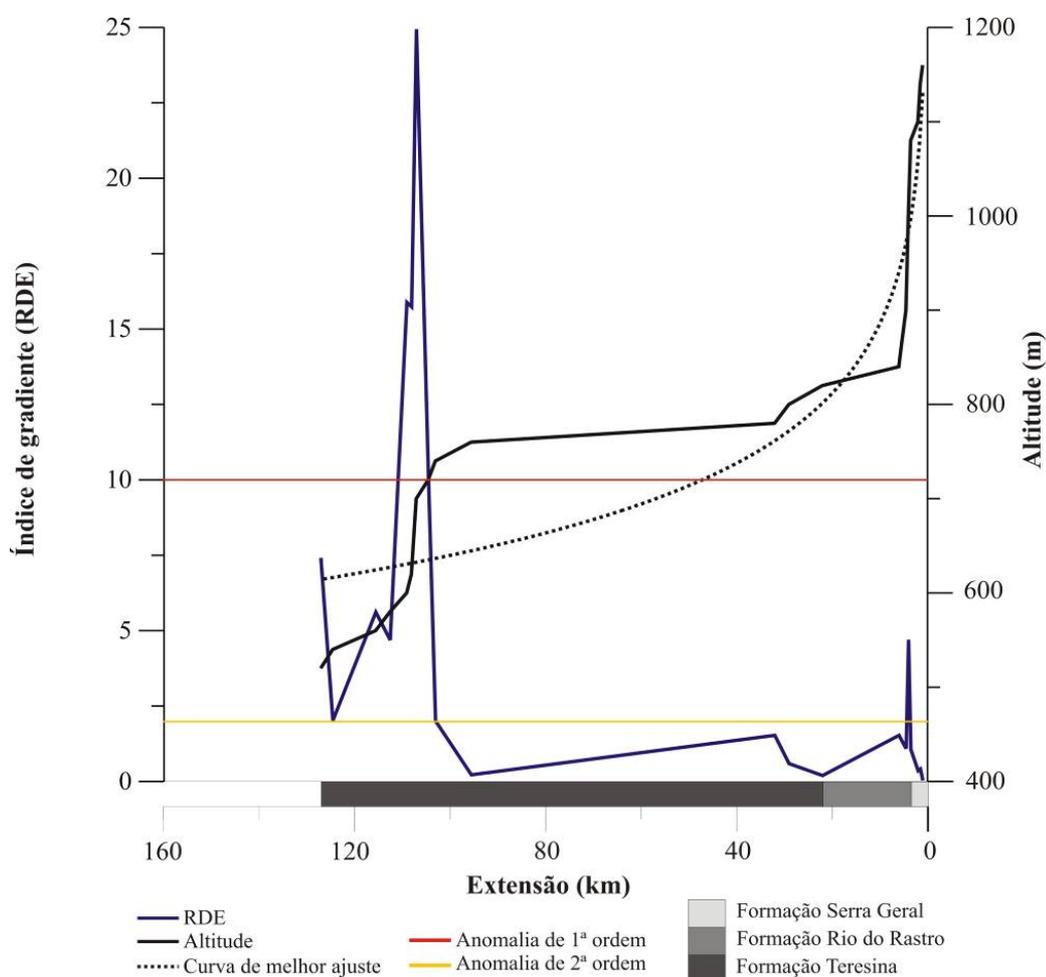


Figura 18 - Perfil longitudinal integrado do rio dos Patos

Os mais expressivos valores de RDE (Fig. 19) foram identificados nos trechos 7 e 9, com índices de RDE de 197,22 e 39,87, respectivamente. De acordo com o apêndice 2, observa-se que os trechos medidos estão distribuídos ao longo das formações Serra Geral e Teresina. A área apresenta também diques de diabásio, fraturas e falhas predominantemente na área de ocorrência da Formação Serra Geral. As anomalias de 2ª ordem são vinculadas principalmente à imposição estrutural e secundariamente pelas mudanças litológicas. Já as anomalias de 1ª ordem, detectadas nos trechos 7, 8, 9, 10 e 11 estão atreladas à área do cânion do rio São João, região onde estão localizados os chamados “saltos”, dentre eles se destaca o Salto São João, que possui 84 m de altura. Os trechos 12 e 13 (2ª e 1ª ordem, respectivamente) estão vinculados à desembocadura do rio São João com o rio dos Patos.

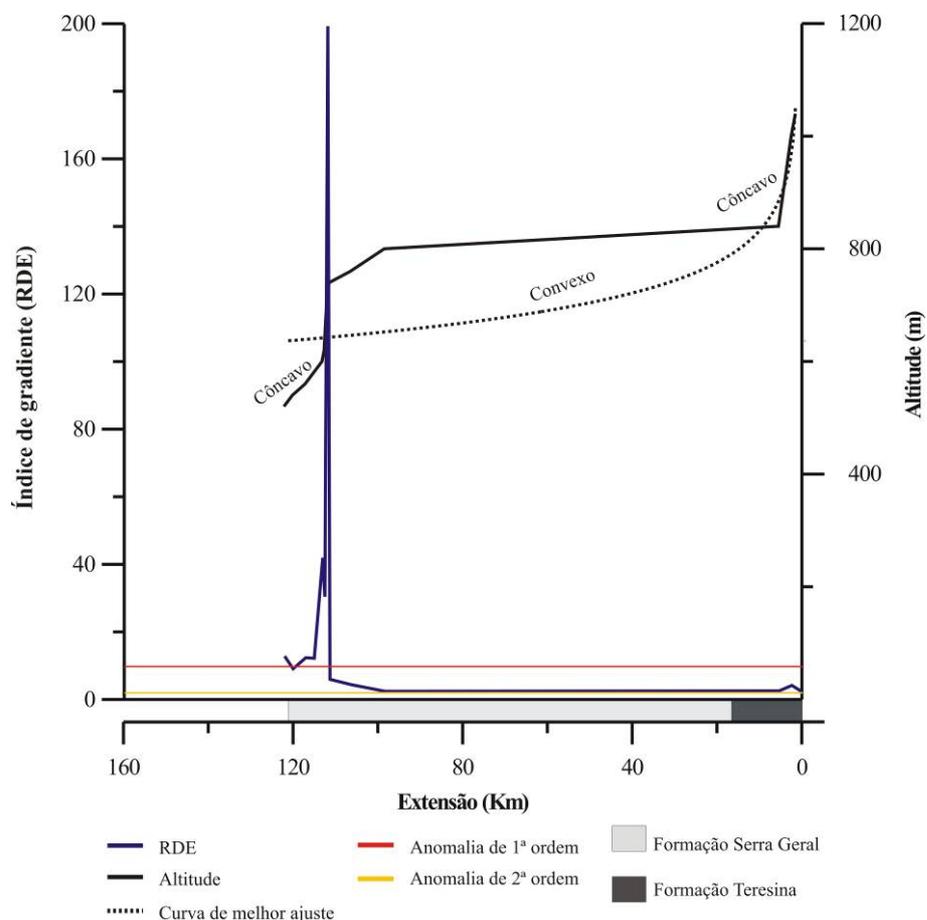


Figura 19 - Perfil longitudinal integrado do rio São João

V.6- ÍNDICES DE RDE_{TRECHO}

Os mais altos valores de RDE concentram-se no alto curso do rio Ivaí, nas áreas que compreendem os rios dos Patos e São João, onde encontramos as maiores ocorrências de anomalias de 1ª ordem (Fig. 20). Como já anteriormente citado, o rio São João foi o que apresentou o maior valor de RDE, ou seja, uma razão de 197,22. Exceto os rios Patos e São João, os rios Ligeiro e Mourão foram às drenagens que apresentaram trechos com anomalias de 1ª ordem.

No rio Ligeiro as anomalias de 1ª ordem situam-se entre as cotas altimétricas 340 a 300 metros, abrangendo os trechos 7 e 8. Já no rio Mourão, as anomalias detectadas foram observadas entre as cotas 500 a 380 m e 300 a 280m, compreendendo os trechos 9 e 14, respectivamente.

A anomalia localizada no trecho 9 do rio Mourão coincide com uma ruptura de declive, que forma um salto atualmente aproveitado para geração de energia elétrica. A partir do reservatório do rio Mourão percebe-se um forte controle estrutural que impõe à drenagem um padrão complexo em treliça e dendrítico, além de forte estruturação no relevo nos contatos inter-derrames e lineamentos geológicos. Nas demais drenagens foram detectados trechos anômalos, com índices de RDE entre os limiares 2 a 10, principalmente junto à desembocadura com o rio Ivaí.

V.7- ÍNDICES DE RDE_{TOTAL}

No mapa de isovalores de RDE_{TOTAL} (Fig. 21) observa-se uma convergência dos altos valores de RDE para a média e alta bacia, estando os menores valores de RDE no baixo curso do rio Ivaí. A distribuição espacial dos RDE's tem forte controle estrutural, uma vez que na alta e média bacia do rio Ivaí é marcada pela presença de lineamentos geológicos, fraturamentos e falhamentos, bem como baixa dissecação no relevo. Já no curso inferior, onde predominam as rochas da Formação Caiuá, a drenagem possui forte controle estrutural, com predomínio de padrões de drenagem do tipo treliça e retangular, devido os alinhamentos tectônicos de NW e NE, a partir da corredeira de Ferro, município de Tapira (SANTOS et al, 2008), o que justifica a ocorrência das anomalias de 2ª ordem.

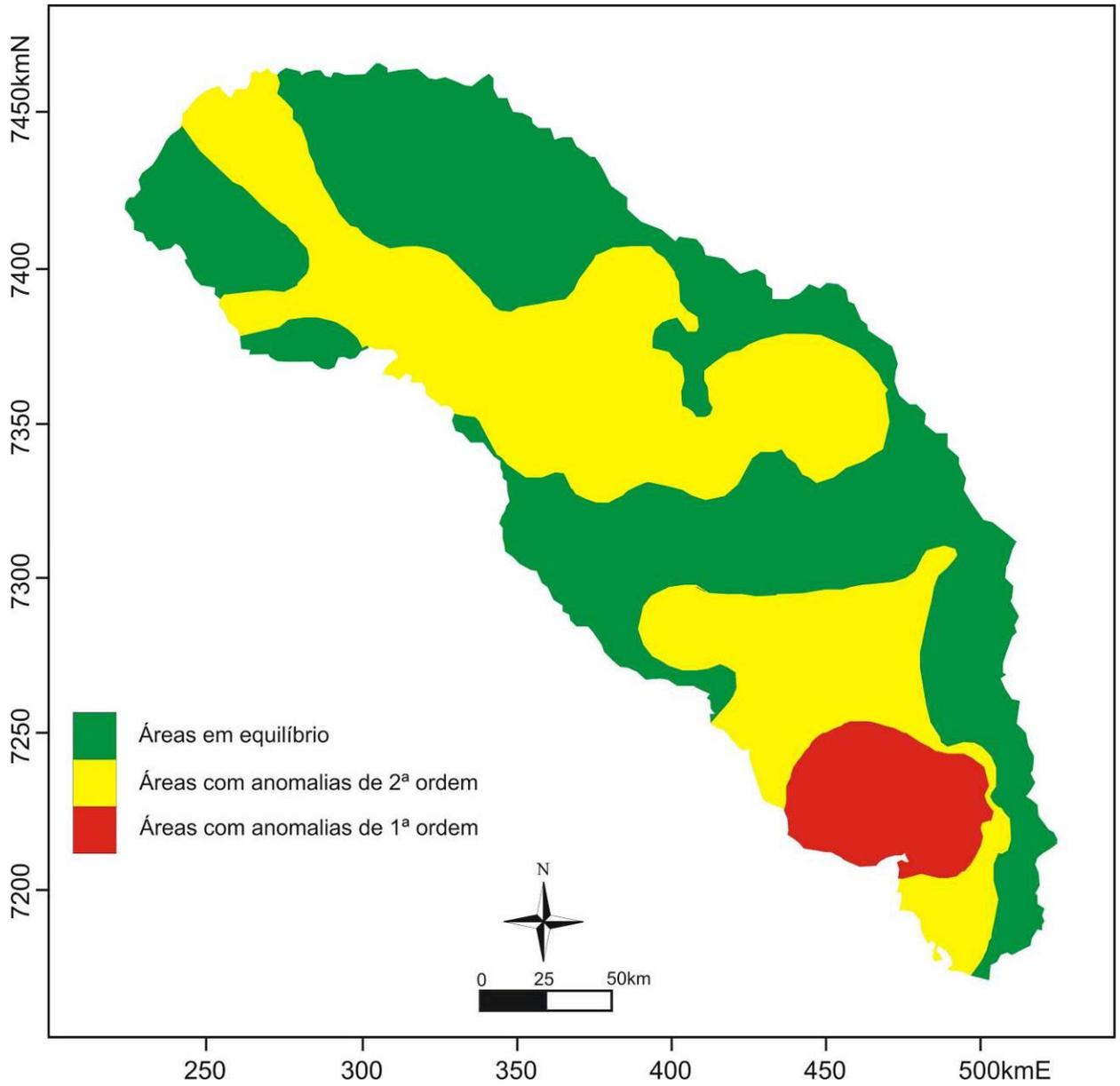


Figura 20 - Mapa de distribuição das anomalias detectadas pelo RDE_{TRECHO}

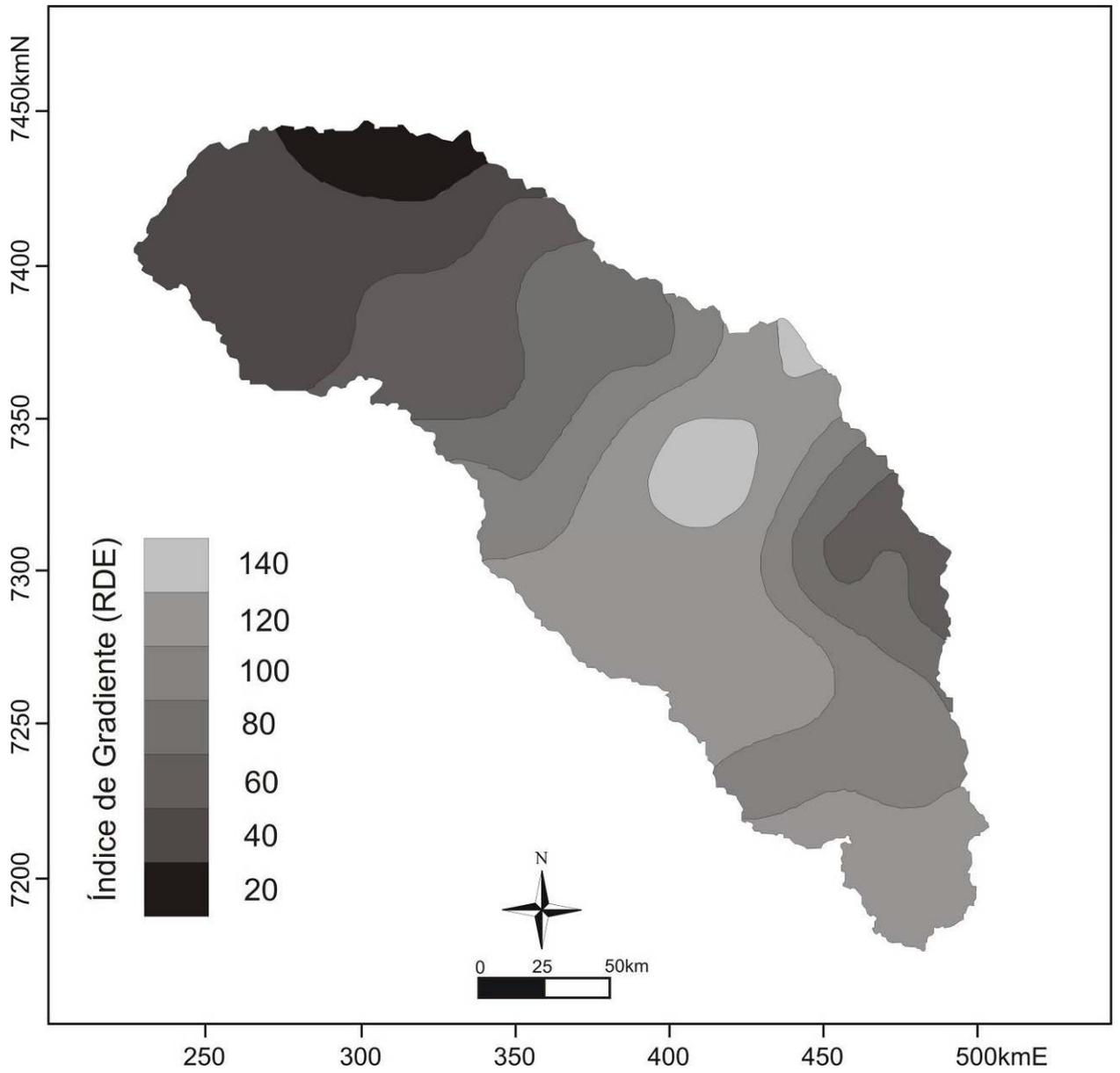


Figura 21 - Mapa de distribuição dos RDE_{TOTAL} na bacia do rio Ivaí

Tabela 1. Tabela resumo das variáveis morfométricas do rio Ivaí. RDE Total = 137,6811. Onde: FSG – Formação Serra Geral, FRR – Formação Rio do Rastro, FT – Formação Teresina, FC – Formação Caiuá

Trecho	Cota Superior (m)	Cota inferior (m)	Diferença altimétrica (m)	Extensão trecho (km)	Extensão total (km)	Declividade	RDE trecho	RDE Trecho/Total	Geologia
1	1160	1140	20	1	1	0,02	4	0,029053	FSG
2	1140	1100	40	0,5	1,5	0,08	56	0,406737	FSG
3	1100	1080	20	0,5	2	0,04	48	0,348632	FSG
4	1080	1000	80	1,5	3,5	0,053333	144	1,045895	FSG
5	1000	900	100	0,5	4	0,2	640	4,648423	FRR
6	900	880	20	0,5	4,5	0,04	148	1,074948	FRR
7	880	860	20	0,5	5	0,04	168	1,220211	FRR
8	860	840	20	0,5	5,5	0,04	188	1,365474	FRR
9	840	820	20	0,5	6	0,04	208	1,510738	FRR
10	820	800	20	16	22	0,00125	26,5	0,192474	FRR
11	800	780	20	7	29	0,002857	80,57143	0,585203	FT
12	780	760	20	3	32	0,006667	208	1,510738	FT
13	760	740	20	63,5	95,5	0,000315	29,82677	0,216637	FT
14	740	720	20	7,5	103	0,002667	272,5333	1,979454	FT
15	720	700	20	1,5	104,5	0,013333	1382,667	10,04253	FT
16	700	620	80	2,5	107	0,032	3398,4	24,68313	FT
17	620	600	20	1	108	0,02	2144	15,57222	FT
18	600	580	20	1	109	0,02	2164	15,71748	FT
19	580	560	20	3,5	112,5	0,005714	638,2857	4,635972	FT
20	560	540	20	3	115,5	0,006667	764,6667	5,553898	FT
21	540	520	20	9	124,5	0,002222	274,8889	1,996562	FT
22	520	500	20	2,5	127	0,008	1009,6	7,332888	FT
23	500	480	20	40	167	0,0005	83,1	0,603569	FSG
24	480	450	30	120	287	0,00025	71,55	0,519679	FSG
25	450	400	50	82	369	0,00061	224,5122	1,630668	FSG
26	400	360	40	53	422	0,000755	317,8868	2,308863	FSG
27	360	340	20	7,5	429,5	0,002667	1143,2	8,303246	FSG
28	340	320	20	22	451,5	0,000909	409,7273	2,975915	FSG
29	320	300	20	41,5	493	0,000482	237,2048	1,722857	FSG
30	300	280	20	20,5	513,5	0,000976	500,1951	3,632998	FSG
31	280	260	20	34,5	548	0,00058	317,2174	2,304001	FSG
32	260	240	20	250	798	0,00008	63,776	0,463215	FC

Tabela 2- Tabela resumos das variáveis morfométricas do rio dos Patos. RDE Total = 136,2468. Onde: FSG – Formação Serra Geral, FRR – Formação Rio do Rastro, FT – Formação Teresina

Trecho	Cota Superior (m)	Cota inferior (m)	Diferença altimétrica (m)	Extensão trecho (km)	Extensão total (km)	Declividade	RDE trecho	RDE Trecho/Total	Geologia
1	1160	1140	20	1	1	0,02	4	0,029053	FSG
2	1140	1100	40	0,5	1,5	0,08	56	0,406737	FSG
3	1100	1080	20	0,5	2	0,04	48	0,348632	FSG
4	1080	1000	80	1,5	3,5	0,053333	144	1,045895	FSG
5	1000	900	100	0,5	4	0,2	640	4,648423	FRR
6	900	880	20	0,5	4,5	0,04	148	1,074948	FRR
7	880	860	20	0,5	5	0,04	168	1,220211	FRR
8	860	840	20	0,5	5,5	0,04	188	1,365474	FRR
9	840	820	20	0,5	6	0,04	208	1,510738	FRR
10	820	800	20	16	22	0,00125	26,5	0,192474	FRR
11	800	780	20	7	29	0,002857	80,57143	0,585203	FT
12	780	760	20	3	32	0,006667	208	1,510738	FT
13	760	740	20	63,5	95,5	0,000315	29,82677	0,216637	FT
14	740	720	20	7,5	103	0,002667	272,5333	1,979454	FT
15	720	700	20	1,5	104,5	0,013333	1382,667	10,04253	FT
16	700	620	80	2,5	107	0,032	3398,4	24,68313	FT
17	620	600	20	1	108	0,02	2144	15,57222	FT
18	600	580	20	1	109	0,02	2164	15,71748	FT
19	580	560	20	3,5	112,5	0,005714	638,2857	4,635972	FT
20	560	540	20	3	115,5	0,006667	764,6667	5,553898	FT
21	540	520	20	9	124,5	0,002222	274,8889	1,996562	FT
22	520	500	20	2,5	127	0,008	1009,6	7,332888	FT

Tabela 3-. Tabela resumos das variáveis morfométricas do rio São João. RDE Total = 112,56. Onde: FSG – Formação Serra Geral, FT – Formação Teresina

Trecho	Cota superior (m)	Cota inferior (m)	Diferença altimétrica (m)	Extensão trecho (Km)	Extensão total (Km)	Declividade	RDE Trecho	RDE Trecho/ Total	Geologia
1	1040	1000	40	0,5	0,5	0,08	40	0,355366	FSG
2	1000	840	160	1	1,5	0,16	240	2,132196	FSG
3	840	800	40	3	4,5	0,013333	60	0,533049	FSG
4	800	760	40	93	97,5	0,00043	41,93548	0,372561	FSG
5	760	740	20	8	105,5	0,0025	263,75	2,343195	FSG
6	740	720	20	5	110,5	0,004	442	3,926795	FT
7	720	620	100	0,5	111	0,2	22200	197,2282	FT
8	620	600	20	0,7	111,7	0,028571	3191,429	28,35314	FT
9	600	580	20	0,5	112,2	0,04	4488	39,87207	FT
10	580	560	20	2	114,2	0,01	1142	10,1457	FT
11	560	540	20	2	116,2	0,01	1162	10,32338	FT
12	540	520	20	3	119,2	0,006667	794,6667	7,059939	FT
13	520	500	20	2	121,2	0,01	1212	10,76759	FT

V.8- ANÁLISE DOS PERFIS TRANSVERSAIS DO RIO IVAÍ

Foram elaborados perfis transversais ao vale nos trechos correspondentes a índices de RDE com anomalias de 1ª ordem e de 2ª ordem. O apêndice 2 representa os perfis transversais do vale realizados (Tab. 4). Foi possível identificar quatro tipos principais de vales, segundo a classificação sugerida por Christofolletti (1981):

- Vales em V – são vales que possuem uma relação equilibrada entre incisão e alargamento (Perfil 1);
- Vales em garganta – são vales que apresentam maior incisão do que alargamento. Possuem vertentes quase verticais e grande incisão, sendo normalmente são encontrados em áreas de rochas mais resistentes (Perfil 7);
- Vales assimétricos – são vales que apresentam encostas muito distintas, uma escarpada e a outra mais suavizada ou íngreme. Essas diferenças se originam pela presença de camadas inclinadas, quando uma rocha mais resistente é responsável pela encosta mais íngreme (Perfil 2);
- Vales com terraços – são vales formados pela sucessão de fases de acumulação e de incisão. Podem ser originados nas bordas dos vales vários degraus com sedimentos correlativos de antigas planícies de inundação, sendo então classificados como vales com terraços fluviais (Perfil 20).

A tabela 4 representa a classificação dos perfis transversais do vale, já a figura 22 representa a morfologia de cada perfil. De modo geral os perfis transversais são assimétricos, marcados pela presença de rupturas e patamares bem delimitados, seguidos por encostas íngremes ostentando uma feição de escarpa erosiva, onde os patamares denotam mudanças na litologia (Fig. 22). Os perfis 15, 16 e 17 correspondem a trechos com presença de anomalias de 1ª ordem, que se encontram localizados na região correspondente ao Canyon do rio dos Patos, nestes verificam-se presença de vales em garganta e simetria nos perfis. Dentre os 32 perfis transversais de vale efetuados ao longo do rio Ivaí, foram selecionados 4, para melhor detalhamento, o qual segue.

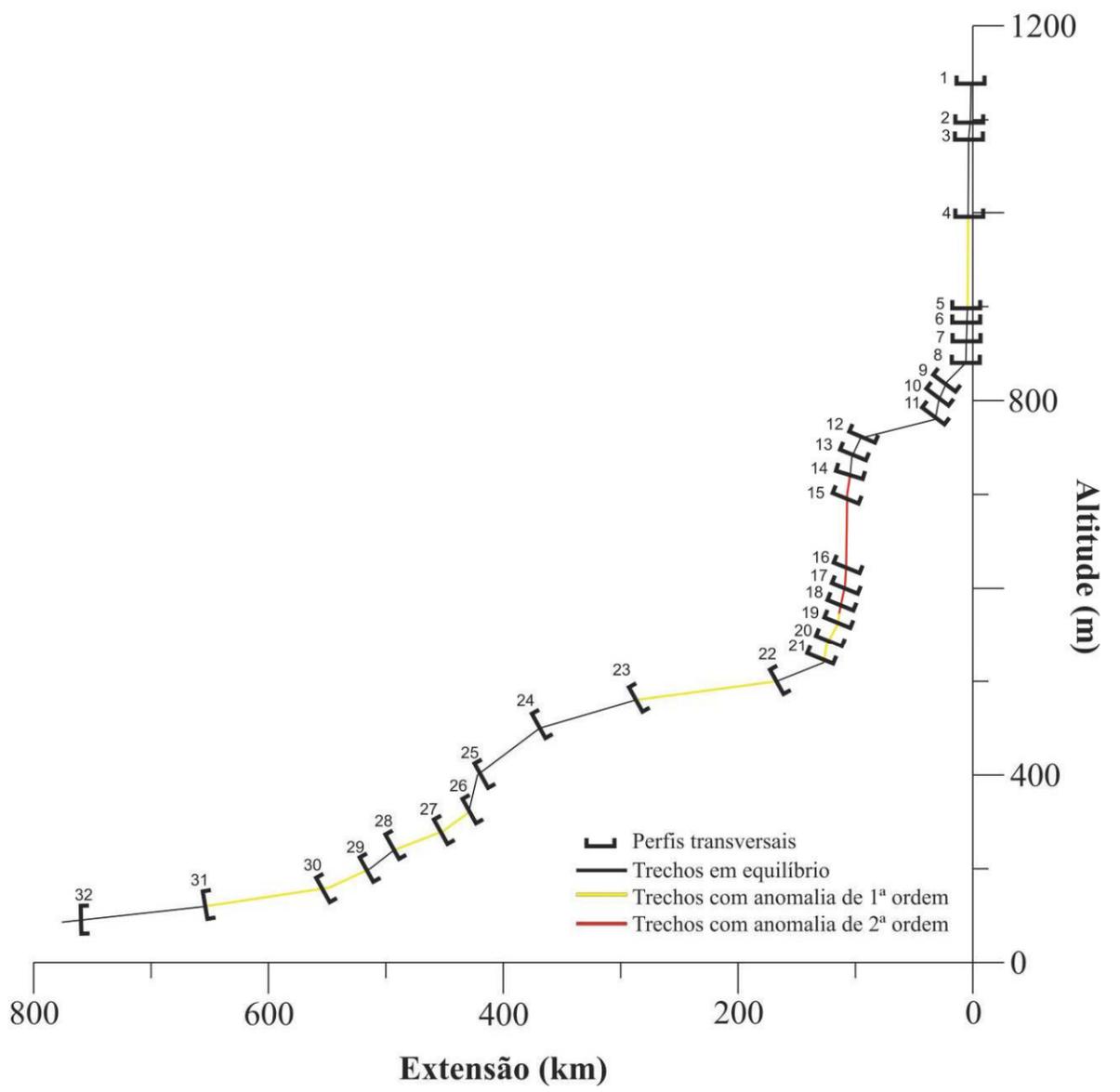
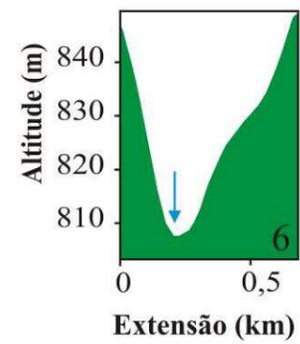
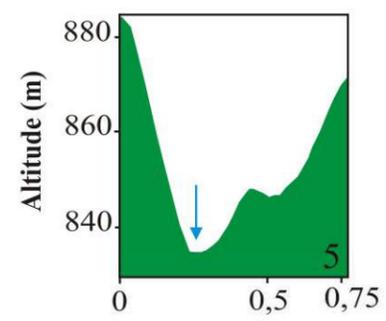
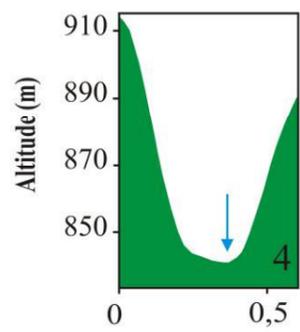
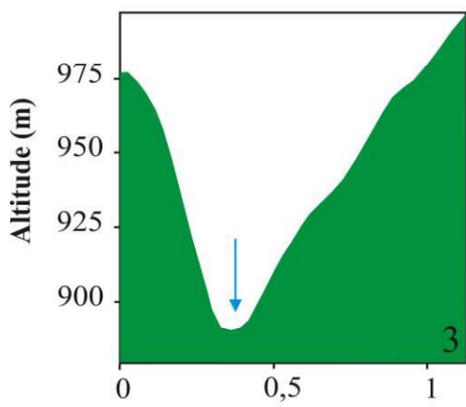
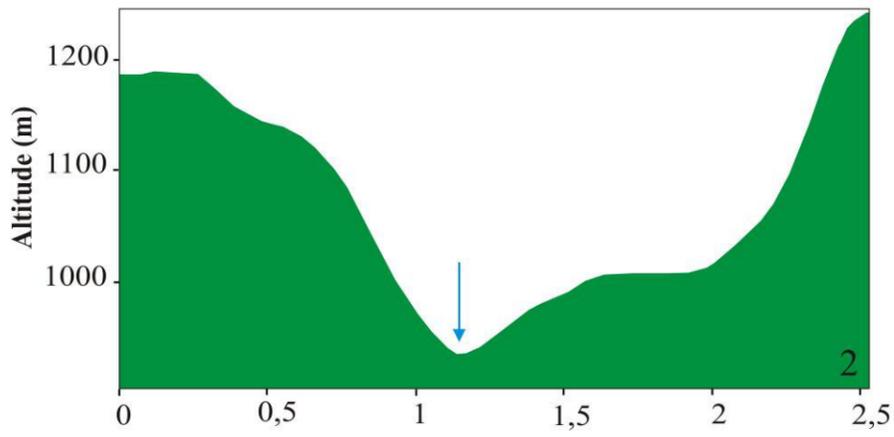
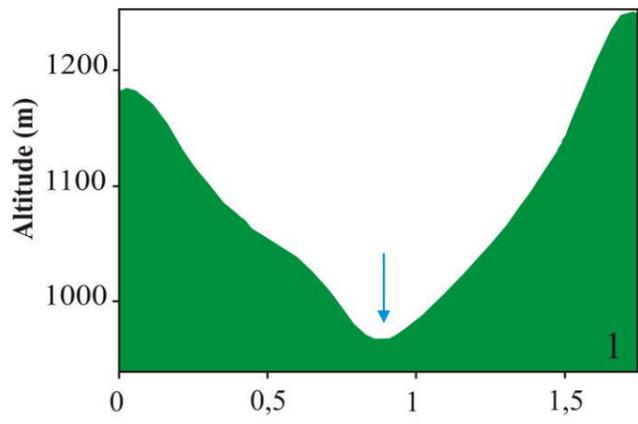
Perfil 5: Localizado na nascente do rio Ivaí possui uma extensão de 0,8 km e corresponde a um vale assimétrico. O canal encaixado corre ao sopé de uma encosta íngreme na margem esquerda e na margem direita uma encosta escarpada.

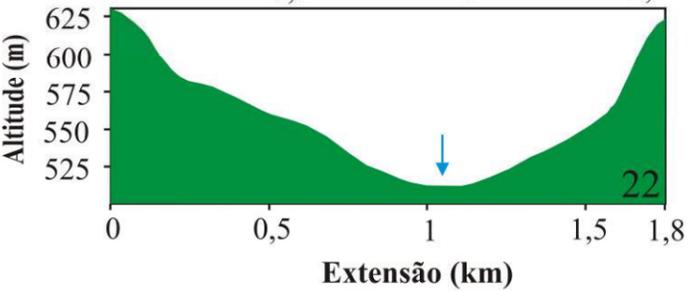
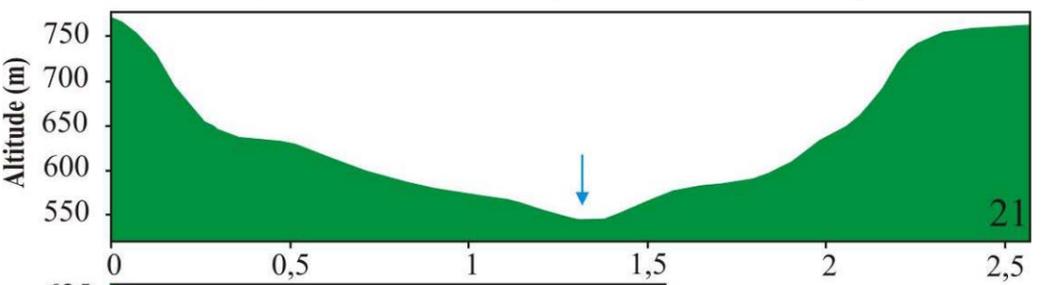
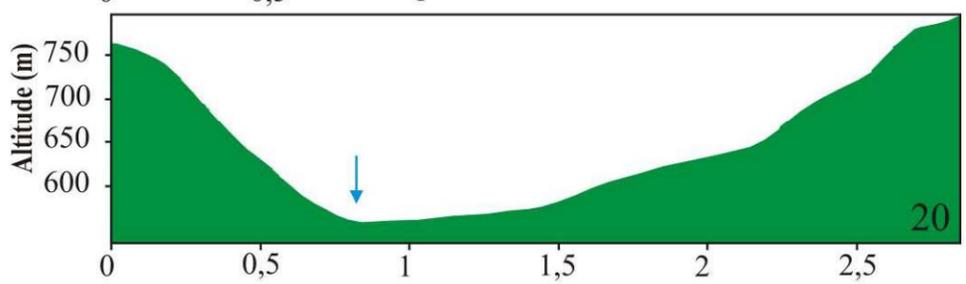
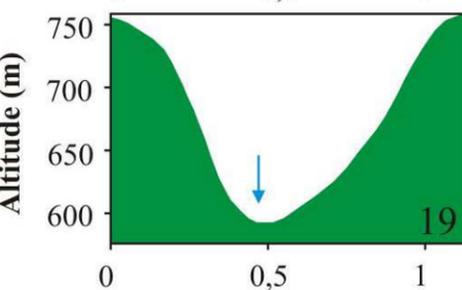
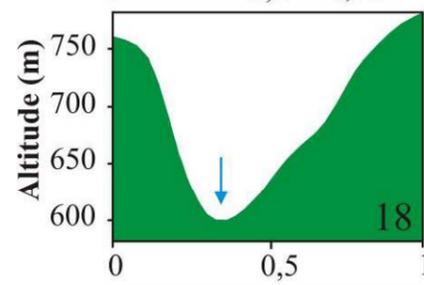
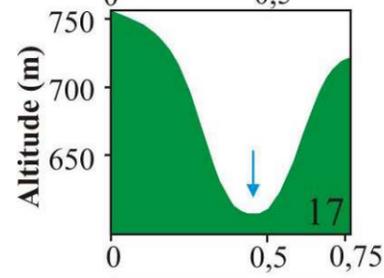
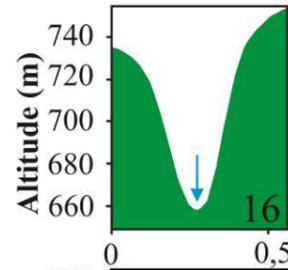
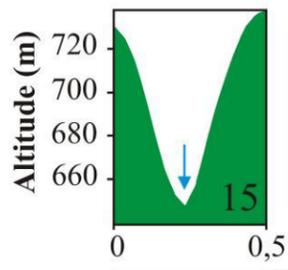
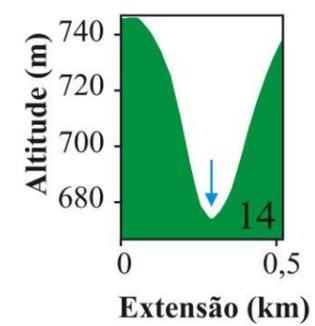
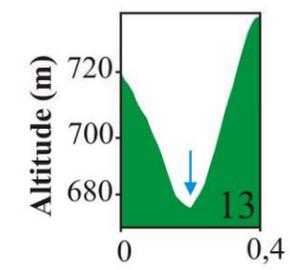
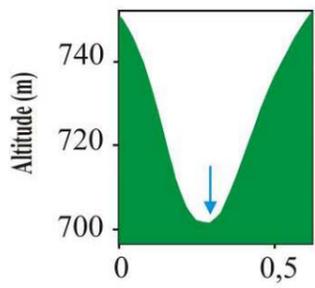
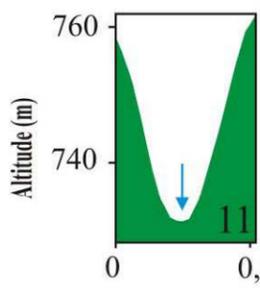
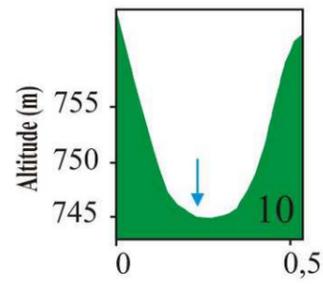
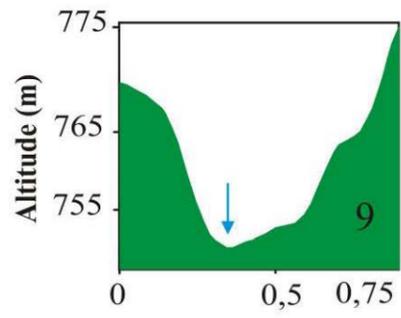
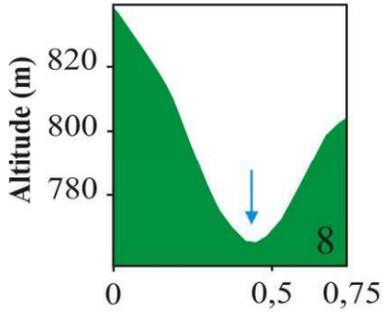
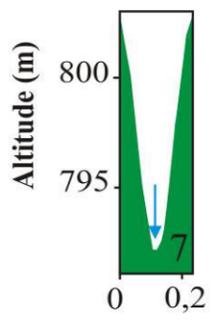
A presença dessa encosta pode ser justificada pela transição litológica neste segmento, associada à intrusão de diques de diabásio. A parte mais elevada do perfil na margem direita corresponderia a camadas de rochas mais resistentes (diabásio), por sua vez o ressalto corresponderia a rochas de menor resistência (Formação Teresina).

Em área de abrangência da Formação Teresina, o perfil 23 (Fig. 22) corresponde a um vale assimétrico, o qual possui uma extensão de 1,3 km, localizado no alto curso do rio Ivaí, logo abaixo da confluência do rio dos Patos com o rio São João. Neste perfil, verifica-se que o canal do rio Ivaí encontra-se deslocado para a margem esquerda, que se apresenta pouco suavizada com a presença de pequenos ressaltos. Junto ao sopé da encosta, ocorre uma área com maior declividade, podendo representar uma superfície de coluviamento.

A margem direita exhibe uma encosta bem escarpada, com presença de vários ressaltos e degraus, na porção inferior da encosta nota-se a formação de um pequeno terraço. As feições observadas nesta margem denotam uma encosta movimentada, perfil semelhante a este foi identificado por Marple and Talwani (1993) no rio Sacramento, em área afetada por atividades tectônicas de deformação (soerguimento).

Em área de abrangência das rochas da Formação Serra Geral, o perfil 30, possui uma extensão de 1,75 km, constitui um segmento com presença de anomalia de 2ª ordem. Constitui um perfil classificado como vale com terraços com assimetria na disposição do canal, de fundo chato, para a margem esquerda. Esta margem possui uma encosta parcialmente íngreme, com presença de pequenos ressaltos. Já na margem oposta, a encosta é escarpada, com presença de um terraço possivelmente estrutural, observam-se também algumas paleodrenagens sobre o terraço e uma drenagem ativa que corre paralelo ao rio Ivaí.





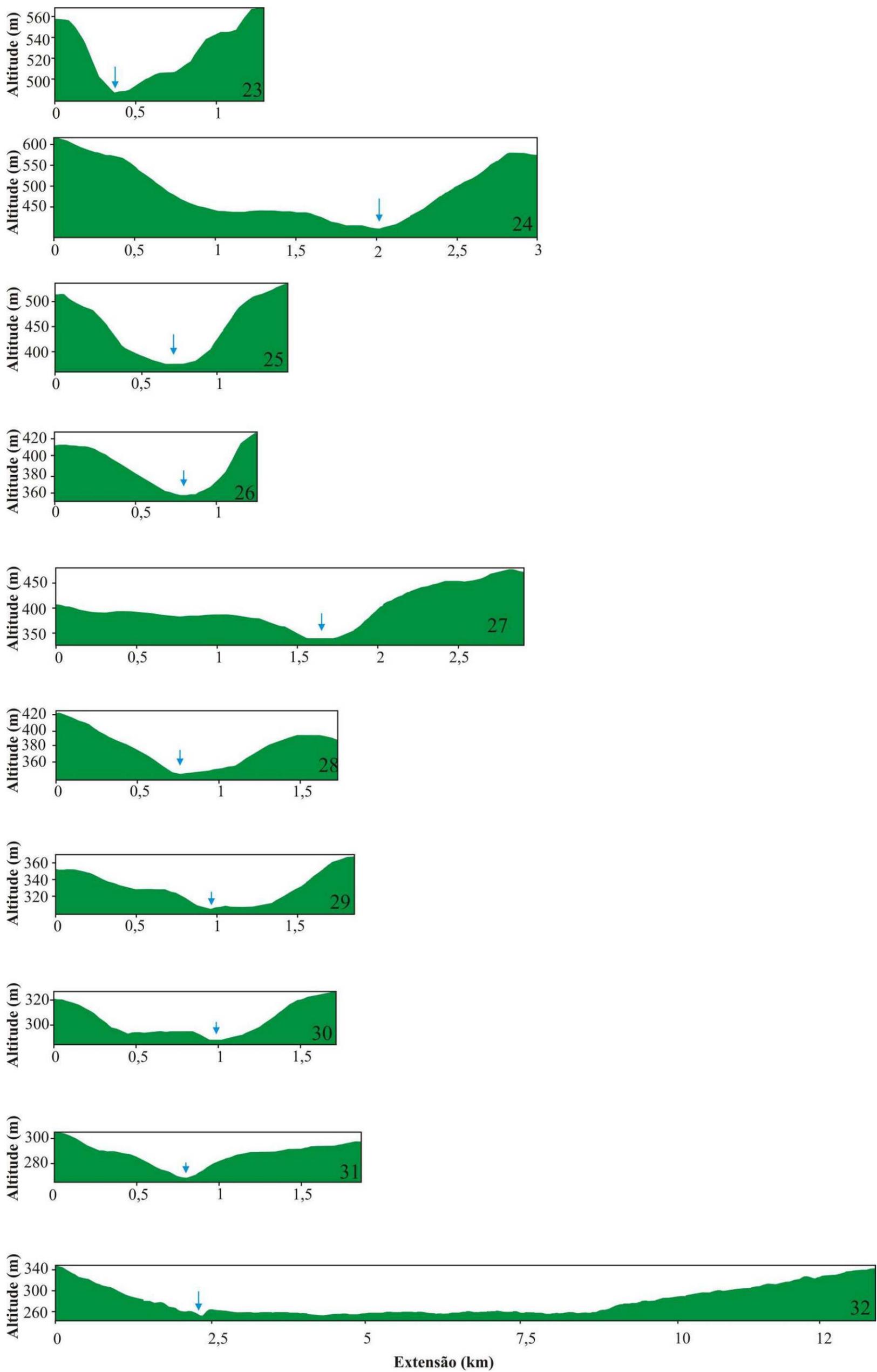


Figura 22 – Perfis longitudinais do vale ao longo do rio Ivaí

Tabela 4. Tipos de vale, posição no perfil longitudinal e índice RDE do trecho (Fig. 22). Onde: VV: vale em V, VA: vale assimétrico, VG: vale em garganta, VT: Vale com terraços, S: simétrico, A: assimétrico, O: trecho em equilíbrio, 1: trecho com anomalia de 1ª ordem, 2: trecho com anomalia de 2ª ordem

Perfil	Alt/dist. (m/km)	Extensão (km)	Tipo	Assimetria	Anomalia RDE
1	1160/1	1	VV	S	0
2	1140/1,5	0,5	VA	A	0
3	1100/2	0,5	VA	A	0
4	1080/3,5	1,5	VV	S	2
5	1000/4	0,5	VA	A	0
6	900/4,5	0,5	VV	A	0
7	880/5	0,5	VG	S	0
8	860/5,5	0,5	VV	A	0
9	840/6	0,5	VA	A	0
10	820/22	16	VV	S	0
11	800/29	7	VV	S	0
12	780/32	3	VV	S	0
13	760/95,5	63,5	VV	S	0
14	740/103	7,5	VG	S	0
15	720/104,5	1,5	VG	S	1
16	700/107	2,5	VG	S	1
17	620/108	1	VV	S	1
18	600/109	1	VV	A	1
19	580/112,5	3,5	VV	A	2
20	560/115,5	3	VT	A	2
21	540/124,5	9	VT	S	0
22	520/127	2,5	VT	A	2
23	500/167	40	VA	A	0
24	480/287	120	VT	A	0
25	450/369	82	VA	A	0
26	400/422	53	VA	A	2
27	360/429,5	7,5	VT	A	2
28	340/451,5	22	VT	A	0
29	320/493	41,5	VT	A	2
30	300/513,5	20,5	VT	A	2
31	280/548	34,5	VA	S	0
32	260/798	250	VT	A	0

O último segmento do rio Ivaí, identificado pelo RDE, está localizado no baixo curso do rio Ivaí, sob as rochas da Formação Caiuá, abrangendo sua planície de inundação. De acordo com Santos et al (2008) essa região é controlada forte por alinhamentos estruturais com sentido NW-NE. O perfil 32 mostra a configuração do vale neste trecho, sendo classificado como vale com terraços fluviais. O perfil transversal do vale possui uma extensão de aproximadamente de 13 km, com altitude máxima no interflúvio de 340 m. O canal do rio Ivaí encontra-se encaixado,

deslocado para a margem direita, é possível identificar nas bordas os diques marginais, originados por decorrência de inúmeras inundações do rio Ivaí.

Na margem direita do perfil, desenvolve uma extensa planície de inundação, com aproximadamente 5 km de extensão, na qual é possível identificar 3 níveis de terraços constituídos por depósitos recentes, formados por uma sucessão de pelitos e areias finas e camadas delgadas de cascalhos e areias grossas dispostas de forma discordante à Formação Caiuá, conforme discorre Santos et al (2008).

V.9- DISCUSSÃO

Um curso fluvial é um sistema dinâmico que pode apresentar ao longo de sua extensão diversos segmentos distintos, com características diferenciadas expressas em seu perfil longitudinal. O perfil longitudinal de um canal representa um elemento muito importante para o estudo da geomorfologia. Larue (2008) afirma que ele auxilia no entendimento da configuração do sistema fluvial, pois resultam da interação entre a incisão fluvial, litologia e trocas no nível de base. Richards (1982) complementa que o perfil longitudinal reflete as influências geológicas, tectônicas e de mudanças de nível de base, além de influenciar nos processos fluviais, de erosão e deposição.

O perfil longitudinal do rio Ivaí apresentou-se desajustado de nascente a foz, podendo ser distinguidos trechos convexos e côncavos ao longo de sua extensão. Os rios dos Patos e São João também se apresentaram em desequilíbrio em toda sua extensão com presença de grandes rupturas que chegam a possuir amplitudes de 120 m (rio dos Patos) e 260 m (rio São João).

Como são rios de leito rochoso, os trechos que apresentam irregularidades (ascensão ou subsidências) são interrompidos por rupturas de declive (“knickpoints”). Estas rupturas indicam alterações no equilíbrio do curso d’água nesses trechos que podem estar relacionados à existência de substratos rochosos mais resistentes (mudança de nível de base local), confluência com afluentes de caudal expressivo, atividade neotectônica {Seeber & Gortnitz (1983),

McKeown *et al* (1988), Martinez (2004), Guedes *et al* (2006)}, atividades antrópicas (Larue, 2008) entre outros. As drenagens secundárias também apresentaram desajustes fluviais, sendo detectados trechos em ascensão e subsidência, exceto o ribeirão Keller que foi o único curso fluvial estudado a possuir um perfil longitudinal aparentemente de um rio equilibrado (graded).

Muito embora a maior parte dos trechos estudados da bacia esteja sobre a Formação Serra Geral, os maiores valores de índice RDE identificados sobre os lamitos arenosos da Formação Teresina. Este fato ocorre em função da presença de sills de diabásio, além do forte controle estrutural devido à presença de falhas e fraturas.

Bartorelli (1997) comenta que a formação de cachoeiras deve-se a diferenças na resistência das rochas, onde camadas de rochas mais resistentes sobrepostas a rochas mais friáveis propiciam esse desenvolvimento. Na bacia do rio Ivaí observou-se esta condição, como por exemplo, no rio dos Patos que possui diversos saltos, dentre eles o Salto Barão do Rio Branco, que é formado por uma camada de rocha de diabásio justaposta a lamitos arenosos da Formação Teresina. Foi observada que a presença de grandes rupturas no declive do perfil longitudinal associada a regiões de saltos e cachoeiras coincide com os altos valores no índice de RDE (anomalias de 1ª ordem), como detectados para os rios Patos e São João. Etchebere (2000) para o rio do Peixe concluiu que áreas tectonicamente ativas estão relacionadas às anomalias de 1ª ordem associadas à região de saltos e cachoeiras.

As anomalias de 1ª ordem estão concentradas no alto curso do rio Ivaí. Estas concentrações podem ser originadas a partir de diversas causas, dentre elas à proximidade com o arco de Ponta Grossa, uma zona de intensa atividade tectônica, que ocorreu a partir do final do período Cretáceo; associada à presença de diques de diabásio salientes no relevo, que propicia a formação de soleiras e que constituem níveis de base local.

Anomalias de 2ª ordem bem como irregularidades nos perfis longitudinais foram observadas para os trechos de desembocadura de quase todos os cursos fluviais estudados. Estas irregularidades nestes segmentos podem ser justificadas

pelo encontro de afluentes de maior porte pelas modificações abruptas na carga sedimentar e pelo aumento da vazão (Carlston, 1969).

Ao analisar a distribuição dos índices de RDE, na bacia do rio Ivaí, observa-se um gradiente nas concentrações de altos valores no alto e médio curso. Nesta área há uma alta densidade de drenagem associada a fatores como diversidade litológica e controle estrutural. No baixo curso, onde foram identificados valores de RDE mais amenos verificam-se baixa densidade de drenagem, onde predominam as rochas da Formação Caiuá. Neste segmento do rio Ivaí ocorre um controle estrutural, citado por Santos et al (2008), decorrente do alinhamento tectônico de NW e NE, o que justificaria a ocorrência de singelas anomalias registradas neste setor da bacia. O gradiente observado para a bacia do rio Ivaí foi também diagnosticado por Etchebere et al (2004) para o rio do Peixe, onde os autores verificaram que estas zonas correspondem a áreas sujeitas a movimentações relacionadas a processos neotectônicos de soerguimento.

A partir resultados obtidos para bacia do rio Ivaí em relação do índice de gradiente (RDE) e estudo de perfis longitudinais verificamos que ambos os métodos são de grande eficácia e válidos para detectar zonas com possíveis anomalias, como já diagnosticado por Echebere (2000), Martinez (2004), Guedes et al (2006), Guedes (2008). Tendo em vista as evidências regionais marcadas pela fisionomia do relevo associada às anomalias de 1ª ordem detectadas em região de saltos, acredita-se, que o alto rio Ivaí é uma área que remete a processos tectônicos de caráter regional, ou seja, é uma área influenciada pelo arco de Ponta Grossa.

CAPÍTULO VI

CONTROLE HIDROLÓGICO

Neste capítulo, serão detalhados os resultados obtidos acerca dos estudos realizados em campo. Ao longo curso do rio Ivaí foram realizadas seções transversais no canal fluvial para a coleta de dados de morfologia e geometria do canal, velocidade, direção de fluxo e amostragens de água e sedimento de fundo, para a caracterização do sedimento suspenso e sedimento de carga de fundo do rio Ivaí ao longo de seu perfil longitudinal.

Para a gabaritação dos dados obtidos em campo foram utilizados os dados hidrológicos, referentes ao período 2007 e 2008, de algumas das estações fluviométricas da bacia do Ivaí, gentilmente cedidos pela SUDERHSA, Quadro 4.

Estação Fluviométrica	Código	Coordenadas geográficas	Área de drenagem
Estação Rio dos Patos	64620000	25°12'19"S/ 50°56'34"W	1086 Km ²
Estação Tereza Cristina	64625000	24°49'46"S/ 51°08'34"W	3572 Km ²
Estação Ubá do Sul	64655000	24°02'03"S/ 51°37'22"W	12701 Km ²
Estação Porto Paraíso do Norte	64685002	23°19'00"S/ 52°40'00"W	28427 Km ²
Estação Novo Porto Taquara	64693000	23°11'58"S/ 53°18'56"W	34432 Km ²

Quadro 4 - Estações fluviométricas utilizadas para gabaritação dos dados de campo

VI.1- ESTUDO HIDROLÓGICO

De acordo com os hidrogramas das vazões diárias, referente ao período selecionado, podemos identificar duas fases distintas: fase de vazões oscilatórias e fase de estiagem (Fig. 23). A fase de vazões oscilatórias abrange os meses de janeiro a setembro/2007 e novembro/2007 a julho/2008, neste período verifica-se que as vazões apresentam um comportamento pendular, ou seja, as amplitudes entre as vazões são significativas e isso faz com que bacia não possua um período sazonal definido.

Destefani (2005) comenta que as vazões de maior magnitude na bacia do rio Ivaí ocorrem em períodos de alta pluviosidade, mas com o cessar dela, as vazões diminuem significativamente, isto em decorrência da falta de capacidade de armazenamento pela bacia.

Tendo em vista a resposta rápida da vazão à pluviosidade, a fase de estiagem compreende os meses de setembro a novembro de 2007, fase esta marcada pela baixa pluviosidade na bacia do rio Ivaí conseqüentemente período onde foi registrada a menor vazão e também menores amplitudes.

Especialmente, verifica-se que as vazões aumentam à medida que se aproximam da foz, ou seja, na Seção rio dos Patos (estação a montante) foi a que registrou a menor média das vazões registradas 24,13 m³/s, por sua vez Taquara (estação mais a jusante) foi a que obteve a maior média das vazões no período estudado 546,18 m³/s.

Neste contexto vários autores, dentre eles Silva (2007) e Destefani (2005), ressaltam que o acréscimo nas vazões em canais fluviais naturais ocorre à medida que o rio se direciona para a jusante isso em função do acréscimo da área de drenagem, mas também da entrada de afluentes, demonstrando um regime hidrológico regularmente normal.

VI.2- CARACTERIZAÇÃO DO RIO IVAÍ AO LONGO DE SEU PERFIL LONGITUDINAL

A seguir será apresentada uma breve descrição das seções estudadas, tendo em vista as características físicas e hidrológicas.

VI.2.1- Seção rio dos Patos

O trecho rio dos Patos corresponde a seção a montante da confluência do rio dos Patos com o rio São João, tributários formadores do rio Ivaí. Este segmento possui alta complexidade litológica, com rochas dos Grupos Passa Dois e São Bento, influenciado por falhas, fraturas e lineamentos de diques de diabásio. De

acordo com Barthelmess (1965), a paisagem é composta por um relevo modesto, apresentando cotas altimétricas que variam de 750 a 800 metros.

Neste segmento encontra-se instalada a Estação Fluviométrica do rio dos Patos (25°12'00"S – 50°56'00"W), que drena uma área de 1086 Km², em operação desde 1930. Ao longo de sua série histórica a vazão mínima registrada foi de 0,14 m³/s (30/06 e 1,2 e 3/08/1930), a máxima de 573 m³/s (31/05/1992), perfazendo uma vazão média anual de 22,35 m³/s.

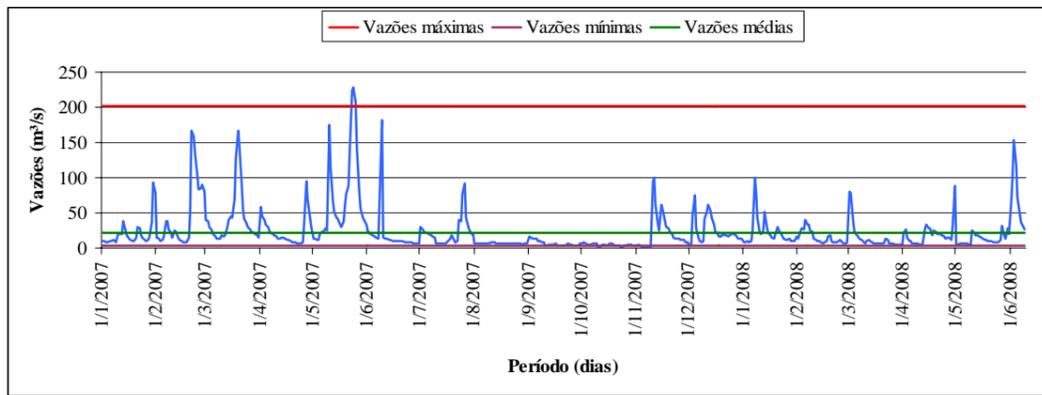
VI.2.2- Seção Teresa Cristina

O segmento de estudo, denominado Seção Teresa Cristina, encontra-se no atual distrito de Teresa Cristina, no município de Cândido de Abreu, fundado no início do século XIX pelo médico francês Jean Maurice Faivre. A região compreende predominantemente formas escalonadas demarcadas por diques de diabásio e estruturas locais mais resistentes das rochas da Formação Teresina.

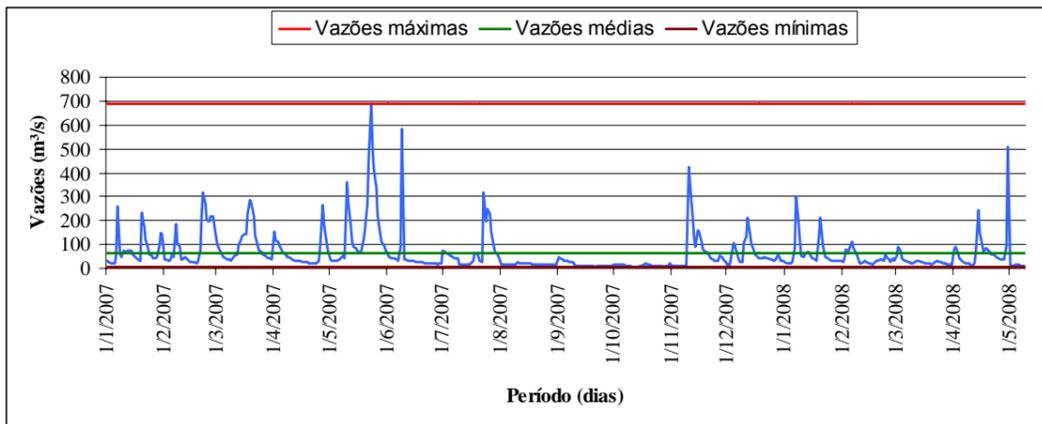
Na seção estudada, a paisagem é composta por relevos ondulados, ocorrência de níveis topográficos irregulares, vertentes côncavas, amplo vale em "V" e terraços vinculados ao atual perfil do rio Ivai (BARTHELMESS, 1965), Figura 24.

Junto à seção estudada está instalada a Estação Fluviométrica de Teresa Cristina (24°49'48"S - 57°08'32"W), em uma altitude de 550 m e com uma área de drenagem de 3.572 km², operando desde 1956. De acordo com os dados hidrológicos, verifica-se que a vazão média anual corresponde a 74,08 m³/s, ao longo da série histórica a vazão máxima registrada foi de 1727 m³/s (31/05/1992) e a mínima de 2,85 m³/s (18/12/1988).

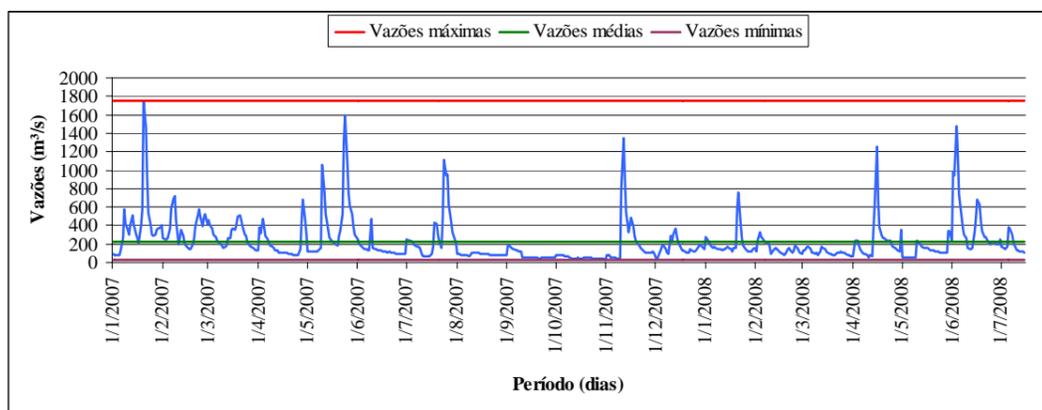
O rio Ivai nesse trecho apresenta-se tortuoso, "como resultado de encaixamento dos meandros correspondentes à fase de aplainamento que precedeu a última exumação dos diques", acompanhado de uma retificação (BARTHELMESS, 1965).



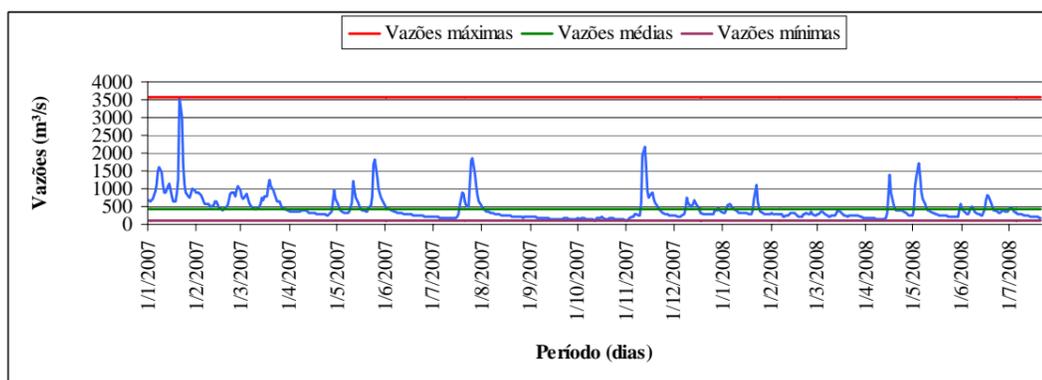
A- Hidrograma Estação rio dos Patos



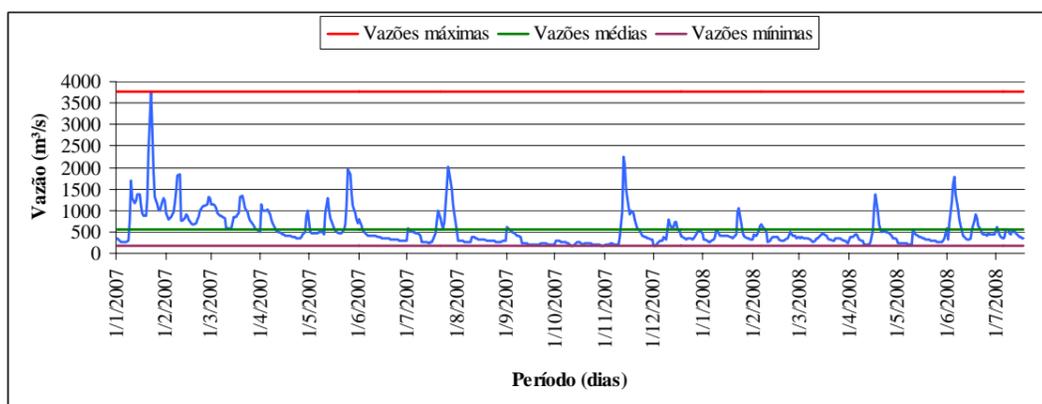
B- Hidrograma Estação Teresa Cristina



C- Hidrograma Estação Porto Ubá do Sul



D- Hidrograma Estação Porto Paraíso do Norte



E- Hidrograma Estação Porto Novo Taquara

Figura 23 - Hidrogramas das Estações Fluviométricas ao longo do curso do rio Ivaí, no período de 2007-2008



Figura 24 – Seção Teresa Cristina, ao fundo nota-se a paisagem composta por relevos ondulados

VI.2.3- Seção Cândido de Abreu

A Seção Cândido de Abreu está localizada no município homônimo. A região compreendida por este segmento é constituída pelas rochas do Grupo Passa Dois, com ocorrência de estruturamento por diques de diabásio, falhas e fraturas. Possui relevo ondulado, vertentes convexas e topos isolados com vales predominantemente em “V” aberto.

Para a gabaritação dos dados desta seção, serão utilizados os dados hidrológicos da estação fluviométrica mais próxima a montante, Estação Fluviométrica de Teresa Cristina, descrita anteriormente, pois *in situ* não possui uma estação fluviométrica.

VI.2.4- Seção Porto Ubá do Sul

O trecho denominado Seção Porto Ubá corresponde a última seção localizada no alto curso do rio Ivaí. A área é constituída por rochas da Formação Serra Geral e sofre influência de falhas, fraturas e diques de diabásio.

Geomorfologicamente, encontra-se na sub-unidade morfoescultural denominada Planalto de Cândido de Abreu, que configura um relevo movimentado, com baixa dissecação, formado por topos isolados, vertentes convexas e vale em calha de fundo chato (MINEROPAR, 2006).

Neste segmento de estudo, encontra-se instalada a Estação Fluviométrica de Porto Ubá do Sul (24°03'00" S - 51°37'00" W), a uma altitude de 380 m, drenando uma área de 12.701 km² e em operação desde 1967. De acordo com os dados hidrológicos, a vazão média anual ao longo do período de operação foi de 41,83 m³/s, sendo a vazão máxima de 11031 m³/s (03/04/1975) e a vazão mínima de 0,15 m³/s (23/02/1974).

VI.2.5- Seção Porto Paraíso do Norte

A Seção Porto Paraíso do Norte está situada no Terceiro Planalto Paranaense, no médio curso do rio Ivaí. O segmento de estudo compreende a área de transição das rochas da Formação Serra Geral e da Formação Caiuá. Geomorfologicamente, situa-se entre as sub-unidades morfoesculturais Planalto de Campo Mourão e Planalto de Umuarama, que configura um relevo suavemente ondulado, com altitudes que variam de 520 a 250 m, composto de topos aplainados e alongados, vertentes retilíneas e convexas e predominantemente com vales em V, mas também em calha (MINEROPAR, 2006).

Nesta seção encontra-se instalada a Estação Porto Paraíso do Norte (23°19'00"S – 52°40'00"W) a uma altitude de 250 m, drenando uma área de 28.427 km² e em operação sem interrupções desde 1953. Conforme os dados hidrológicos da referida estação, a vazão média anual até o presente momento foi de 540,86 m³/s, a vazão máxima verificada foi de 6676,0 m³/s (31/05/1983) e a vazão mínima de 54,34 m³/s (21/09/1963).

VI.2.6- Seção Foz

A Seção Foz encontra-se localizada no último segmento do rio Ivaí, cognominado baixo curso. Este trecho vem sendo bem explorado nas pesquisas

sobre a dinâmica sedimentar e de fluxos (BIAZIN, 2005; KUERTEN, 2006; BARROS, 2006; FRANCO, 2007), em comparação aos demais setores da bacia do rio Ivaí.

Neste segmento, o rio Ivaí é constituído pelas rochas da Formação Caiuá. De acordo com Mineropar (2006), encontra-se inserido no Terceiro Planalto Paranaense, nas subunidades morfoescultural Planalto de Umuarama e Planícies Fluviais. A paisagem é composta por um relevo suavizado pouco ondulado, com vertentes predominantemente convexas. Associadas a estas formas desenvolvem-se colinas alongadas com topos arredondados, planos ou convexas pouco marcados.

Localmente, o trecho estudado possui uma planície de inundação ampla, que se desenvolve somente nos últimos 150 km de extensão do rio Ivaí, apresentando uma grande diversidade de depósitos sedimentares originados em diferentes contextos geomorfológicos (SANTOS et al, 2008). Em seu estudo, Biazin (2005) ressalta que neste trecho o rio Ivaí encontra-se encaixado, apresentando baixa declividade e largura do canal que varia de 170 metros no início de sua planície para 250 metros junto à foz com o rio Paraná.

A montante do segmento de estudo encontra-se instalada a Estação de Porto Novo Taquara (23°12'00"S – 53°19'00"W), a uma altitude de 240 m, operando desde 1974. Ao longo dos 34 anos de operação apresentou uma vazão média anual de 692,07 m³/s e uma vazão máxima registrada de 7826,40 m³/s (03/07/1992) e uma vazão mínima de 132 m³/s (19/01/1986).

VI.3- RELAÇÃO MORFO-HIDRÁULICA DAS ANOMALIAS

Modificações na largura, profundidade e velocidade do fluxo são observadas nas seções transversais estudadas ao longo do rio Ivaí (Fig. 25). As seções Patos e Teresa Cristina, seções mais a montante, foram as que apresentaram os menores valores (28,5) na relação largura : profundidade. Já a seção localizada mais a jusante (Seção Foz), apresentou maior profundidade e largura (7,5 m e 253,0 m, respectivamente). Entretanto, maiores valores na relação largura : profundidade foram observadas nas seções Cândido de Abreu e Porto Ubá do Sul, 83,0 e 58,8, respectivamente.

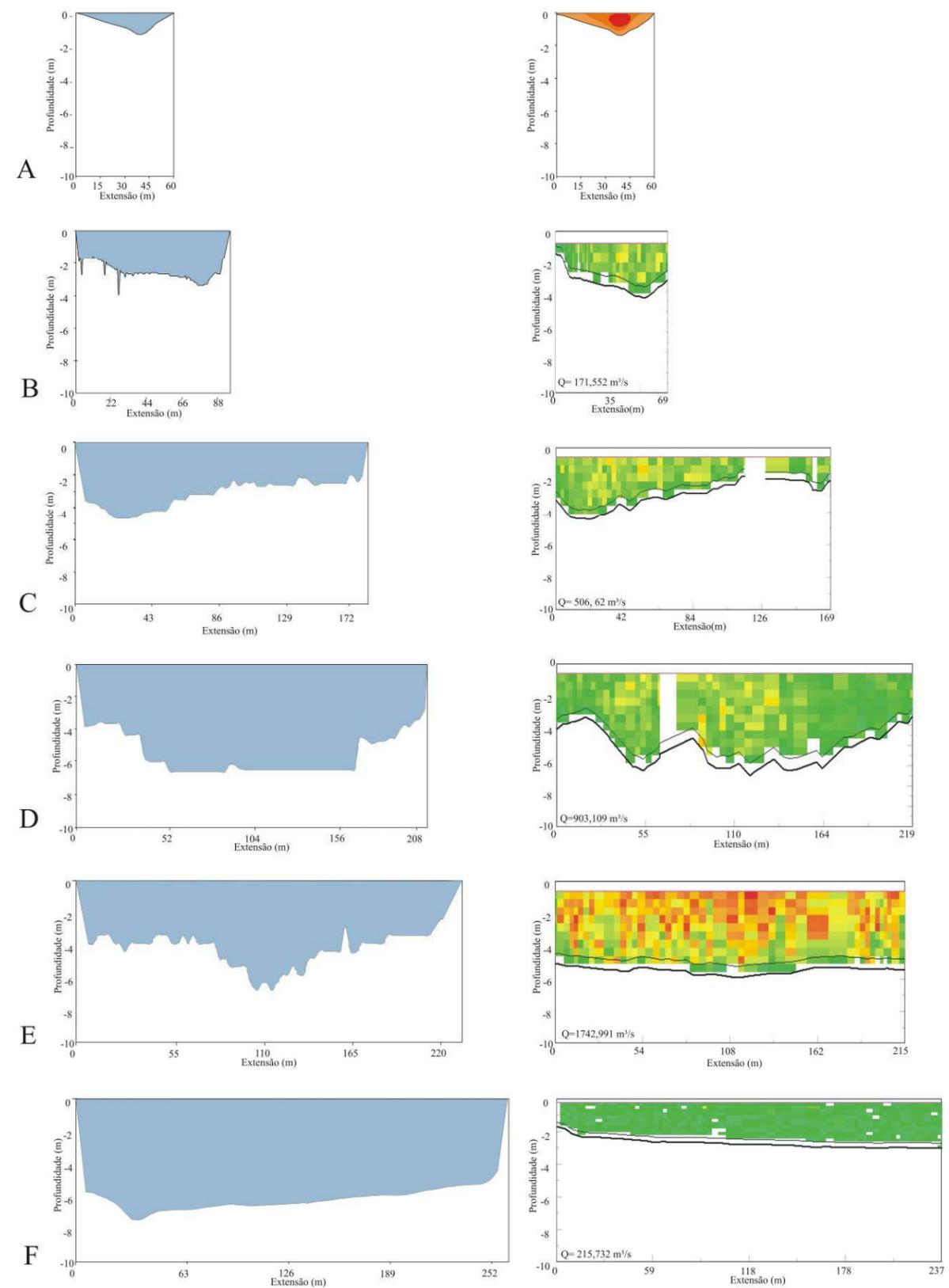
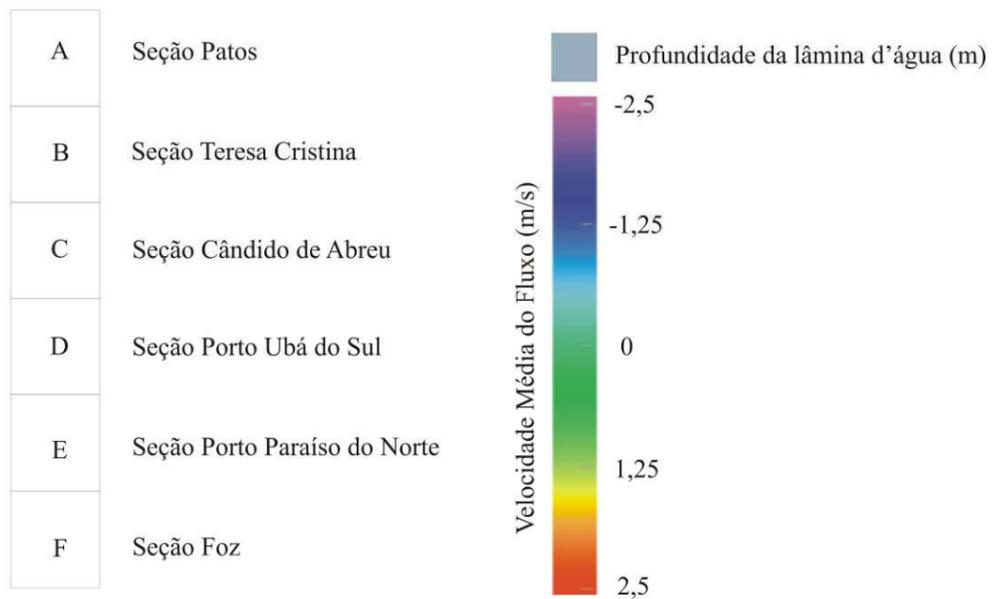
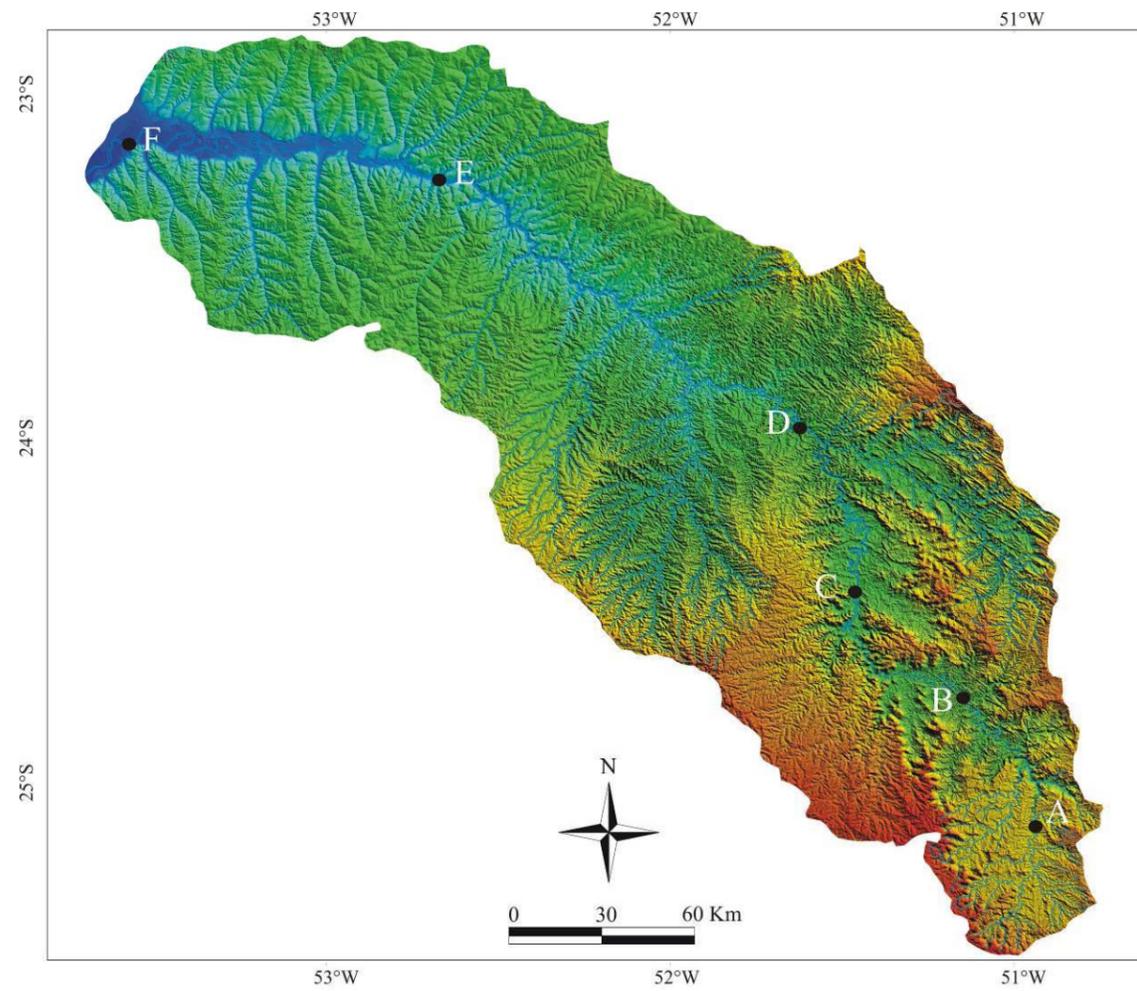


Figura 25 - Perfis de morfologia e velocidade de fluxo das estações mensuradas

As seções Patos, Teresa Cristina, Cândido de Abreu e Foz apresentam seções assimétricas (Fig. 25). Em Patos, o talvegue é deslocado para a margem direita, qual se apresenta com maior declividade. Em Teresa Cristina, a seção é irregular, com talvegue deslocado para a margem direita. Na margem esquerda ocorre à presença de fendas, possivelmente que remetem a um controle estrutural.

Diferentemente de Patos e Teresa Cristina, Cândido de Abreu e Foz apresentaram o talvegue deslocado para a margem esquerda. Observa-se em Cândido de Abreu que a declividade do canal vai sendo suavizada à medida que se direciona para a margem esquerda, formando alguns patamares. Em Foz a declividade da seção também diminui à medida que se direciona para a margem esquerda, porém não ocorrem irregularidades no fundo do canal como observado em Cândido de Abreu.

Seções simétricas são observadas nos perfis Porto Ubá do Sul e Porto Paraíso do Norte, onde os talvegues estão centralizados e encaixados (Fig. 25). Em ambos os perfis, nas regiões marginais ocorrem patamares bem marcados, que indicam o encaixamento do canal, possivelmente vinculados à estrutura.

Das seções estudadas, somente a Seção Foz apresentou material de fundo, as demais possuem leito rochoso. Os sedimentos de fundo que recobrem a estação Foz possui grande homogeneidade textural, com domínio de texturas argilosas (81%).

Deve-se salientar que os dados de carga suspensa, velocidade de fluxo e vazão utilizados nesta análise foram coletados apenas durante o período deste trabalho e não correspondem à média da série histórica. Deve-se entendê-los, portanto como de valor apenas comparativo entre as seções estudadas. A concentração de carga suspensa mensurada ao longo do rio Ivaí é bastante heterogênea, apresentando altas concentrações nas seções Porto Paraíso do Norte e Porto Ubá do Sul (131,0 e 112,3 mg/l) e valores de concentrações extremamente reduzidos na estação Foz (2,8 mg/l). Em geral, nos pontos de amostragens foi diagnosticada maior concentração de matéria orgânica em comparação ao sedimento suspenso, exceto para a seção Porto Ubá do Sul.

Conforme os gráficos de velocidade de fluxo (Fig. 25, tab. 5) observam-se que as maiores velocidades médias foram registradas na seção Patos (1,72 m/s)

seguido por Teresa Cristina (1,36 m/s) e Porto Paraíso do Norte (1,17 m/s). Já as menores velocidades médias foram registradas para a Seção Foz (0,145 m/s). Nesta seção, verificaram-se somente algumas células de maiores velocidades, que variaram de 1,00 a 1,35 m/s, distribuídas ao longo do perfil. Para todas as seções verifica-se uma distribuição homogênea nas velocidades do fluxo. As maiores velocidades são observadas nas regiões de maior profundidade e sem atrito com o fundo e a superfície, sendo que as menores velocidades localizam-se nos setores marginais das seções (Fig. 25).

Ao longo do curso do rio Ivaí, verificou-se um acréscimo das vazões à jusante (Tab. 5). A maior vazão instantânea registrada (obtidas por meio do ADCP) foi obtida na seção Porto Paraíso do Norte 1743,00 m³/s, já a menor foi mensurada na seção Patos (108,32 m³/s). A seção Foz apresentou uma redução drástica em relação à vazão (200,34 m³/s), isto em função das baixas velocidades de fluxo registradas ao longo da seção, provavelmente pelo represamento causado pelo rio Paraná.

Em todas as seções de amostragens estudadas no rio Ivaí, verificamos que este rio pode ser classificado como um rio de **fluxo turbulento** (número de Reynolds acima de 2500), **não-uniforme, instável** (variações na velocidade e na profundidade ao longo do canal) e **tranquilo de corrente** (número de Froude inferior a 1).

Para cada seção de estudo, foram calculados o *stream power* e o *stream power* específico de três diferentes formas, ou seja, utilizando três diferentes vazões. A vazão com recorrência de 2,33 anos ($Q_{2,33}$), a vazão média da série histórica ($Q_{Média}$) e a vazão instantânea (Q_{inst}), que é obtida por meio do ADCP em tempo real da amostragem (Tab.5).

Conforme a tabela 5, observa-se que as Seções Cândido de Abreu e Porto Paraíso do Norte foram as seções que obtiveram os maiores valores de *stream power* $Q_{2,33}$ (12011 e 10191 W.m), respectivamente. Já os menores valores foram verificados para a Seção Foz, 113, 4 W.m. Em relação ao *stream power* específico $Q_{2,33}$ as seções que apresentaram os maiores valores foram Patos (61,35 W.m⁻²) e Teresa Cristina (173,44 W.m⁻²), e a Seção Foz foi a que apresentou o menor valor de *stream power* específico $Q_{2,33}$ (0,45 W.m⁻²).

Paraíso do Norte e Teresa Cristina foram as seções que apresentaram os maiores valores de *stream power* $Q_{Média}$ (1385 e 942 W.m, respectivamente). Entretanto, as seções Teresa Cristina, Patos e Porto Paraíso do Norte foram as seções que obtiveram os maiores valores de *stream power* específico $Q_{Média}$ (13,60; 6,60 e 6,43 W.m⁻²).

Observa-se que as seções Porto Paraíso do Norte e Cândido de Abreu foram as seções que obtiveram os maiores valores de *stream power* Q_{inst} , 4464 e 3350 W.m, respectivamente. Já os menores valores foram verificados para a Seção Foz, 5 W.m. Em relação ao *stream power* específico Q_{inst} , as seções Patos e Cândido de Abreu apresentaram os maiores valores, 32 e 31 W.m⁻², respectivamente. Diferentemente ocorre para a Seção Foz, que apresentou o menor valor de *stream power* específico Q_{inst} (0,02 W.m⁻²).

A partir dos cálculos efetuados para identificação de anomalias, índice de Hack verifica-se que todas as seções amostradas encontram-se em segmentos classificados como anômalos. A Seção Patos localiza-se em segmento determinado como anomalia de 1ª ordem, já as demais seções em área de abrangência de anomalia de 2ª ordem. Em relação ao RDE_{total} as seções Foz e Porto Paraíso do Norte foram as que apresentaram os menores índices (40 e 60, respectivamente), por sua vez, na seção Porto Ubá do Sul foi identificado o maior índice (140), seguido por Patos e Cândido de Abreu (120) e Teresa Cristina (100).

VI.3.1- Padrões espaciais da relação Morfo-hidráulica

Neste estudo, para verificar possíveis padrões espaciais das variáveis da geometria hidráulica e vazão foi aplicada uma ordenação. Na interpretação dos componentes principais da análise, as variáveis que apresentaram valor superior 0,70 (valor adotado pelo programa *Statistica*) foram consideradas positivas e as que apresentaram valores inferiores a 0,70, negativas.

Na análise de componentes principais – ACP, os dois primeiros eixos foram retidos para interpretação (critério de Broken-stick), com autovalores 10,765 para o eixo 1 e de 6,965 para o eixo 2. O eixo 1 da ACP explicou 46,805% e o eixo 2 explicou 30,281 %, totalizando 77,085 % do total da variabilidade dos dados.

Pela ordenação dos dados observou-se o agrupamento das seções em função das diferenças nos valores das variáveis. No eixo 1 as variáveis que mais contribuíram para a sua formação foram profundidade, largura, $Q_{\text{média}}$, $Q_{2,33}$, raio hidráulico, positivamente, enquanto velocidade média, pendente, número de Froude e os valores de *stream power* e *stream power* específico foram as variáveis que apresentaram maior correlação negativa.

Na formação do eixo 2 da ACP, vazão instantânea, sedimento e matéria orgânica em suspensão, número de Reynolds e os valores de *stream power* influenciaram positivamente, já velocidade média, largura, número de Froude, pendente e os valores de *stream power* específico, negativamente (Fig. 26).

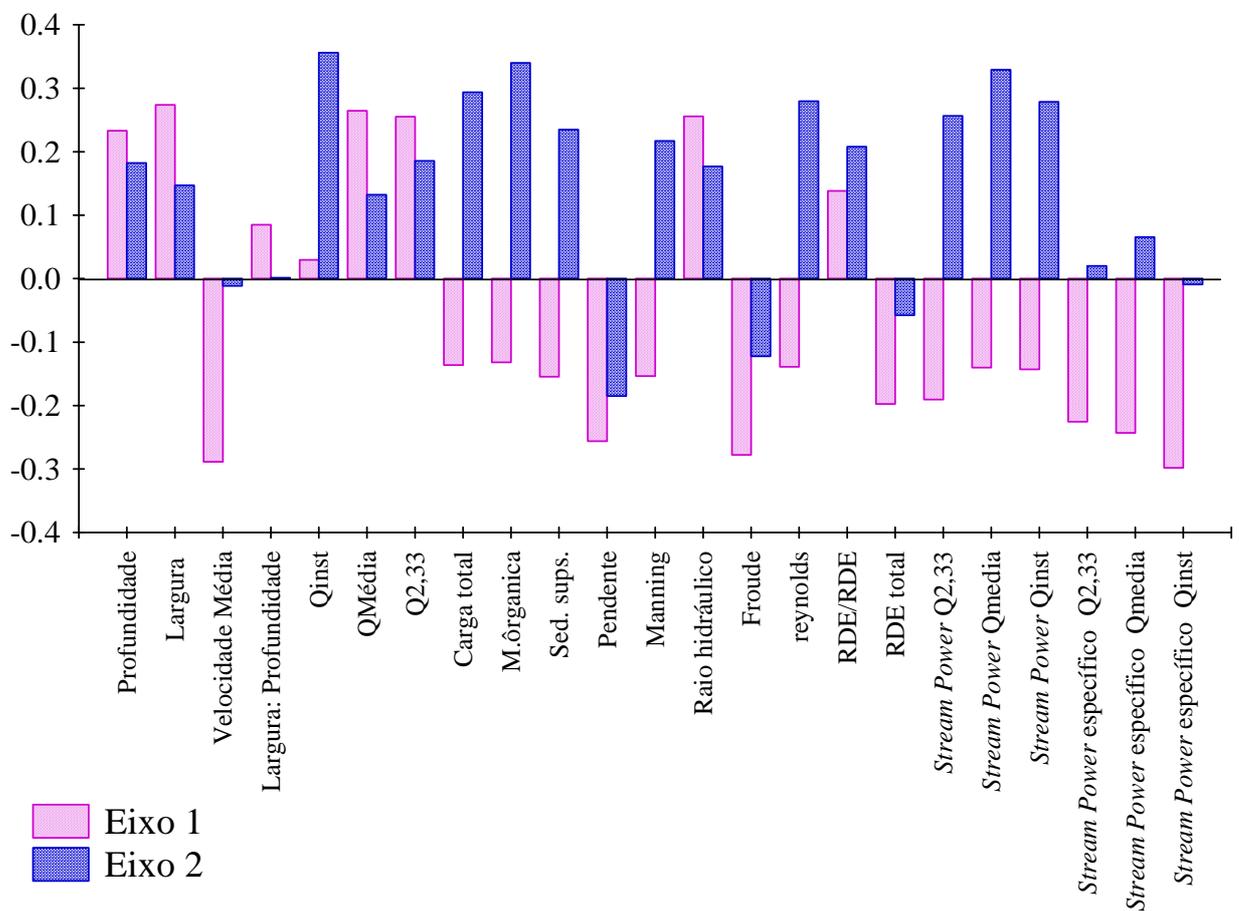


Figura 26 - Divisão dos eixos na análise dos componentes principais

Tabela 5 - Tabela Resumo das variáveis estudadas

	Seção Patos	Seção Teresa Cristina	Seção Cândido de Abreu	Seção Porto Ubá do Sul	Seção Porto Paraíso do Norte	Seção Foz
Profundidade Média (m)	2,10	2,43	2,03	3,22	5,42	5,45
Largura (m)	60,00	69,25	168,62	189,48	215,39	252,341
Largura : profundidade	28,50	28,50	83,00	58,80	39,70	46,30
Velocidade Média (m/s)	1,72	1,36	1,10	0,75	1,16	0,14
Carga de fundo	Rochoso	Rochoso	Rochoso	Rochoso	Rochoso	Argiloso
Sedimento suspenso (mg/l)	44,15	32,92	25,48	66,90	57,58	1,13
Matéria orgânica em suspensão (mg/l)	20	48,46	32,93	45,40	73,40	1,66
Vazão Instantânea (m³/s)	108,32	171,55	506,62	949,16	1742,99	200,34
Vazão $Q_{b/2,33}$ (m³/s)	207,60	944,20	944,20	2918,82	3979,00	4481,70
Vazão Bfmedia Anual (m³/s)	22,3421519	74,08604	74,08604	263,2493	540,8638	692,0709
Declividade (cm.Km ⁻¹)	180,7566408	129,6725003	67,41044323	27,55163432	26,108082	0,257990005
Raio Hidráulico	1,014492754	2,757974128	2,274370325	4,641335936	5,238796249	6,317445924
Número de Manning	0,038	0,048	0,038	0,048	0,043	0,0345
Número de Reynolds	29178,57	29507,14	19901,25	21763,75	56426,07	7055,80
Número de Froude	0,398397994	0,278548785	0,246047988	0,134689407	0,159905869	0,019830572
Stream Power $Q_{2,33}$	3681,210214	12011,04761	6243,961063	7889,031433	10191,02612	113,4265365
Stream Power Específico $Q_{2,33}$	61,35350356	173,4447308	37,02977738	41,63516695	47,31429554	0,449497055
Stream Power Q_{inst}	1920,75477	2182,291081	3350,260065	2565,406899	4464,153507	5,070394213
Stream Power Específico Q_{inst}	32,01257951	31,51322861	19,86869924	13,53919621	20,72590885	0,020093422
Stream Power $Q_{Média}$	396,1760971	942,4390238	489,9283361	711,5142043	1385,261775	17,51549642
Stream Power Específico $Q_{Média}$	6,602934952	13,60922778	2,905517353	3,755088686	6,431411741	0,069412012
RDEtrecho/RDEtotal	1	2	2	2	2	2
RDE Total	120	100	120	140	60	40

Por meio da ordenação realizada para o rio Ivaí pode-se observar 3 agrupamentos (Fig. 27), sendo eles:

- Patos –Teresa Cristina
- Cândido de Abreu, Porto Ubá do Sul e Porto Paraíso do Norte (Transição)
- Foz

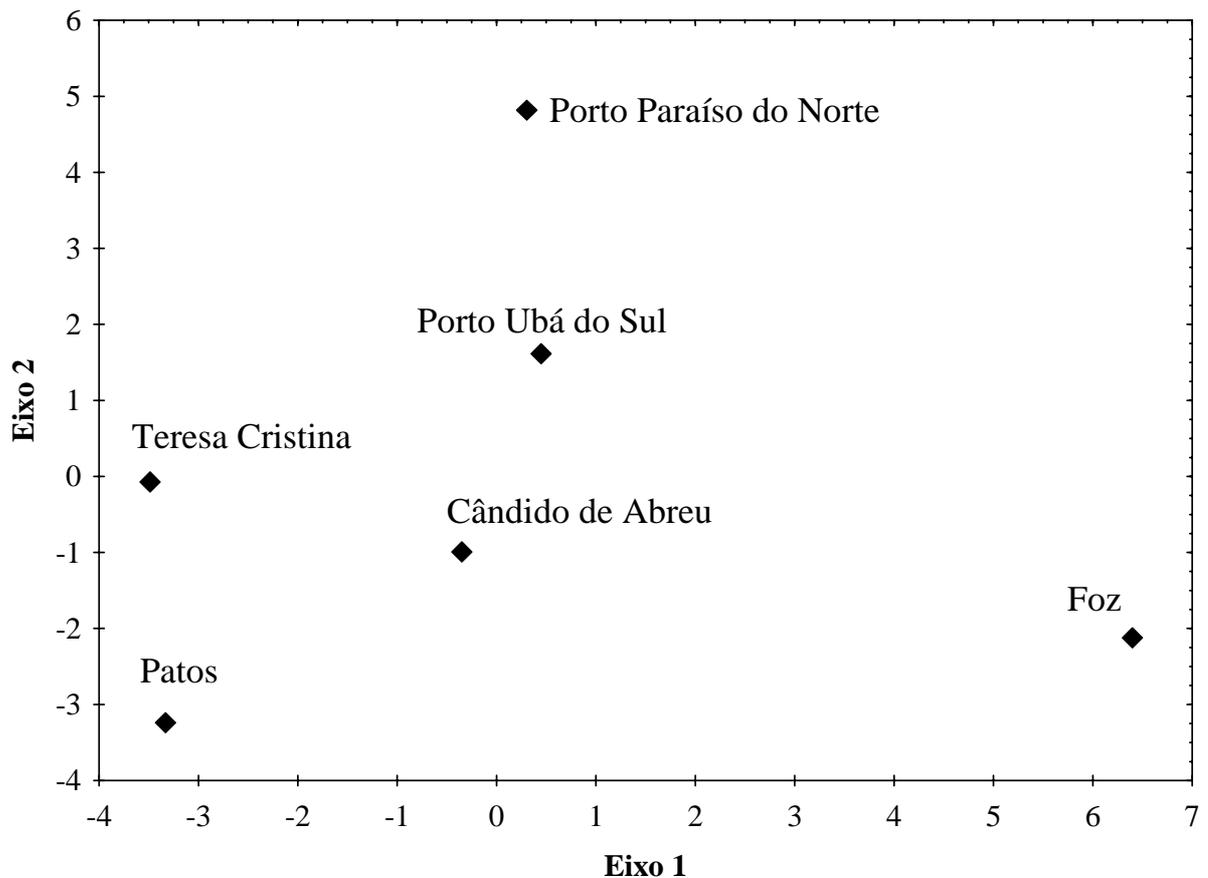


Figura 27 - Ordenação dos eixos da Análise de Componentes Principais (ACP)

VI.3.2- Descrição dos agrupamentos

- Patos – Teresa Cristina: este grupo se difere por apresentar maiores velocidades médias, declividade, número de Froude e RDEs, no entanto apresenta os menores valores na relação largura : profundidade;
- Cândido de Abreu, Porto Ubá do Sul e Porto Paraíso do Norte – Este grupo possui características semelhantes em relação à largura da seção, tipo de substrato de leito, velocidades médias, relação RDE_{trecho}/RDE_{total} .

- Foz – Apresentou maiores valores de profundidade, largura, menores valores de carga e sedimento em suspensão, RDE_{total} e valores de *stream power* e *stream power* específico, outra característica marcante a este grupo é estar inserido em área onde o rio Ivaí corre sobre leito móvel (aluvial) e não rochoso como os demais grupos.

VI.4- DISCUSSÃO

Conforme os resultados apresentados verificam-se, que das seis seções de amostragens ao longo do rio Ivaí, cinco apresentaram substrato de fundo rochoso (Patos, Cândido de Abreu, Teresa Cristina, Porto Ubá do Sul e Porto Paraíso do Norte). Tinkler & Wohl (1998) comentam que a morfologia de rios que possuem leitos rochosos reflete a variabilidade e o controle da dinâmica hidráulica e da litologia ou estrutura do substrato do canal, esta afirmação corrobora para justificar a presença das fendas observadas na seção de Cândido de Abreu, mas também os patamares estruturais formados nas Seções Porto Ubá do Sul e Porto Paraíso do Norte.

As variáveis da geometria hidráulica aumentam conforme se direciona a jusante em função do acréscimo da área da bacia de drenagem do rio Ivaí e da entrada de seus afluentes. Outras variáveis como carga de fundo, carga suspensa (sedimento e matéria orgânica suspensa), vazão instantânea, número de Reynolds e os valores de *stream power* aumentam gradativamente até a Seção Porto Paraíso do Norte e reduzem significativamente para a Seção Foz.

A dinâmica do fluxo e a geometria do canal estão intrinsecamente relacionadas de uma maneira bastante complexa. A variação da velocidade de fluxo influencia muito no processo de erosão, transporte e deposição de sedimentos, estes processos dependem da interação do fluxo e do ajuste do canal ao longo de seu curso. O controle exercido pelo fluxo e pelos sedimentos nos canais propicia uma complexa seqüência de ajustamentos e trocas na forma e no comportamento do canal ao longo do tempo.

Nos locais onde o rio corre sobre leito rochoso, há um maior gasto de energia para a execução dos processos fluviais, neste caso erosão. Já onde ele

corre sobre leito móvel o dispêndio de energia é menor, o que indica o processo de deposição do material por ele transportado.

Charton (2008) explica que em canais de leitos rochosos a morfologia do canal é principalmente influenciada pelo processo de erosão, pois o suprimento de sedimentos muitas vezes é limitado. Assinala ainda, que a natureza da resistência litológica, o controle estrutural e por vezes sua combinação possui efeito significativo aos processos da dinâmica de fluxos e na morfologia.

As Seções Patos e Teresa Cristina foram as seções que apresentaram maiores valores de *stream power* específico, ou seja, maior dispêndio de energia para a execução dos processos fluviais, neste caso de erosão. Entretanto a seção Foz, apresentou os menores valores de *stream power* e *stream power* específico, ou seja, menor dispêndio de energia, portanto deposição. Como o rio Ivaí, no local de amostragem da Seção Foz, a carga de fundo é composta por texturas argilosas, essa argila fica compactada no fundo agindo como um agregado, o qual necessita de muita energia para que seja realizado seu transporte, o que como verificado isto não ocorre.

Ainda que apresente largura, profundidade, raio hidráulico maior do que as demais estações, a Estação Foz possui características diferenciadas em função da redução da velocidade de fluxo. Nesta seção, foi detectada a menor concentração de carga suspensa (2,98 mg/l) devido à baixa velocidade de fluxo, que propicia a decantação e a deposição das partículas suspensas, em consequência ao barramento natural que o rio Paraná faz com o rio Ivaí nas proximidades da confluência destes canais, porém estudo realizado por Biazin (2005), próximo a esta seção de estudo, verificou-se que em outubro de 2004 um barramento inverso, onde o rio Ivaí represou o fluxo do rio Paraná.

Estudos realizados no baixo curso do rio Ivaí mostram que a concentração média de carga suspensa é quatro vezes superior a transportada pelo rio Paraná, na região de confluência (BIAZIN, 2005) e que em diferentes condições de fluxo a carga suspensa apresenta um equilíbrio longitudinal no baixo curso do rio Ivaí (KUERTEN, 2006).

A diminuição drástica nas vazões registradas de Porto Paraíso do Norte para a última seção de estudo, a Seção Foz, é discutida pelos trabalhos de Meurer (2008) e Destefani (2004) que consideram a diminuição das vazões, no caso vazões de *bankfull*, em consequência à planície aluvial bem desenvolvida, onde o rio Ivaí “perderia” águas para planície e por isso ocorreria à diminuição das vazões. Outro evento que explicaria as reduções drásticas da vazão observada está vinculado às baixas velocidades de fluxo registradas na seção transversal, uma vez que a vazão está diretamente relacionada com a área e a velocidade média da seção transversal.

Com a finalidade de definir grupos com características semelhantes e explicar os principais processos responsáveis pela dinâmica fluvial, dentro da perspectiva de domínios de processos, procurou-se analisar as seções de estudos e as variáveis estudadas por meio da análise de componentes principais (PCA). Landim (2000) comenta que esta análise auxilia na identificação de semelhança entre as estações de estudo ou entre variáveis, sendo que o agrupamento é feito pela correlação entre características homogêneas das seções de estudo. A aplicação desta análise para o rio Ivaí mostrou-se adequada para o reconhecimento de padrões de agrupamentos entre as seções estudadas.

Por fim, tendo em vista a interação dos dados morfométricos com os resultados das análises da morfo-hidráulica, neste estudo verificou-se que a dinâmica de fluxos do rio Ivaí sofre grande influência de variáveis como controle litológico e estrutural, confluência de canais fluviais, como por exemplo, o rio Paraná, mas também do *stream power*, ou seja, da energia que o canal possui em determinada seção de executar os processos de erosão, transporte e deposição e que os desequilíbrios e anomalias detectadas ao longo do rio Ivaí refletem à dinâmica de fluxos.

CAPÍTULO VII

CONCLUSÕES

Os resultados deste estudo foram obtidos a partir da análise de dados morfométricos, hidrológicos, e da integração do índice de RDE com os resultados das análises de macro e micro-escala, realizadas ao longo do rio Ivaí. Diante dos resultados apresentados ao longo deste trabalho, puderam-se chegar às seguintes conclusões:

1. As alterações no equilíbrio dos cursos d'água, principalmente do rio Ivaí, devem estar relacionados à existência de substratos rochosos mais resistentes (mudança de nível de base local), controle estrutural, confluência com afluentes de caudal expressivo, atividade neotectônica, entre outros;
2. No alto e médio curso, os maiores índices de RDE estão associados a fatores como diversidade litológica e controle estrutural. Já para o baixo curso, onde foram identificados valores de RDE mais amenos, estes podem estar associados ao controle estrutural decorrente do alinhamento tectônico de NW e NE.
3. A variação longitudinal dos índices de RDE mostram que as áreas mais a montante (alto e médio curso) corresponderiam a áreas sujeitas a movimentações relacionadas a processos neotectônicos de soerguimento;
4. As anomalias de 1ª ordem, concentradas no alto curso do rio Ivaí podem ser originadas a partir de diversas causas, dentre elas à proximidade com o arco de Ponta Grossa, associada à presença de diques de diabásio salientes no relevo, que propicia a formação de soleiras e que constituem níveis de base local;
5. As anomalias de 2ª ordem estão associadas ao encontro de afluentes de maior porte, que modificam abruptamente a carga sedimentar e a vazão;
6. Devido às evidências regionais, marcadas pela fisionomia do relevo associada às anomalias de 1ª ordem detectadas em região de saltos, acredita-se, que o alto rio Ivaí é uma área que remete a processos tectônicos

- de caráter regional, ou seja, é uma área influenciada pelo arco de Ponta Grossa;
7. O rio Ivaí é classificado como um rio de fluxo turbulento, não-uniforme, instável e tranquilo de corrente;
 8. Nas seções onde o rio Ivaí corre sobre substrato rochoso, como é o caso das Seções Cândido de Abreu, Porto Ubá do Sul e Porto Paraíso do Norte, a dinâmica hidráulica reflete a influência da litologia e da estrutura desse substrato;
 9. As variáveis da geometria hidráulica aumentam conforme se direcionam à jusante em função do aumento da área de drenagem e da entrada de tributários;
 10. Todas as seções estudadas encontram-se em área anômala. Patos corresponde um trecho que se encontra em anomalia de 1ª ordem, as demais anomalia em trechos com anomalias de 2ª ordem;
 11. A redução drástica na concentração de sedimento e matéria orgânica para a seção Foz ocorre em função das baixas velocidades de fluxo, o que leva a decantação das partículas em suspensão;
 12. Outra variável influenciada pela redução de velocidade, é a vazão, conseqüentemente os valores de *stream power* e *stream power* específico. A diminuição da vazão de Porto Paraíso do Norte para a seção Foz acontece devido à “perda” das águas do rio Ivaí para sua planície aluvial, mas também provocada pela influência do barramento que o rio Paraná faz com o rio Ivaí;
 13. A dinâmica de fluxos do rio Ivaí está intrinsecamente ligada as variáveis: controle litológico e estrutural, confluência de canais fluviais, como por exemplo o rio Paraná, mas também do *stream power*, ou seja, da energia que o canal possui em determinada seção de executar os processos de erosão, transporte e deposição;
 14. Os desequilíbrios e anomalias detectadas ao longo do rio Ivaí refletem à dinâmica de fluxos.
 15. Por meio de ordenação das variáveis morfo-hidráulica o rio Ivaí foi dividido em três agrupamentos, sendo eles:
 - Patos – Teresa Cristina
 - Cândido de Abreu, Porto Ubá do Sul e Porto Paraíso do Norte;

- Foz

VII.1- CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo apesar de singelo foi uma proposta para a investigação de um dos rios mais importantes do Estado do Paraná, o rio Ivaí.

Com o término desta dissertação, não se pode encerrar os estudos abordados neste trabalho. Isto porque, abre novas perspectivas para o estudo desta bacia em seus aspectos regionais e também metodológicos.

Frente aos estudos da dinâmica de fluxos, ainda há necessidade de maiores detalhamentos sobre a morfologia e dinâmica fluvial, como por exemplo, a realização de mais seções de estudo ao longo do canal para que se possa obter maior compreensão da variação do *stream power* e da geometria hidráulica, uma vez que, como já ressaltamos sobre sua importância, o rio Ivaí é um dos únicos rios do estado do Paraná, que ainda não apresenta grandes obras de engenharia, como por exemplo usinas hidrelétricas de grande porte.

CAPÍTULO VIII

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACKLAS Jr. R.; ETCHEBEHERE, M. L. C.; CASADO, F. C. Análise de perfis longitudinais de drenagens do Município de Guarulhos para a detecção de deformações neotectônicas. *Revista UnG – Geociências*, ano 6, n. 8, p. 64-78, 2003.

ALLAN, J.D. & CASTILLO, M.M., *Stream Ecology Structure and Function of Running Waters*. Springer. 2ª ed. Netherlands. 2007.

ANDRADE, A. R. Variabilidade da precipitação pluviométrica da bacia hidrográfica do rio Ivaí – PR. Dissertação (Mestrado em Análise Regional e Ambiental)– Departamento de Geografia, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2002.

BALDO, M.C., Variabilidade pluviométrica e a dinâmica atmosférica na bacia hidrográfica do rio Ivaí. Tese (Doutorado em Geografia) Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2006.

BARROS, C.S., Dinâmica sedimentar e hidrológica do rio Ivaí com o rio Paraná, Icaraíma, PR. Dissertação (Mestrado em análise regional e ambiental) – Departamento de Geografia, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2006.

BARTHELMESS, H. Comentário geomorfológico sobre o vale do Ivaí. *Boletim Paranaense de Geografia*. Curitiba, n.1, ano 1, p.8-17, 1965.

BARTORELLI, A. As principais cachoeiras da Bacia do Paraná e sua relação com alinhamentos tectônicos. 1997. 2v 190 f. Tese (Doutorado em Geologia Regional), IGCE, UNESP, Rio Claro, 1997.

BIAZIN, P. C., Característica sedimentar e hidrológica do rio Ivaí em sua foz com o rio Paraná, Icaraíma-PR. Dissertação (Mestrado em análise regional e ambiental) – Departamento de Geografia, Universidade Estadual de Maringá. Maringá, 2005.

- BRAVARD, J.P. & PETTIT, F.,. Les cours d'eau: Dynamique du système fluvial. Armand Colim. Paris, 2000.
- CARLSTON, C.W., Longitudinal slope characteristics of rivers of the mid-continent and the Atlantic east Gulf slopes. *Bulletin of the International Association of Scientific Hydrology*. XIV, 4, 1969.
- CHARLTON, R., Fundamentals of Fluvial Geomorphology, Routledge, London (2008).
- CHEN, Y., SUNG, Q. & CHENG, K., Along- strike variations of morphotectonics features in the Western Foothills of Taiwan: tectonic implications based on stream gradient and hypsometric analysis. *Geomorphology*, 56: 109-137, 2003.
- CHEN, Y., SUNG, Q., CHEN, C. & JEAN, J., Variation in Tectonic Activities of the Central and Southwestern Foothills, Taiwan, Inferred from River Hack Profiles. *Terr.Atmos. Ocean. Sci*, Vol. 17 n°3: 563-578, 2006.
- CPRM (COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS). PROJETO PAULIPETRO Geologia da área de Cândido de Abreu – PR Bloco SG 22 – C (ASC-76),1981.
- CHRISTOFOLETTI, A., Geomorfologia Fluvial. São Paulo: Edgar Blucher Ltda, 1981. 313 p.
- DEMOLIN, A. Testing the tectonic significance of some parameters of longitudinal river profiles: the case of the Ardenne (Belgium, NW Europe). *Geomorphology*, v.24, 189-208, 1998.
- DESTEFANI, E. V. Regime hidrológico do rio Ivaí-Pr. Dissertação (Mestrado em análise regional e ambiental) – Departamento de Geografia, Universidade Estadual de Maringá. Maringá, 2005.
- ETCHEBEHERE, M.L.C. Terraços neo-quaternários no vale do rio do Peixe, planalto ocidental paulista: Implicações estratigráficas e tectônicas.Tese de doutorado, UNESP, Instituto de Geociencias e Ciências Exatas, Rio Claro, SP, 2000.
- ETCHEBEHERE, M.L., SAAD, A.R., FÚLVARO, V.J., PERINOTTO, A.J., Detection of neotectonic deformations along the Rio do Peixe Valley, Western São Paulo State,

Brazil, based on the distribution of late Quaternary allounits. *Revista Brasileira de Geomorfologia*. Ano 6, nº 1, 109-114., 2004.

FERREIRA, F.J.F. Alinhamentos estruturais-magnéticos da região centro-oriental da Bacia do Paraná e seu significado tectônico. Consórcio CESP/IPT, *Geologia da Bacia do Paraná*, 1982.

FORTES, E. Geomorfologia do baixo curso do rio Ivinhema, MS: uma abordagem morfogenética e morfoestrutural. 2003, 209 f. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas de Rio Claro. Rio Claro, SP, 2003.

FRANCO, A.L.A., Análise da dinâmica de fluxo e da morfologia na confluência dos rios Ivaí e Paraná, PR/MS. Dissertação de mestrado, Análise Geoambiental. CEPPE/UNG, Guarulhos, SP, 2007.

GORNITZ, V., AND L. SEEBER., Vertical crustal movements along the East Coast, North America, from historic and Late Holocene sea level data. *Tectonophysics*, 178, 127-150, 1990.

GOUDIE, A., *Encyclopedia of Geomorphology*. International Association of Geomorphology. vol.1, Londres, 2004.

GUEDES, I. C.; SANTONI, G. C.; ETCHEBEHERE, M. L. C.; STEVAUX, J. C.; MORALES, N.; SAAD, A. C. Análise de perfis longitudinais de drenagens da bacia do rio Santo Inácio(SP) para detecção de possíveis deformações neotectônicas. *Revista UNG - Geociências*, v. 5, nº 1, 75-102, 2006.

GUEDES, I. C. Aplicação de análise flúvio-morfométrica na bacia hidrográfica do rio Santo Anastácio, SP, para detecção de deformações neotectônicas. Dissertação de mestrado, Mestrado em Análise Geoambiental, Universidade Guarulhos, Guarulhos, SP, p.118. 2008.

HACK, J.T. Stream-profile analysis and stream-gradient index. U.S. Geol. Survey, *Jour. Research*, 1(4): 421-429, 1973.

IAPAR - INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. *Cartas climáticas do Estado do Paraná*. Londrina, 1994.

IBGE. Manual Técnico da Vegetação Brasileira. Série Manuais Técnicos em Geociências - n. 1. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. Rio de Janeiro. 92 p., 1992.

KNIGHTON, D., Fluvial forms & processes. Arnold, 383p, 1998.

KNIGHTON, D., Downstream variation in stream power. *Geomorphology*, 29:293-306, 1999.

KUERTEN, S., Variação longitudinal das características sedimentares e hidrológicas do rio Ivaí, PR, em seu curso inferior. Dissertação (Mestrado em análise regional e ambiental) - Departamento de Geografia, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2006.

LANDIM, P.M.B. Análise estatística de dados geológicos multivariados. DGA, IGCE, UNESP/RIO CLARO, Lab. Geomatématica, Texto Didático 03, 96pp., 2000.

LARUE, J.-P., Effects of tectonics and lithology on long profiles of 16 rivers of the southern Central Massif border between Aude and Orb (France). *Geomorphology*, 93, 343-367, 2008.

LATRUBESSE, E.M., Patterns of anabranching channels: The ultimate end-member adjustment of mega rivers. *Geomorphology*, 101:130-145, 2008.

LATRUBESSE, E.M.; STEVAUX, J.C. & SINHA, R., Grandes sistemas fluviais tropicais: uma visão geral. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 6(1):1-18, 2005.

LEOPOLD, L.B. & MADDOCK, T. The Hydraulics geometry of stream channel and some physiographic implications. *Geological Survey Professional*. 252, 1-55 1953.

MAACK, H., Geografia física do Paraná. Secretaria da Cultura e do Esporte do Governo do Estado do Paraná. Ed. José Olimpo S.A., 450p, 2002.

MARPLE, R.T. & TALWANI, P., Evidence of Possible Tectonic Upwarping Along the South Carolina Coastal Plain From an Examination of River Morphology and Elevation Data. *Geology*, 21, 651-654, 1993.

MARTINEZ, M. Aplicação de parâmetros morfométricos de drenagem na bacia do rio Pirapó: O perfil longitudinal. Dissertação(Mestrado em análise regional e ambiental)- Departamento de Geografia, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2004.

MEURER, M. De L'hydro-écorégion au tronçon fluvial: recherche methodologique. Le cas du bassin versant de Ivaí, Etat du Paraná, Brésil. Tese (Doutorado em Geografia) L'Universite Lyon 2. Lyon, França. 2008.

McKEOWN, F.A. et al., Analysis of stream-profile data and inferred tectonic activity, Eastern Ozark Mountain region. Denver. U.S. Geol. Survey Bull. 1807, 39 p., 1988.

MINEROPAR. Mapa Geomorfológico do Paraná, escala 1:250.000, 2006.

MONTGOMERY, D.R., Process domains and the river continuum. Journal of the American Water Resources Association 35(2): 397-410, 1999.

MORISAWA, M., Stream, their dynamics and morfology. McGraw- Hill Boock Company, New York, 175 p., 1968.

NANSON, G.C. & CROCKE, J.C., A genetic classification of floodplain. Geomorfology, v4. Amsterdã. Pp.459-486, 1992.

ORFEO, O., Sedimentología del río Paraná en el área de confluencia com el río Paraguay. – Tesis Doctoral, 290p, Univ. Nacional de la Plata, Facultad de Ciencia Naturales e Museo, La Plata, Argentina, 1995.

PAIVA, D.G., Análise do índice de relação entre fluxo de base e desflorestamento por meio de imagens orbitais e análise hidrológica: Baixo curso do rio Ivaí. Dissertação(Mestrado em análise regional e ambiental)- Departamento de Geografia, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2008.

PETTS, G. E. *et al.*, A perspective on the abiotic processes sustaining the ecological integrity of running waters. Hidrobyologia. v. 422/423, página 15 a 27, 2000.

PHILLIPS, J.D. & LUTZ, J.D., Profile convexities in bedrock and alluvial streams. *Geomorphology*, 102, 554-566., 2008.

RICHARDS, K., Rivers form and process in alluvial channels. London. 358 pp., 1982.

RIVERA, H. Ordenamento territorial de áreas florestais utilizando avaliação multicritério apoiada por geoprocessamento, fitossociologia e análise multivariada. 225 f. Dissertação (Mestrado em Manejo Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

SANTOS, F.R ; FORTES, E., Unidades Hidrogeomorfológicas e Mapeamento do Relevo: uma Proposta de Classificação Geomórfica para a Bacia Hidrográfica do Ivaí - PR. In: VII Simpósio Nacional de Geomorfologia (SINAGEO) e II Encontro Latino-Americano de Geomorfologia, 2008.

SANTOS, L. J. C et al, Mapeamento geomorfológico do estado do Paraná. Rev. Bras. De Geomorfologia. Ano 7, nº2, 2006.

SANTOS, M. L et al., Geologia e Geomorfologia da Planície Aluvial do Rio Ivaí em seu Curso Inferior. Rev. Bras. Geomorfologia, 2008.

SANTOS, V .D. Aspectos fitogeográficos e ecológicos da vegetação natural do Estado do Paraná. Geojandaia, Revista de geografia. Jandaia do Sul. v. 1, n. 1, p. 15 – 37, 2001.

SEEBER, L & GORNITZ, V., River profile along the Himalayan arc as indicators of active tectonics. *Tectonophysics*, 92: 335-367, 1983.

SILVA, S.A., Mecanismos de transmissão de fluxos de água e sedimentos em dois grandes rios aluviais impactados pela atividade humana: o Araguaia e o Paraná. Tese (Doutorado em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais) – Departamento de Biologia, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2007.

STRAUBE, F. C. & URBEN-FILHO, A., Dicionário geográfico das expedições zoológicas polonesas ao Paraná. *Atualidades Ornirológicas* nº 133, 2006.

SUGUIO, K. & BIGARELLA, J.J. Ambientes fluviais. In: J.J. Bigarella; K. Suguio & R.D. Becker (eds.). *Ambientes de sedimentação*. Curitiba: Editora UFPR, 1-183 (1ª ed.), 1979.

SUGUIO, K., Introdução à Sedimentologia. Editora da Universidade de São Paulo, 1973.

TINKLER, K.J. & WOHL, E.E., Rivers over rock: Fluvial processes in bedrock channels. Geophysical Monographs. Washington, D.C. American Geophysical Union, 1998.

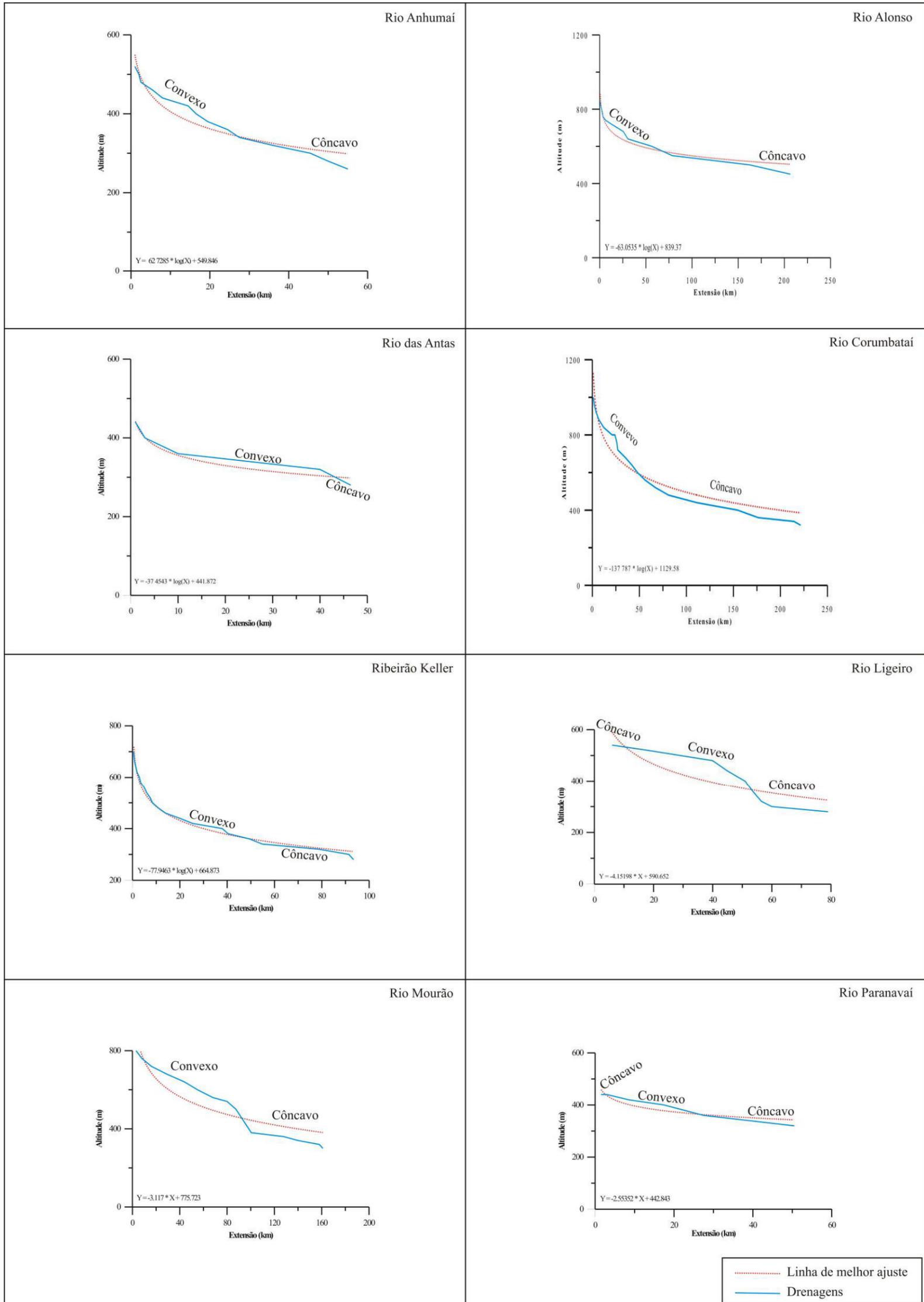
VANNOTE, R.L.; MINSHALL, G.W.; CUMMINS, K.W.; SEDELL, J.R. & CUSHING, C.E. The river continuum concept. Canadian Journal of fisheries and aquatic science. v37, n.1, p.130-137, 1980.

VOLKOV, N.G., SOKOLOVSKY, I.L. & SUBBOTIN, A.I., Effect of recent crustal movements on the shape of longitudinal profiles and water levels in river. *General Assembly of Bern International Association of the Scientific Hydrology, 1967.*

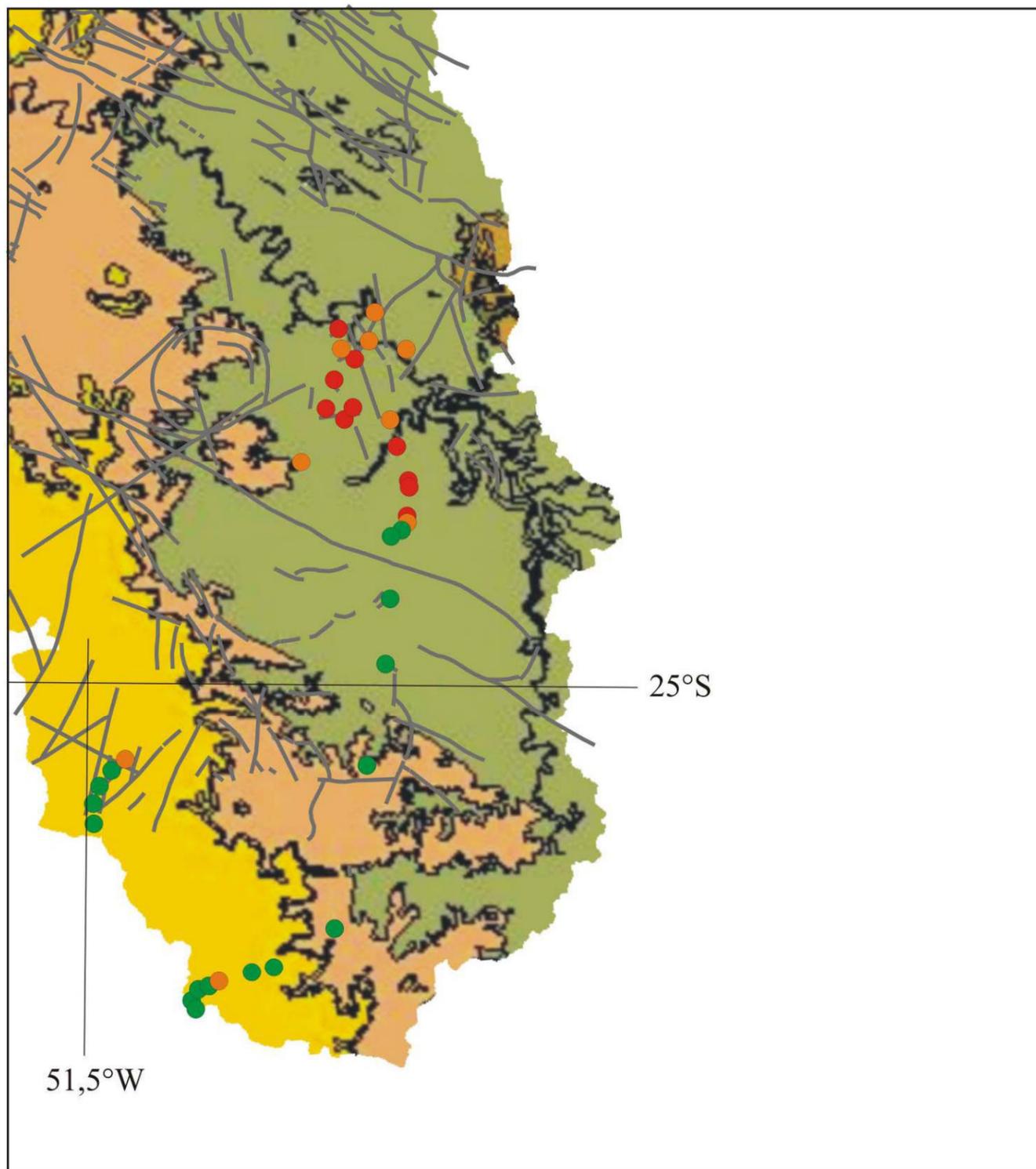
WESTERN, A.W., et al., A method for characterizing longitudinal irregularity in river channels. *Geomorphology*, v. 21, p. 39-51, 1997.

CAPÍTULO IX

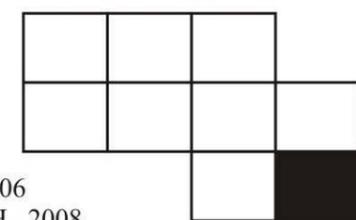
APÊNDICE



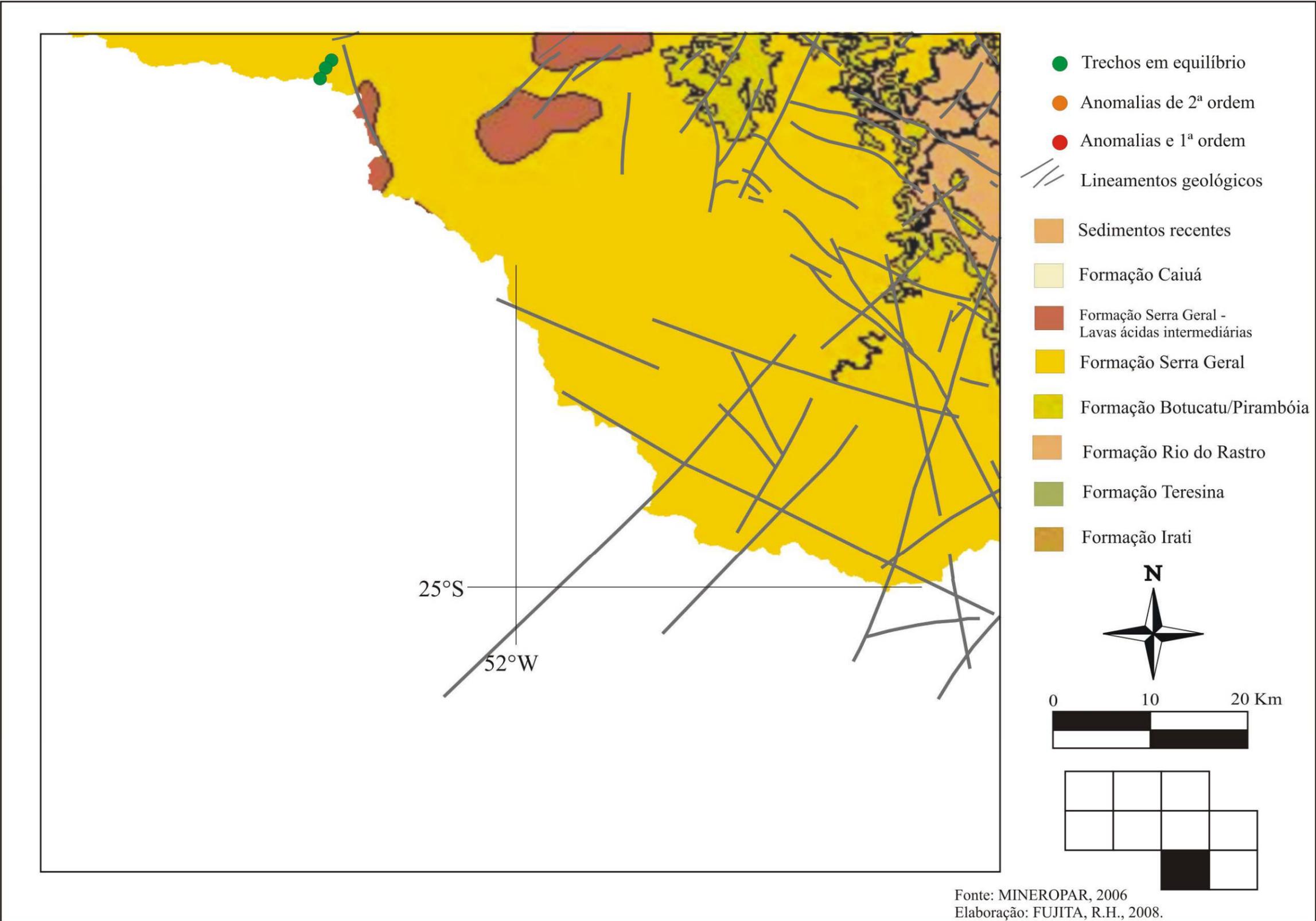
Apêndice 1 – Perfis longitudinais dos afluentes do rio Ivaí, em escala aritmética

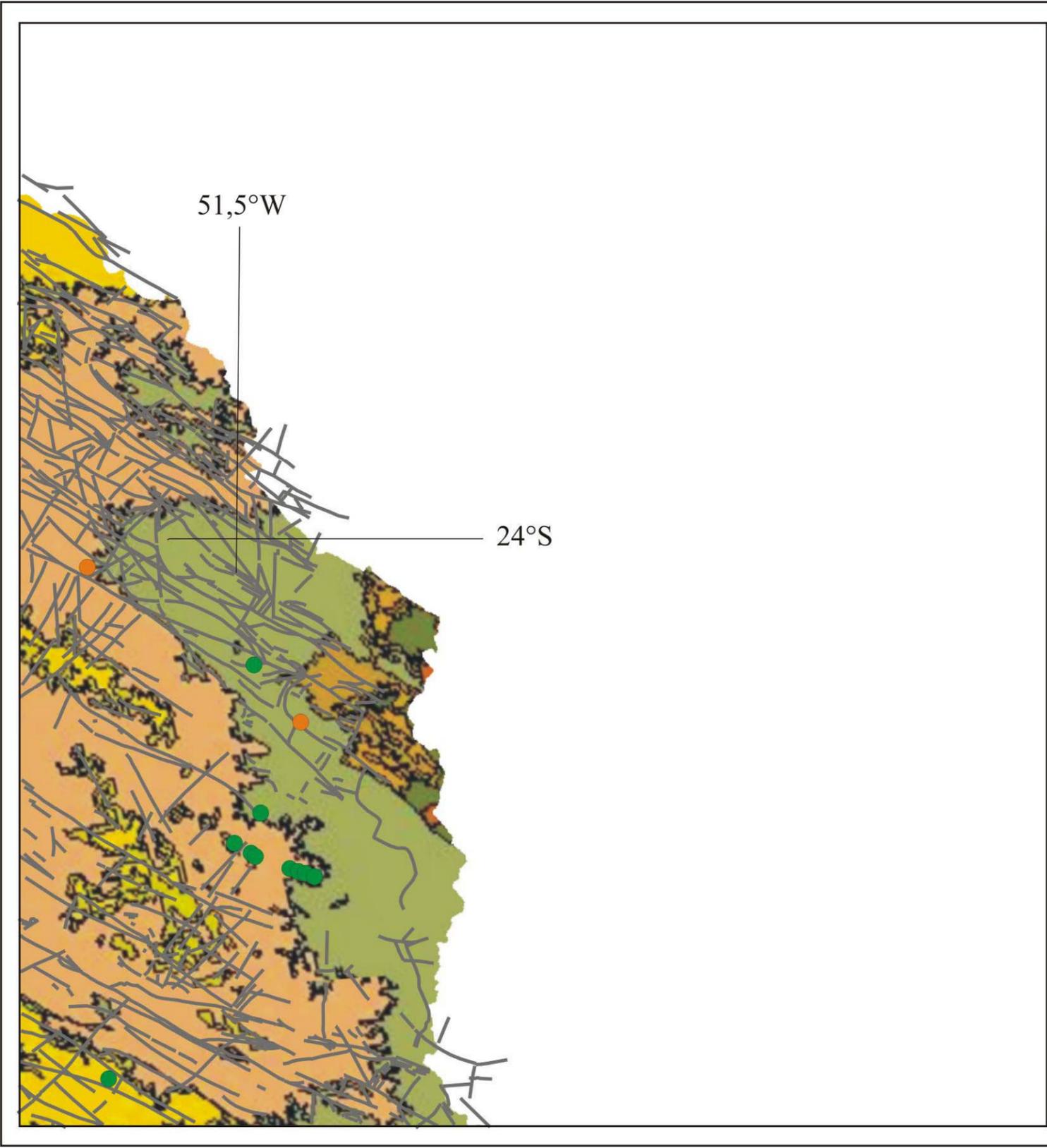


- Trechos em equilíbrio
- Anomalias de 2ª ordem
- Anomalias e 1ª ordem
- Lineamentos geológicos
- Sedimentos recentes
- Formação Caiuá
- Formação Serra Geral - Lavas ácidas intermediárias
- Formação Serra Geral
- Formação Botucatu/Pirambóia
- Formação Rio do Rastro
- Formação Teresina
- Formação Irati

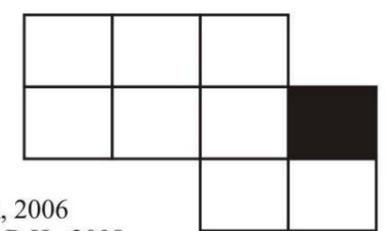
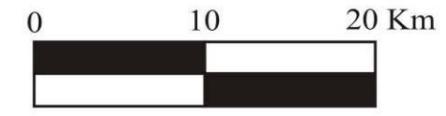


Fonte: MINEROPAR, 2006
 Elaboração: FUJITA, R.H., 2008.

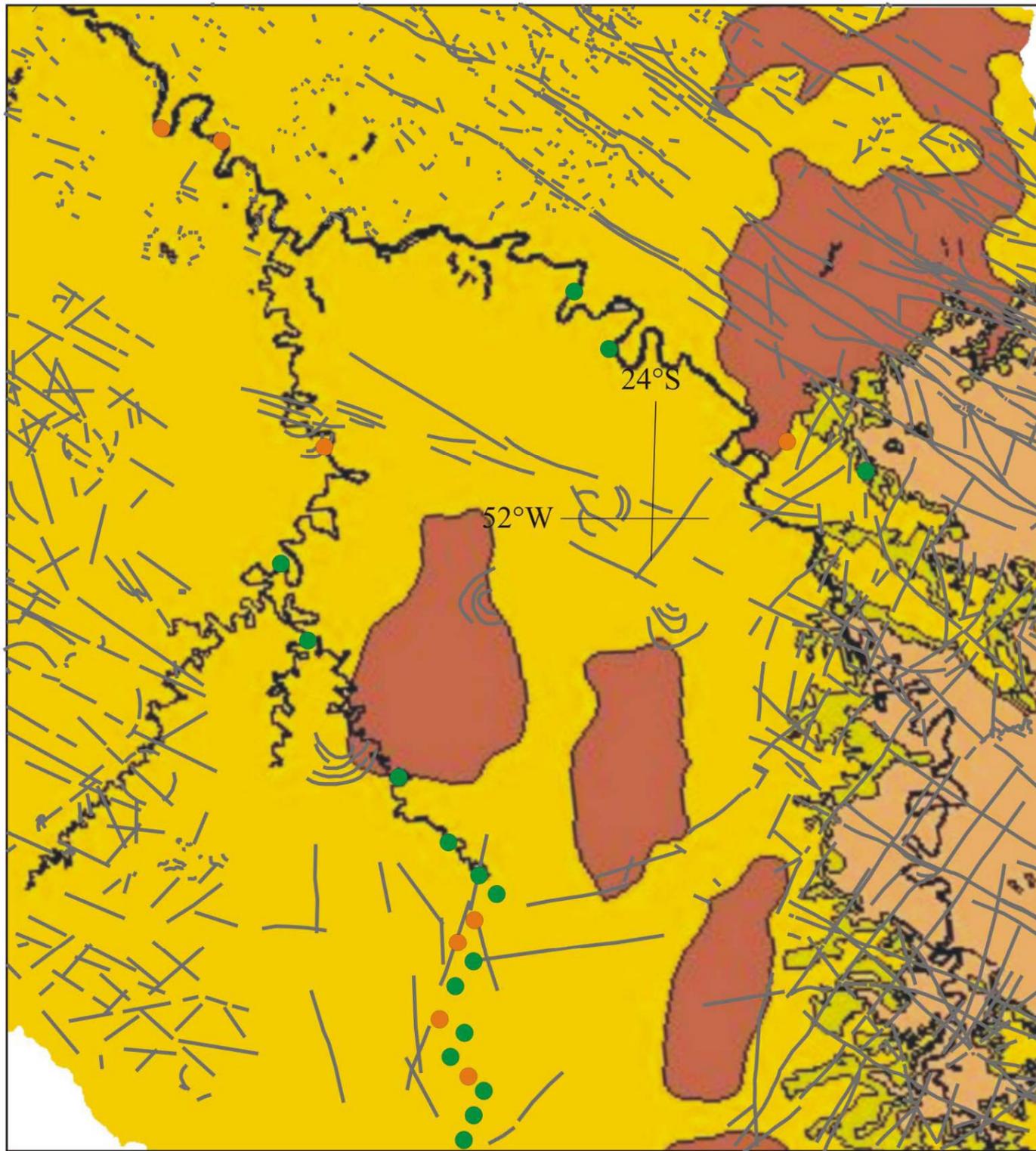




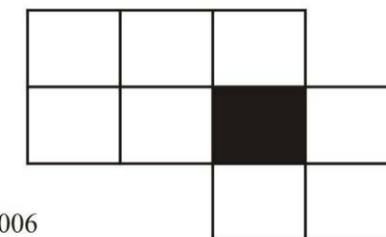
- Trechos em equilíbrio
- Anomalias de 2ª ordem
- Anomalias e 1ª ordem
- Lineamentos geológicos
- Sedimentos recentes
- Formação Caiuá
- Formação Serra Geral - Lavas ácidas intermediárias
- Formação Serra Geral
- Formação Botucatu/Pirambóia
- Formação Rio do Rastro
- Formação Teresina
- Formação Irati



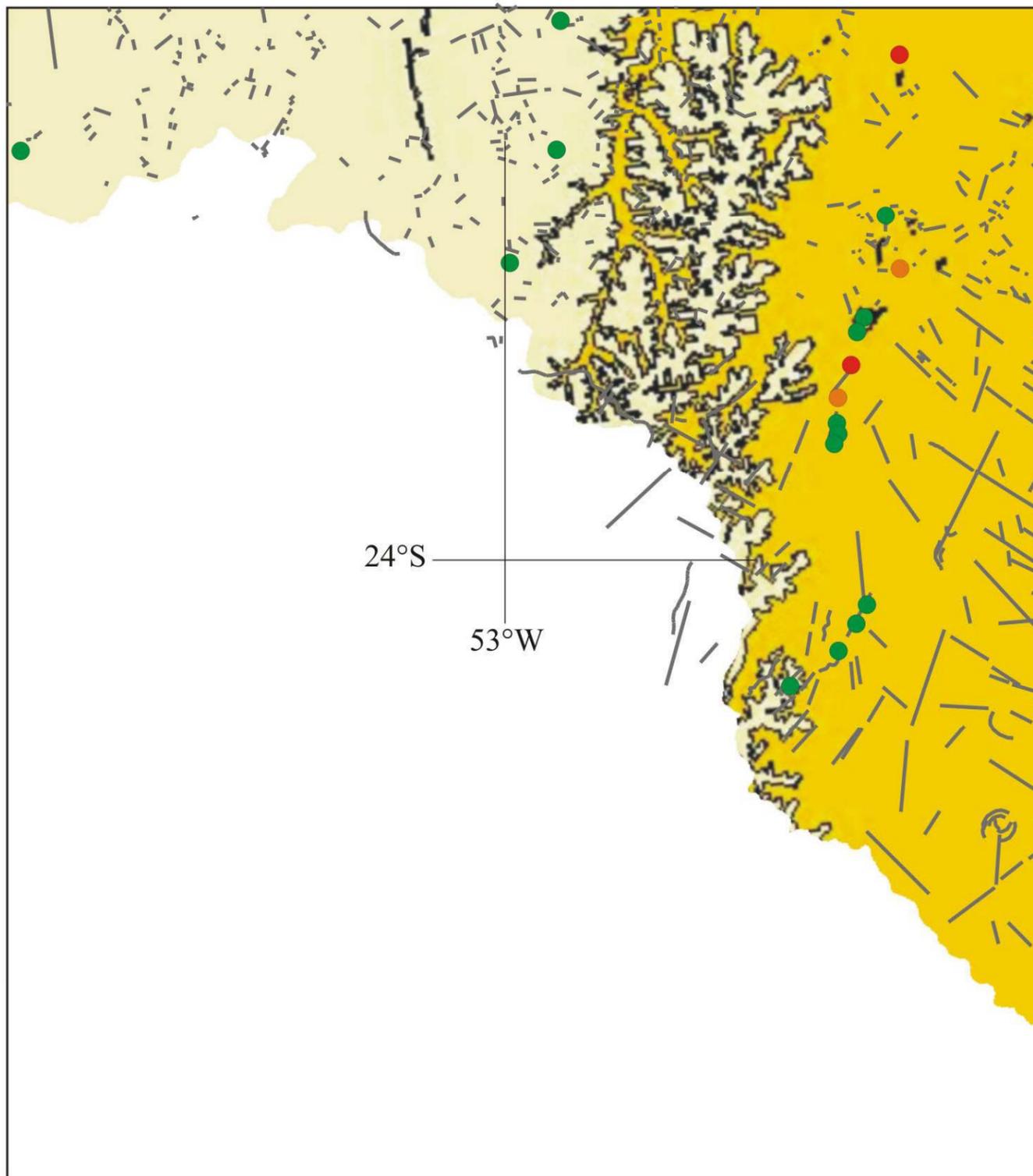
Fonte: MINEROPAR, 2006
 Elaboração: FUJITA, R.H., 2008.



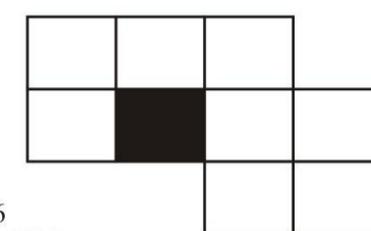
- Trechos em equilíbrio
- Anomalias de 2ª ordem
- Anomalias e 1ª ordem
- /// Lineamentos geológicos
- Sedimentos recentes
- Formação Caiuá
- Formação Serra Geral - Lavas ácidas intermediárias
- Formação Serra Geral
- Formação Botucatu/Pirambóia
- Formação Rio do Rastro
- Formação Teresina
- Formação Irati



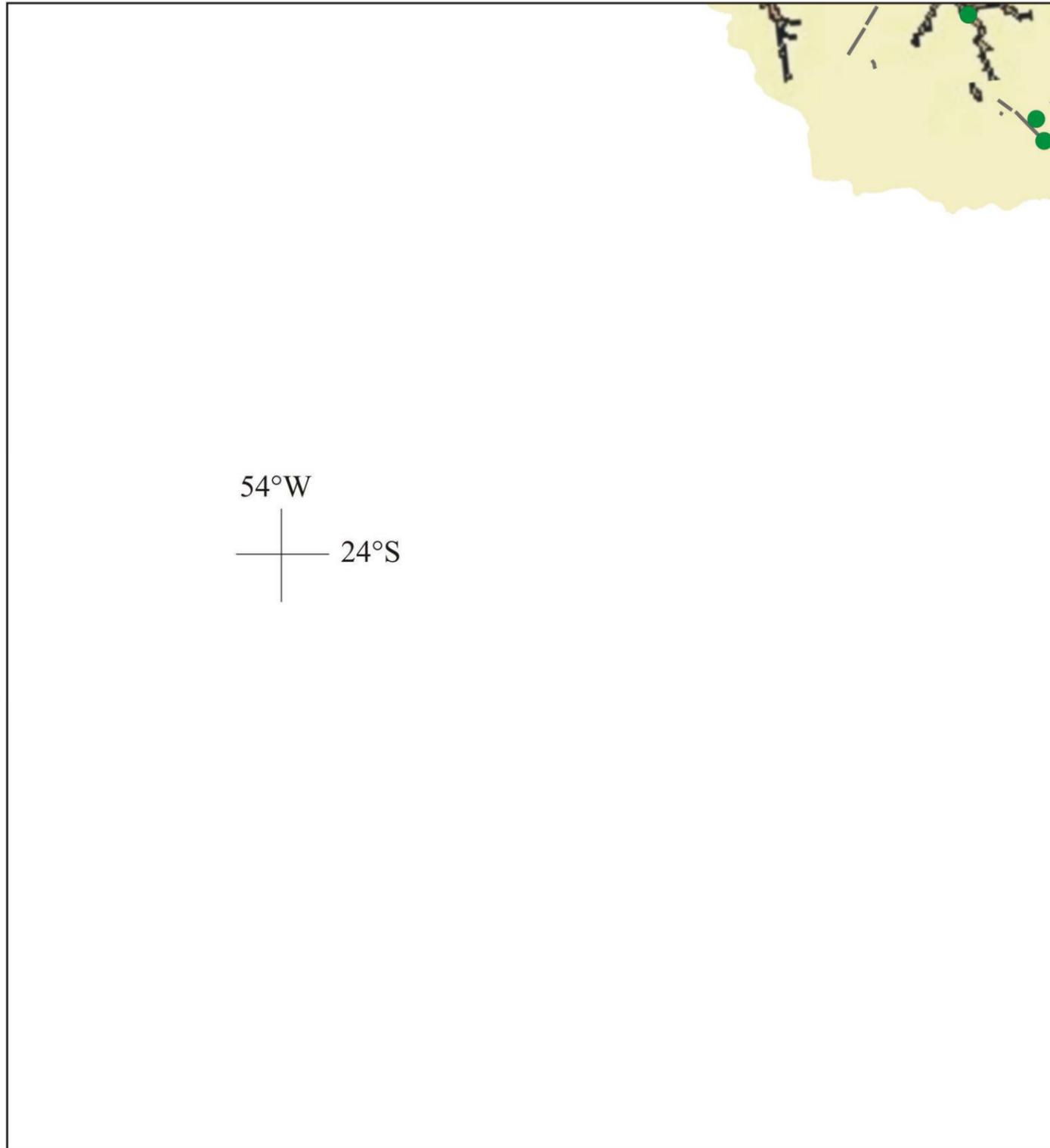
Fonte: MINEROPAR, 2006
 Elaboração: FUJITA, R.H., 2008.



- Trechos em equilíbrio
- Anomalias de 2ª ordem
- Anomalias e 1ª ordem
- Lineamentos geológicos
- Sedimentos recentes
- Formação Caiuá
- Formação Serra Geral - Lavas ácidas intermediárias
- Formação Serra Geral
- Formação Botucatu/Pirambóia
- Formação Rio do Rastro
- Formação Teresina
- Formação Irati



Fonte: MINEROPAR, 2006
 Elaboração: FUJITA, R.H., 2008.

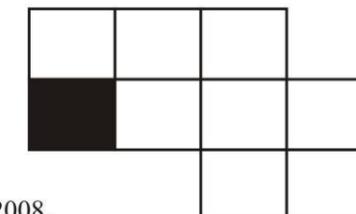


- Trechos em equilíbrio
- Anomalias de 2ª ordem
- Anomalias e 1ª ordem
- Lineamentos geológicos
- Sedimentos recentes
- Formação Caiuá
- Formação Serra Geral -
Lavas ácidas intermediárias
- Formação Serra Geral
- Formação Botucatu/Pirambóia
- Formação Rio do Rastro
- Formação Teresina
- Formação Irati

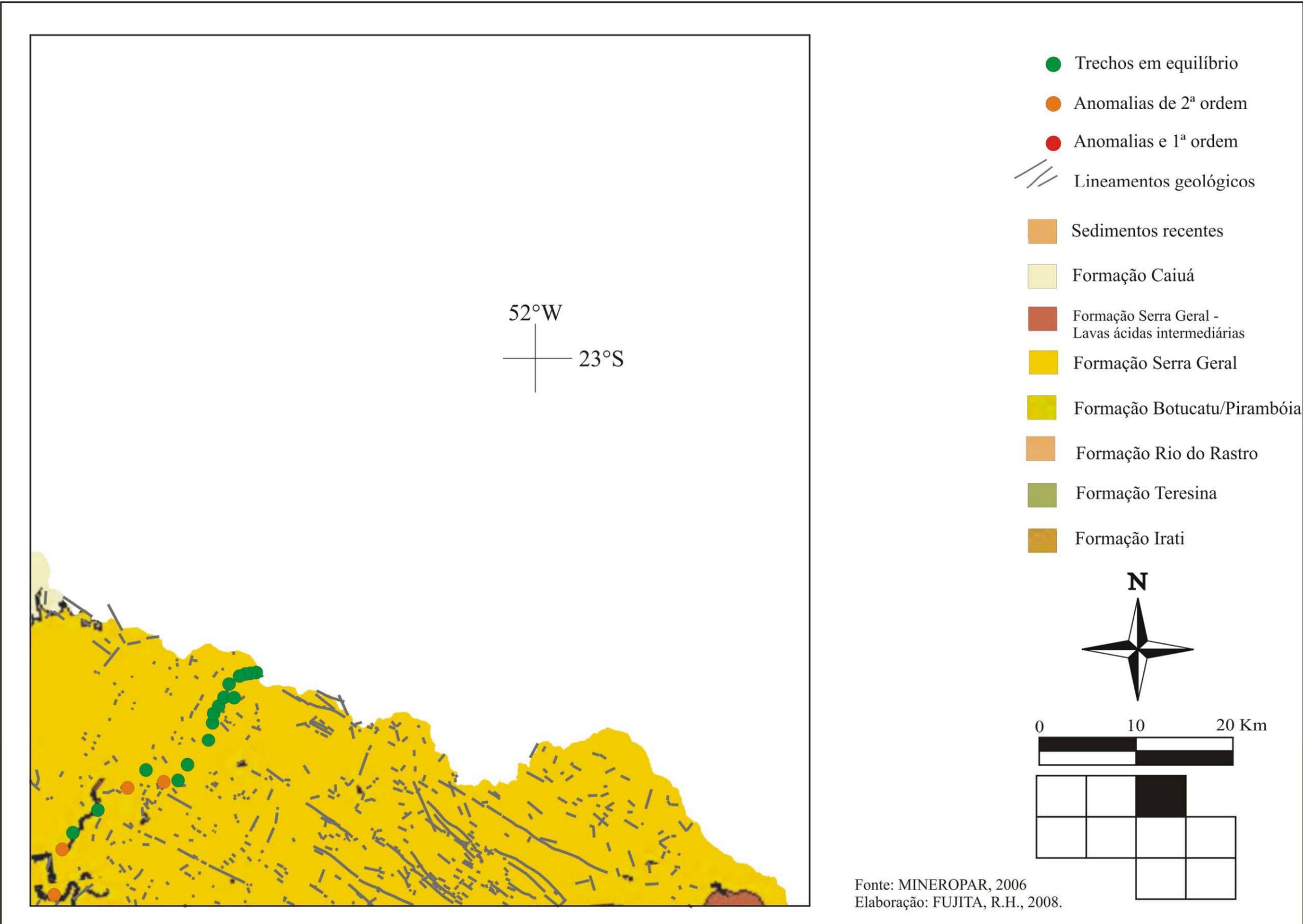
54°W
 ───┬───
 │
 ───┬─── 24°S

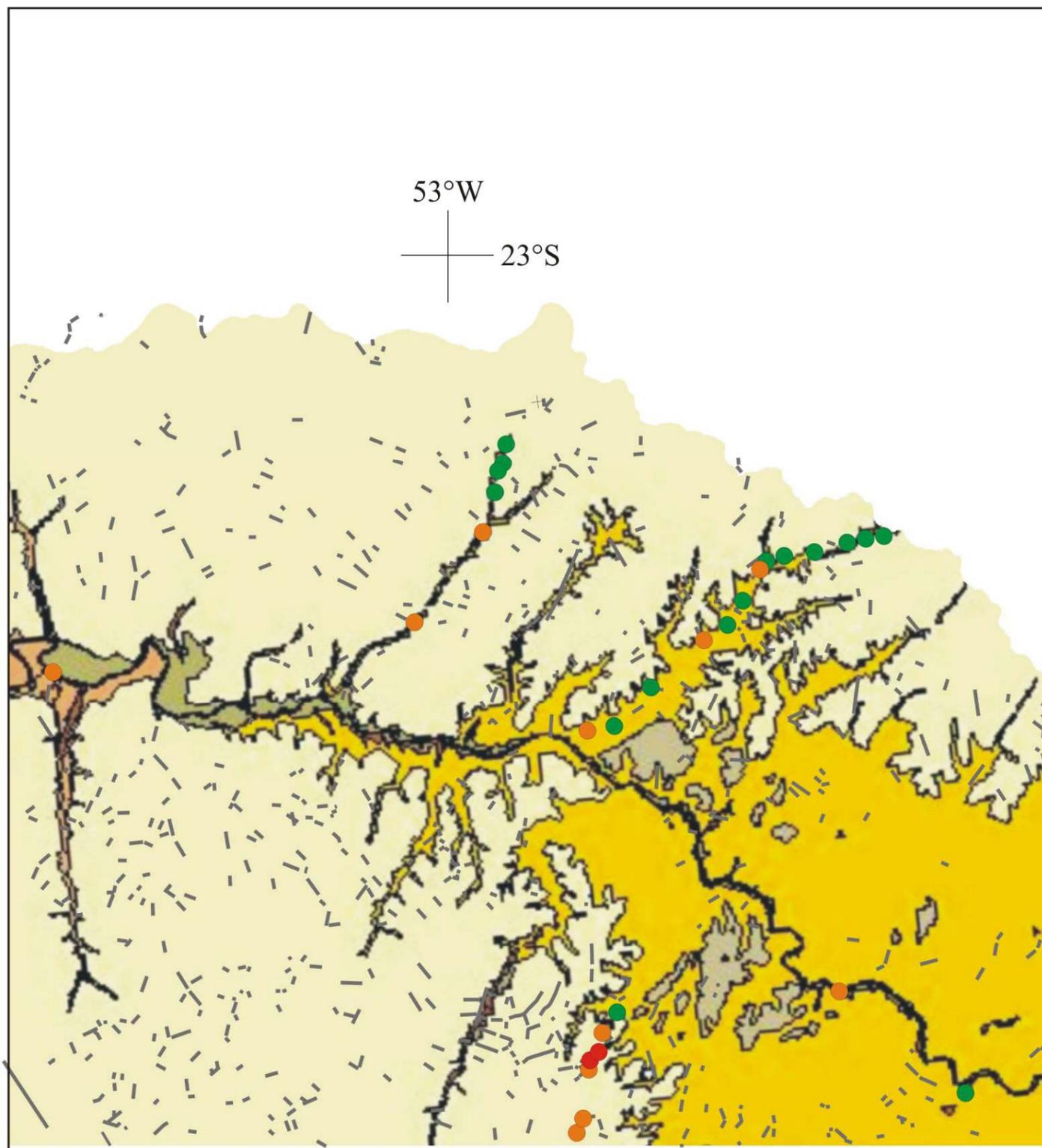


0 10 20 Km

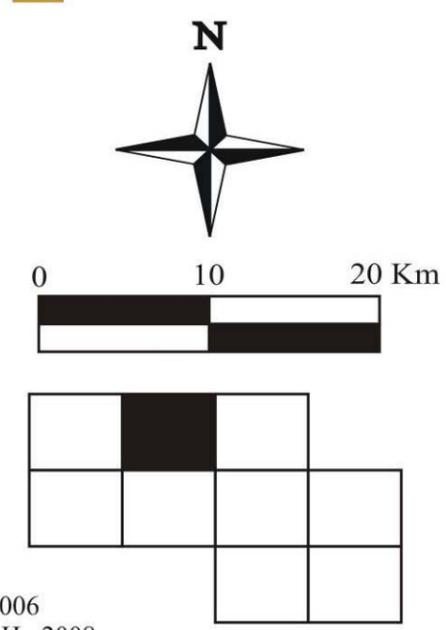


Fonte: MINEROPAR, 2006
 Elaboração: FUJITA, R.H., 2008.

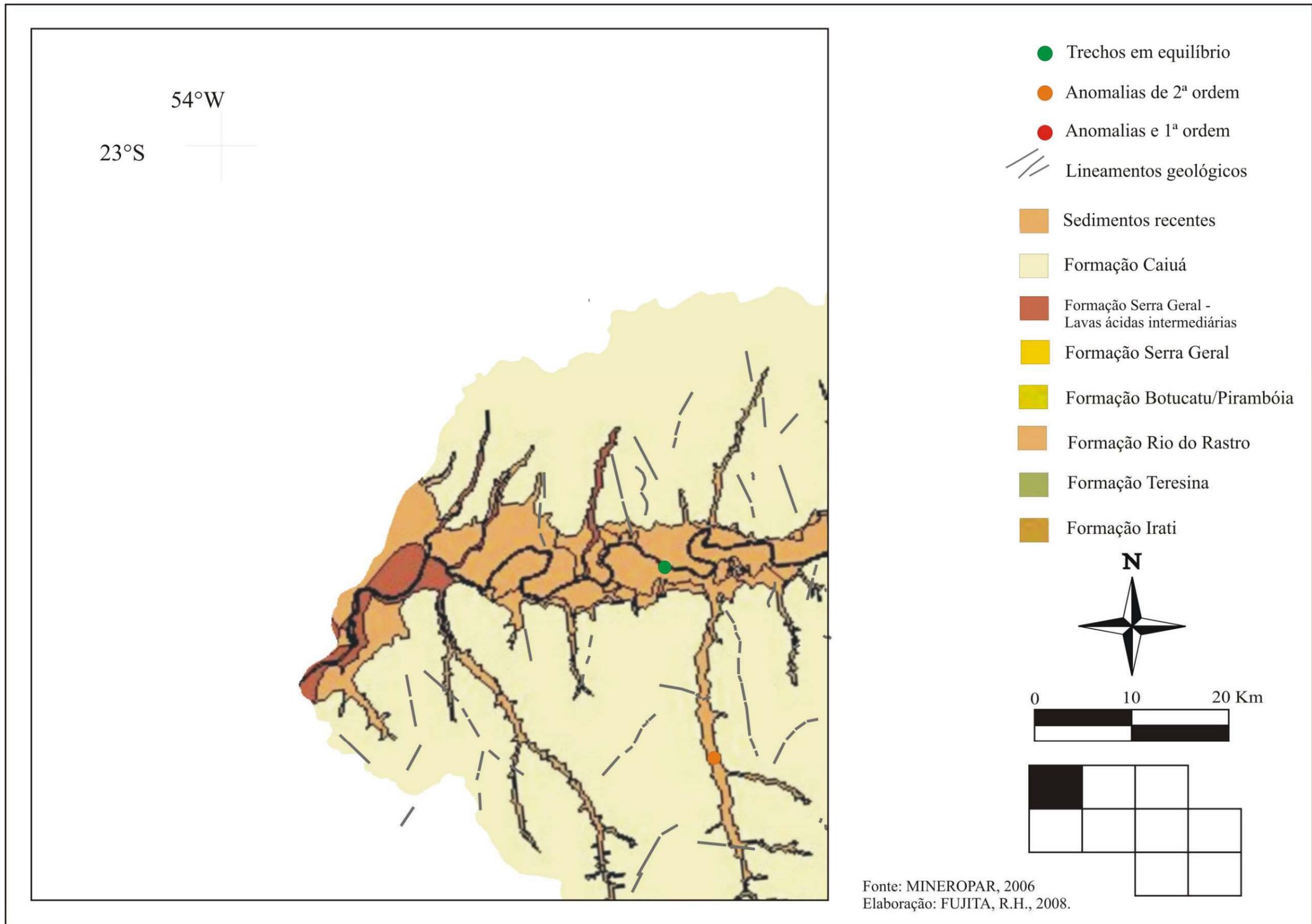




- Trechos em equilíbrio
- Anomalias de 2ª ordem
- Anomalias e 1ª ordem
- Lineamentos geológicos
- Sedimentos recentes
- Formação Caiuá
- Formação Serra Geral - Lavas ácidas intermediárias
- Formação Serra Geral
- Formação Botucatu/Pirambóia
- Formação Rio do Rastro
- Formação Teresina
- Formação Irati



Fonte: MINEROPAR, 2006
 Elaboração: FUJITA, R.H., 2008.



Apêndice 2 – Seqüência de mapa de distribuição de anomalias de drenagem ao longo do rio Ivaí