SIDNEY KUERTEN

VARIAÇÃO LONGITUDINAL DAS CARACTERÍSITCAS SEDIMENTARES E HIDROLÓGICAS DO RIO IVAÍ-PR EM SEU CURSO INFERIOR

MARINGÁ
2006

Livros Grátis

http://www.livrosgratis.com.br

Milhares de livros grátis para download.

SIDNEY KUERTEN

VARIAÇÃO LONGITUDINAL DAS CARACTERÍSITCAS SEDIMENTARES E HIDROLÓGICAS DO RIO IVAÍ-PR EM SEU CURSO INFERIOR

Dissertação de mestrado apresentada ao curso de Pós-graduação Mestrado em Geografia como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Geografia.

Orientador: Prof. Dr. Manoel Luiz dos Santos

MARINGÁ
2006

“VARIAÇÃO LONGITUDINAL DAS CARACTERÍSITCAS SEDIMENTARES E HIDROLÓGICAS DO RIO IVAÍ-PR EM SEU CURSO INFERIOR”

Disertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia (Mestrado) da Universidade Estadual de Maringá como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Geografia, área de concentração: Análise Regional e Ambiental.

Aprovada em 11 de fevereiro de 2006

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Manoel Luiz dos Santos
Universidade Estadual de Maringá

Prof. Dr. José Candido Stevaux
Universidade Estadual de Maringá

Prof. Dr. Luiz Eduardo de Souza Robaina
Universidade Federal de Santa Maria - RS

Dedico este trabalho aos meus pais João Kuerten e Lídia Sencovici Kuerten por se constituírem diferentemente enquanto pessoas, igualmente admiráveis em essência, estímulos que me impulsionaram a buscar vida nova a cada desafio, meus agradecimentos por terem aceito se privar de minha companhia pelos estudos, por serem grandes incentivadores desse trabalho, pelo carinho, força, apoio, concedendo a mim a oportunidade de me realizar ainda mais.

AGRADECIMENTOS

A **Deus,** pela oportunidade, pelo privilégio, por tamanha graça, que me foi dada em compartilhar esta experiência e, ao realizar este trabalho, perceber e atentar para a relevância de temas que não faziam parte, em profundidade, da minha vida, pela luz, força e sabedoria, que me foram concebidas para concretizar este estudo.

Ao meu orientador **Prof. Dr. Manoel Luis dos Santos**, pelo incentivo, paciência, simpatia e presteza no auxílio as atividades e discussões sobre a produção, normatização e conclusão desta pesquisa.

A minha família pela paciência, apoio e tolerância durante minha ausência.

A **Vânia C. Proença**, pelo apoio, força e carinho durante esta etapa de minha vida, pela tolerância durante minha ausência e incentivo em sempre seguir adiante.

Aos meus amigos e colegas do GEMA, pela espontaneidade e alegria na troca de informações e materiais numa rara demonstração de amizade, solidariedade e companheirismo : **Carolina, Pollyana, Aguinaldo, Márcia, Eduardo, Adilson, Eriksom, Silvana, Orlando, Fabrício, Giseli, Adilson, José, Maurício e Débora**, pelo apoio, por estar ao meu lado durante esta caminhada, pelas inúmeras vezes em nos trabalhos de campo e suas diversas contribuições ao longo deste trabalho.

Aos professores do departamento de Geografia, pelo espírito empreendedor na tarefa de multiplicar seus conhecimentos, pelas suas disciplinas ofertadas e oportunidade de participação, atividades, exercícios e práticas trabalhadas ao longo do curso.

Aos professores e amigos **Msc**. **Jefferson de Queiroz Crispim e Msc. Oséias Cardoso**, que me mostraram o caminho das aventuras da pesquisa científica e que sempre me incentivaram a ir cada vez mais longe.

A Geógrafa **Maria Moraes** (Laboratório de Sedimentologia – GEMA), pelo apoio e pela atenção dispensada aos alunos de Pós-graduação nas atividades do laboratório.

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

A **Fundação Araucária** que proporcionou o desenvolvimento desta pesquisa através do financiamento e custeio das despesas dos trabalhos de campo.

Aos demais colegas, funcionários e amigos que passaram junto comigo esta importante fase de minha vida, pela convivência e troca de experiências no decorrer do curso, além de todas as outras pessoas que de alguma forma contribuíram para realização deste trabalho.

RESUMO

O presente trabalho apresenta os resultados gerados a partir da realização de seis campanhas (março, maio, junho, setembro, outubro e novembro de 2004), nas quais foram monitoradas as características batimétricas, hidrodinâmicas e sedimentológicas dos sedimentos de fundo e dos sedimentos em suspensão do baixo curso do rio Ivaí.

A área de estudo está situada em longitude superior a 53º 00 W e latitude inferior a de 24º 00 S, nos municípios de Tapira, Herculândia e Icaraíma – PR. Em cada um destes municípios, selecionou-se uma seção de 1km ao longo do rio, que foi subdividida em três perfis transversais ao canal, com espaçamento de 500m, abrangendo uma área longitudinal de 1000m. Por meio de levantamentos com base nas observações diretas, calcadas pelo monitoramento sistêmico de alguns parâmetros hidrológicos pode-se quantificar e analisar algumas características da dinâmica fluvial deste rio.

A declividade do canal em toda a extensão da planície é baixa onde diminui para a foz do rio Ivaí. O entalhe do canal é maior para montante, onde as margens plenas medem até 15m. A largura do canal aumenta para jusante. A velocidade diminui para jusante em razão do menor gradiente hidráulico e da interferência do rio Paraná com a dinâmica com o rio Ivaí.

A concentração dos sedimentos suspensos mostra uma variação tanto transversal quanto longitudinal do canal. A concentração média de sedimentos transportados por litro foi de 0,0123g/L o que gera uma carga total de sedimentos suspensos de 775,90 t/dia. Verificou-se também uma diminuição do tamanho dos sedimentos de fundo para jusante. Em Tapira predominam areia média, para Icaraíma tem-se a ocorrência de argila no leito do canal, na qual se relaciona com a seleção hidráulica, pois a energia do sistema diminui para jusante.

Palavras chave: Geomorfologia. Sedimentologia. Rio Ivaí - PR.

ABSTRACT

This research presents the results generated by the achievements of six field works carried out in March, May, June, September, Ocutber and November, 2004. In this work, bathymetric characteristics, hydrodynamic and sedimentary features of the bottom sediments and sediment in suspension at the low course of Ivaí river were monitored.

The are of study is located at 53º 00 W superior longitude and inferior latitude at 24º 00 S in the municipalities of Tapira, Herculândia and Icaraíma in Paraná state. In each of these towns, one-kilometer section along the river has been selected and subdivided into three tranverse profile to canal with 500 meter spacing, including a 1000 meter longitudinal area.Through the survey based on direct observation and supported by sytematic monitoring of some hidrologic parameters, some features of fluvial dynamicas of that river mentioned above could be quantified and analysed.

The canal declivity throughout the extension of the plain is low where it decreases toward. The carving os the canal is bigger to the upstream where the full margin measures up to 15 meters. The length of the canal increases to the downstream. The speed decreases to the downstream due to minor hydraulic gradient and the interference of Paraná river in dynamics with Ivaí river.

The concentration of supspended sediments reveals either a transverse and longituinal variation. The average concentration of transported sediments was 0,0123g/L which generates a total load of 775,90 tons/day of suspended sediments. In addition, it was verified a reduction in the size of bottom sediments to the downstream. In Tapira town, medium sand predominates. On the other hand, in Icaraíma town there is ocurrency of clay on the canal bed which is related to a hydraulic selection since the energy of the system decrease to the downstream.

Key Words: Geomorphology. Sedimentology. Ivaí river - Paraná state.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Mapa geomorfológico/geológico da planície aluvial do curso inferior do rio Ivaí e pontos de estudo. 15
Figura 2 - Vegetação da margem esquerda em Pontal do Tigre – Icaraíma PR..... 20
Figura 3 - Vegetação da margem direita em Pontal do Tigre – Icaraíma PR..... 20
Figura 4 - Vegetação da margem direita em Pontal do Tigre, destaque para presença de embaúba (Cecropia spp) espécie dominante.– Icaraíma PR. 21
Figura 5 - Precipitação média na bacia hidrográfica do Ivaí..... 22
Figura 6 - Desvio padrão dos valores de precipitação na bacia hidrográfica do Ivaí..... 22
Figura 7 - Noot Book acoplado ao ecobatímetro Furuno®..... 24
Figura 8 - Garrafa de *Van Doorn*, capacidade total de 5 litros. Fotografia tirada no momento de transferência da amostra de água da garrafa para o recipiente. 25
Figura 9 - Esquema de uma seção transversal para ecobatimetria nos pontos estudados e coletas de água, sedimentos e condições hidrométricas 25
Figura 10 - Sistema Millipore, bomba de vácuo, pinças cirúrgicas, água destilada e filtros..... 26
Figuras 11 e 12 - Amostrador de mandíbula do tipo *Van Veen*. 27
Figura 13 - molinete fluviométrico de hélice, modelo MLN-4 28
Figura 14 - Área de estudo em Tapira – PR e perfil transversal ao canal do rio Ivaí, ponto 01 – Tapira, maio/ 2004. 43
Figura 15 - Área de estudo em Herculândia – PR e perfil transversal ao canal do rio Ivaí, ponto 01, maio/ 2004 43
Figura 16 - Área de estudo em Icaraíma – PR e perfil transversal ao canal do rio Ivaí, ponto 01 maio/ 2004. 45
Figura 17 - Relação da posição da velocidade média e a distribuição da velocidade com a profundidade em um rio..... 50
Figura 18 - Velocidades do fluxo da margem esquerda do Rio Ivaí na seção de estudo em Tapira perfil 01, registradas nos meses de março, maio, junho e setembro de 2004. 51
Figura 19 - Zonas de velocidade Tapira, junho de 2004 - (m/s). 52
Figura 20 - Zonas de velocidade Herculândia, junho de 2004 - (m/s). 53
Figura 21 - Zonas de velocidade Icaraíma, junho de 2004 - (m/s). 54

Figura 22 - Vazão média diária do rio Ivaí na estação hidrológica de Tapira – período de dez/03 a nov/04 (município de Santa Mônica -PR). 55
Figura 23 - Vazão média diária do rio Ivaí na estação hidrológica de Novo Porto Taquara – período de dez/03 a nov/04 (município de Douradina -PR). 56
Figura 24 - Ecobatimetria – Seção transversal Icaraíma, análise das feições do leito 58
Figura 25 - Seção longitudinal Tapira – Diâmetro médio - junho de 2004..... 59
Figura 26 - Evolução do diâmetro médio na seção longitudinal de Herculândia. 60
Figura 27 - Evolução do diâmetro médio na seção longitudinal de Icaraíma. 61
Figura 28 - Grau de Seleção dos sedimentos - 2004. Tapira..... 62
Figura 29 - Grau de Seleção dos sedimentos - 2004. Herculândia. 62
Figura 30 - Grau de Seleção dos sedimentos - 2004. Icaraíma 63
Figura 31 - Concentração de sedimentos em suspensão (mg/l) em diferentes profundidades próximas as margens direita, esquerda e ao centro do canal; Tapira, 2004..... 64
Figura 32 - Concentração de sedimentos em suspensão observados em Herculândia (mg/l). ... 65
Figura 33 - Concentração de sedimentos em suspensão observados em Icaraíma (mg/l). 65
Figura 34 - Concentração média mensal de sedimentos em suspensão (mg/l) – 2004 - Baixo curso do rio Ivaí 67

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Descrição geomorfológica para os tipos de escoamento segundo Christofoletti (1981) 31
Quadro 2 - Valores do grau de Seleção e descrição relativas propostas por Folk e Ward (1957). 40
Quadro 3 - Dados da área de Estudo – Hidrologia e Morfologia 44
Quadro 4 - Energia total e específica calculada para os setores de estudo com vazão média de 500 m³/s. 48
Quadro 5 - Vazões (m³/s) – Dados de campo 48
Quadro 6 - Vazões (m³/s) – Dados obtidos das estações hidrométricas operantes pertencentes à ANA (dados relativos ao ano de 2004). 49
Quadro 7 - Tapira - Zonas de velocidade do fluxo nos períodos estudados. 52
Quadro 8 - Herculândia - Zonas de velocidade do fluxo nos períodos estudados. 53
Quadro 9 - Icaraíma - Zonas de velocidade do fluxo nos períodos estudados. 53

SUMÁRIO

1 **INTRODUÇÃO** 13
2 **OBJETIVOS DA PESQUISA** 17
2.1 Objetivo Geral 17
2.2 Objetivos Específicos 17
3 **CARACTERIZAÇÃO REGIONAL E ÁREA DE ESTUDO** 18
3.1 Bacia Hidrográfica 18
3.2 Geologia da Bacia Hidrográfica 18
3.3 Vegetação 20
3.4 Clima 22
4 **PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS** 24
4.1 Localização dos pontos de amostragem 24
4.2 Ecobatimetria do canal 25
4.3 Coleta de água 25
4.4 Procedimentos para análise e caracterização da carga em suspensão total 26
4.5 Coleta e análise do Sedimento de fundo 28
4.6 Velocidade do Fluxo 29
5 **REFERENCIAL TEÓRICO** 30
5.1 Hidrologia Aplicada 30
5.2 Tipo de Fluxo 31
5.3 Tipo de Escoamento 33
5.4 Energia total e específica - Stream *Power* 34
5.5 Vazão 35
5.6 Sedimentos 35
5.6.1 Carga do leito ou de fundo 37
5.6.2 Carga suspensa 38
5.7 Análise de dados granulométricos 38
5.7.1 Tendência Central (média ou mediana) 39
5.7.2 Grau de Seleção (Desvio Padrão) 40
6 **RESULTADOS E DISCUSSÕES** 43
6.1 Morfologia das seções transversais 43
6.2 Hidrologia 46
6.3 Energia do Fluxo 48

6.4 Vazão 49
6.5 Velocidade do fluxo nos perfis transversais e longitudinais 51
6.6 Distribuição espacial e temporal dos sedimentos de fundo 55
6.6.1 Vazão x Sedimentos de Fundo 55
6.6.2 Variação longitudinal e transversal dos sedimentos de fundo 60
6.7 Grau de Seleção (desvio padrão) 62
6.8 Carga Sedimentar Suspensa (CSS) em relação à velocidade da corrente 64
7 **CONCLUSÃO** 69
REFERÊNCIAS

1 INTRODUÇÃO

Os sistemas fluviais atuam como transformadores da superfície por onde escoam, erodindo, carreando ou mesmo construindo uma planície aluvial. Portanto, o monitoramento dos processos hidrológicos e sedimentares dos sistemas fluviais é importante para se compreender a dinâmica geomorfológica dos mesmos e assim auxiliar em estudos ambientais e de gerenciamento desta importante fonte de recursos naturais.

Segundo Christofoletti (1981), a dinâmica do escoamento na perspectiva geomorfológica, tem uma significância no campo do transporte dos sedimentos do leito fluvial, nos mecanismos deposicionais e na transformação da topografia do leito ao longo do seu curso. As variáveis clima, relevo, geologia, solos e vegetação condicionam as características da bacia hidrográfica tais como: forma, extensão, padrão de circulação hídrica, morfologia do canal, produção de sedimentos, entre outras.

A geometria do canal constitui um ponto importante para a análise das características do material em suspensão e de fundo. A forma do canal e de sua seção transversal resulta principalmente do inter-relacionamento entre a descarga líquida, a descarga sólida, a declividade a lâmina d'água, a largura, a velocidade do fluxo e a rugosidade do leito. Schumm (1960, 1963, 1967, 1968) e Miall (1977, 1978, 1992) acreditam que a forma de canal é determinada pela granulometria e tipo da carga detrítica por ele transportada, ou seja, maiores quantidades de argila e de silte estão para o surgimento de padrões meandrantes e anastomosados, enquanto uma carga com altos teores de areia, cascalhos associados a pendente, desencadeiam a gênese de canais entrelaçados.

As alterações nas características morfológicas, hidrológicas e sedimentares dos canais fluviais, provocadas pela ação antrópica, estão fartamente documentadas na literatura internacional. O desenvolvimento das diversas atividades humanas tem provocado impactos que modificam significativamente os processos naturais da geomorfologia fluvial. Apesar de uma série de variáveis estarem agindo sobre um rio, este apresentará, em um dado estágio, um equilíbrio natural entre seus processos erosivos e deposicionais. Porém, no momento em que ocorrem perturbações em algumas destas variáveis, o canal fluvial sofrerá um ajustamento de todas as suas variáveis morfológicas, em busca de uma nova forma estável, compatível com as novas condições impostas. Este reajuste ocorre em diferentes escalas temporais, seja de longo, médio ou curto prazo (RICHARD, 1982; FERNANDEZ, 1990).

No Brasil algumas bacias hidrográficas como a do rio Paraguai, Paraná, São Francisco, entre outras, possuem uma significante quantidade de estudos realizados desde o início da construção das primeiras obras fluviais no país, como mostram os trabalhos de Souza Filho et al. (2004) sobre o rio Paraná e, Latrubesse e Stevaux (2002) sobre rio Araguaia. Este fato não é observado no rio Ivaí, considerando os poucos estudos que foram efetuados, no sentido de se conhecer sua dinâmica sedimentar. Sendo assim, escolheu-se a área do baixo curso do rio Ivaí para o desenvolvimento deste estudo, por ser um rio de significativa importância estadual em termos sociais e econômicos. Vale lembrar, que este é o único rio do estado do Paraná que até o presente momento, não apresenta grandes modificações, por obras de engenharia, em seu curso natural, o que o torna um excelente sistema para o estudo de geomorfologia fluvial.

A área de trabalho está situada no baixo curso do rio Ivaí, entre as longitudes 52º 54’16’’ W e 53º 45’20’’ W e latitudes 23º 07’41’’ S e 23° 21’11’’ S, entre os municípios de Tapira e Icaraíma – PR (Figura1). Em cada um destes municípios selecionou-se um setor de 1km ao longo do rio, que foi subdividido em três seções transversais ao canal, com espaçamento de 500 metros entre elas. A seção 1 localiza-se a 23º14’22”S / 53º03’45”W, em Tapira; seção 2 a 23º14’54”S / 53º23’37”W, em Herculândia, e, finalmente, a seção 3 está a 23º17’12”S/ 53º40’06”W, no município de Icaraíma (Pontal do Tigre), esta última situa-se próxima a foz do rio Ivaí (Figura 1).

Os estudos de hidrodinâmica colaboram para a compreensão da dinâmica acerca do escoamento e sua influência sobre o ecossistema aquático. Esses estudos facultam informações que possibilitam o conhecimento da qualidade das águas da bacia hidrográfica e apontam as possíveis alterações ocasionadas pelas atividades antrópicas desenvolvidas nesta região.

Com as constantes transformações que os diversos sistemas fluviais do país vêm passando, indicam a necessidade de se elaborar um banco de dados sobre a dinâmica fluvial do rio Ivaí, visto que este ainda não sofreu consideráveis alterações em seu leito. A possibilidade de se utilizar o rio Ivaí para a geração de energia é um fato que vem sendo estudado há décadas pela Companhia Paranaense de Eletricidade (COPEL). Esta ação implicará no desenvolvimento de obras que alterarão expressivamente as condições naturais deste rio, forçando o mesmo a buscar estabilidade compatível com as novas condições impostas, dadas principalmente às modificações de vazão nos períodos de cheia e no transporte de sedimentos (RICHARD, 1982; FERNANDEZ, 1990).

Segundo Tundisi (1981) a construção de lagos artificiais em canais aluviais, altera o estado equilíbrio de um rio, conduzindo-o a uma série de mudanças nas características e nos processos fluviais, acarretando em problemas de gerenciamento tanto na área inundada como no trecho jusante ao lago.

Para Esteves (1998), o sedimento pode ser considerado como o resultado da integração de todos os processos que ocorrem em um ecossistema aquático é também importante para a avaliação da intensidade e das formas de impactos a que os ecossistemas aquáticos estão ou estiveram submetidos.

Dentro deste contexto, esta pesquisa irá trazer uma série de dados hidrodinâmicos sobre esta bacia, servindo como subsídios para futuros trabalhos neste rio e de sua influência sobre o rio Paraná. Desse modo, este trabalho poderá contribuir com o avanço das pesquisas hidrodinâmicas existentes no programa de mestrado da Universidade Estadual de Maringá-PR (UEM) e do Grupo de Estudo Interdisciplinar do Meio Ambiente (GEMA-UEM).

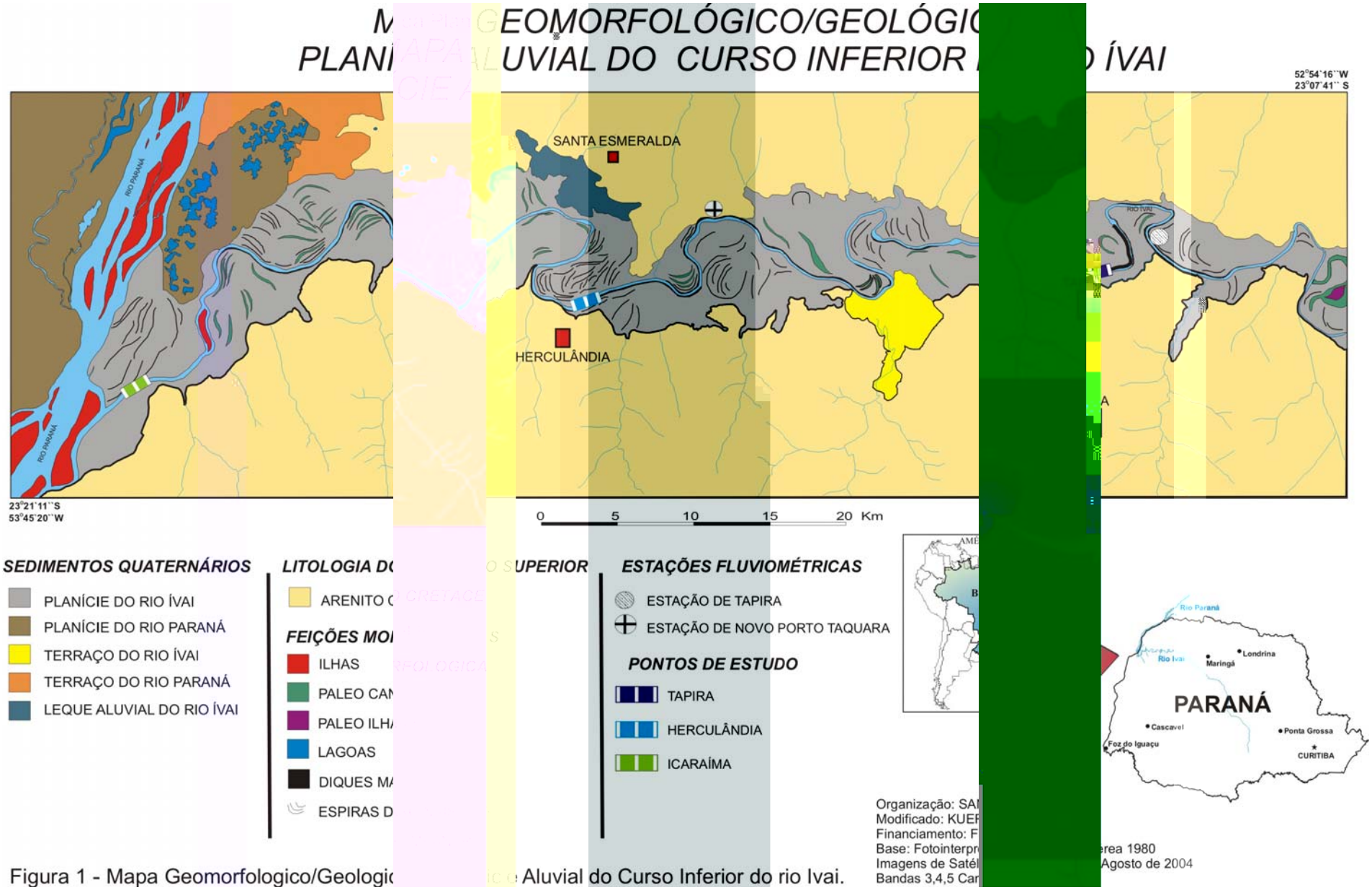


Figura 1 - Mapa Geomorfologico/Geologic Aluvial do Curso Inferior do rio Ivai.

2 OBJETIVOS DA PESQUISA

2.1 Objetivo Geral

Este trabalho busca reconhecer a variação longitudinal das características hidrodinâmicas e sedimentares do rio Ivaí em seu canal.

2.2 Objetivos Específicos

- Verificar variação da vazão e velocidade das águas no período de estudo;
- Levantar e analisar a geometria do canal e as condições batimétricas do leito de fundo nas seções estudadas;
- Elaborar tabelas e gráficos com diversos dados hidrométricos sobre os pontos estudados;
- Analisar o transporte de sedimentos em suspensão e de fundo caracterizando-os;
- Caracterizar os processos sedimentológicos ocorrentes nas sessões estudadas;
- Correlacionar as diversas medidas ao longo do período estudado;

3 CARACTERIZAÇÃO REGIONAL E ÁREA DE ESTUDO

Este capítulo apresenta as características naturais gerais da área de estudo situada no baixo curso do rio Ivaí (PR). Situado na região sul do Brasil, a bacia hidrográfica do rio Ivaí é a segunda maior do estado, estendendo-se desde a latitude 22º56’17”e 25º35’27” sul, e longitude 50º44’17” e 53º41’43” oeste, ocupando uma área 36.587 km², com um percurso de 685 Km. (Figura 1).

3.1 Bacia Hidrográfica

O rio Ivaí nasce da confluência de dois rios pertencentes ao sudeste do estado do Paraná, na região da Serra da Esperança. O primeiro nasce no município de Inácio Martins (rio dos Patos) e o segundo nasce no município de Prudentópolis (rio São João), estes se unem nas proximidades da cidade de Ivaí (800m altitude), onde, a partir da confluência, recebe o mesmo nome dessa cidade. O seu escoamento se efetua em direção ao noroeste do Estado do Paraná até sua foz, no rio Paraná (230m), em Pontal do Tigre (Icaraíma – PR). O percurso total do rio Ivaí desde a confluência dos rios dos Patos e São João até sua foz no rio Paraná é de 685km, com grande variação de largura em cada trecho (MAACK, 1981).

A rede de drenagem possui mais de 100 afluentes, destaca-se na margem esquerda os rios Corumbataí, Mourão, Ligeiro, dos Índios e das Antas; e margem direita os rios Alonso e Paranavaí. O rio Ivaí exerce um importante papel para o Estado do Paraná; sua bacia hidrográfica abrange uma área de 36.587 quilômetros quadrados, sendo 70% desta área situada na região noroeste do Paraná. Drenando cerca de 40% da superfície desta região (Junior, Rodrigues & Santos, 1980), somente em seu curso inferior, a partir da Corredeira do Ferro em Tapira, o rio Ivaí desenvolve uma planície, estando o seu canal encaixado dentro de meandros de conformação irregular, controlados por alinhamentos estruturais e pela litologia.

3.2 Geologia da Bacia Hidrográfica

Ao fluir por um longo percurso em direção ao noroeste paranaense o rio Ivaí possui características geológicas e geomorfológicas muito diversificadas em decorrência das diferentes condições litológicas e topográficas, apresentando um padrão muito variado.

Na sua nascente com o rio dos Patos, o rio atravessa um relevo enérgico, com altitudes de até 1200m, seguindo em direção nordeste e cortando os degraus da Serra da Boa Esperança

(Serra Geral) até a confluência do rio Alonso com altitude próxima a 600m, atravessando a partir daí morros testemunhos e cadeias de mesetas e rochas gondwânicas. O curso superior do rio, ao atravessar a Serra em degraus, tem sua pendente interrompida por inúmeros saltos, adquirindo um padrão muito irregular com quebras abruptas, fortes ângulos, que se suavizam a medida em que caminha para jusante (MAACK, 1981).

Em seu curso médio observa-se um maior entalhe no seu leito até sua foz, é marcado por grande quantidade de saltos e cachoeiras com um relevo gradativamente ondulado, com platôs de 600 e 400m de altitude, ocasionando uma baixa sinuosidade à medida que se aproxima da foz. No curso inferior do rio Ivaí, o relevo é mais suave, possui formas planas, e altitudes que variam de 400 a 230m. Neste setor o rio escavou um canal encaixado, com margens abruptas, que diminuem de altura em direção a foz.

Segundo relatório da COPEL (1984), o rio Ivaí pode ser dividido em três seções: a primeira (alto curso) situa-se próximo a nascente e se estende até o quilômetro 420 e apresenta uma declividade relativamente baixa, porém, interrompida por trechos de grande declividade. Nesta seção, o substrato é formado por rochas sedimentares da Bacia do Paraná. A segunda (médio curso) vai do quilometro 420 até a Corredeira do Ferro, e apresenta declividade crescente e mais acentuada para montante, com ocorrência de inúmeras corredeiras, rasas e pequenos saltos e onde o substrato é formado pelas rochas eruptivas básicas da Formação Serra Geral (Juro-cretáceo). A terceira seção (curso inferior) estende-se da Corredeira do Ferro até a foz, nessa seção o rio corre sobre um substrato de arenitos cretáceos da Formação Caiuá, apresentando uma declividade muito pequena e praticamente não ocorrendo corredeiras.

A Figura 1 mostra que o segmento inferior se desenvolve sobre um substrato sedimentar da Formação Caiuá, dando origem à uma planície aluvial que se alarga para jusante. Partindo da foz do rio Ivaí até 25 km a montante, a planície apresenta sua porção mais ampla ligada geneticamente com o rio Paraná, diminuindo à medida que se distancia da foz com larguras de 6 a 10 km, que se reduzirá até a Corredeira do Ferro. A Formação Caiuá ocorre em toda a área de estudo, sendo constituída por depósitos formados em ambiente eólico, representados por arenitos finos a médios, arroxeados, que apresentam uma estratificação cruzada de grande porte. Próximo ao leito do rio ocorre a existência de sedimentos cenozóicos inconsolidados, de origem aluvial, constituindo a planície e os terraços do rio Ivaí (SANTOS et al., 2005).

3.3 Vegetação

O antigo mosaico da vegetação natural que cobria o estado paranaense foi intensamente modificado, ao longo da ocupação e do avanço socioeconômico. Atualmente o quadro natural encontra-se muito alterado, com pequenos resquícios da vegetação original protegidos por áreas ambientais, reservas ou terrenos impróprios para a utilização da agricultura de exploração.

Durante o processo de colonização, os ciclos de exploração determinados pelas atividades econômicas, marcaram diversas fases da ocupação do território e fizeram com que as florestas e domínios naturais fossem substituídos inicialmente pela cultura do café, e recentemente pela agricultura mecanizada, prevalecendo o uso do solo para fins econômicos.

A bacia do rio Ivaí exibia uma vegetação com características tropicais e subtropicais remetentes as condições da latitude, longitude, altitude e clima, fatores estes que propiciavam condições para o desenvolvimento de um substrato vegetal rico, que variavam de Floresta Ombrófila Mista e Floresta Estacional Semidecidual (IBGE, 1993).

Próximo a região da nascente constituía-se a formação de florestas Ombrófila Mista, com inter-relações com a floresta Estacional Semidecidual, onde a principal espécie vegetal desta floresta era representada pelos pinheiros (Araucária angustifólia). Este tipo de vegetação recobria as porções mais altas da bacia com altitudes acima de 500m, temperaturas amenas e alto índice pluviométrico 1800 mm anuais (IAPAR, 1978).

Na porção central da bacia do rio Ivaí, a vegetação outrora refletia a existência de um clima com duas estações, uma seca e outra chuvosa, ambas pertencentes a área tropical da bacia. Neste setor, a vegetação possuía características tropicais exuberantes, com temperatura média de 22ºC.

No baixo rio Ivaí, prevalecia o domínio de uma vegetação Estacional Semidecidual com características tropicais menos exuberantes que a porção anterior, devido o seu desenvolvimento ocorrer em solos arenosos da Formação Caiuá. Contudo, espécies como a peroba, angico branco, gerivá, palmito, cedro, canafístula, figueira e sapopemas que ainda podem ser encontradas nessa região, em algumas áreas remanescentes e preservadas.

Ao todo são sete áreas de preservação ao longo da bacia hidrográfica do rio Ivaí. Próximo a nascente tem-se a Área de Proteção Ambiental da Serra da Esperança (260.555,82 ha). Ainda no alto rio Ivaí, encontra-se a reserva florestal Córrego Maria Flora, no município de Cândido de Abreu (48,68 ha). No médio curso do rio, localizam-se: o Parque Estadual Lago Azul (1.749,01 ha) nos municípios de Campo Mourão e Luiziana; as reservas florestais de

Figueira e Saltinho (100 ha), ambas pertencentes ao município de Engenheiro Beltrão e o Parque Estadual Vila Rica do Espírito Santo (353,86 ha) situado no município de Fênix. No baixo curso do rio Ivaí, como remanescente da antiga cobertura vegetal da bacia do rio, tem-se a reserva florestal de Jurema (240 ha), localizada no município de Amaporã (Instituto Ambiental do Paraná, 2002).

A área de estudo retrata o processo de ocupação irregular e desenfreado ocorrido em décadas passadas. Ao longo dos pontos estudados as culturas agrícolas sazonais associadas com a pecuária extensiva, destruíram quase que completamente, as áreas de vegetação natural, resultando resquícios isolados de mata ciliar, pobre em espécies, com forte intrusão de espécies exóticas como o bambu e o eucalipto, que são dominantes em alguns trechos do baixo curso (Figuras 2, 3, 4).

A legislação ambiental imposta pelo Código Florestal (Lei nº. 4.771 de 15/09/65), determina que ao longo de rios é necessário que haja um cinturão ciliar com um raio de 30 m a partir das margens. Este deve ser preservado e recuperado onde houver necessidade. No entanto, no rio Ivaí poucas áreas respeitam esta determinação, em muitos trechos as estradas rurais foram construídas a menos de 15 m de distância da margem do rio Ivaí (município de Santa Mônica-PR). Em outras áreas a vegetação original foi completamente retirada, dando espaço para campos utilizados na alimentação de gado de corte visível nos municípios de Querência do Norte e Icaraíma.

Figura 2 - Vegetação da margem Esquerda em Pontal do Tigre – Icaraíma PR.
Fonte: foto do autor – 29/11/04.

Figura 3 - Vegetação da margem Direita em Pontal do Tigre – Icaraíma PR.
Fonte: foto do autor – 29/11/04.

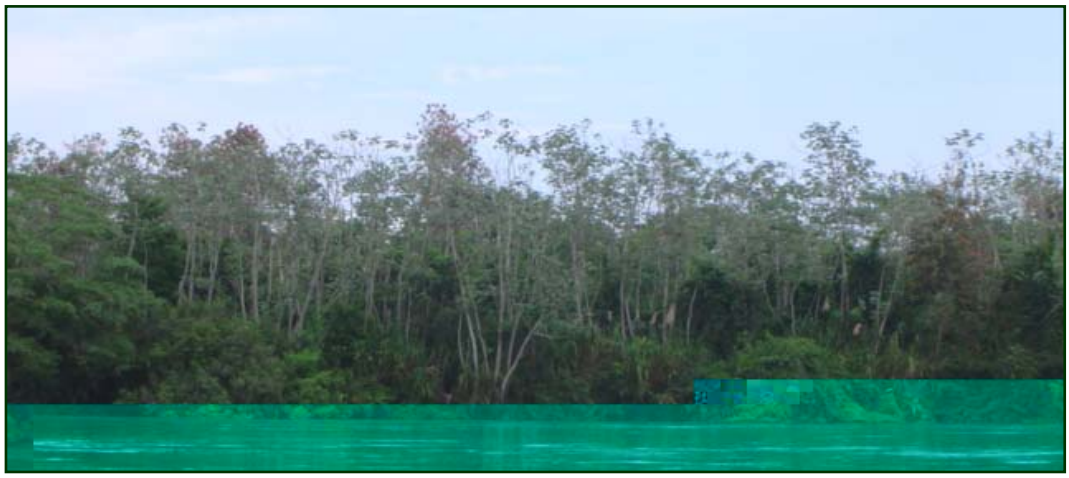


Figura 4 - Vegetação da margem Direita em Pontal do Tigre, destaque para presença de Embaúba (*Cecropia spp*) Icaraíma PR.
Fonte: foto do autor – 29/11/04.

3.4 Clima

A bacia do rio Ivaí apresenta duas situações, uma para o curso superior e outra para o curso médio e inferior. Sua posição geográfica, direcionada entre norte e sul, caracteriza uma área de transição entre domínios tropicais e subtropicais.

De acordo com a classificação de Koppen, as condições climáticas do curso superior, podem ser classificadas como subtropical úmido sem estação seca (Cfb), com verões amenos (temperatura média inferior a 22º C) e ocorrência de geadas rigorosas e freqüentes no inverno (temperatura média inferior a 18º C). Para o restante da bacia, cursos médio e inferior, as características climáticas são subtropical úmido (Cfa), com concentração das chuvas no verão, sem estação seca definida. As temperaturas médias estão acima de 22º C no verão e inferior a 18º C no inverno (PARANÁ, 1987, p.16).

Ao longo da bacia, a distribuição pluviométrica se assemelha as condições subtropicais, havendo uma homogeneidade temporal, em que as máximas e mínimas podem ocorrer em qualquer época do ano. A bacia em geral apresenta uma precipitação média anual de 1200mm (Santos, 2000).

A distribuição da pluviosidade na bacia hidrográfica tende mais para características subtropicais, onde ocorre uma homogeneidade temporal na sua distribuição. As máximas e mínimas podem ocorrer em qualquer época do ano. A área de estudo situada na região norte-nordeste da bacia hidrográfica apresenta qualidades mais tropicas, que concentram parte das chuvas no verão e diminuindo no inverno.

De acordo com Andrade (2002), *apud* Destefani (2005) a distribuição temporal e espacial das precipitações ocorridas na bacia hidrográfica do rio Ivaí não apresenta muita variação. A figura 5 mostra a média das precipitações, sendo que as maiores variações ocorreram em anos anômalos, na montante e na porção centro sul da bacia (1750 mm) com redução para jusante (1350 mm). A figura 6 mostra que os valores de desvio padrão em relação a precipitação oscilam entre um máximo de 390 mm próximo a nascente e mínimo de 270 mm na foz. Para Andrade (2002) a dispersão dos valores é baixo o que indica pouca variabilidade das chuvas que precipitam na área da bacia.

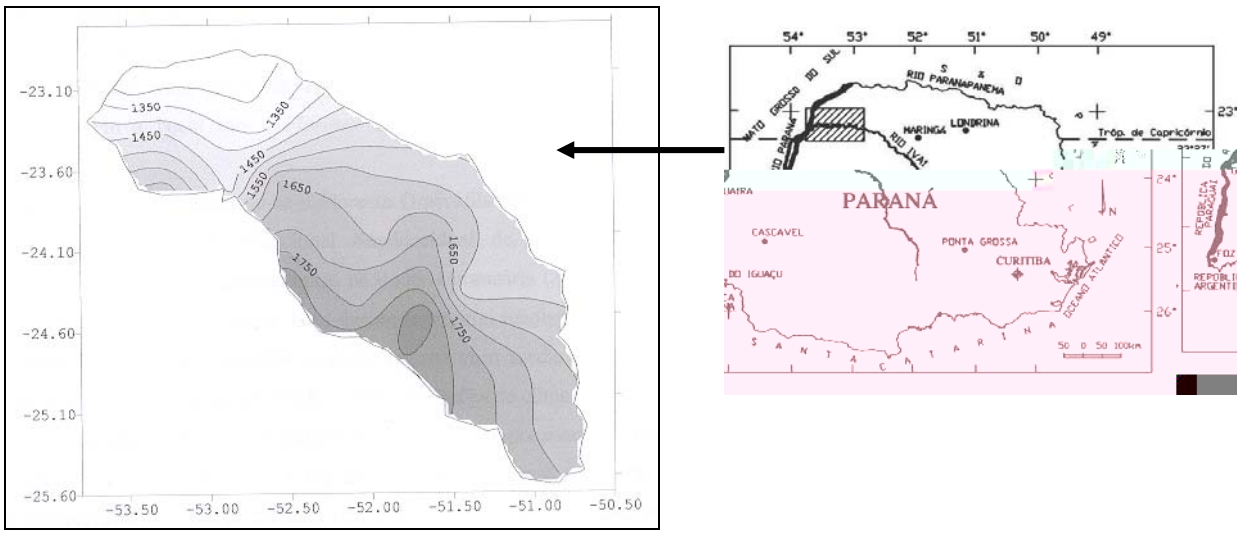


Figura 05 - Precipitação média na bacia hidrográfica do Ivaí.
Fonte: Andrade (2002 *apud* DESTEFANI, 2005. p.28)

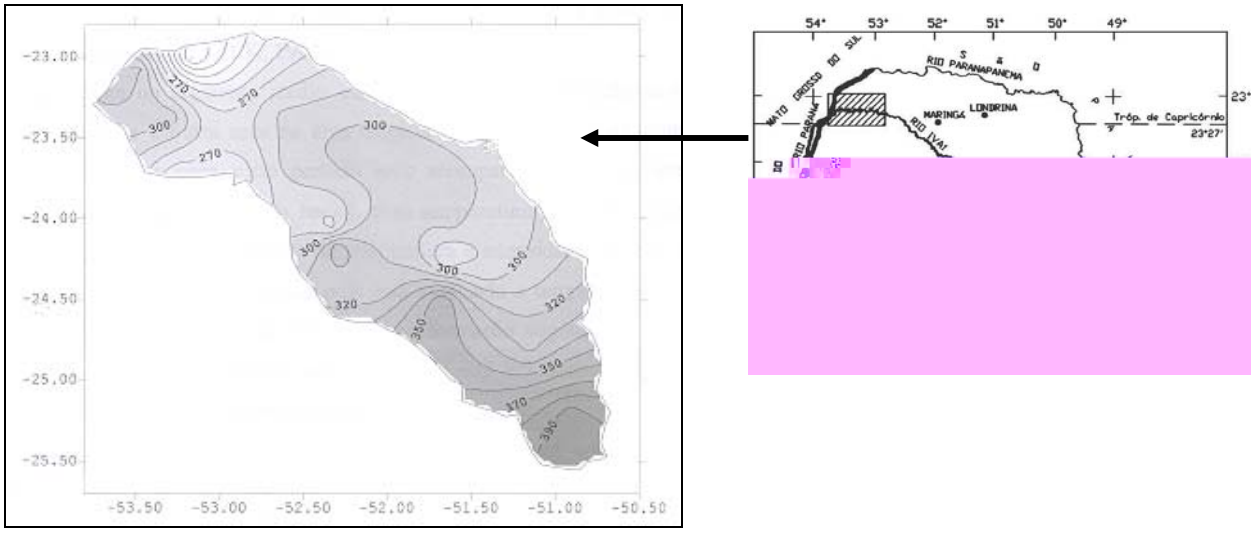


Figura 06 - Desvio padrão dos valores de precipitação na bacia hidrográfica do Ivaí.
Fonte: Andrade (2002 *apud* DESTEFANI, 2005. p.29)

4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Para a realização do estudo da variação longitudinal das características sedimentares e hidrológicas do rio Ivaí, em seu curso inferior, determinou-se inicialmente uma rede de monitoramento com a localização espacial dos pontos de amostragem. Após esta etapa estipulo-se uma freqüência mensal de coleta dos dados de campo, duração das amostragens e seleção das variáveis a serem medidas tais como: ecobatimetria transversal, velocidade do fluxo em três profundidades em três pontos distintos ao longo da seção transversal, coleta de água do fluxo idem a velocidade do fluxo e coleta de material do leito em três pontos ao longo da seção transversal.

Depois de coletados as amostras, estas foram submetidas a análises laboratoriais, onde todos os dados foram preparados, tratados, para a confecção de relatórios, gráficos e textos anexos a este trabalho. Este trabalho segue os procedimentos metodológicos adotados em outros trabalhos, entre eles o de Martins (2004), Biazin (2005), Barros (2006) e Silva (2006).

4.1 Localização dos pontos de amostragem

Para a realização do estudo sobre a variação das características sedimentares e hidrológicas, no curso inferior do rio Ivaí, foram determinados três setores de amostragem, distribuídos ao longo dos últimos 150 km do percurso do rio, localizados nos municípios de Tapira, Herculândia e Icaraíma, pertencentes ao estado do Paraná.

Os setores do rio, mostrados na figura 1, foram escolhidos a partir da análise das cartas topográficas de Tapira na escala 1:100000 (Folha SF.22-Y-C-II) e Icaraíma, na escala 1:100000 (Folha SF.22-Y-C-I), editadas pelo IBGE em 1972. A escolha destas seções deveu-se à facilidade de acesso ao canal, à ocorrência de uma área com pouca alteração antrópica, trechos retilíneos do rio e à proximidade de estações fluviométricas governamentais operantes (Tapira nº 64689005 e Novo Porto Taquara nº 64693000).

Em cada um destes municípios selecionou-se uma seção de 1km ao longo do rio, que foi subdividida em três perfis transversais ao canal, com espaçamento de 500m entre eles. A seção 1 localiza-se 23º14’22”S / 53º03’45”W, em Tapira; o seção 2 localiza-se 23º14’54”S / 53º23’37”W em Herculândia e a seção 3 está localizada 23º17’12”S/ 53º40’06”W, no município de Icaraíma, este último situado próximo a foz do rio Ivaí (Figura1).

Sem ter uma freqüência específica, os trabalhos de campo foram desenvolvidos entre os meses de março de 2004 a dezembro de 2004, e cobriram diferentes níveis de água do rio,

tanto na cheia quanto na vazante. O objetivo destes levantamentos foi o de se reconhecer as variações temporais nas características do canal fluvial.

4.2 Ecobatimetria do canal

Os pontos de análise e coleta de dados foram localizados por meio do sistema GPS (*Global Position System*) integrante do aparelho digital de ecobatimetria (Ecobatímetro FURUNO®, Figura 7). Estacas e sinalizadores nas margens também auxiliaram a realização da batimetria transversal. Ao longo do primeiro perfil transversal de cada área de estudo (Tapira, Herculândia e Icaraíma) foram determinados, no momento da ecobatimetria, três pontos de coleta, distribuídos simetricamente no perfil transversal.

Figura 7- *Noot Boock* acoplado ao Ecobatímetro Furuno®.
Fonte: foto do autor – 29/11/04.

4.3 Coleta de água

Segundo Margalef (1983), o dispositivo mais usado para coletar amostras de água consiste em um cilindro de capacidade variável, geralmente com volume entre 1 e 5 litros, com abertura nos dois extremos, que é lançado no rio em posição vertical, de forma que a água preencha seu interior. Ao alcançar a profundidade desejada, é lançado um peso emissário que libera o dispositivo de trava das aberturas, que ao ser desarmado pelo peso, faz com que as aberturas fechem, aprisionando a água em seu interior. Posteriormente esta água é trazida até a superfície e através de uma válvula de escape é depositada em um recipiente para análises limnológicas e sedimentológicas. Este dispositivo é denominado de Garrafa de *Van Doorn* (Figura 8).

Figura 8 - Garrafa de *Van Doorn*, capacidade total de 5 lit
amostra de água da garrafa para o recipiente.
Fonte: foto do autor – 29/11/04.

A água foi coletada sempre no prime
(Tapira, Herculândia e Icaraíma – PR), sendo es
um destes pontos as amostras foram obtidas em
a 50% da coluna vertical e a 1m do leito de
demais dados a estas profundidades ter
sedimentológicos (carga suspensa) e hidrome
profundidades no ponto de análise.

condições normais, 3 dias para água mantida sobre refrigeração e de até 1 mês para água congelada, isto porque, em altas temperaturas ambiente, pode ocorrer a proliferação de algas, comprometendo a análise e podendo acarretar até mesmo a perda da amostra.

Em laboratório, a amostra deve ser agitada por 30 segundos para desprendimento e circulação da matéria em suspensão, em seguida são separados 1000ml desta amostra em uma proveta que é utilizada para a filtragem.

Para a filtragem utilizou-se filtros de micro fibra de vidro GF-52-C 47 ± 0,5mm (Schleicher & Schuell®). Os filtros são dispostos no sistema MILLIPORE (Sterifil® - Aseptic System and Strifil 47 mm Filter Holder) e acoplados a bomba de vácuo e ar comprimido (Figura 10).

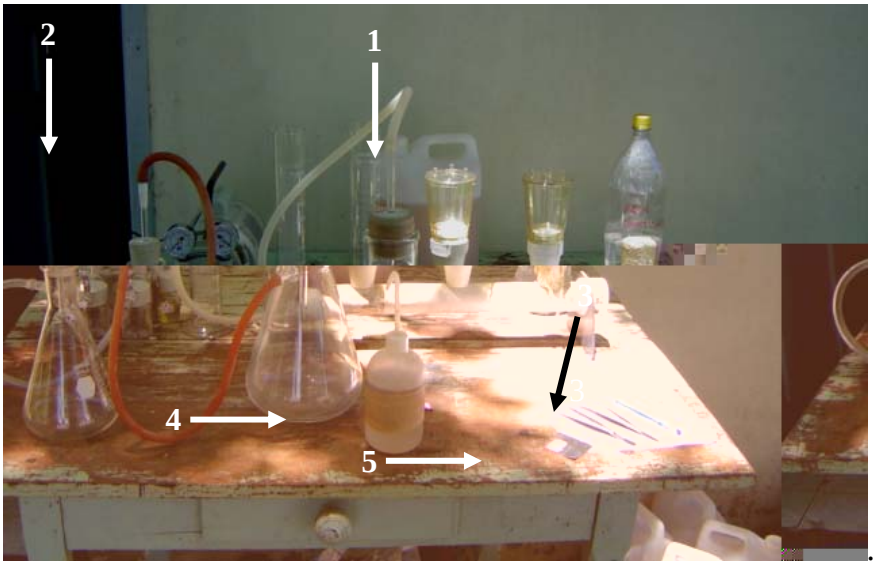


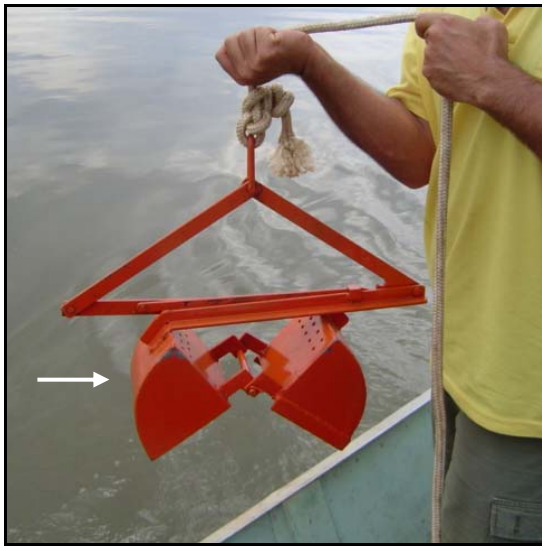
Figura 10 - Sistema MILLIPORE[1], bomba de vácuo[2], pinças cirúrgicas[3], água destilada[4] e filtros[5].
Fonte: foto do autor – 29/11/04.

A filtragem é realizada com 1000ml da amostra coletada. Esta é colocada gradualmente no sistema de filtragem até completar a sucção. Após o término da filtragem realiza-se, ainda com o filtro no dispositivo de suporte, a limpeza das paredes do funil com água destilada, permanecendo ainda a sucção da amostra por mais 5 minutos. Em seguida o filtro é retirado e armazenado em papel alumínio, para a secagem em estufa aquecida a 100º C. Após esse procedimento o filtro fica confinado por 24 horas na estufa em temperatura constante.

O peso final (filtro + sedimento) é subtraído do peso inicial (filtro) onde a diferença caracteriza a concentração, em gramas, de sedimento em suspensão por litro. Os dados são tabelados em software Microsoft Excel 2000, onde são tratados e analisados para confecção de gráficos e tabelas.

4.5 Coleta e análise do Sedimento de fundo

Para a coleta do sedimento de fundo utilizou-se um amostrador de mandíbula do tipo *Van Veen* (Figuras 11, 12). O aparelho, preso por uma corda de nylon, é armado com os "braços" abertos e submergido até atingir o fundo do leito; automaticamente, ao tocar o fundo, este é destravado e suas pás penetram no material do leito; quando içado à superfície, este fecha os "braços" e as pás, trazendo consigo o sedimento de fundo. O material coletado é armazenado em sacos plásticos devidamente etiquetados e identificados, para posterior análise granulométrica em laboratório.



Figuras 11 e 12 - Amostrador de mandíbula do tipo *Van Veen*.
Fonte: foto do autor – 29/11/04.

Os sedimentos coletados em campo, etiquetados com a identificação da referida amostra, são expostos para secagem em local abrigado. Após estarem secas, as amostras são desagregadas em almofariz de cerâmica e dispostas em um quarteador. Depois de separada quatro porções idênticas, uma porção é retirada. São pesadas 100g do material num becker de 150ml. O material amostrado é disposto sobre um conjunto de peneiras e colocadas em um agitador de peneiras por 5 minutos. Em seguida o material retido em cada peneira é pesado em balança de precisão e registrado em uma tabela granulométrica para a caracterização dos parâmetros: Diâmetro Médio, Curtose, Grau de Seleção e Assimetria, utilizando o software GRANULO em sistema MS-DOS, porém, neste trabalho foram analisadas apenas as variáveis do diâmetro médio e grau de seleção.

4.6 Velocidade do Fluxo

A velocidade da corrente é medida por um molinete fluviométrico de hélice, modelo MLN-4 (Figura 13). A velocidade da corrente foi medida na mesma profundidade em que se coletou água, constituindo um total de 9 pontos de medição de fluxo: a 1m da superfície, a 50% de profundidade e a 1m do fundo do canal.

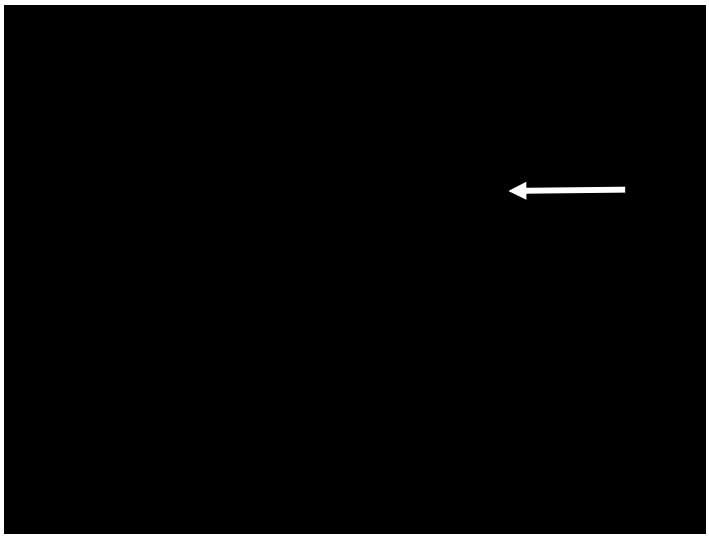


Figura 13 - molinete fluviométrico de hélice, modelo MLN-4
Fonte: foto do autor – 29/11/04.

Para a medição das diferentes velocidades da corrente na coluna vertical o aparelho é posicionado contra a corrente, e conhecendo a profundidade através do Ecobatimetro, o Molinete Fluviométrico é posicionado nas diferentes profundidades desejadas, sendo contado o número de bips por minuto, emitido pelo aparelho. O número de bips obtido é transformado em velocidade (m/s) por meio do seguinte cálculo (calibrado e estabelecido pelo fabricante):

Equação 1

nº de bips x 10 / 60 = **N**

Se **N** for:

3,103 < ou = Então **V** = 0,27037 x **N** + 0,0068 **V** = m/s

3,103 > ou = Então **V** = 0,27688 x **N** - 0,0134 **V** = m/s

5 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo será apresenta uma revisão dos assuntos mais importantes ligados à produção deste trabalho. Partindo de uma abordagem histórica do uso da água, é possível verificar que o homem desde os tempos mais remotos já observava e procurava compreender a dinâmica das águas sobre a superfície terrestre e para isso buscava instrumentos que lhe desse condições para realizar tal tarefa. Atualmente esses instrumentos estão dispostos em técnicas, fórmulas, cálculos e modelos que ao aplicados nos permite caracterizar e compreender a dinâmica fluvial.

5.1 Hidrologia Aplicada

Antigos registros egípcios mostram que o homem há mais de 3000 anos a.C., já se interessava por descrever e monitorar as enchentes no rio Nilo. Assim poderiam prever os próximos fenômenos de cheia e fazer um cronograma para o uso das áreas inundáveis para a agricultura, aproveitando os ricos depósitos de sedimentos trazidos pela última cheia. Na Índia, em 350 a.C. foram encontradas diversas anotações sobre medidas de precipitação pluvial. Porém, a noção sobre a dinâmica do ciclo hidrológico veio a se consolidar apenas no período da Renascença com Da Vinci. Em uma lenta evolução do pensamento científico a hidrologia só começou a tomar forma de disciplina específica na segunda metade do século XVIII (PINTO et al., 1976).

Segundo o *United States Council of Science and Technology, Committee for Scientific Hydrology* (1962 apud VILLELA 1975; TUCCI 1997), hidrologia é a ciência que trata da água da terra, sua ocorrência, circulação, distribuição e propriedades físicas e químicas, bem como suas reações com o meio ambiente e as relações com as diversas formas de vida. Para Pinto (1976) hidrologia é a ciência que trata do estudo da água na natureza, parte da geografia física que estuda em especial as propriedades, fenômenos e distribuição da água na atmosfera, superfície e subsolo da Terra.

Esta ciência, de cunho interdisciplinar, tem evoluído significativamente em razão do aumento das obras de engenharia em cursos de água e águas subterrâneas e, em decorrência da evolução dos problemas desencadeados com o uso e a ocupação de bacias, da emissão de poluentes nos corpos hídricos, enfim, dos diversos impactos sobre as águas do planeta, provocados pelo homem contemporâneo.

A hidrologia evoluiu e englobou diversas áreas de profissionais como geógrafos, geólogos, biólogos, agrônomos, engenheiros, matemáticos, estatísticos entre muitos outros que surgiram também das subdivisões desta ciência como a hidrometeorologia, a limnologia, a potamologia, a glaciologia e a hidrogeologia. No entanto, a maior mudança ocorrida nesta ciência foi o fato de passar de apenas uma ciência descritiva e quantitativa para uma ciência de métodos e equações matemáticas e estatísticas melhorando os resultados e, enriquecendo o entendimento dos fenômenos relacionados à água no planeta (TUCCI, 1997).

Atualmente a hidrologia, também chamada de engenharia hidrológica, esta sendo aplicada ao uso e gerenciamento dos recursos hídricos, no que se denomina plano de manejo dos recursos hídricos onde uma avaliação e análises destes recursos são efetuadas afim de se preservá-lo. Segundo Tucci (1997) a ciência hidrológica tem sido influenciada por aspectos específicos do uso da água, como o entendimento da demanda e o controle de desastres.

A dinâmica do escoamento fluvial é de extrema importância para o fornecimento de informações para a compreensão das forças atuantes no funcionamento dos processos morfogenéticos fluviais, seja na fase de erosão, transporte ou de sedimentação (CHRISTOFOLLETI, 1981, p.17). Sendo assim, os estudos de parâmetros hidrológicos é de fundamental importância para a geomorfologia fluvial.

5.2 Tipo de Fluxo

Sob a ótica da geomorfologia, o padrão de escoamento é significativo, devido à capacidade da água modelar seu percurso e, de agir sobre os processos sedimentológicos de transporte e deposição, esculturando a topografia do leito (CHRISTOFOLETTI, 1981).

Ao se deslocar para regiões com menor altitude a água leva consigo detritos de sua rede hidrográfica para lagos, represas, reservatórios e, em último estágio, até os oceanos. Dentre os tipos de escoamento há duas forças externas que agem sobre a água que flui nos canais abertos como o rio Ivaí: a gravidade a fricção (Christofoletti, 1981). Segundo este autor, em canais abertos ocorrem diversos tipos de fluxo, entre eles estão os fluxos laminar e turbulento; uniforme e não-uniforme; estável e instável, descritos no quadro 1.

Tipo de fluxo	Descrição geomorfológica
Laminar	Escoamento em canais retos, suaves com baixa velocidade, fluindo em camadas paralelas, sem transporte de partículas.
Turbulento	Variedade de movimentos, caóticos, heterogêneos, difusão e constante mistura entre as camadas com forte transporte de partículas.
Uniforme	Caracterizado com a magnitude e direção da velocidade do fluxo, sem modificação ao longo do comprimento do canal a mesma profundidade.
Não-uniforme	Ocorre quando ocorrem variações na velocidade e na profundidade ao longo do canal.
Estável	Determinado quando em um ponto do canal a profundidade não se modifica com o decorrer do tempo, pressupondo fluxos estáveis e uniformes, com a mesma quantidade de água ao longo de vários perfis transversais.
Instável	Fluxo contrário ao estável, não constante em vários perfis transversais.

Quadro 1. Descrição geomorfológica para os tipos de escoamento.
Fonte: Christofoletti (1981).

A engenharia hidrológica estabelece diversos fatores que influenciam diretamente escoamento, para cada um deles atribui-se uma inter-relação que pode medir e classificar os tipos de escoamento, dentre eles está a área da bacia, a topografia, as condições geo-pedológicas e as obras de controle e utilização das águas (Villela, 1975; Pinto 1976; Tucci, 1997).

Para se distinguir entre o fluxo laminar e o fluxo turbulento utiliza-se a aplicação do número de Reynolds (Re), estabelecendo valores críticos para as referidas categorias. Para se determinar o tipo de fluxo utiliza-se a seguinte fórmula:

Equação 2

$$R_e = \frac{Q}{\pi . Rh . \nu}$$

R_e, número de Reynolds,

Q, vazão,

Rh, raio hidráulico (área da seção transversal dividido pelo perímetro molhado),

ν , viscosidade cinemática.

A engenharia hidrológica classifica o escoamento quanto ao estado de agitação das partículas fluidas por meio do número de Reynolds em canais, utilizando o valor encontrado na equação acima. Para os valores encontrados determina-se que escoamento laminar para Re < 500; escoamento de transição para Re $\leq$ 500 Re $\leq$ 2500 e turbulento para Re > 2500.

5.3 Tipo de Escoamento

O tipo de fluxo determinado pelo número de Reynolds (Re) está principalmente dividido em laminar e turbulento. No entanto, o fluxo pode ainda ser classificado em mais três categorias quanto ao tipo de escoamento.

Para se determinar o tipo de escoamento do fluxo aplica-se o número de Froude que é obtido por meio da seguinte fórmula:

Equação 3

$$F = \frac{\overline{V}}{\sqrt{g.\overline{y}}}$$

F, número de Froude,

$\overline{V}$, velocidade média do leito liso,

g, aceleração da gravidade,

$\overline{y}$, profundidade média da corrente.

Para os valores encontrados na equação acima, a classificação do tipo de escoamento lento é dado para F menor que 1; escoamento rápido/torrencial para F maior que 1 e escoamento crítico/transição para F igual a 1.

Segundo Christofoletti (1981), a identificação do escoamento e o monitoramento de sua variação permitem correlacionar as modificações ocorridas no nível superficial da água. Assim, com o aumento da velocidade da água, atingindo o escoamento torrencial rápido, o nível superficial tende a baixar enquanto que ao diminuir para o escoamento lento há uma elevação no nível, o que gera ondas estacionárias e conseqüências sobre o fluxo do canal a montante.

Simons e Richardson (1961,1966 apud VILLELA, 1975; CHRISTOFOLETTI, 1981), estudando a hidráulica de canais erosivos, atribuíram os valores obtidos pelo cálculo do número de Froude a correlação nas formas de rugosidade dos leitos em canais aluviais, desenvolvendo

uma classificação que segue as seguintes formas de leito: ripples, dunas com ripples superpostos, dunas, fundo plano, onda estacionária e antidunas.

5.4 Energia total e específica - Stream *Power*

Energia total, ou também denominada potência fluvial é descrita por Christofolleti (1981) e Tucci (1997) através da fórmula:

Equação 4

$\Omega = \rho Q.i$

Ω, energia total,
ρ massa específica da água (temperatura 20ºC),
Q, vazão.
i, declividade.

Conhecendo-se a potência, ou energia de um canal fluvial pode-se relacioná-la com a carga detrítica e verificar a configuração topográfica do fundo que refletirá nas feições do leito do rio. Segundo Christofolleti (1981), em períodos de cheia, o curso fluvial tem sua potência aumentada e, conseqüentemente, maior capacidade para o transporte de sedimentos de diversos diâmetros. Seguindo esta lógica, à medida que a vazão diminui, a velocidade se reduz e, por conseguinte, a capacidade de transporte de sedimentos.

Ao sofrer reduções na energia do fluxo, o material em suspensão rapidamente decanta e permanece imóvel enquanto a força necessária para seu deslocamento não se desenvolver novamente. Assim, ao observarmos a configuração do leito do rio em períodos de baixa energia, baixo volume, o que estaremos testemunhando são as formas remanescentes da topografia, esculpida pelos altos fluxos com alta energia (CHRISTOFOLLETI, 1981; TUCCI, 1997).

O ciclo sedimentológico é acionado pela força da energia que a água dispõe sobre o ambiente. Segundo Tucci (1997) o conhecimento da capacidade de transporte está intimamente ligado ao conhecimento da dissipação de energia seja esta por atrito ou por suspensão, Tucci considera que este é ainda um campo bastante complexo da mecânica fluvial parte integrante da engenharia de sedimentos.

5.5 Vazão

A fase mais importante e significativa para os estudos do modelado da terra é o estado

Paralelamente ao ciclo da água desenvolve-se este ciclo hidrossedimentológico, aberto, intimamente ligado e totalmente dependente do ciclo hidrológico, no qual envolve o deslocamento, o transporte e o depósito das partículas oriundas da bacia hidrográfica, porém, ao contrário do ciclo das águas o ciclo hidrossedimentológico não faz os sedimentos retornarem ao meio de origem (TUCCI, 1997, p. 915).

Os materiais contidos no fluxo dos rios é uma mistura de partículas de várias espécies, tamanhos e formas, sendo a maior parte proveniente da ação erosiva das águas sobre as vertentes. Segundo Christofoletti (1981), diversos fatores influenciam na origem destes materiais, entre eles o regime pluvial, as diferentes estruturas geológicas, as condições topográficas e a cobertura vegetal.

Recentemente os estudos relacionados ao ciclo hidrossedimentológico sofreram um avanço. A preocupação com os prejuízos que os sedimentos podem causar para o aproveitamento hidráulico, sendo o assoreamento o caso mais comum, foi um dos principais responsáveis por este avanço. Nos últimos anos tem se desenvolvido a gestão integrada dos recursos hídricos, prática esta calcada nos estudos da geomorfologia fluvial e da mecânica fluvial que propiciou um maior planejamento e recuperação de bacias hidrográficas.

Toda influência antrópica gera alterações nas condições naturais dos rios. Segundo Tundisi (1981), a construção de lagos artificiais em canais aluviais, alteram o estado equilíbrio de um rio, conduzindo-o à uma série de mudanças nas características e nos processos fluviais, acarretando em problemas de gerenciamento tanto na área inundada como no trecho jusante ao lago.

Para Richard (1982) e Fernandez (1990) a intervenção do homem sobre o meio fluvial provoca alterações modificações que alteram expressivamente as condições naturais dos corpos hídricos, estas mudanças forçam os rios a buscarem uma estabilidade compatível com as novas condições impostas, principalmente devido às alterações na vazão e no transporte de sedimentos.

As partículas transportadas pelos rios estão dispostas em três categorias que fazem parte da massa sólida e são remanejadas pela ação das águas, rumo a áreas de deposição: a primeira constitui os sedimentos ou materiais de fundo; a segunda os sedimentos em suspensão; e, por último a carga dissolvida. Neste estudo foram monitorados os sedimentos de fundo e em suspensão, não contemplando a caracterização da carga dissolvida.

5.6.1. Carga do leito ou de fundo

Dos elementos sólidos encontrados nos rios, os mais densos e com maior diâmetro se concentram nas paredes dos canais e no leito de fundo. Segundo Christofoletti (1981), os sedimentos de fundo são partículas com maior granulometria, compostas principalmente por areias, seixos e cascalhos. Estas são transportadas pela força do fluxo, mediante diversas formas de deslocamento mais lento que o transporte em suspensão e de forma intermitente.

Segundo Villela e Mattos (1975), a força da gravidade atua sobre as partículas mais densas e por isso as concentram no fundo do canal, distinguindo-as do material em suspensão. Vale lembrar que não existe um limite claro entre os detritos de fundo e os suspensos, pois ambos podem ser transportados em suspensão mediante a forças críticas para o seu deslocamento, fazendo com que detritos de fundo entrem em suspensão junto com a turbulência das águas no escoamento.

Diversos estudos e experiências buscaram inter-relacionar a dinâmica dos rios e o transporte de materiais, procurando explicar quais são as forças necessárias para originar o deslocamento do material de fundo, os processos mecânicos desencadeados, as formas de deslocamento e os resultados do fenômeno de transporte, entre outros.

Bogárdi (1972 apud CHRISTOFOLETTI, 1981) propôs duas concepções para a movimentação das partículas de fundo: a lei da variável das forças trativas críticas e a lei da variável velocidades críticas, ambas correlacionam variáveis referentes ao peso, gravidade, fluxo, turbulência e velocidade crítica para iniciar o deslocamento.

De acordo com Tucci (1997), o desenvolvimento do transporte do material de fundo é ocasionado pela energia que o corpo hídrico dispõe. A velocidade de fundo um fator essencial para o deslocamento das partículas, havendo proporção entre a velocidade e a capacidade seletiva de transporte quanto ao tamanho e peso.

Nesse sentido, os sedimentos são medidos e apresentados como descarga sólida, são utilizadas para descrever diversas outras variáveis, entre elas a competência e a capacidade do rio em transportar detritos em seu leito. Em geral os estudos relacionados aos sedimentos demonstram que a sua capacidade de transporte ocorre em função dos fatores hidrológicos. Assim sendo, a medida em que o canal se transforma de montante para jusante todo o processo se altera e adquire as características do ambiente local.

5.6.2. Carga suspensa

Ao contrário dos sedimentos de fundo, com massa maior, as partículas de granulometria reduzida como silte, argila e areias finas conservam-se em suspensão na corrente através do fluxo turbulento (CHRISTOFOLETTI, 1981). A distinção entre os sedimentos de fundo e suspensos é baseada no mecanismo de transporte, sendo os materiais mais finos carregados pela força do fluxo da água.

Experiências desenvolvidas por Einstein (1950 apud CHRISTOFOLETTI, 1981), demonstraram que partículas menores que 0,06 mm estão sempre em suspensão e que os materiais com tamanho maior que 0,1 mm podem entrar em suspensão ou não dependendo das condições do fluxo. Contudo, o estudioso não observou nesta experiência a influência da densidade dos diversos materiais em suspensão. Segundo Einstein (op cit.) os sedimentos considerados como permanentes em suspensão, com diâmetro menor que 0,06mm, representam 5% do material sedimentar do leito, e até 17% da composição da camada superficial do leito.

Diversos pesquisadores vêm tentando buscar fórmulas e equações que relacionem diversas variáveis naturais com a carga suspensa. Destacam-se os estudos que interpretam a carga suspensa com o débito (vazão), os tamanhos dos sedimentos e a magnitude do fluxo, a intensidade dos sedimentos contidos no débito em função do diâmetro das partículas, a relação entre o diâmetro e a distribuição na coluna vertical, e outros.

É bastante visível, em épocas de cheias, o aumento do abastecimento de materiais detríticos para o corpo hídrico. É sabido que as taxas de material em suspensão sofrem um grande aumento de concentração nestes períodos, mas o estudo deste fenômeno é extremamente complexo e impreciso, a quantidade de sedimentos pode variar instantaneamente numa mesma seção transversal. Para Christofoletti (1981), a variação da carga em suspensão para o total da carga detrítica transportada é variável de uma bacia hidrográfica para outra, portanto, são inúmeros os fatores que podem contribuir com o aumento ou a redução da carga suspensa e de fundo. Atualmente os estudos desta ordem associam também os problemas ambientais relacionados a degradação dos solos, a emissão de efluentes, entre outras alterações antrópicas.

5.7 Análise de dados granulométricos

A distribuição espacial dos parâmetros granulométricos dos sedimentos de fundo é resultante dos fatores associados às condições hidrodinâmicas do fluxo que variam com o regime hidrológico do rio (KUTNER, 1976; PONÇANO, 1976).

Para Santos (2000), a compreensão dos parâmetros granulométricos está intimamente ligada à vazão fluvial, onde a caracterização e a análise do regime hidrológico são fundamentais para estes estudos. Segundo Suguio (1973), desde a década de 30 até meados de 90, os parâmetros de análise estatística granulométrica eram calculados com base em dados extraídos graficamente em curvas acumulativas de distribuição de freqüência das amostras de sedimentos analisados e gráficos obtidos por média aritmética.

Os cálculos feitos na escala ø caracterizam a curva quanto à sua tendência central, grau de dispersão, assimetria, seleção e curtose. Os resultados obtidos das análises são lançados em curvas acumulativas por ponto, indicando partículas sedimentares mais grosseiras que cada valor fixado. Nestes gráficos, os valores de unidade ø (convertidos em mm a partir da escala de Wentworth) crescem para a direita no eixo das abscissas, indicando os sedimentos finos, enquanto que na reta das ordenadas estão representadas as freqüências acumuladas. Desta maneira, a representação das distribuições granulométricas representa um eficiente modo de se verificar a constituição e distribuição das curvas de tendência, propondo assim um método de análise simples, porém, eficaz.

5.7.1. Tendência Central (média ou mediana)

A medida da tendência central ou média geral reflete o tamanho das partículas encontradas no sedimento, sendo esta afetada pela fonte de suprimento, pelo processo de deposição e pela velocidade da corrente ou energia. Para Ponçano (1986), o diâmetro médio é empregado na definição das condições energéticas imperantes no ambiente de deposição.

A tendência central utilizada desde longa data, é o valor do diâmetro do grão no ponto correspondente a 50% da distribuição sobre os gráficos de freqüência acumulativa e define a granulometria que separa a amostra analisada em duas metades iguais (em peso). Os valores obtidos na análise granulométricas com amostras de sedimentos, fornecem os diâmetros correspondentes as porcentagens da distribuição granulométrica expressos na escala “PHI” ($ø = -Log_2 d(mm)$), onde Inman (1952) introduz a expressão do valor médio granulométrico, por meio da fórmula:

Equação 6

$Mø=1/2 (ø16 + ø84)$.

onde: ø16 e ø84 são o diâmetro correspondente a 16% da distribuição e 84% da distribuição sedimentar.

Por meio desta os valores escolhidos fornecem valores próximos aos obtidos por outros métodos matemáticos, sem o uso da curva acumulativa, pois o uso do gráfico tornou a análise mais rápida e produtiva sendo a preferível por analíticos. Entretando, Folk & Ward (1957), defenderam a idéia de que os valores obtidos por Inman apesar de fornecer resultados satisfatórios não se aplicavam adequadamente para as curvas muito assimétricas ou bimodais. Desse modo, onde estes sugeriram uma fórmula melhorada e aplicável no parâmetro do diâmetro médio, na qual tornou-se a mais utilizada, com um grau de eficiência de até 88% (SUGUIO, 1973),

Equação 7

$$Mz = \frac{ø16 + ø50 + ø84}{3},$$

nesta, ø16, ø50 e ø84 são respectivamente os diâmetros correspondentes a 16, 50 e 84% da distribuição granulométrica, encontradas nas curvas acumulativas expressando os resultados de análises granulométricas de sedimentos clásticos ou detríticos (SUGUIO, 1998).

Neste trabalho foram utilizados os cálculos de Folk e Ward (op cit.) para a obtenção de todos os parâmetros granulométricos monitorados.

5.7.2. Grau de Seleção (Desvio Padrão)

Esta variável é também um dos aspectos mais importantes nas análises granulométricas de sedimentos, podendo ser usada como uma medida de dispersão (SUGUIO, 1973). O grau de seleção é relacionado à reorganização dos depósitos e reflete variações nas condições do escoamento do fluxo (velocidade e turbulência) no ambiente deposicional (PONÇANO, 1986).

Da mesma forma que o parâmetro anteriormente discutido esta variável também sofreu, ao longo da história e evolução do conhecimento, diversas modificações em suas fórmulas; a primeira, desenvolvida por Trask (1930), utilizava os percentis do primeiro e terceiro quatéis (25 e 75%). Inmam (1952) modificou a formula e passou a utilizar os percentis de 84 e 16%, mas as duas ainda não obtinham resultados satisfatórios (SUGUIO, 1973). A primeira considera menos o comportamento das caudas de distribuição, o que em curvas muito assimétricas o desvio padrão poderia diferir; a segunda abrange apenas 2/3 da amostra. De acordo com Suguio (1973) estas formulas dão bons resultados para um sedimento de distribuição próxima da normal, mas não é adequada para descrever todos os sedimentos.

Para Suguio (1973) a deficiência de amplitude das fórmulas na descrição de todos os sedimentos foi sanada com a introdução da maior parte da distribuição na medida de seleção. A partir desta, Folk e Ward após muitas análises, introduzem na fórmula os percentis de 95 e 5% sugerindo o nome desta medida como desvio-padrão gráfico inclusivo, representados pela fórmula:

Equação 8

$$\sigma_I = \frac{ø84 + ø16}{4} + \frac{ø95 + ø5}{6,6.}$$

A partir desta foi sugerida por Folk e Ward um tabela (Quadro 2) qualitativa para ser aplicada na descrição do grau de seleção dos sedimentos estudados:

Desvio Padrão (σ_I)	**Descrição**
Menor que 0,35	Muito bem selecionada
0,35 a 0,50	Bem selecionada
0,50 a 1,00	Moderadamente selecionada
1,00 2,00	Pobremente selecionada
2,00 a 4,00	Muito pobremente selecionada
Maior que 4,00	Extremamente mal selecionada

Quadro 2. Valores do grau de Seleção e descrição relativas propostas por Folk e Ward (1957).
Fonte: Fonte: Christofoletti (1981).

Para Suguio (1973), o grau de seleção pode depender consideravelmente do modo de transporte dos sedimentos. A seleção aumenta à medida que a distância também aumenta, porém, esta relação limita-se a provável conseqüência de que com o decréscimo da granulometria, desencadeado pelo transporte, os valores de seleção caem nas extremidades da curva de tendência, na qual a seleção aumenta com decréscimo do diâmetro médio. Para Russel (1939, in Inman 1949, *apud* Suguio 1973), a seleção dos sedimentos é influenciada por três mecanismos diferentes: seleção local (durante a deposição), progressiva (durante o transporte) ou ambas, que é mais comum.

Os diversos autores que propuseram fórmulas e métodos para a análise do grau de seleção foram discutidos por Folk (1966) a fim de indicar a parte da distribuição que era coberta pelas respectivas fórmulas. Folk (1966) obteve como resultado a definição de que quanto maior for o detalhamento das características das caudas de distribuição, maior será a eficiência das fórmulas.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo serão apresentados os resultados obtidos com os trabalhos de campo e análises laboratoriais realizados durante o período deste estudo. Dentre as discussões, os dados apresentados caracterizam a morfologia do canal nas seções transversais estudadas, as características do fluxo e seu comportamento ao longo do percurso longitudinal e transversal e a caracterização e comportamento dos sedimentos de fundo e dos sedimentos em suspensão.

6.1 Morfologia das seções transversais

O rio Ivaí desenvolve uma planície aluvial nos seus últimos 150 km, a partir da Corredeira do Ferro, em Tapira (PR). A planície aluvial se distribui simetricamente em relação ao canal e junto dele, lateralmente, desenvolvem-se diques marginais contínuos, com altura de até 5m acima do nível da planície, estes são destacados pela vegetação, embora esta esteja bastante degradada pela utilização agropastoril.

A largura da planície aluvial é maior próxima a foz do Ivaí com o rio Paraná, exibindo cerca de 15km (Figura01) e é construída pela dinâmica conjunta destes dois rios. Em direção à montante, a planície diminui sua largura, variando de 3 a 5km no início da planície aluvial, no município de Tapira, cerca de 150km a montante da foz. A declividade do canal diminui para jusante, de 8cm/km no trecho superior da planície aluvial para 4.2 cm/km nos últimos 50km (Quadro 3). O canal fluvial está mais encaixado a montante da planície, com margens de até 14m, acima do nível médio das águas. Próximo a foz do rio Ivaí a altura das margens cai para cerca de 2 a 5m. A largura do rio aumenta para jusante, variando muito pouco, de acordo com as variações do nível da água em função do encaixamento do canal (SANTOS, 2005).

No município de Tapira, na primeira área de estudo, o leito do canal do rio Ivaí apresentou uma seção transversal assimétrica, com maior concavidade próximo a margem esquerda (Figura14). O talvegue mostra um traçado retilíneo e está localizado próximo à margem direita do rio, onde se verifica a maior de energia no fluxo. Nos sítios do canal próximos à margem esquerda, ocorrem fluxos de menor intensidade e são locais de acumulação de material mais fino. Nessa seção o canal do rio Ivaí tem uma largura média de 150m. Nos níveis médios de vazão, o canal ostenta margens com cerca de 14m de altura acima do nível médio das águas. Lateralmente ao canal se desenvolvem diques marginais contínuos, com cerca de 5m de altura acima da planície. Sua constituição é areno-argilosa e sobre eles se desenvolve uma vegetação arbórea de grande porte.

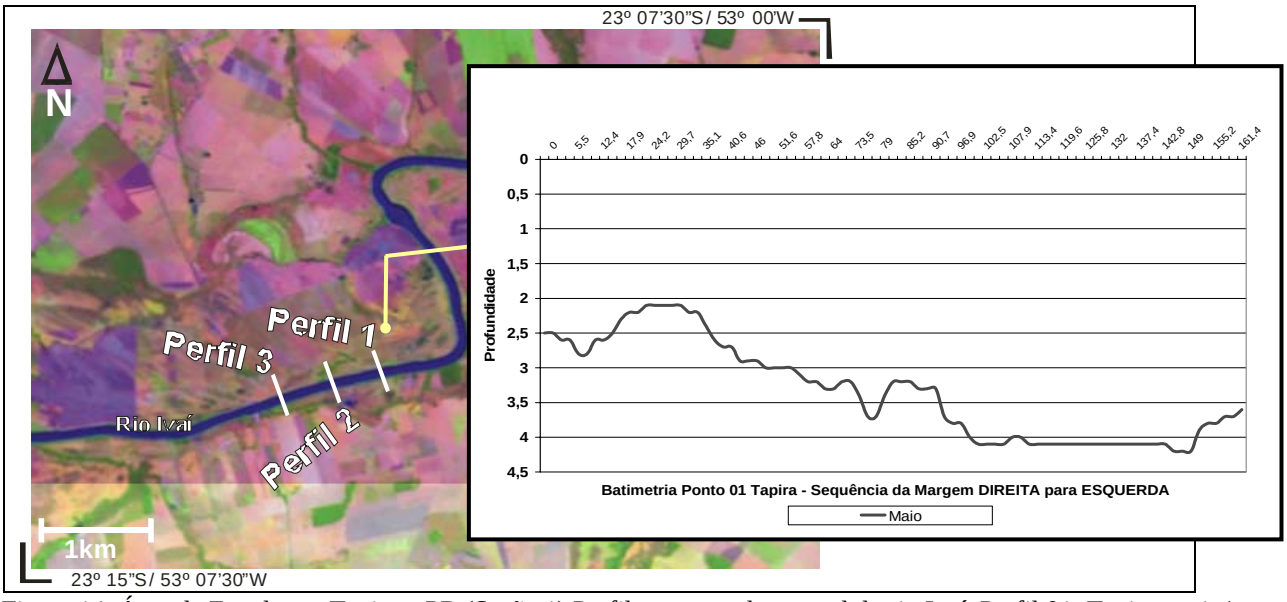


Figura 14: Área de Estudo em Tapira – PR (Seção 1) Perfil transversal ao canal do rio Ivaí. Perfil 01: Tapira, maio/ 2004.

Na segunda área de estudo (Herculândia –PR), cerca de 60 km a jusante da primeira, as seções transversais ao canal do rio, apresentam um traçado com maior simetria, o talvegue mostra um traçado não retilíneo, migrando ao longo da seção. Os perfiz transversais ao canal possuem uma largura média de 165m e, a exemplo do que ocorre em Tapira, os diques marginais, contínuos, ladeiam o canal (Fig.15).

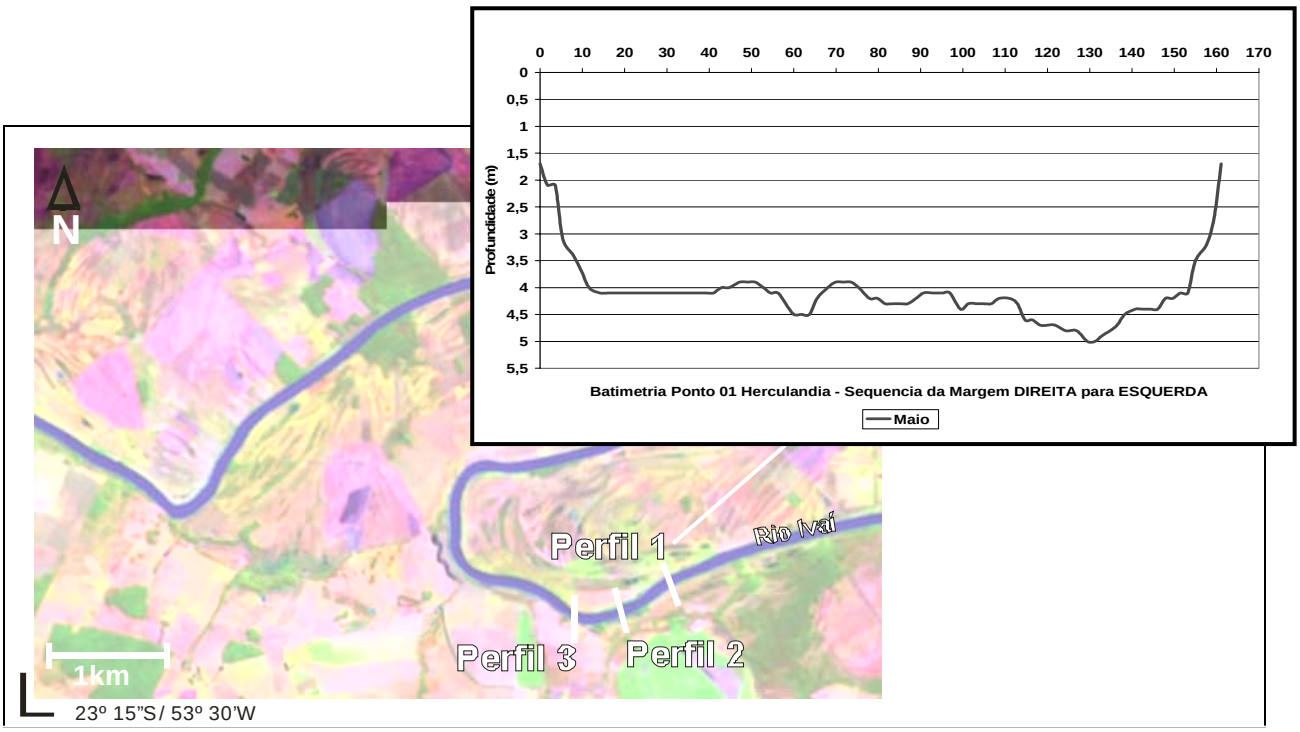


Figura 15: Área de Estudo em Herculândia – PR (Seção 2) Perfil transversal ao canal do rio Ivaí. Perfil 01, maio/ 2004.

	Tapira		**Herculândia**		**Icaraíma**	
Largura Média (m)	150		165		250	
Profundidade Média (m)	7,9*	3,9**	7,9*	4,3**	6,2*	5,9**
Área da Seção molhada (m^2)	2739,82*	1562,46**	2780,25*	1682,00**	2368,37*	2279,88**
Perímetro Molhado (m)	332,45*	295,55**	203,91*	202,40**	499,76*	497,40**
Raio Hidráulico (m)	8,24*	5,28**	13,63*	8,31**	4,73*	4,58**
Declividade (cm/Km)	6,25		8		4,258	
Altitude (m)	231		237		249	
Largura da Planície (km)	3 a 5		8 k		15 k	
Nível de margem plena (m)	17.9		14.3		8.3	
Velocidade Média (m/s)	0,988*	0,519**	1,0678*	0,561**	0,667*	0,191**
Vazão (m^3/s)	847,49*	272**	916,59*	314**	988,86*	215**
Tipo de Fluxo (Reynold)	Turbulento		Turbulento		Turbulento	
Power Stream (Wm)	518,5*	166,4**	717,7*	245,8**	302,2*	89,4**
Tipo de escoamento (Froude)	Escoamento Lento		Escoamento Lento		Escoamento Lento	
Tipo de leito	Leito móvel		Leito móvel		Leito rochoso/ leito móvel	
Carga de Fundo	-Matéria Orgânica -Areia Fina -Areia Média*.	-Areia Fina -Areia Média**.	-Areia Média -Areia Grossa*.	-Areia Média -Areia Fina**.	-Areia Média*.	-Areia Média -Areia Fina*.
Carga Suspensa (g/L)	0,00903*	0,00776**	0,01243*	0,00893**	0,01509*	0,00789**

Quadro 3. Dados da área de Estudo – Hidrologia e Morfologia

* Dados relativos ao mês de alta vazão (junho).

** Dados relativos ao mês de baixa vazão (setembro).

Na terceira área de estudo (Icaraíma-PR), as seções transversais ao canal são aproximadamente simétricas e o talvegue mostra um traçado sinuoso (Figura 16). No leito do rio, próximo a margem direita do canal, aflora o arenito Caiuá. A largura média da seção transversal é de 250m, portanto, é a seção da planície onde o rio Ivaí é mais largo. Neste setor do rio as margens são mais baixas, no lado esquerdo o dique marginal com altura de até 3m apresenta características similares a dos setores a montante, constituição areno-argilosa, já na margem direita não ocorre a presença de dique marginal.

Nas seções a montante, o profundo encaixamento do canal e a ocorrência de altos diques marginais fazem com que a planície de inundação se comporte como um terraço, sujeito a inundações somente em cheias extremas. Próximo a foz, em Icaraíma, a interferência com a dinâmica do rio Paraná, tornam este setor da planície aluvial mais suscetível a inundações.

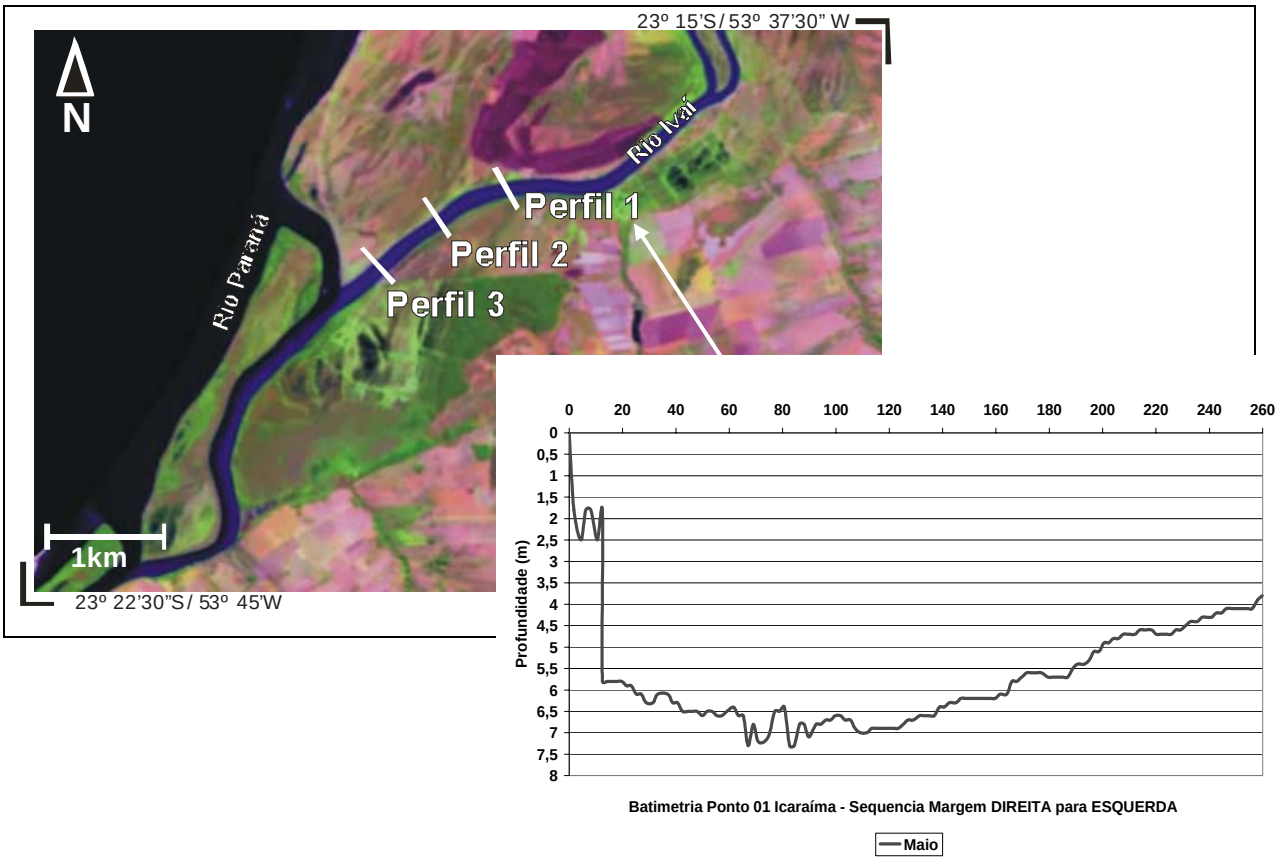


Figura 16: Área de Estudo em Icaraíma – PR (Seção 3) Perfil transversal ao canal do rio Ivaí. Perfil 01: Icaraíma, maio/ 2004.

No decorrer do estudo o rio Ivaí apresentou uma grande variedade de vazões, sendo possível constatar períodos de cheia e de estiagem. As vazões apresentadas no quadro 8, foram obtidas por meio dos dados coletados em campo. A maior vazão registrada ocorreu no mês de outubro (2004) atingindo um valor de 1916,60 m³/s, e a menor foi encontrada no mês de maio com um valor 9,5 vezes menor, sendo registrado 203,10 m³/s, ambas em Tapira.

Paralelamente aos valores obtidos com os dados de campo, foram analisados os dados de duas estações hidrométricas situadas a montante de Tapira e Novo Porto Taquara (montante de Herculândia-PR). Para os valores obtidos das estações hidrométricas, observando os mesmos dias dos trabalhos de campo, as vazões são maiores no mês de outubro (2133,5 m³/s), um valor 7,5 vezes acima da menor vazão registrada para o mês de maio (283 m³/s).

Analisando os dados hidrométricos dos períodos de maior e menor vazão, o rio Ivaí apresenta uma grande variação na energia do canal, com constantes e grandes alterações do fluxo. De acordo com Destefani (2005) o regime hidrológico deste rio caracteriza-se por uma baixa periodicidade, sem período sazonal definido de cheia e estiagem. Este fato relaciona-se com a pequena capacidade de armazenamento desta bacia hidrográfica, fazendo com que as maiores vazões ocorram nos períodos de chuva, atribuindo valores de descargas que diminuem à medida que a precipitação cessa.

O número de Reynolds obtido pela equação 02 e expresso no quadro 6 resultou para o referido rio um fluxo do tipo turbulento, não uniforme e instável. As constantes alterações na velocidade e profundidade do canal promovem alterações nos fluxos que ora erodem, ora depositam, movimentando os materiais contidos no leito e em suspensão.

Indiferente as condições de vazão observadas no período de estudo, o número de Froude obtido pela equação 03 (Quadro 3), classificou o escoamento no baixo curso do Ivaí como “lento”. Esta classificação se deve, principalmente, a variável velocidade, pois, mesmo se utilizando a maior velocidade registrada nos períodos de cheia, não é possível classificá-lo com um escoamento rápido.

Segundo estudos desenvolvidos por Simons e Richardson em (1961, 1966 apud VILLELA, 1975), o número de Froude pode também ser utilizado para estudos das formas desenvolvidas no leito do canal. De acordos com os autores supracitados os valores de Froude ($F < 1$), o fundo é caracterizado como plano. A medida em que a velocidade do fluxo diminui, ele passa a ter pequenas ondulações (ripples), depois dunas e antidunas. Biazin (2005) classifica as formas do leito do rio Ivaí, próximo a sua foz com o rio Paraná, como dunas. Neste trabalho, embora não tenham sido analisadas as formas do leito nas seções monitoradas, pode-se sugerir

que elas são do tipo dunas, pois as características do fluxo são semelhantes àquelas levantadas por Biazin (2005).

6.3 Energia do Fluxo

A energia que o fluxo exerce sobre a superfície terrestre é observada principalmente nas formações e transformações existentes no relevo terrestre. O modelado dos rios (vales, canais e depósitos) é fruto da dinâmica energética contida nos fluxos de escoamento e no poder desses fluxos em esculpir, moldar, erodir e construir depósitos sedimentares, daí a importância em se medir a energia total do canal fluvial.

A energia do total canal ou *stream power* (Ω), e a energia do canal por unidade de largura (Ω/L ou ω), são variáveis importantes na hidráulica fluvial, pois representam o trabalho despendido ou a energia perdida pelo canal devido ao regime de fluxo. Estas variáveis têm sido utilizadas na interpretação de processos erosivos, migração de canais, transporte e deposição de sedimentos, tipos de formas de leito, morfologia do canal e classificação rio-planície de inundação (NANSON; CROKE, 1992).

Considerando-se que vazões do rio Ivaí oscilam entre as máximas e mínimas sem qualquer periodicidade a energia produzida na maior vazão registrada no ano de 2004 registrada na estação de Novo Porto Taquara (4968 m^3/s) foi de 3890,54 Wm, e energia específica de 23,58 W/m^2, enquanto que na menor vazão registrada na estação hidrométrica de Tapira (193 m^3/s), a energia total foi de 118,7 Wm^2 e específica de 0,72 W/m^2. Se comparada à energia específica do rio Ivaí nos momentos de alta vazão, esta ultrapassa os valores encontrados por Martins (2004) no rio Paraná em Porto São José, onde para uma descarga média a energia específica é de 14,24 W/m^2.

Idealizando-se uma vazão constante de 500 m^3/s para os três pontos estudados: Tapira, Herculândia e Icaraíma; é possível identificar qual dos três setores possui maior energia total considerando a massa específica da água a 20ºC e a declividade natural do perfil longitudinal de cada uma das seções. Por meio desta obtém-se valores diferentes para cada área, que podem ser observados pela quadro 4.

Peso específico água (γ) a 20ºC = 9789 N/m³	**Tapira**	**Herculândia**	**Icaraíma**
Largura média (L) m.	*150*	*165*	*250*
Declividade (S)	*6,25 cm/km*	*8 cm/km*	*4,258 cm/km*
Q = 500 m³/s	305,9 Wm²	391,56 Wm²	208,4 Wm²
Energia Total (Ω)			
Energia Específica ($\omega = \Omega/L$)	2,04 Wm	2,37 Wm	0,83 Wm

Quadro 4. Energia total e específica calculada para os setores de estudo com vazão média de 500 m³/s.

Considerando que a vazão foi a mesma para as três áreas e o peso específico, apesar de se alterar constantemente em função da temperatura característica do ambiente natural, é uma variável que não apresenta grandes variações no seu número relativo para o cálculo de energia total, o fator que se destaca é da declividade longitudinal. Observando o quadro 6 nota-se que Herculândia é o ponto que possui maior declividade longitudinal do seu leito de fundo, conseqüentemente apresenta a maior energia total do baixo Ivaí.

6.4 Vazão

As vazões medidas em campo são mostradas no quadro 5 e as vazões obtidas a partir dos dados das estações hidrométricas de Tapira e Novo Porto Taquara (Figura01) estão dispostas no quadro 6.

Campanha	**Tapira**	**Herculândia**	**Icaraíma**
15 e 16 março	234	317,12	259,04
4 e 5 maio	203,10**	254	270,16
5,6,7 e 8 junho	847,49*	916,59*	726,18
26,27,28 e 29 setembro	272	314	215
28,29 e 30 outubro	758	#	1916,60*
25,26 e 27 novembro	#	586,56	626,82

Quadro 5. Vazões (m³/s) – Dados de campo.

Pontos que tiveram problemas com a coleta de informações necessárias para os cálculos de vazão.

* Maior vazão. ** Menor vazão. Os dados são relativos ao ano de 2004.

Para o ano de 2004, as campanhas de março e maio e setembrorefletiram a condição de vazante, onde o baixo volume escoado expressou uma resposta a um período de estiagem verificada em toda a área desta bacia hidrográfica.

A terceira campanha, realizada em junho, caracterizou um período de cheia com vazões de três a quatro vezes maiores que as dos períodos a anteriores a coleta. A quinta e sexta campanha (outubro e novembro) foram realizadas sobre condições diferentes em relação as

6.5 Velocidade do fluxo nos perfis transversais e longitudinais

A distribuição da velocidade da água em um rio é fortemente tridimensional, variam em cada lugar, seja no sentido vertical, transversal ou longitudinal. A velocidade da água nos canais fluviais depende de vários fatores, principalmente da energia do gradiente, da profundidade do canal e da rugosidade do leito.

Geralmente os rios possuem velocidades maiores próximas à superfície e diminuem quando se aproximam do fundo e das margens (LEOPOLD et al., 1995; MORISAWA, 1968; NANSON, 2002). J.B. Leighley (1934 apud CHRISTOFOLETTI, 1981) discutiram sobre a distribuição da turbulência e velocidades em cursos fluviais, apontando que, para canais simétricos, a velocidade máxima da água localizada abaixo da superfície e centralizada no canal, e que a partir do centro até as proximidades do fundo e das paredes laterais as velocidades diminuem. Contudo, em canais assimétricos, as maiores velocidades deslocam-se do centro do canal e migram para áreas com maiores profundidades, e os setores de máxima turbulência elevam-se da porção mais rasa e diminuem para as maiores profundidades (MORISAWA, op cit.).

A figura 17 de Leopold (1995) mostra relação da posição da velocidade média e a distribuição da velocidade com a profundidade em um rio. Esta relação também pode ser observada nas seções estudadas como mostra a figura 18. O comportamento do escoamento, observado ao longo dos trabalhos de campo, revela a existência de maior energia nas seções transversais de Tapira e Herculândia.

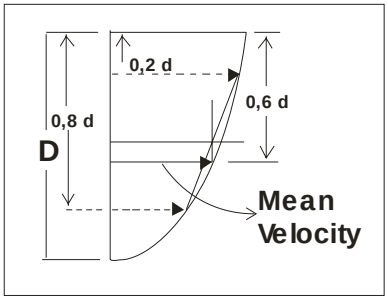
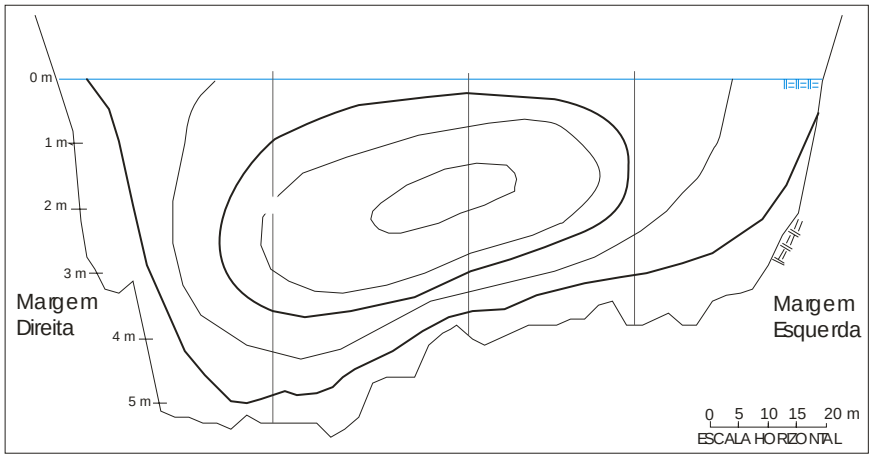


Figura 17 - Relação da posição da velocidade média e a distribuição da velocidade com a profundidade em um rio.
Fonte: Leopold (1995, p. 155).

Em Tapira o setor com maior energia concentrou-se próximo à margem direita (Figura19), local em que se registraram as maiores velocidades. O quadro 7 mostra as alterações das velocidades dentro do canal ao longo do período observado. Neste, as maiores velocidades se localizaram próximas à margem direita do canal, com exceção do mês setembro em que, as correntes com maior velocidade localizaram-se próximas à margem direita e centro do canal.



observada também nesta seção do rio Ivaí em alguns períodos, embora seu traçado transversal aproxime-se mais de uma seção simétrica.

	Março	Maio	Junho	Setembro	Novembro
MD	+ ↑	+ ↑	+	- ↓	- ↓
Centro	- ↓	↑	-	↓	+ ↓ ↑
ME	+ ↓	- ↑	+	+ ↓	- ↑

Quadro 8. Herculândia - Zonas de velocidade do fluxo nos períodos estudados.
MD –margem direita; ME –margem esquerda. +Setor com maior velocidade; - Setor com menor velocidade.
→ Sentido do setor de menor para maior velocidade.

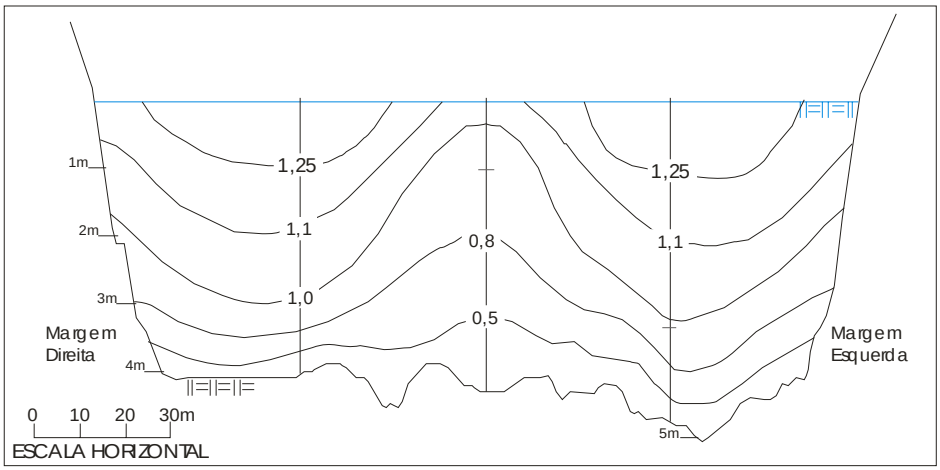


Figura 20 - Zonas de velocidade Herculândia, junho de 2004 - (m/s).

Em Icaraíma, na foz do rio Ivaí, o comportamento do fluxo se mostrou mais uniforme. O setor de maior energia e que apresentou as maiores velocidades se concentrou próximo à margem direita (Fig.21), com sentido decrescente em direção à margem esquerda. O quadro 9 demonstra a distribuição das velocidades dentro do canal, para a seção de Icaraíma, que obteve as maiores velocidades próximas à margem direita.

	Março	Maio	Junho	Setembro	Outubro	Novembro
MD	+ ↑	+ ↑	+ ↑	+ ↑	+ ↑	+ ↑
Centro	↑	↑	↑	↑	↑	↑
ME	- ↑	- ↑	- ↑	- ↑	- ↑	- ↑

Quadro 9. Icaraíma - Zonas de velocidade do fluxo nos períodos estudados.
MD –margem direita; ME –margem esquerda.+ Setor com maior velocidade; - Setor com menor velocidade.
→ Sentido do setor de menor para maior velocidade.

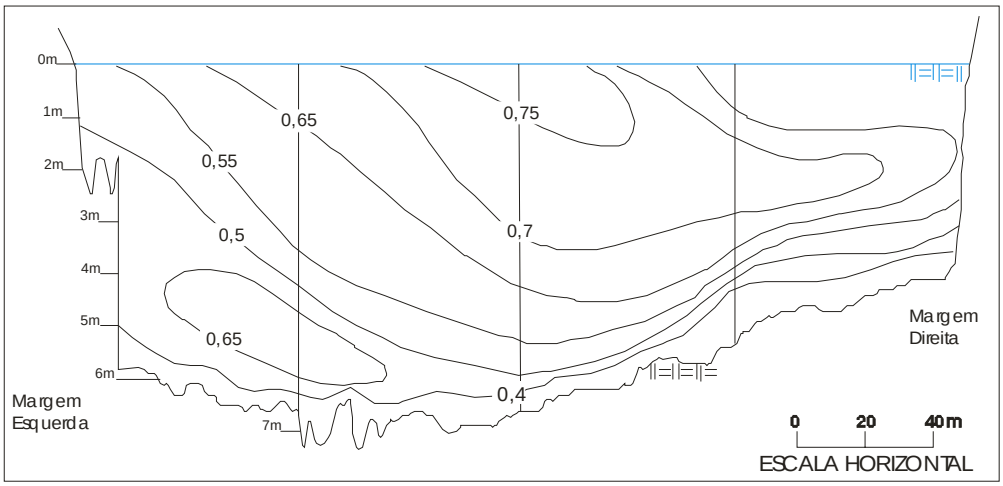


Figura 21 - Zonas de velocidade Icaraíma, junho de 2004 - (m/s).

Longitudinalmente, as velocidades tiveram um comportamento associado a declividade das seções estudadas. A seção transversal de Herculândia, em razão da maior declividade, apresentou as maiores velocidades, seguida de Tapira e por último Icaraíma. Esta última, além de possuir o menor gradiente de declividade (4 cm/km) é influenciada pela ação de barramento, provocado pela ação das águas do rio Paraná e rio Ivaí, salvo os períodos em que o fluxo escoado foi maior que a vazão do canal do rio Paraná. Este fenômeno foi verificado na campanha realizada em outubro de 2004.

6.6 Distribuição espacial e temporal dos sedimentos de fundo

Este estudo é baseado na análise dos histogramas das vazões das estações hidrométricas de Tapira e Novo Porto Taquara (Figura 22, 23), nas interpretações comparativas dos perfis ecobatimétricos, obtidos em campanhas sucessivas (Figura 24) e, finalmente, na distribuição espacial dos sedimentos mostrados nas figuras 25, 26 e 27.

6.6.1. Vazão x Sedimentos de Fundo

Embora os trabalhos desenvolvidos por Biazin (2005) e Destefani (2005) demonstrem a não ocorrência de períodos de cheia ou de vazante para o ano de 2004, os meses de maio, junho, outubro e novembro marcaram um período desta natureza.

O rio Ivaí apresentou uma dinâmica fluvial que impede a caracterização de um ciclo definido de cheia e vazante, o que corrobora com os estudos de Biazin (2005) e Destefanim (2005). As respostas às precipitações ocorridas na área de drenagem da bacia refletem

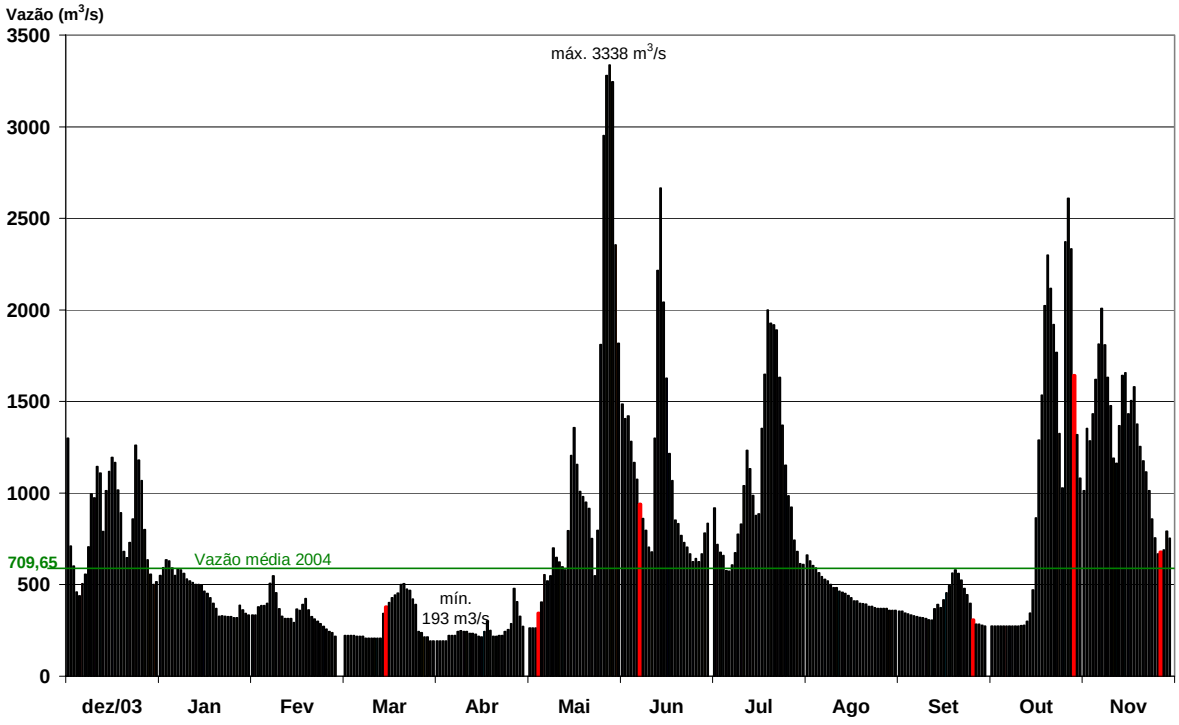
rapidamente na variação do nível do fluxo, tanto para as cheias quanto para as vazantes, com um ciclo relativamente curto.

Em reflexo às constantes mudanças do fluxo, vazão e nível da água os sedimentos contidos na corrente fluvial migram transversal e longitudinalmente ao longo das seções estudadas. Essa relação pode ser observada ao longo desta pesquisa, na qual as classes de sedimentos encontradas nos períodos de cheia e vazante retratam um trabalho de seleção natural dos sedimentos hidrotransportados.

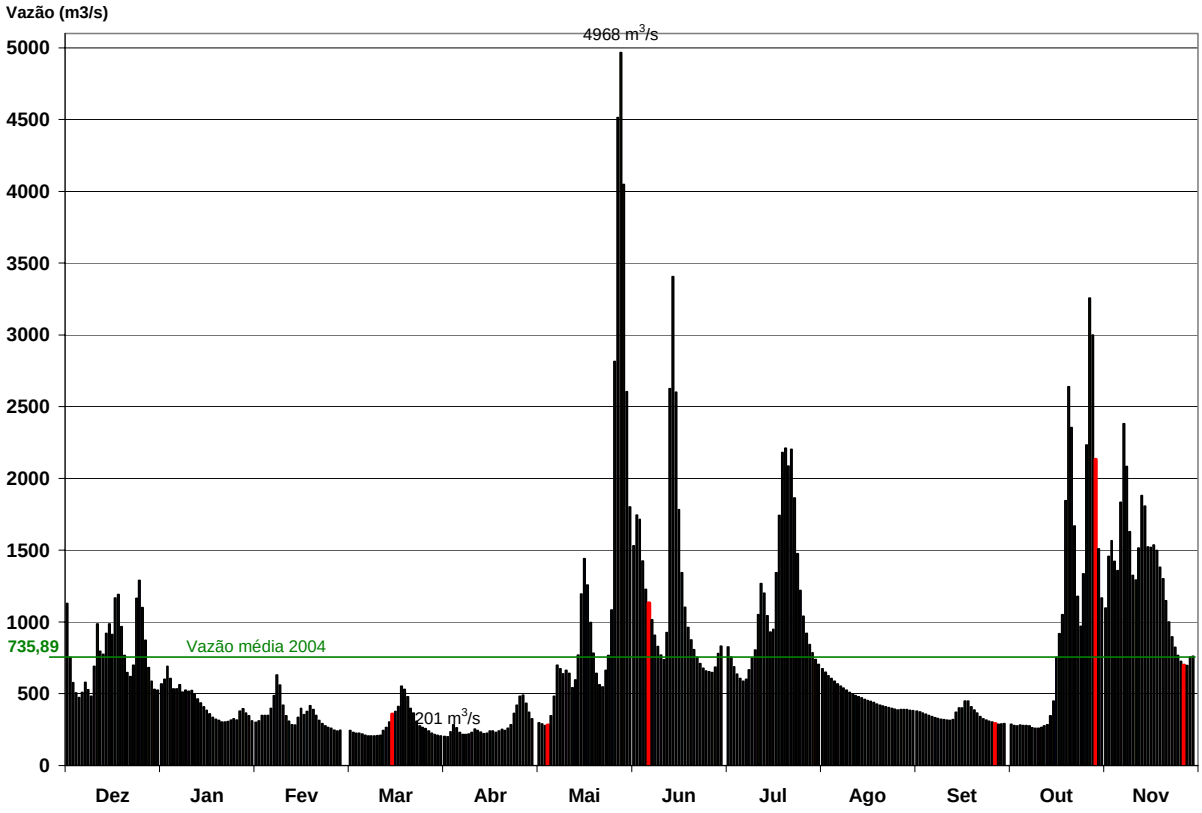
Em Tapira, os baixos valores da vazão promoveram o predomínio de sedimentos de areia média. Nos períodos de cheia ocorreu a presença de areia fina e lama argilosa, setor próximo à margem esquerda que concentra menor energia (Quadro 7).

Em Herculândia, a presença de fundo rochoso, areia fina e média foi percebida tanto em altas como em baixas vazões. Nesta seção a ocorrência de areia grossa se deu num momento de alta vazão, no mês de outubro (Quadro 8).

A relação entre a vazão e seus reflexos sobre o material do leito de fundo, próximo a foz do rio Ivaí mostrou-se mais dinâmica. De um modo geral, os sedimentos coletados não expressaram as condições do fluxo do momento de coleta, mas sim o reflexo dos períodos que antecederam os trabalhos de campo.



As linhas verticais em vermelho



As linhas verticais em vermelho destacam a vazão dos dias em que ocorreram os trabalhos de campo.

Figura 23 - Vazão média diária do rio Ivaí na estação hidrológica de Novo Porto Taquara – período de dez/03 a nov/04 (município de Douradina -PR)

Nesta seção a relação entre o rio Ivaí e o Paraná é marcada pelo represamento das águas do Ivaí em condições de alta vazão do rio Paraná. O barramento das águas do rio Ivaí cria um ambiente de deposição com a quebra da velocidade do escoamento e refluxos. No entanto, houve períodos em que a vazão do Ivaí foi maior que a do canal do rio Paraná. Nesta situação do o Ivaí causa o represamento das águas do rio Paraná, proporcionando para o Ivaí força e energia maiores para o transporte dos sedimentos, fato este observado no estudo de Barros (2006).

No mês de março de 2004 (primeira campanha) o rio Ivaí apresentou baixa energia, com pequenas vazões durante todo o mês (Figura 22, 23). A coleta de dados em Icaraíma foi realizada nos dias 15 e 16 a uma vazão de 234 m³/s. Nesse mês, a maior vazão não ultrapassou a média anual. A maior vazão para esse mês foi registrada no dia 21, sendo 530,35 m³/s em Tapira, e 553,35 m³/s em Novo Porto Taquara. Em março os sedimentos encontrados em Icaraíma foram de areia fina próximo à margem direita, e areia média no centro e próximo à margem direita.

A segunda campanha realizada no mês de maio, o momento da coleta, foi marcada por baixa vazão (270 m³/s). As figuras 22 e 23 mostra que nos meses de janeiro, fevereiro, março e

abril as vazões não sofreram grandes alterações. Nesse período, os sedimentos de fundo tiveram pouca variação, foram encontrados areia média em todo o perfil transversal da seção de Icaraíma, sedimentos da mesma classe nos pontos a montante, em Herculândia e Tapira.

O trabalho de campo realizado nos dias 5, 6, 7 e 8 de junho ocorreu posteriormente a maior vazão registrada pelas estações hidrométricas de Tapira e Novo Porto Taquara (3338 m^3/s e 4968 m^3/s respectivamente (Figura 22, 23), ocorrida 8 dias antes da terceira campanha de coleta. Nessa campanha, no momento da coleta, a vazão era de 726,18 m^3/s e mostrou ocorrência de areia média próxima à margem direita e centro do canal e, lama argilosa próxima à margem esquerda. Esse fato foi verificado também por Biazin (2005), que atribuiu a ocorrência de lama para as áreas de menor velocidade, com conseqüente deposição de materiais mais finos e ao efeito de Hjültrom-Sundborg que torna difícil a remoção dos sedimentos finos após sua deposição, mesmo com o aumento da vazão. O aparecimento de lama no sistema pode ser observado também em Tapira associada com areia média, esta última presente nos três pontos de estudo, ao longo do perfil transversal.

A quarta campanha, ocorrida em setembro, apresentou uma situação diferente dos outros períodos. No centro do canal e próximo à margem direita, o leito observado, durante o trabalho de campo, mostrou-se rochoso e no setor próximo à margem esquerda foram encontradas areias médias.

O aparecimento de fundo rochoso não pode ter sido originado nas condições de fluxo da quarta campanha (setembro 2004) tendo em vista que as vazões se encontravam abaixo da média. Nos meses que antecederam a quarta campanha foram registradas as maiores vazões do período estudado, a média do mês de julho foi de 1120,5 m^3/s em Porto Taquara, e de 1151,97 m^3/s em Tapira. O período de forte energia, desenvolvido no mês de julho, contribuiu para a remoção de materiais do leito de fundo neste ponto, expondo e permanecendo o leito de fundo rochoso, descoberto em setembro, no momento da quarta campanha.

A figura 24 apresenta as mudanças nas feições do leito ocorridas na seção de Icaraíma. Sugere-se que a ocorrência dos processos erosivos e deposicionais estejam ligadas as diferentes vazões registradas, tendo formas de leito ora suaves, ora mais agudas.

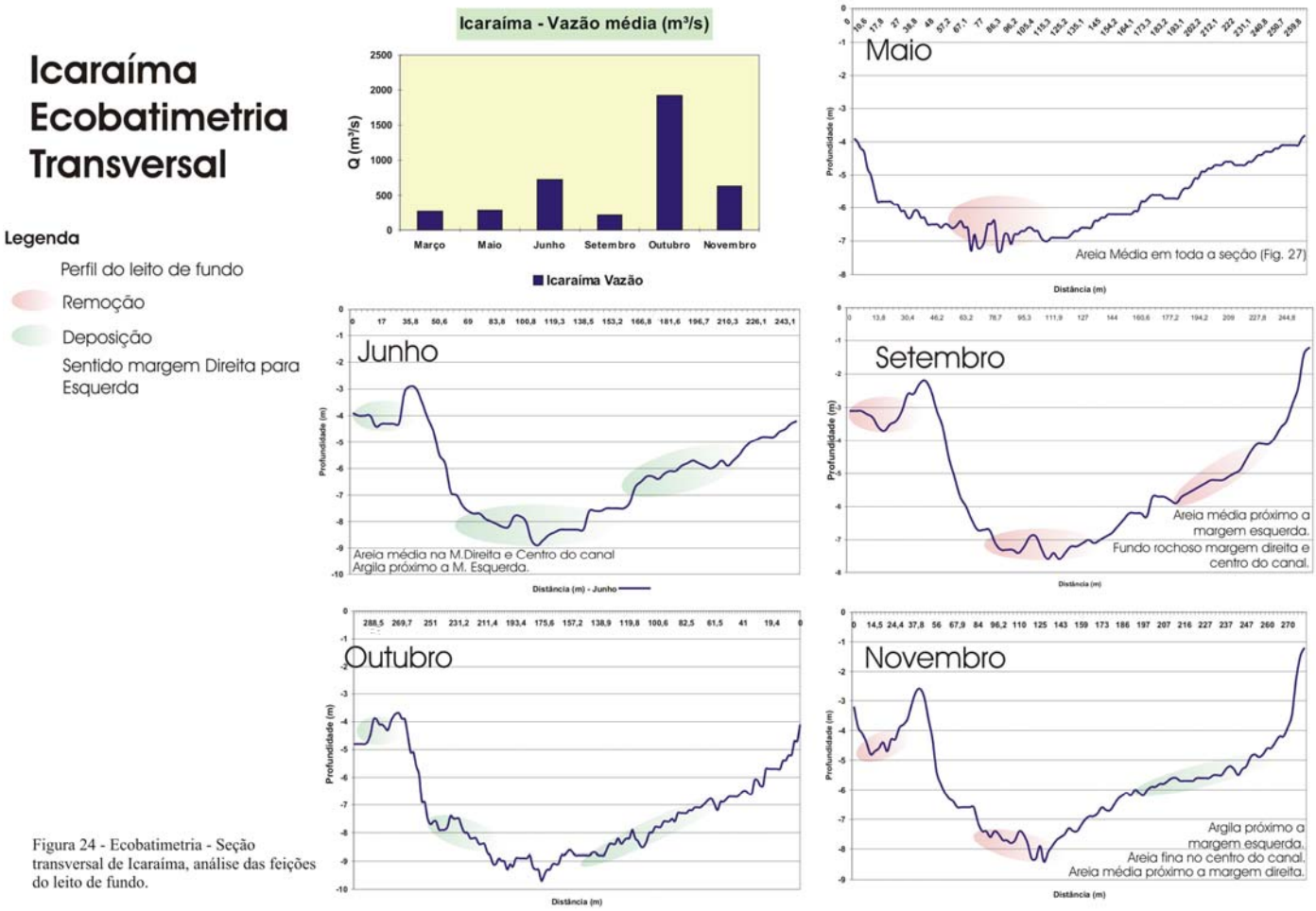


Figura 24 - Ecobatimetria - Seção transversal de Icaraíma, análise das feições do leito de fundo.

A sexta campanha (novembro de 2004), apresentou vazões acima da média (Quadro 6). A seção transversal ao canal, em Icaraíma, revelou três classes de sedimentos: areia média, próxima à margem direita; areia fina, no centro do canal; e lama argilosa, próxima à margem esquerda.

Analisando-se as feições encontradas no perfil transversal, exposto em novembro, o setor próximo à margem esquerda apontou para um trabalho de deposição de sedimentos finos. Acredita-se que este material é proveniente da decantação de argila presente no sistema no momento de alta vazão. Por outro lado, essas mesmas vazões do mês de outubro desenvolveram fluxos capazes de remover sedimentos pretéritos, esculpindo as formas do leito e depositar seletivamente areia média e fina, respectivamente, ao centro e margem direita do canal.

6.6.2. Variação longitudinal e transversal dos sedimentos de fundo

Os estudos desenvolvidos indicaram uma distribuição granulométrica com grandes variações nas seções transversais analisadas e com uma redução seletiva no tamanho dos grãos de montante para jusante.

A figura 25 demonstra a distribuição de sedimentos na seção de Tapira, predominando no período estudado, sedimentos com granulação média (areia média). No setor próximo à margem esquerda, foram encontrados materiais com menor granulometria, em geral areia fina e presença de lama argilosa. Essas classes de sedimentos podem ser atribuídas à existência de setores com maior e menor energia, onde o transporte e a seleção de partículas se fazem presente.

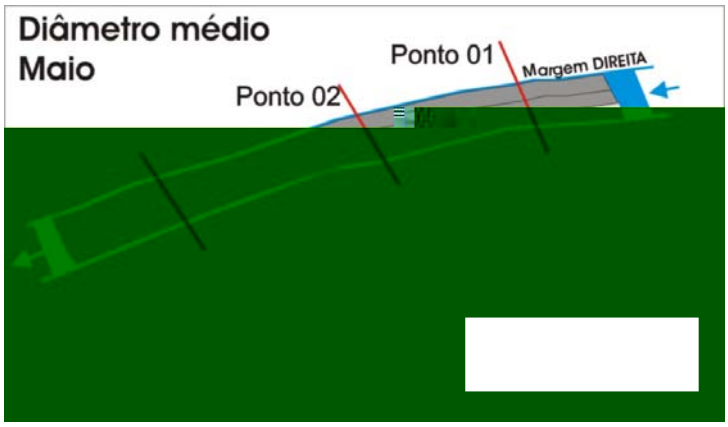


Figura 25 - Seção longitudinal Tapira – Diâmetro médio - junho de 2004.

A figura 26 mostra a variação granulométrica na seção de Herculândia. No setor esquerdo do canal tem-se a ocorrência de areia fina nos meses de maio e setembro; areia média, nos meses de março e novembro; e, finalmente, areia grossa no mês de junho.

No setor central do canal, ocorreu nos meses de março e maio o predomínio de areia fina e nas últimas três campanhas predominou no setor a ocorrência de areia média. A exposição do leito rochoso por erosão ocorreu somente no setor próximo à margem direita, mostrando que esse sítio do canal tem uma maior tendência erosiva enquanto os outros uma tendência deposicional.

A seção mais a jusante (Figura27) mostrou uma maior alteração na granulometria do leito do rio. Areia média predominou ao longo de todo o período analisado. Os meses de junho e novembro caracterizaram-se pela ocorrência de areia fina e argila. Exposições do leito rochoso ocorreram somente no mês de setembro. As variações granulométricas e a exposição do leito rochoso são explicadas pela grande variação da vazão no canal fluvial, quer ora deposita ora erode.

A variação longitudinal (de montante para jusante) do tamanho dos grãos no sistema fluvial é bastante conhecida como mostra os trabalhos de Mosley e Tindale (1984), Kodama (1994), Smith e Ferguson (1994), Gibbs, Jha e Chakrapani (1994). Isto se dá pela quebra ou abrasão dos grãos ao longo do transporte (GIBBS; JHA; CHAKRAPANI, 1994) ou por seleção hidráulica (KODAMA, 1994).

No rio Ivaí também se verifica uma diminuição do tamanho dos sedimentos para jusante. Em Tapira predomina areia média; para Icaraíma tem-se a ocorrência de argila no leito do canal. Isto se relaciona à seleção hidráulica, pois a energia do sistema diminui para jusante, como foi demonstrado pelos valores de energia total e específica (Quadro 4).

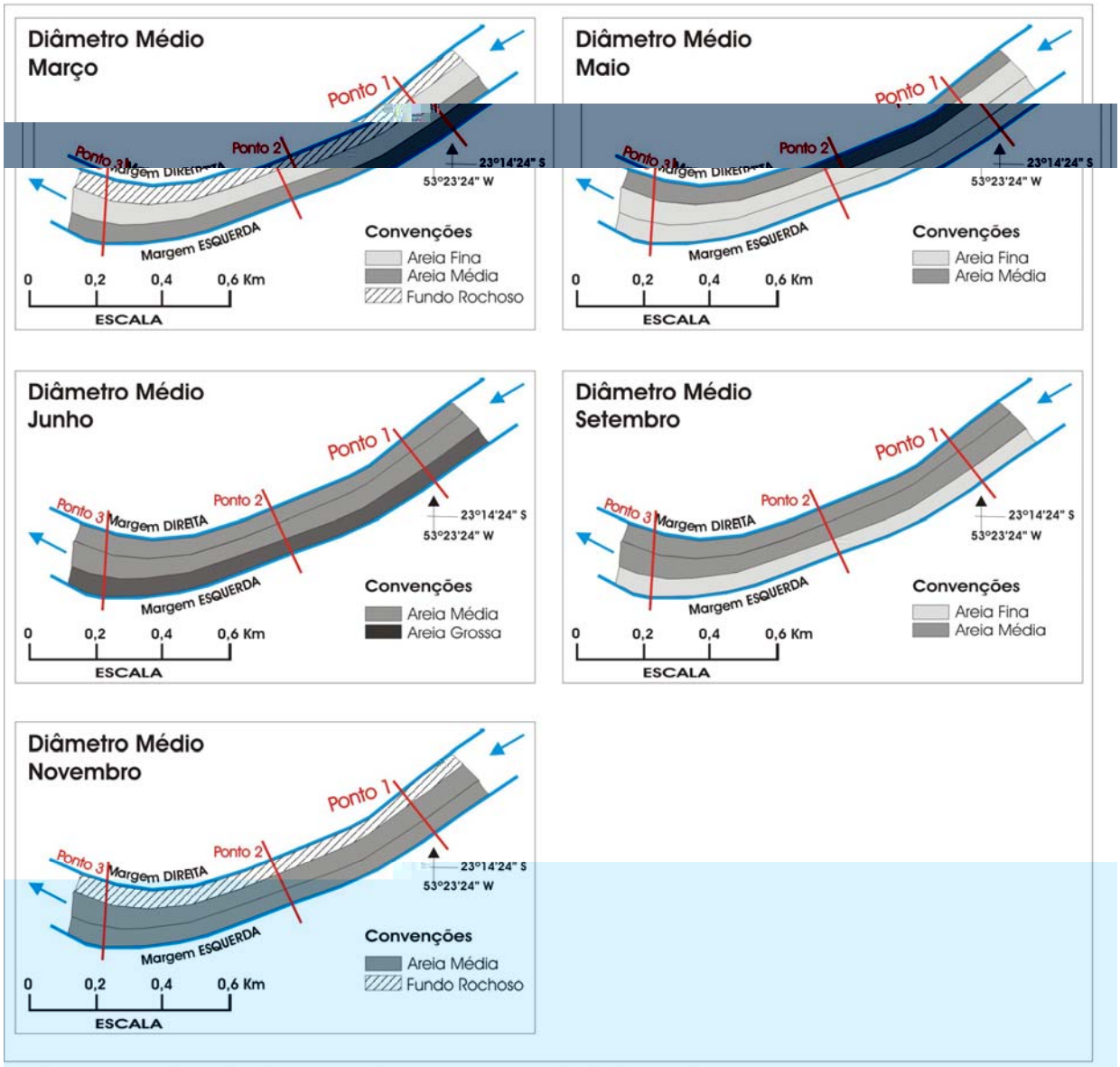


Figura 26 - Evolução do diâmetro médio na seção longitudinal de Herculândia.

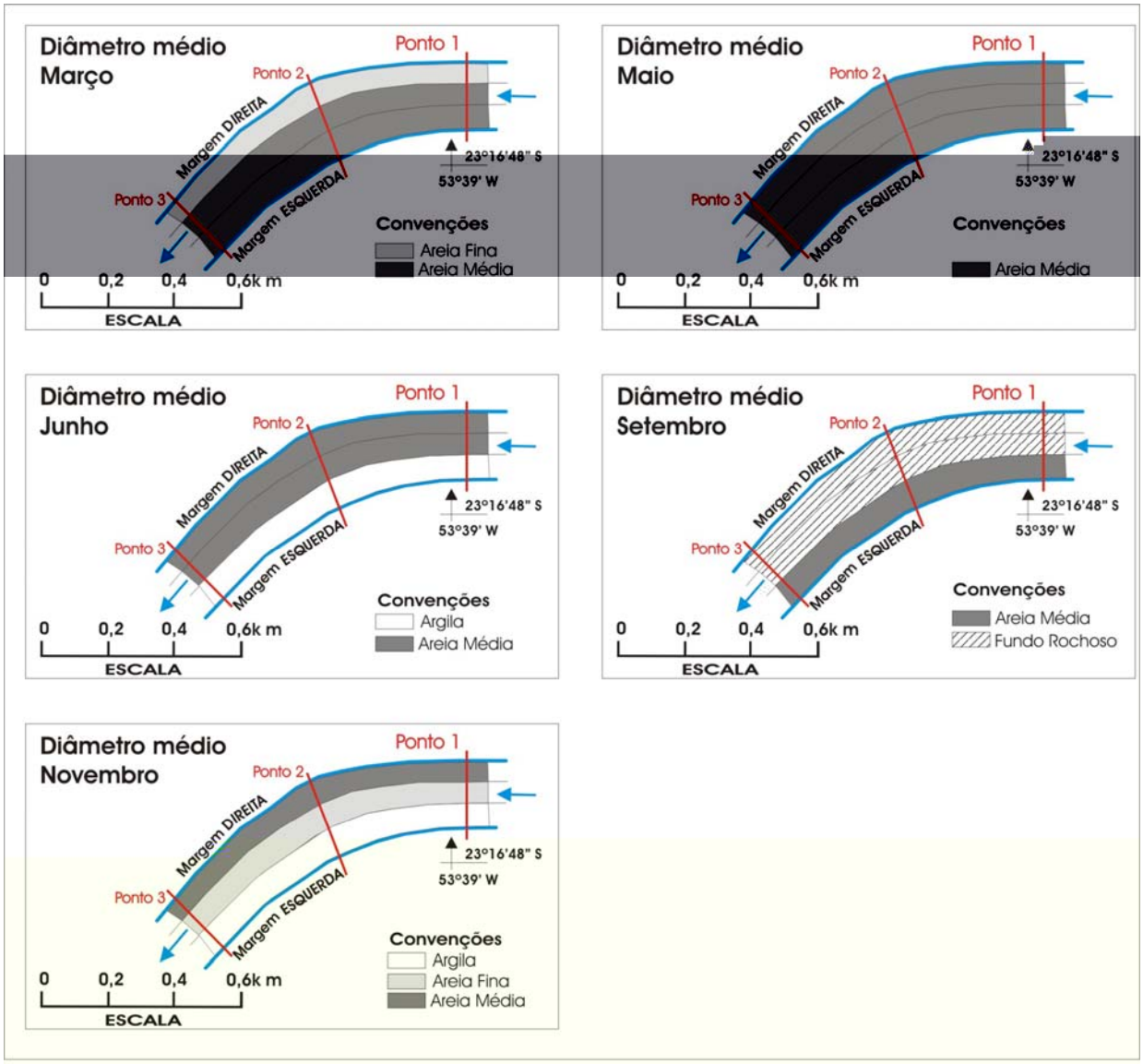


Figura 27 - Evolução do diâmetro médio na seção longitudinal de Icaraíma.

6.7 Grau de Seleção (desvio padrão)

Segundo Ponçano (1986) o desvio padrão é uma variável que relaciona as condições do fluxo e o retalhamento dos depósitos, expressando o grau do selecionamento das partículas hidrotransportadas. Em Tapira esse parâmetro variou entre muito bem selecionada e pobremente selecionada, com a incidência de maior variação no período de cheia, em junho, onde o grau de seleção variou entre pobremente selecionada e bem selecionada. A figura 28 mostra que na direita do canal de Tapira, onde se concentram as maiores energias (como descrito anteriormente), o grau de seleção dos sedimentos é menor.

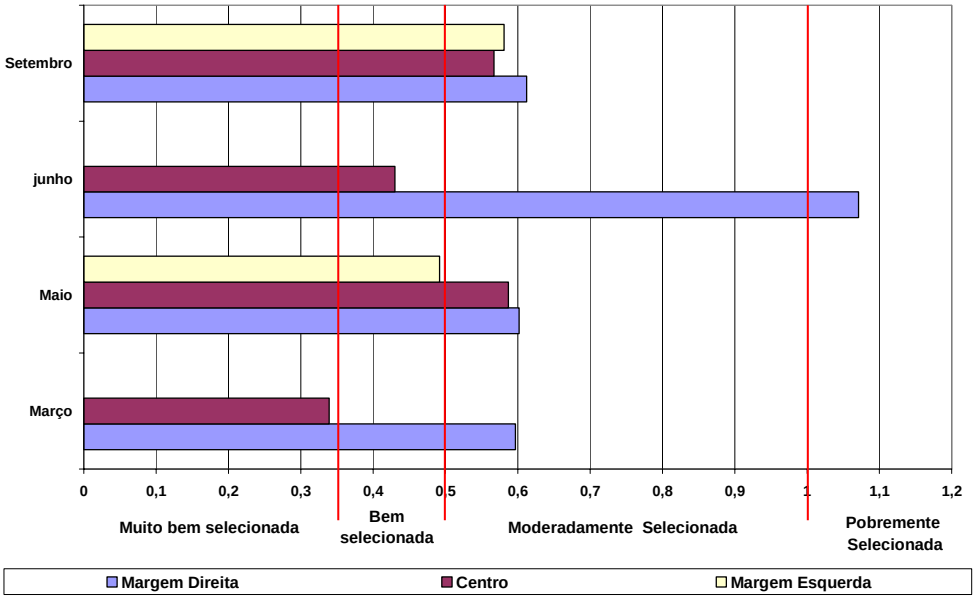


Figura 28 - Grau de Seleção dos sedimentos - 2004. Tapira.

Em Herculândia houve um predomino de seleção moderada, com exceção também ao período observado em junho que apresentou sedimentos com bom selecionamento dos grãos nos setores próximos da margem direita e ao centro do canal. A Figura 29 mostra o predomínio ao longo de todo o período analisado de uma moderada seleção da carga de fundo para toda a seção de Herculândia. Esta seção exibe em razão da maior declividade, a maior energia de todas as seções estudadas (vide os valores de energia total e específica na quadro 04). Esta maior energia implica em uma pior seleção dos grãos, daí a predominância de uma seleção moderada.

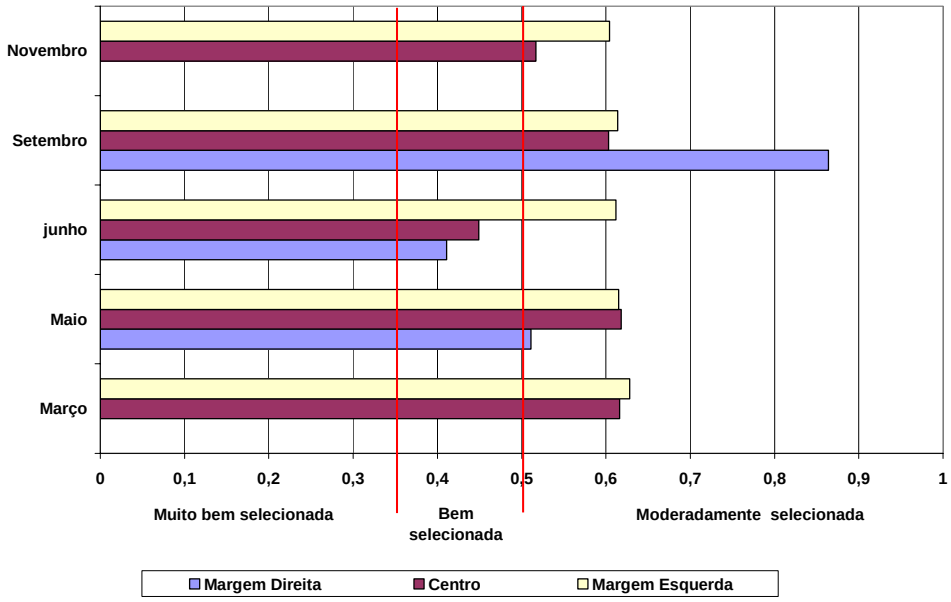


Figura 29 - Grau de Seleção dos sedimentos - 2004. Herculândia.

Por outro lado as análises dos sedimentos a jusante, na foz do rio Ivaí, em Icaraíma, apresentaram em média um selecionamento moderado, com variações nos sedimentos coletados em maio e junho, tiveram selecionamento bom e pobre respectivamente (Figura 30).

Nos períodos de vazante o grau de seleção diminui de montante para jusante, passando de bem selecionado a moderadamente selecionado. Os setores com maior velocidade, no período de vazante, caracterizam-se como áreas de pobre seleção. Na cheia, o grau de seleção é bem irregular, varia de pobremente selecionado a bem selecionado num único setor. Em períodos de maior vazão o grau de seleção tende em geral para uma seleção mais pobre.

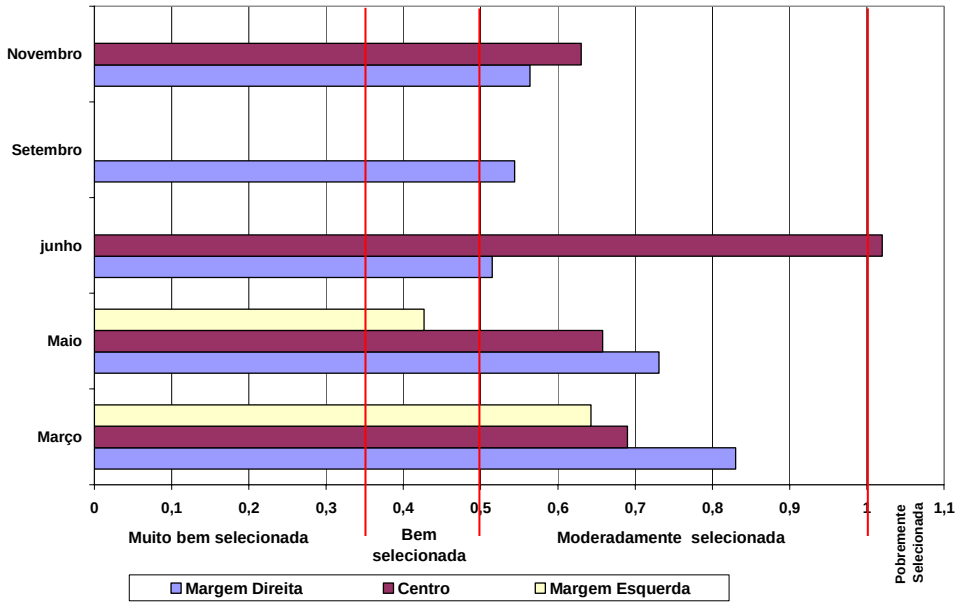


Figura 30 - Grau de Seleção dos sedimentos - 2004. Icaraíma.

6.8 Carga Sedimentar Suspensa (CSS) em relação à velocidade da corrente

No período estudado ocorreu uma grande variação na concentração da carga suspensa, transportada pelo rio Ivaí. Geralmente as maiores concentrações ocorreram nos períodos de cheia, porém, em março (vazante), os valores da carga suspensa encontrada em Tapira, foram equiparados e até mesmo superiores aos dos períodos de cheia. Este último dado corrobora com o observado por Biazin (2005) próximo a foz do rio Ivaí. Esta autora relaciona este aumento de concentração de carga suspensa a maior exposição do solo relativo à atividade de plantio (culturas temporárias), a montante dos pontos amostrados.

A concentração dos sedimentos suspensos no baixo curso do rio Ivaí mostra uma variação tanto transversal quanto longitudinal do canal. As partículas de granulometria reduzida

como silte, argila e areias finas, existentes neste sistema, conservaram-se em suspensão na corrente, através do fluxo turbulento, característico deste rio.

Em Tapira, a maior concentração de sedimentos suspensos ocorreu nos setores de maior velocidade, estando estes, intimamente ligados à velocidade do fluxo da coluna vertical e da energia distribuída na seção transversal. A Figura 31 revela que nos setores próximos à margem direita e ao centro do canal, que possuem as velocidades maiores, ocorreram as maiores concentrações em quase todo o período monitorado.

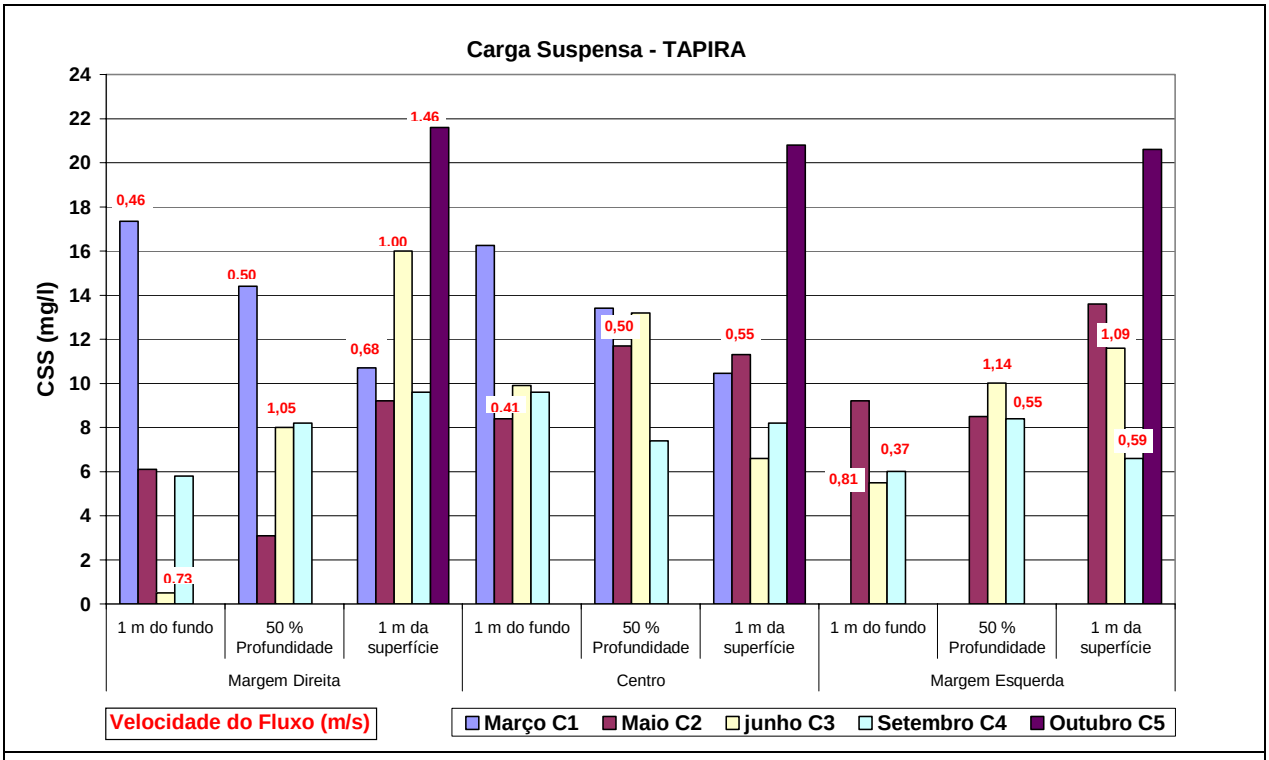


Figura 31- Concentração de sedimentos em suspensão (mg/l) em três profundidades; Tapira, 2004.

Em Herculândia a concentração dos sedimentos suspensos apresentou uma dinâmica mais caótica, sem relações com os altos fluxos concentrados, em sua maioria, próximos à superfície (Figura 32). A relação entre velocidade e concentração de sedimentos não foi clara, houve uma tendência para maiores concentrações a meia profundidade. Transversalmente a maior parte dos sedimentos suspensos concentrou-se nos setores de menor energia, ou seja, o contrário da dinâmica observada em Tapira.

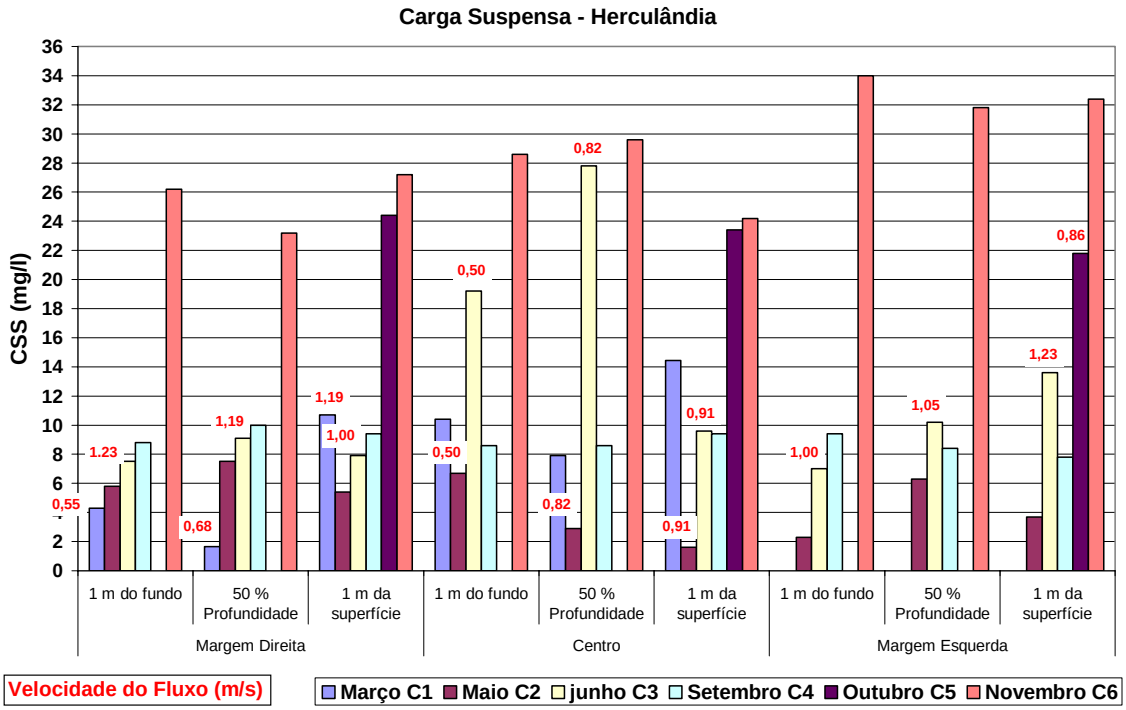


Figura 32 - Concentração de sedimentos em suspensão (mg/l) em três profundidades; Herculândia, 2004.

Em Icaraíma, na foz do rio Ivaí, os sedimentos suspensos apresentaram dinâmica parecida com a observada em Herculândia (Figura 33). O setor com maior concentração de sedimentos suspensos foi o centro do canal e a margem esquerda. Verticalmente a distribuição não apresentou clara relação com o fluxo. Em geral, esta seção demonstra maiores concentrações de sedimentos suspensos, à meia profundidade e próximo ao leito do canal.

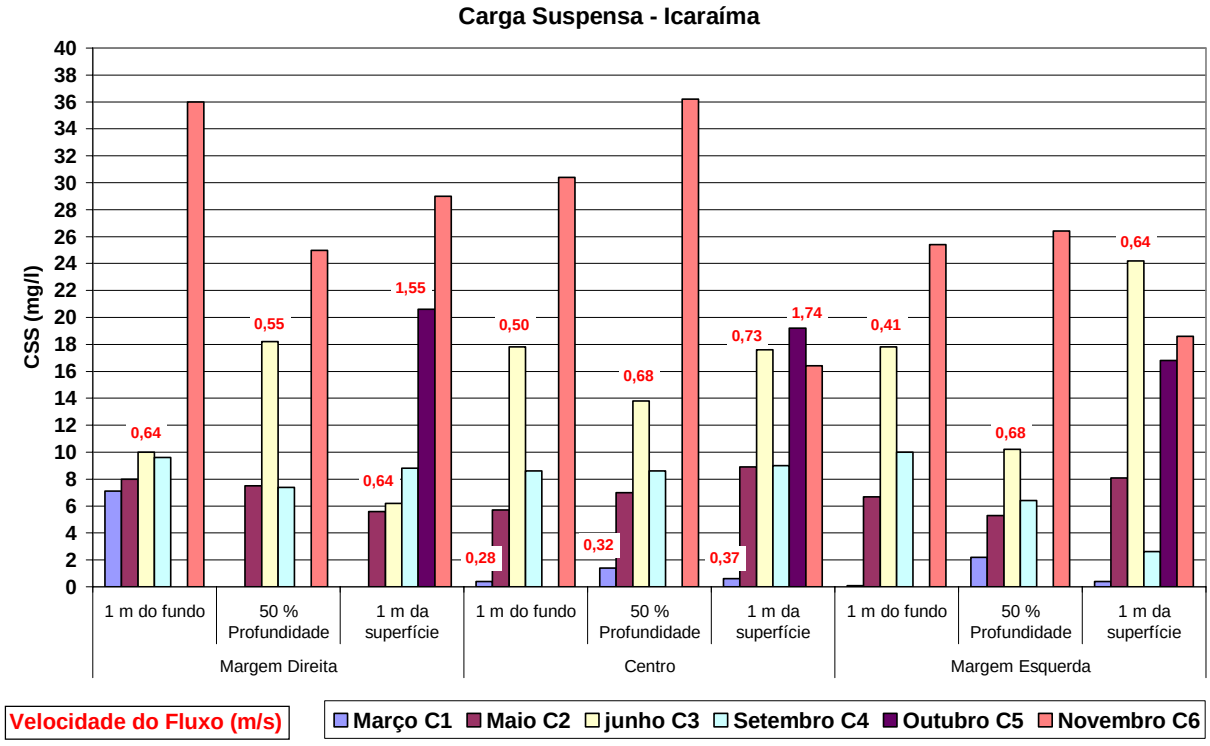


Figura 33 - Concentração de sedimentos em suspensão (mg/l) em três profundidades; Icaraíma, 2004.

A Figura 34 mostra a dinâmica longitudinal apresentada pelo rio Ivaí em seu baixo curso, que em períodos de cheia aumenta a concentração dos sedimentos suspensos. A seção de Herculândia trouxe as maiores concentrações de sedimentos suspensos registrados na área de estudo. De Herculândia em direção a Icaraíma, ocorre um gradativo processo de decantação, visto que a concentração de sedimentos suspensos, à medida que se aproxima da foz tende a se reduzir.

Em ambas as condições (baixa, média e alta vazão), os sedimentos suspensos mantêm um equilíbrio longitudinal, variando muito pouco a concentração de Tapira para Herculândia. No entanto, de Herculândia para Icaraíma, a concentração de sedimentos suspensos sofre variações, em geral, a tendência maior é a redução da concentração. Esta foi verificada nos meses de março, setembro, outubro e novembro (2004). Entretanto, houve duas situações distintas contrárias, aumentando a concentração, fato este notado nos meses de maio e junho (Figura 34).

Estudos realizados por sedimentologistas do mundo inteiro têm interpretado as formas dos rios e os depósitos de sedimentos para indicar a morfologia e o regime hidráulico dos mesmos e os sedimentos neles transportados. De acordo com Bagnold (1966) *apud* Friend (1993), o escoamento de sedimentos é como uma máquina que, ao aumentar a força, pode carregar mais sedimentos. Também na visão de Bagnold (1966) a saturação no transporte de sedimentos distingue o transporte de sedimentos limite e excedente.

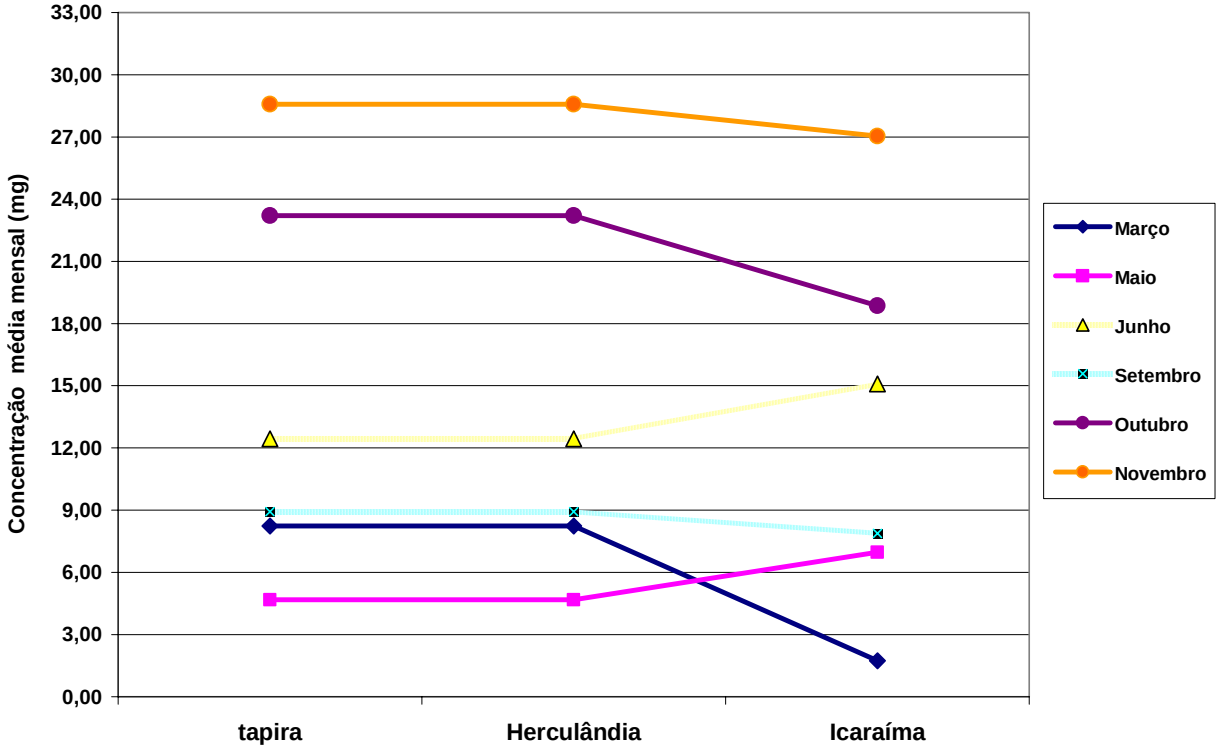


Figura 34 - Concentração média mensal de sedimentos em suspensão (mg/l) – 2004 - Baixo curso do rio Ivaí.

Os sedimentos transportados pelo rio Ivaí foram monitorados em momentos singulares e, provavelmente, não representam claramente a dinâmica do transporte de sedimentos suspensos no baixo rio Ivaí. De acordo com Simons e Simons (1987) a capacidade de transporte de sedimentos de um rio não é o que realmente é transportado, e esta não é constante e nem previsível, mas fruto da convergência de diversos fatores que englobam toda a área da bacia hidrográfica mais os fatores hidráulicos. Possivelmente, em decorrência desse fato, neste estudo não foi observada uma tendência clara de aumento ou diminuição da carga de sedimentos suspensos, segundo os diferentes setores analisados no canal.

7 CONCLUSÃO

O rio Ivaí em seu baixo curso apresentou grande dinâmica em todas as variáveis estudadas, trata-se de um rio com poucos estudos e que requer maior atenção por parte da comunidade científica, pois ainda se enquadra como um ambiente de pouca alteração antrópica.

Seu baixo curso apresenta uma morfologia típica de rios de clima tropical, sua declividade diminui para a jusante enquanto o canal sofre um alargamento (150m em Tapira, 165m Herculândia e 250m na foz), as margens plenas que atingem 14m a montante da área de estudo diminuem para cerca de 2m próximo à foz. Em Tapira apesar da seção situar-se em trecho retilíneo, o talvegue mostra um traçado assimétrico com maior concavidade para a margem esquerda, enquanto as outras duas seções caracterizam-se com maior simetria.

As análises hidrológicas apresentaram homogeneidade ao longo das seções estudadas. Segundo o número de Reynolds o fluxo foi classificado como turbulento não uniforme e instável. O número de Froude calculado classificou o escoamento do baixo curso do rio Ivaí como um escoamento lento.

A análise da energia do fluxo permitiu destacar as seções de Herculândia e Porto Taquara onde se registrou as maiores energias do baixo curso do rio Ivaí. Considerando-se que vazões do rio Ivaí oscilam entre as máximas e mínimas sem qualquer periodicidade a energia produzida na maior vazão registrada no ano de 2004 registrada na estação de Novo Porto Taquara (4968 m^3/s) foi de 3890,54 Wm, e energia específica de 23,58 W/m^2. A menor vazão registrada na estação hidrométrica de Tapira (193 m^3/s), a energia total foi de 118,7 Wm^2 e específica de 0,72 W/m^2. Se comparada à energia específica do rio Ivaí nos momentos de alta vazão, esta ultrapassa os valores encontrados por MARTINS (2004) no rio Paraná em Porto São José, onde para uma descarga média a energia específica é de 14,24 W/m^2.

As vazões observadas no período deste estudo permitiu destacar dois períodos, um de vazante, que ocorreu nos meses de março, maio e setembro e um período de cheia nos meses de junho, outubro e novembro. A vazão média do período de estudo foi de 730,11m^3/s, a máxima foi de 1916,6 m^3/s e a mínima de 215 m^3/s para as seções monitoradas. Nas estações hidrométricas registrou-se uma máxima de 4968 m^3/s em Novo Porto Taquara e mínima de 193 m^3/s em Tapira.

As velocidades do fluxo medidas nas seções de estudo apresentaram grande heterogeneidade. Em Tapira o setor como maior energia no fluxo concentrou-se próximo à margem direita. Em Herculândia não houve uma sucessão contínua de um setor com maior ou menor energia, no entanto esta seção apresentou as maiores velocidades observadas no período.

Próximo à foz, as maiores velocidades do fluxo concentram-se próximo à margem direita diminuindo em direção a margem esquerda.

Correlacionando os valores de vazão e sedimentos de fundo, foi possível identificar uma tendência ao aparecimento de material mais fino no sistema para os altos fluxos. Em Tapira nos períodos de baixa vazão houve o predomínio de areia média enquanto que em alta vazão houve areia fina e lama argilosa. Em Herculândia a seção mostrou grande heterogeneidade nos sedimentos de fundo, para os períodos de alta vazão houve na mesma seção o aparecimento de fundo rochoso, areia fina e areia grossa. Próximo à foz em Icaraíma, os sedimentos de fundo foram em maior parte constituídos por areia fina e lama argilosa. No sentido longitudinal, os sedimentos de fundo no baixo curso do rio Ivaí sofrem uma redução seletiva de montante para jusante, partindo de materiais mais grosseiros a montante para sedimentos mais finos próximos a foz.

A granulometria foi bastante heterogênea. O grau de seleção refletiu os setores com maior ou menor energia. Em Tapira o setor próximo à margem direita de maior energia o grau de seleção foi menor. Em Herculândia e Icaraíma houve o predomínio de seleção moderada. Em geral, os períodos de vazante, a seleção natural dos sedimentos oscilou entre bom e moderado selecionamento, partindo para pobre selecionamento nos setores com maior velocidade. Nos períodos de cheia, houve uma tendência para um selecionamento pobre.

Os sedimentos em suspensão observados mostraram em ambas as condições do fluxo (baixa, média e alta vazão), um equilíbrio longitudinal, variando muito pouco a concentração de Tapira para Herculândia. De Herculândia para Icaraíma, a concentração de sedimentos suspensos sofre uma maior variação, a tendência observada foi a redução da concentração, a média de sedimentos transportados foi de 0,0123 g/L. Com base na vazão média, este valor convertido por dia, gera carga total de sedimentos suspensos de 775,90 t/dia. O maior e menor valor encontrado para a carga suspensa foi respectivamente de 0,0362 g/L em novembro de 2004; e 0,0001 g/L em março de 2004, ambos no ponto de estudo em Icaraíma.

O rio Ivaí é um dos rios de maior importância para o estado do Paraná, atravessa o território paranaense com um total de 685 km de extensão, drena boa parte da água precipitada no estado e tende a ser modificado para a geração de energia e o escoamento da produção agrícola do noroeste do estado. Por se tratar de um ambiente com poucas alterações antrópicas é uma importante área de estudo para o conhecimento da dinâmica fluvial, da geomorfologia, da geologia, e áreas afins da geografia, inclusive da antropologia visto que são encontrados diversos artefatos indígenas próximos às margens. Entretanto, o conhecimento sobre o mesmo

ainda é incipiente e a construção de barragens é eminente, visto que diversos projetos já foram cogitados.

Estudar o rio Ivaí ainda sem modificações, pode ser a chave para um futuro adequado para este rio. A avaliação do impacto das obras de engenharia sobre os sistemas naturais depende do conhecimento das variáveis enquanto em seu estado natural o que pode e deve ser fomentado para o caso do rio Ivaí, proporcionando um enriquecimento dos conhecimentos científicos na área e um melhor manejo deste recurso.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, A. R. **Variabilidade da precipitação pluviométrica da bacia hidrográfica do rio Ivaí – PR.** 2002. 99f. il. Dissertação (Mestrado em Análise Regional e Ambiental)-Departamento de Geografia, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2002.

BARROS, Carolina Silva. **Dinâmica sedimentar e hidrológica na confluência do rio Ivaí com o rio Paraná, município de Icaraíma – PR.** 2006. Dissertação (Mestrado em Análise Regional e Ambiental)-Departamento de Geografia, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2006.

BIAZIN, Pollyana Crocetta. **Característica Sedimentar e Hidrológica do rio Ivaí em sua foz com o rio Paraná, Icaraíma – PR.** 2005. Dissertação (Mestrado em Análise Regional e Ambiental)-Departamento de Geografia, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2005.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia fluvial.** São Paulo: E. Blücher, 1981.

COPANHIA PARANAENSE DE ENERGIA. **Diagnóstico do aproveitamento do baixo curso do Rio Ivaí para transporte e geração de energia**. Curitiba, 1984. Relatório Interno, v. 2, 401p.

DESTEFANI, E. V. **Regime hidrológico do rio Ivaí – PR.** 2005. Dissertação (Mestrado em Análise Regional e Ambiental) - Departamento de Geografia, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2005.

DUANE, D. B. Significance of skewness in recent sediments, Western Pamlico Sound. **Journal of Sedmentary Petrology,** North Carolina, v. *34, p. 864-874,* 1964.

ESTEVES, F.A. **Fundamentos de Limnologia**. 2 ed. Rio de Janeiro – RJ: Interciência, 1998.

FERNANDEZ, O.V. Q. **Mudanças no canal fluvial do rio Paraná e processos de erosão das margens da região de Porto Rico, PR**. 1990. Dissertação (Mestrado)-Instituto de Geociências e Ciências Exatas, UNESP, Rio Claro, 1990.

FERNANDEZ, O. V. Q.; SANTOS, M. L. dos; FULFARO, V. J. Caracterização dos sedimentos de fundo do rio Paraná em Porto Rico (PR). **Ciência Geográfica,** Bauru, v.1, no. 6, p.25-32, 2000.

FRIEND, Peter F. Control of river morphology by the grain-size of sediment supplied. **Cambridge Earth Sciences Contribution**, no.3086. Elseviers Science B.V. p. 171-177, 1993.

FOLK, R. L. & WARD, W. C. Brazos river bar: study in significance of grain size parameters. ***Journal of Sedmentary Petrology***, North Carolina, no. 27, p. 3-26, 1957.

GIBBS, R. J. JHA, P. K. CHAKRAPANI, G. J. Sediment particle size in the Hudson river estuary. **Sedimentology**, no. 41, p. 1063-1068, 1994.

GUERRA, Antonio José Teixeira; CUNHA, Sandra Baptista. **Geomorfologia – Uma atualização de bases e conceitos.** Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003.

KODAMA, Yoshinori. Downstream changes in the litology and grain size of fluvial gravels, the watarase river, Japan: evidence of the role of abrasion in downstream fining**. Journal of Sedmentary Petrology**, North Carolina, no.64, p. 68-75, 1994.

LATRUBESSE, E.; STEVAUX, J. C. Geomorphology and Environmental Aspects of Araguaia Fluvial Bassin, Brazil. Z.fur. **Geomorphology**, Amsterdam, no. 129, p. 109-127, 2002.

LEOPOLD, L. B. & WOLMAN, M. G. River Channel patters, braided, meandring and straight. **U. S. Geol**. **Surv. Professional Paper**, no.282-B, p.85, 1957.

LEOPOLD, L. B.; WOLMAN, M. G.; MILLER, J. P. Fluvial Processes in geomorphology. **Republication, Dover Publications**, New York, p. 522, 1995.

MAACK, R. **Geografia física do Estado do Paraná.** 2 ed. Rio de Janeiro: J. Olympo; Curitiba: Secretaria da Cultura e do Esporte do Governo do Estado do Paraná, 1981.

MARGALEF, Ramon. **Limnologia.** *Barcelona: Omega, 1983.*

MARTINS, Débora P. **Dinâmica das formas de leito e transporte de carga de fundo no alto rio Paraná.** 2004. Dissertação (Mestrado em Análise Regional e Ambiental)-Departamento de Geografia, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2004.

MORISAWA, M. Streams, their dynamics and morphology. **McGraw-Hill Boock Company**, New York, p. 175, 1968.

MIALL, A. D. A review of the braided-river depositional environment. **Earth-Sci. Rev.**, no.13, p. 01-62, 1977.

MIALL, A. D. Lithofacies types and vertical profile models in braided river deposits ; A summary. **Fluvial Sedimentology**. A.D. MIALL (Ed.). Canadian Soc. of Petrol Geol. Memoir no.5, p. 597-604, 1978.

MIALL, A.D. Alluvial Deposits. In : Walker, R.G. e JAMES, n. P. (eds.). ***Facies Models Response to Sea Level change.*** Geol. Assoc. of Canada, p.409, 1992.

MOSLEY, M. P.; TINDALE, D. S. Sediment variability and bed material sampling in gravel-bed rivers. **Earth surface processes and landforms**. v. 10, p. 465-482, 1985.

NANSON, G. C.; CROKE, J. C. A genetic classification of floodplains. **Geomorphology**, Amsterdam, v. 4, p. 459-486, 1992.

NANSON, G. Fluvial Geomorphology and river management. **GEOS,** University of Wollongong, School of Geosciences, no. 321, p. 65, 2002.

ORFEO, O. **Sedimentología del río Paraná em el área de confluência com el río Paraguay.** 1995. Tesis (Doctoral)-Univ. Nacional de La Plata, Facultad de Ciências Naturales y Museo, La Plata, Argentina, 1995.

PARANÁ. Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento. Instituto de Terras, Cartografia e Floresta. **Atlas do estado do Paraná**. Curitiba: UFPR, 1987.

PATRICK D. M.; SMITH L. M.; WHITEN. C. B. **Methods for Studying Fluvial Change in Gravel Bed Rivers**. John Wiley and Sons, 1982, p. 783 – 816.

PETTIJOHN, F. J. **Rocas sedimentarias.** Buenos Aires: Eudeba Manuales, 1980.

PINTO, N. de S. et al. **Hidrologia Básica**. Rio de Janeiro, 1976.

PONÇANO, W. L. Sobre a interpretação ambiental de parâmetros estatísticos granulométricos: exemplos de sedimentos quaternários da costa brasileira. **Revista Brasileira de Geociências**, [S.l.], no. 16, p. 2, p.157-190, 1986.

RICHARD, K. River. **Forms and processes in alluvial channels**. New York: Methuen e Co. (Ed.), 358p. 1982.

SANTOS, M. L. dos; FERNADEZ, O. V. Q.; STEVAUX, J. C. Aspecto morfogenético das barras de canal do rio Paraná, região de Porto Rico (PR). **Boletim de Geografia**, Maringá, no.10, p. 11-24, 1992.

SANTOS, M. L. Unidades Geomorfológicas e depósitos Sedimentares Associados no sistema Fluvial do rio Paraná, no seu Curso Superior. **Revista brasileira de geomorfologia**, no prelo.

SCHUMM S. A. The shape of alluvial channels in relation to sediment type. **U. S Geol Surv. Prof. Pap**, no. 352 B, p.17-30, 1960.

SCHUMM, S. A. A tentative classification of alluvial river channels. **U. S. Geol. Surv. Circ.**, [S.l.], V. ? p. 477, 1963.

SCHUMM, S. A. River Adjustment to Altered Hidrologic Regimen-Murrumbidgee River and paleochannels, Australia. **U.S. Geol. Survey Prot. Paper,** no. 598, p. 65, 1968.

SIMONS, D. B.; SIMONS, R. K. Differences between gravel- and sand-bed rivers. In: C.R. Thorne, J.C. In: FRIEND, Peter F. (1993). Control of river morphology by the grain-size of sediment supplied. Cambridge Earth Sciences Contribution**.** Elseviers Science Publishers B.V., no.3086, p. 171-177, 1987.

SMITH, Gregory H. Sambrook. FERGUSON, Robert I. **The gravel-sand transition along river channels.** [S.l.]: University of Sheffiel, 1994. p.425-430.

SOUZA FILHO, E. E.; ROCHA, P .C.; COMUNELLO. E.; STEVAUX, J. C. Effects of the Primavera Dam on Physical environment of the Downstream Floodplain. In: Thomaz, S. M..; Agostinho, A. A; Halm, N. S. (eds.). The Upper Paraná River and its Floodplain: Physical aspects, Ecology and Conservation. **Backhuys**, p. 55-74, 2004.

SUGUIO, K. **Introdução a Sedimentologia.** São Paulo: Edgard Blucher, 1973.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia, ciência e aplicação.** Porto Alegre: Ed. da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1997.

TUNDISI, J. G. Typoly of reservoirs in southern Brazil. **Verh. Internat. Verein. Limnol,** v. 21, p. 1031 – 1039, 1981.

VILLELA S. M.; MATTOS A. **Hidrologia Aplicada**. São Paulo: Ed. McGraw-Hill, 1975. 245p.

Livros Grátis

(http://www.livrosgratis.com.br)

Milhares de Livros para Download:

Baixar livros de Administração
Baixar livros de Agronomia
Baixar livros de Arquitetura
Baixar livros de Artes
Baixar livros de Astronomia
Baixar livros de Biologia Geral
Baixar livros de Ciência da Computação
Baixar livros de Ciência da Informação
Baixar livros de Ciência Política
Baixar livros de Ciências da Saúde
Baixar livros de Comunicação
Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE
Baixar livros de Defesa civil
Baixar livros de Direito
Baixar livros de Direitos humanos
Baixar livros de Economia
Baixar livros de Economia Doméstica
Baixar livros de Educação
Baixar livros de Educação - Trânsito
Baixar livros de Educação Física
Baixar livros de Engenharia Aeroespacial
Baixar livros de Farmácia
Baixar livros de Filosofia
Baixar livros de Física
Baixar livros de Geociências
Baixar livros de Geografia
Baixar livros de História
Baixar livros de Línguas

Baixar livros de Literatura
Baixar livros de Literatura de Cordel
Baixar livros de Literatura Infantil
Baixar livros de Matemática
Baixar livros de Medicina
Baixar livros de Medicina Veterinária
Baixar livros de Meio Ambiente
Baixar livros de Meteorologia
Baixar Monografias e TCC
Baixar livros Multidisciplinar
Baixar livros de Música
Baixar livros de Psicologia
Baixar livros de Química
Baixar livros de Saúde Coletiva
Baixar livros de Serviço Social
Baixar livros de Sociologia
Baixar livros de Teologia
Baixar livros de Trabalho
Baixar livros de Turismo