

VARIAÇÃO ESPACO-TEMPORAL DOS SEDIMENTOS DO LEITO EM CANAIS DA PLANÍCIE FLUVIAL DO ALTO RIO PARANÁ, CENTRO-SUL DO BRASIL

Paulo Cesar Rocha ¹

RESUMO

Este trabalho tem como objetivos gerais a caracterização espacial e sazonal da distribuição granulométrica no leito em dez seções transversais distribuídas nos canais secundários da planície da Planície Fluvial do Alto Rio Paraná. Foram realizadas seis amostragens de campo, entre: setembro de 2007 e novembro de 2008. A área de estudo constitui-se num sistema fluvial, onde se desenvolveu uma extensa planície fluvial, cortada por canais afluentes do rio Paraná, como o rio Baía, o canal Corutuba/Araçatuba, o rio Ivinheima e o canal Ipoitã. Os sedimentos do leito foram amostrados com uma draga e posteriormente levados à análise granulométrica em laboratório e em seguida análise estatística. Os dados foram relacionados com as variáveis de geometria hidráulica nas seções em termos espaciais e temporais. Os resultados permitiram identificar a predominância de areias médias e areias finas no leito dos canais do sistema fluvial da planície do rio Paraná. A dinâmica de transporte de sedimentos nos canais secundários apresenta trapeamento do leito por areias finas durante fluxos mais baixos e remoção sob condições mais eficientes.

PALAVRAS-CHAVE: transporte de sedimentos, análise granulométrica, geometria hidráulica, planície do rio Paraná.

ABSTRACT

This work has as its objectives the seasonal and spatial characterization of bed grain size distribution bedside ten cross-sections distributed among the secondary channels in the channels of high Paraná River floodplain. Six field sampling have done since September 2007 to November 2008. The study area is into an river system, where are developed an extensive river plain, with channels tributaries of the Paraná River, as the Baía River, the Corutuba/Araçatuba channel, the Ivinheima River and the Ipoitã channel. The bed sediment have been sampled with a dredge and subsequently brought to grain size analysis at the laboratory and then statistical analysis. The data were related with variables hydraulic geometry of them sections in spatial and temporal terms. The results allowed identify the predominance of medium sands and fine sands in the bed of the river channels of the floodplain of the Paraná River. The dynamics of sediments transport in secondary channels presents bed trapping layer by fine sands during lower flows and removal under more efficient conditions.

KEY WORDS: Sediment transport, grain size analysis, hydraulic geometry, Paraná River plain.

¹ Professor do Departamento de Geografia da FCT/UNESP campus de Presidente Prudente, email: pcrocha@fct.unesp.br

1. INTRODUÇÃO

O escoamento nos canais fluviais apresenta diversas características dinâmicas, que se tornam responsáveis pelas qualidades atribuídas aos processos fluviais. A dinâmica do escoamento, no que se refere à perspectiva geomorfológica, ganha significância na atuação exercida pela água sobre os sedimentos do leito fluvial, no transporte dos sedimentos, nos mecanismos deposicionais e na esculturação da topografia do leito (Christofoletti, 1981).

A morfologia de um sistema fluvial reflete uma história denudacional. Segundo Petts & Foster (1990), os rios podem ser vistos como um sistema aberto, em termos de entrada (input) e saída (output) de massa e energia, e como sistemas de processo-resposta, mantendo 3 características: 1- sua operação é controlada pela magnitude e frequência de inputs; 2- mudanças progressivas na morfologia e operação do sistema podem ocorrer se mudanças nos inputs ou degradação interna do sistema ocorrerem; 3- auto-regulação ou trocas negativas (feedback) podem ocorrer criando um novo estado de equilíbrio entre as formas e os processos.

Torna-se de grande importância o entendimento funcional dos sistemas fluviais, dos aspectos hidrodinâmicos e das variáveis que mantêm o equilíbrio dinâmico, como as que se relacionam com o trabalho que o rio executa em cada trecho, principalmente em ambientes tropicais, ainda pouco estudados.

Todos os acontecimentos que ocorrem na bacia de drenagem repercutem, direta ou indiretamente, nos rios. As condições climáticas, a cobertura vegetal e a litologia são fatores que controlam a morfogênese das vertentes e, por sua vez, o tipo de carga detrítica a ser fornecida aos rios (Christofoletti, 1980). As análises sedimentológicas se mostram como um importante instrumento se entender a dinâmica dos processos no transporte de sedimentos presentes no leito dos rios.

De acordo com Suguio (1973), utiliza-se o termo granulometria como referência a mediada de diâmetro dos grãos, e as finalidades das análises granulométricas variam de acordo com o campo da atividade no qual elas estão empregadas.

A análise granulométrica de partículas sólidas compreende a determinação do tamanho das mesmas, bem como da frequência com que ocorrem em uma determinada classe ou faixa de tamanho. A presença de sedimentos nos cursos d'água é consequência dos processos erosivos ocorridos nas suas bacias de drenagem, processos estes intensificados pela expansão de atividades agrícolas. A elevada concentração de sedimentos nos rios pode

comprometer ou restringir o uso da água. Projetos de barragens, captações e estações de tratamento de água, por exemplo, são diretamente influenciados pela presença de sedimentos na fonte hídrica, bem como os organismos aquáticos e aqueles que consomem a água em seu estado bruto, diretamente do rio. Por outro lado, a jusante de barramentos, é esperada uma diminuição na carga sedimentar (aporte) do rio, o que modifica os padrões de transporte e que podem possibilitar mudanças na geometria hidráulica numa seção, além de alterações nos ecossistemas aquáticos.

O transporte de sedimentos pela água é regido pela relação entre a capacidade de carregamento do escoamento e a força necessária para deslocar as partículas sólidas disponíveis em seu curso. As partículas mais finas e leves, como as argilas e siltes, precisam de menos energia que as partículas de areia para serem carregadas. Escoamentos muito velozes e turbulentos possuem grande capacidade de carregamento de sedimentos, sendo pouco seletivos, ou seja, deslocam sedimentos finos e grossos. À medida que a velocidade do escoamento diminui, o transporte de sedimentos se torna mais seletivo; assim, os processos de erosão, transporte e deposição de sedimentos são dependentes da granulometria do material particulado presente na bacia.

Este trabalho tem como objetivos gerais a caracterização espacial e sazonal da distribuição granulométrica no leito em dez seções transversais distribuídas nos canais da Planície Fluvial do Alto Rio Paraná, através de amostragens com periodicidade sazonal. Especificamente, Caracterizar o padrão de distribuição granulométrica dos materiais do leito e relacionar os resultados com as variáveis de geometria hidráulica “largura, profundidade, raio hidráulico, relação largura/profundidade, velocidade de fluxo e débitos”.

1.1 ÁREAS DE ESTUDOS

A área de estudos está localizada num trecho do alto rio Paraná, nas divisas entre o estado do Paraná e Mato Grosso do Sul, mais precisamente, abrangendo uma área entre a foz do rio Paranapanema e a foz do rio Ivinheima. Nesta área está inserido o Parque Estadual das Várzeas do Rio Ivinheima, do governo de Mato Grosso do Sul e constitui ainda uma Área de Proteção Ambiental (APA). Esta área constitui-se num extenso sistema fluvial, considerando a presença do rio Paraná, da planície fluvial, e cortando a mesma os rios Baía, baixo rio Ivinheima e canal Corutuba/Araçatuba, além de inúmeras lagoas perenes e temporárias (figura 1).

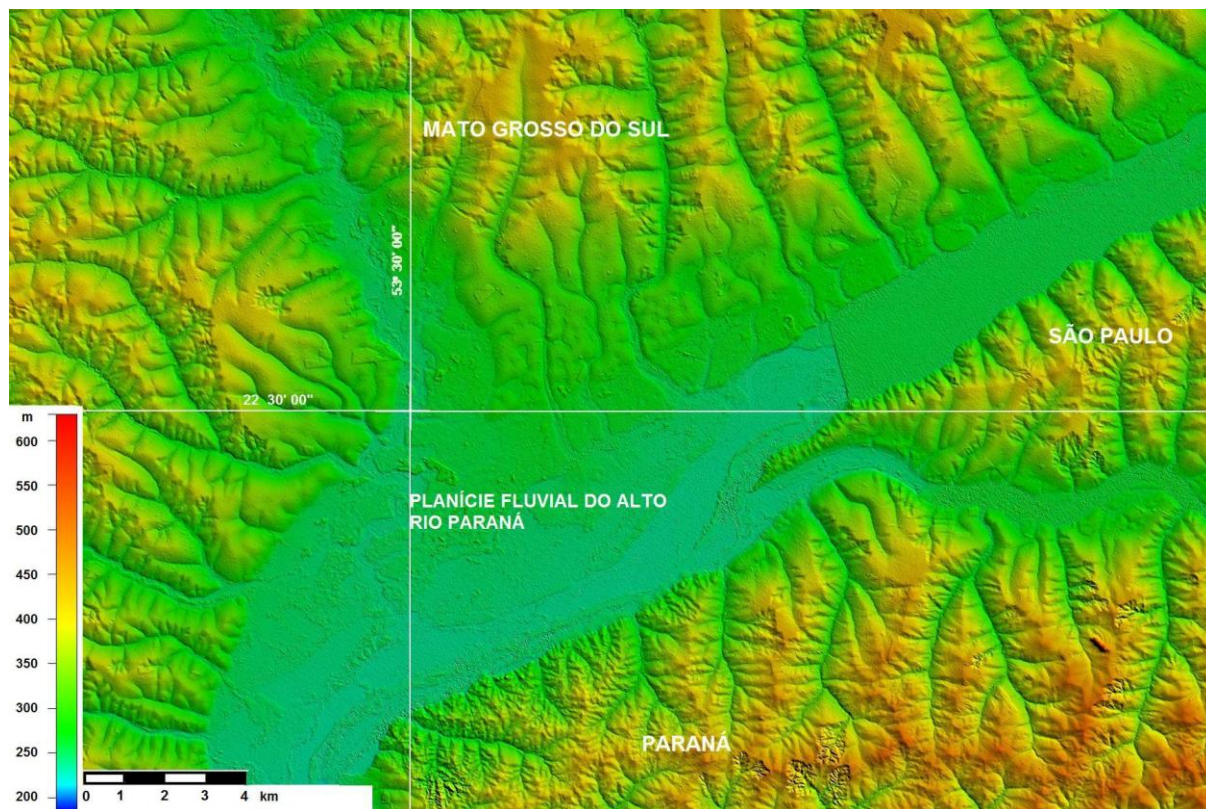


Figura 1. Localização do trecho da planície fluvial do alto rio Paraná, na região dos estudos.

1.1.1. Planície fluvial do Alto Rio Paraná

Segundo Christofolletti (1981) planície de inundação é uma faixa do vale fluvial composta por sedimentos aluviais, bordejando o curso d'água e periodicamente inunda por águas transbordadas, provenientes do rio. Possui configuração topográfica específica, com formas de relevo e depósito sedimentar relacionados com as águas fluviais, na fase fluvial e na fase de transbordamento.

A Planície do Rio Paraná, nesta região, está inserida em um trecho do Alto rio Paraná, na região Sudeste do Mato Grosso do Sul, divisa com o Paraná, nas proximidades de Porto Rico-PR.

O substrato regional é composto por arenitos da Formação Caiuá (K) e por sedimentos Cenozóicos associados ao rio Paraná e afluentes. O relevo regional é caracterizado por uma paisagem ondulada e alta, típicas do “Planalto Central da Bacia do Paraná”, e por áreas planas da “Planície do rio Paraná” (IBGE, 1990). A margem direita do sistema constitui-se de uma extensa planície aluvial, que varia de 4 a 10 km de largura na região.

A montante de Guaíra-PR, os afluentes da margem direita possuem suas nascentes nas serras de Maracajú e Araras. Na margem esquerda, os principais afluentes têm suas nascentes nas serras do Mar e da Mantiqueira. Até a área de estudos, o rio Paraná drena pouco mais de 670.000 km².

A descarga média histórica na estação fluviométrica de Guaíra (ANA / Itaipu-Binacional), a jusante da área de estudos, é de aproximadamente 9.700 m³ . s⁻¹ (Rocha *in press*). Seu período de maior descarga se estende de janeiro a março, coincidindo com a estação chuvosa na sua bacia Superior. A cheia de maior magnitude teve a vazão de 33.740 m³ . s⁻¹ em fevereiro de 1983.

A descarga sólida é de 30 x 10⁶ ton/ano para a carga total, sendo 27 x 10⁶ ton/ano para a carga suspensa e 3 x 10⁶ ton/ano para a carga de fundo (ITAIPU BINACIONAL, 1990). A montante de Guaíra-PR, o rio Paraná é constituído por inúmeros barramentos artificiais, sendo que até 1994, se encontravam em funcionamento 26 grandes barragens com represamento superior a 500 x 10⁶ m³ de água acumulada cada uma (ROCHA et al, 1994).

Na estação fluviométrica de Ivinheima-MS, no rio Ivinheima, principal afluente da margem direita do rio Paraná nesse trecho, os dados hidrológicos revelaram uma vazão média de 287 m³ . s⁻¹ entre 1992 e 1994 (ROCHA & SOUZA FILHO, 1996), sendo que a maior descarga ocorreu na cheia de 1993, atingindo 795 m³ . s⁻¹, conforme dados da estação fluviométrica de Ivinheima.

O clima na região é Tropical sub-quente, com um a dois meses secos, com temperatura média anual de 200 C, e precipitações maiores que 1.500 mm/ano (IBGE, 1990).

A região caracteriza-se por apresentar um grande número de lagoas que durante as cheias se interconectam com os canais ativos da planície (canal Curutuba e os rios Baía e Ivinheima), deixando assim de ser ambientes lênticos e tornando-se lóticos em alguns casos, processo que apresenta considerável importância no que diz respeito à conectividade entre os ambientes aquáticos e a evolução das formas aluviais.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Foram realizadas seis amostragens de campo, entre: setembro de 2007 e novembro de 2008 em dez seções transversais, distribuídas nos canais secundários da planície e uma seção no rio Paraná (figura 2). Deve-se ressaltar que as seções em análise estão em ambientes que apresentam estabilidade de margens.

Conforme recomendação de Suguio (1973) utilizou-se para as amostragens de campo, a coleta de sedimento de fundo através de um amostrador de mandíbula do tipo Van-Veen, com auxílio de um barco, as amostras do material de fundo passaram pelo processo de secagem, durante alguns dias até que não houvesse nenhum tipo de umidade no material. Após esta etapa as amostras foram divididas em quatro partes, através do processo de quarteamento. Sedimentos inconsolidados podem ser selecionados durante o transporte ou durante a transferência entre os recipientes no laboratório; dessa maneira, os minerais pesados e os fragmentados maiores das amostras podem ficar concentrados na parte inferior do recipiente (SUGUIO,1973), necessitando ser homogeneizada antes do quarteamento.

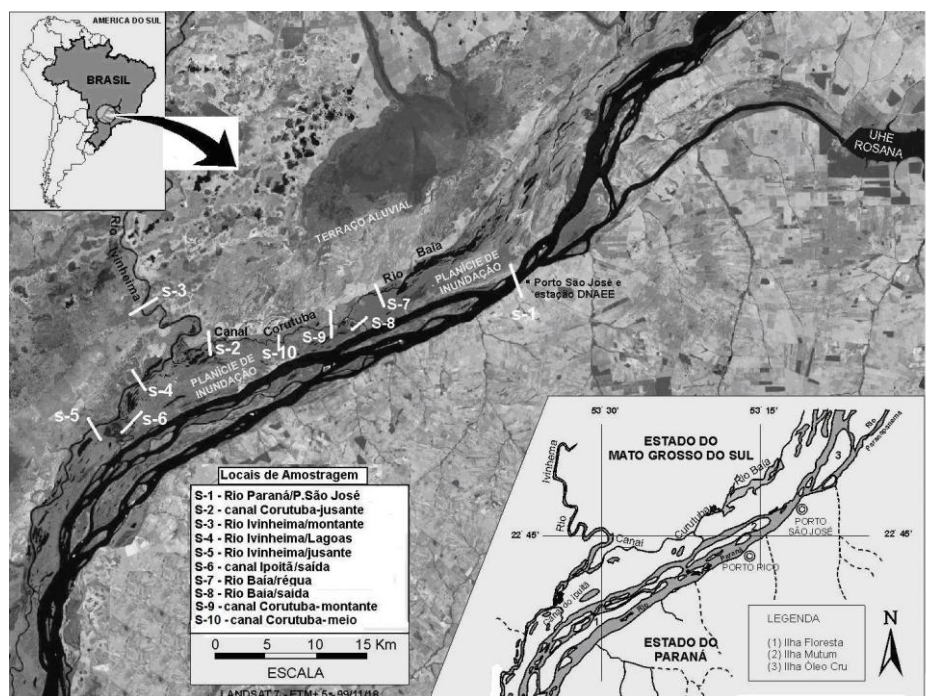


Figura 2. Localização das seções de amostragem na planície fluvial do alto rio Paraná.

O material de um quarto da amostra passou por análise granulométrica por peneiramento a seco, com auxílio de um jogo de peneiras na escala wenthworth e agitador. Utilizou-se a quantia de 150 gramas da amostra a seco, com exceção da amostragem feita em setembro de 2007, na seção 3 que devido à baixa quantidade de material amostrado na seção utilizou-se 32 g. Tais matérias foram peneirados no agitador por 10 minutos.

Em seguida, os dados granulométricos passaram por pesagem em uma balança semi-analítica, e por avaliações estatísticas, como correlação simples e múltipla e análise de

agrupamento, com o auxílio dos softwares Excel e Statistica. As amostras dos sedimentos de fundo foram classificadas observando os seguintes critérios (tabela 1):

As velocidades de fluxo foram obtidas a partir de medidas diretas nas seções de estudo no canal, com auxílio do aparelho “fluviômetro”, as amostras foram realizadas nos meses de setembro, novembro e janeiro, contudo os dados do último trabalho de campo ainda não foram processados completamente. As profundidades foram tomadas ao longo da seção, com auxílio de régua rígida metálica graduada. A largura da seção foi obtida a partir de medidas diretas no campo com o auxílio de trena flexível e de medidas a partir dos dados de imagens orbitais Google Earth, onde necessário. As medidas de vazão foram obtidas pela equação $Q=A.V$, onde Q é a vazão, A área da seção e V a velocidade média do fluxo. O raio hidráulico pela relação entre a área molhada (A) e o perímetro úmido (P) (A/P). Foi obtida também a relação largura/profundidade (L/P). A declividade no trecho da seção foi obtida a partir da análise do perfil longitudinal dos canais.

Tabela 1– Classes granulométricas do sedimento e malha das peneiras utilizadas.

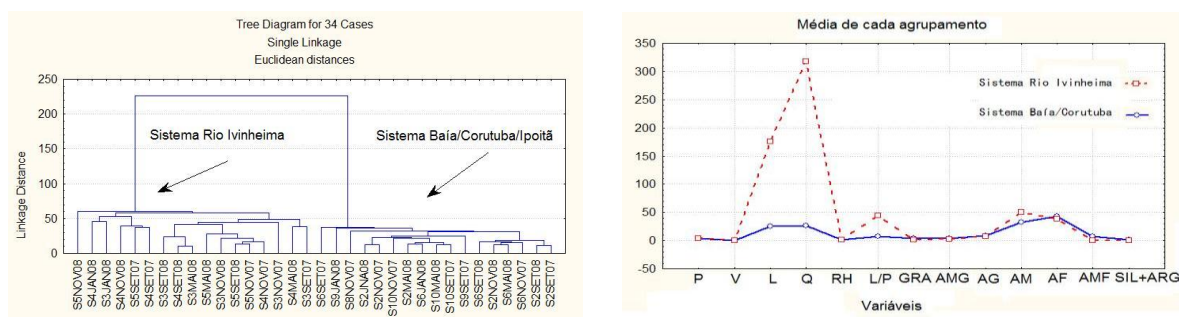
Peneira (mm)	Material reconhecido
2.000	Grânulos
1.000	Areia muito grossa
0.500	Areia grossa
0.250	Areia média
0.125	Areia fina
0.062	Areia muito fina
<0.062 (fundo)	Silte + argila

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Relacionamento Espaço-Temporal

No intuito de se estabelecer relacionamentos entre as seções de amostragem e as variáveis de geometria hidráulica, foi elaborada uma análise de agrupamento que possibilitou a distinção de dois grandes conjuntos, onde se agrupam as seções do sistema rio Ivinheima e as seções do sistema Baía/Corutuba, evidenciando que estas regiões se distinguem em qualquer condição de sazonalidade (figura 3A), sendo que as variáveis de geometria hidráulica são as mais importantes na separação dos grupos (figura 3B). A seção 1 (no rio Paraná) também apresentou comportamento distinto ao longo das amostragens, constituindo outro

agrupamento, contudo analisado em separado devido às diferenças mais abruptas perante as demais seções.



A

B

Figura 3. Análise de agrupamento entre as seções de estudos A. Média de ligação dos agrupamentos B. Profundidade P, Velocidade V, Largura L, Raio Hidráulico RH, Relação Largura/Profundidade L/P.

3.2. Frequência granulométrica nas seções

A interpretação das curvas de frequência nas seções amostradas (figura 4) indica predominância de materiais entre as areias médias (AM) e areias finas (AF), corroborando trabalhos anteriores nesta região (Rocha & Souza Filho, 2005). A exceção é feita às seções 9 e 10, que apresentaram presença de elementos mais finos (areia muito fina - AMF). Nesses episódios, pode ter ocorrido maior aporte de sedimentos, que podem ser originados de drenos presentes na margem direita do canal Corutuba, já evidenciados em trabalhos anteriores (Queiroz & Rocha, 2010).

Elementos mais grosseiros foram encontrados na calda de amostras nas seções S1, S3, S5, S6 e S9. Tal situação deve estar associada a elementos que, apesar de amostrados na mandíbula, compõem o substrato conglomerático do sistema fluvial, por sobre o qual pode ocorrer o transporte de areias médias (AM), areias finas (AF) e areias muito finas (AMF), conforme também apontado por Rocha & Souza Filho (2005).

A predominância das areias médias e areias finas nos diferentes sistemas indica também aporte similar para a carga sedimentar dos canais. Por outro lado, pode também indicar apenas remobilização destes calibres, considerando a energia atual destes sistemas e o

leito aluvial, exceto para o sistema Baía/Corutuba, cujo substrato geralmente não apresenta materiais arenosos em mobilização, conforme observado em campo.

Setor Rio Ivinheima/canal Ipoitã

Setor canal Corutuba e rio Paraná

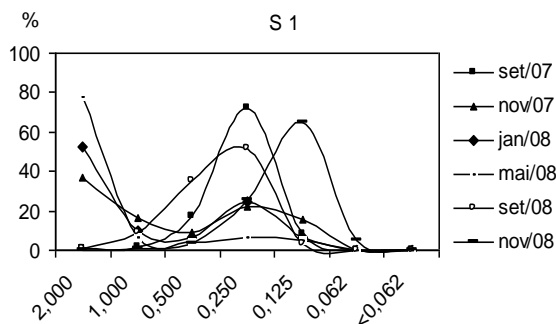
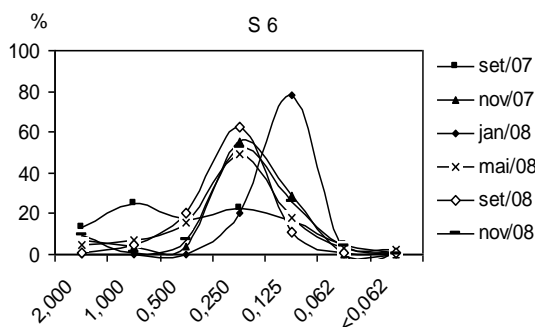
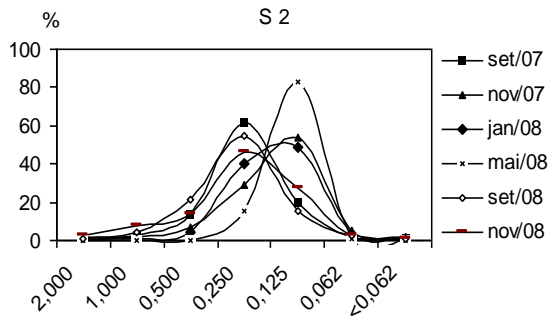
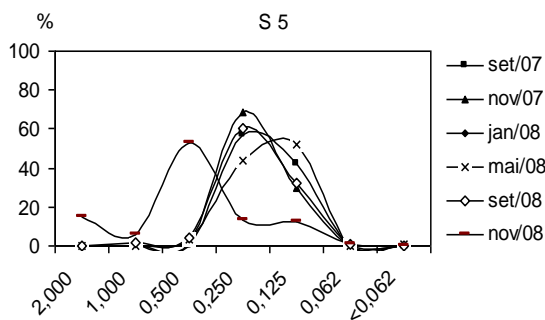
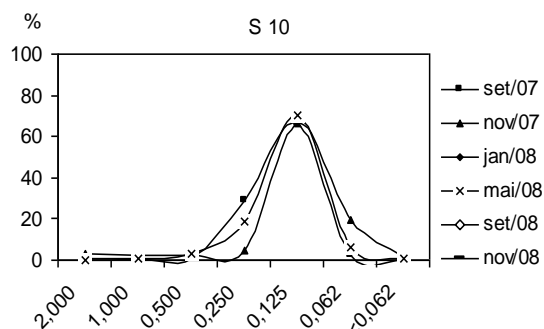
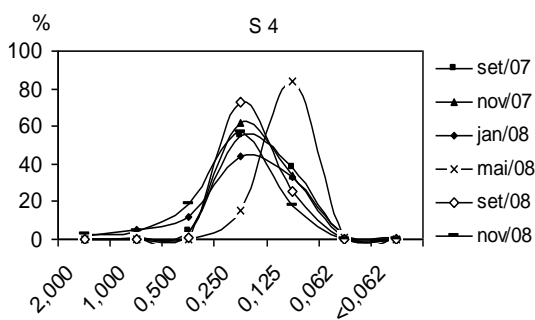
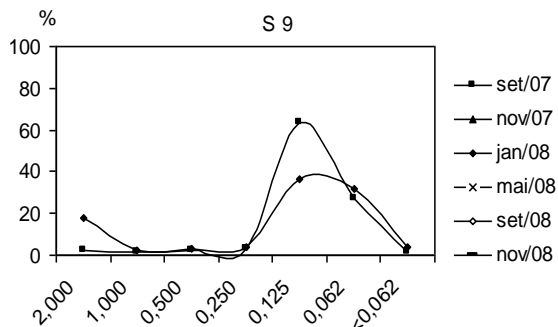
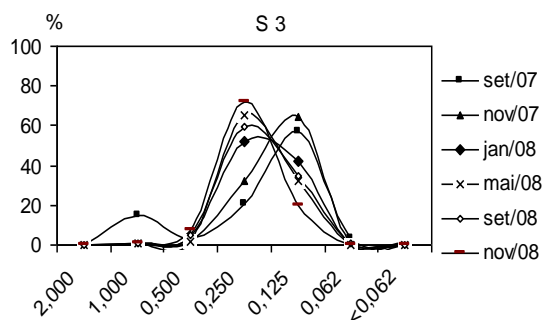


Figura 5. Curvas de frequência granulométrica nas seções amostradas.

Para materiais homogêneos no leito, o transporte de sedimentos geralmente reflete as variações na energia do rio, mas poucos rios naturais contêm materiais homogêneos no leito, e então, uma variada interação entre fatores hidráulicos, sedimentológicos e bióticos complicam os processos de transporte de sedimentos. Em particular, quando partículas não transportáveis estão presentes no leito, o transporte seletivo de sedimentos de menores tamanhos pode exibir uma camada de sedimentos grosseiros na superfície do leito, que protege os sedimentos sobpostos da movimentação, limitando a degradação do canal (Petts & Foster, 1990).

3.3. Variáveis de Geometria Hidráulica e Fluxo

O relacionamento do débito fluvial com a geometria na seção transversal fornece importantes informações na interpretação dos processos erosivos, de transporte e sedimentação nos sistemas fluviais (Leopold et al., 1964). Observações diretas sobre o aumento do débito e mudanças conjuntas nas outras variáveis têm indicado que a resistência do leito diminui com o aumento do débito.

A avaliação dos índices b , f e m nos sistemas identificados corrobora a afirmação de que os sistemas em estudo (canais da planície fluvial) são bastante estáveis (exceção feita ao rio Paraná). Os relacionamentos hidráulicos mostram que os débitos aumentam predominantemente com o aumento das profundidades ou das velocidades de fluxo, evidenciando canais encaixados na própria calha aluvial (figura 5). Por outro lado, no sistema Baía/Corutuba/Ipoitã, o comportamento do índice f (relação da vazão com a profundidade) indica que o fluxo independe das variações na profundidade, o que pode ser uma evidência de que o sistema sofre afogamento periodicamente. Significa que apesar dos canais elevarem os níveis de água no sistema, não há aumento dos débitos. O aumento do débito só será possível se houver aumento das velocidades de fluxo. Isso se deve ao efeito de represamento do sistema pelas águas do rio Ivinheima e/ou Paraná.

Desse modo, os sistemas rio Paraná e rio Ivinheima, tem sua competência e capacidade controlados pelas variações nas velocidades de fluxo (declividade da linha d'água) e profundidades (controlando o raio hidráulico). Já o sistema Baía/Corutuba/Ipoitã tem o transporte de partículas controlado pela velocidade de fluxo, que por sua vez fica dependente da declividade da linha d'água. Isso ajuda a explicar a presença de materiais mais finos no

leito nas seções 9 e 10, possivelmente associados ao impedimento do fluxo (afogamento) e diminuição da energia específica.

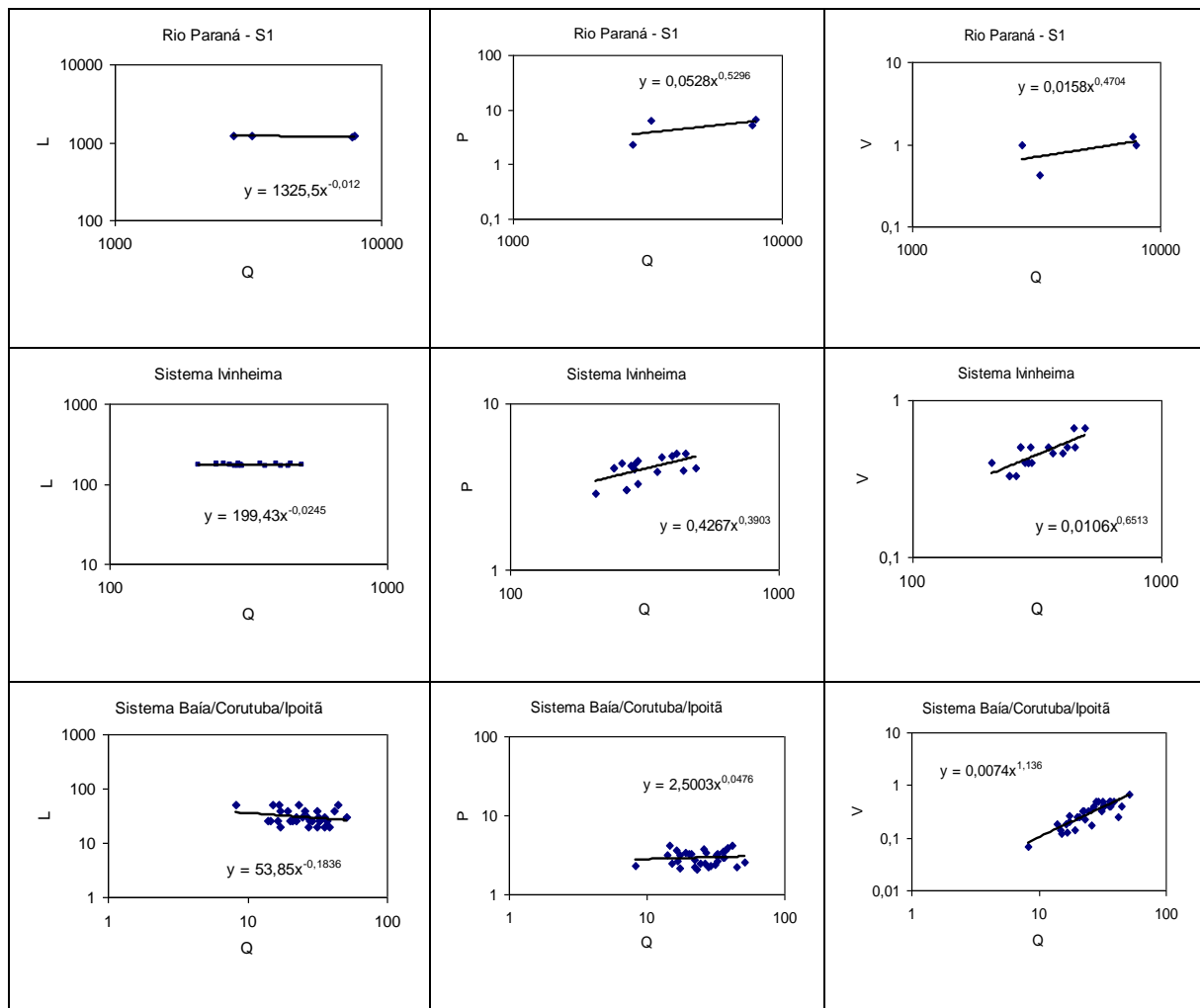


Figura 5. Índices *b*, *f* e *m* nos sistemas rio Paraná (análise sazonal), rio Ivinheima e Baía/Corutuba/Ipoitã.

A correlação entre as principais variáveis de fluxo observadas (velocidades, profundidades e o débito) com a frequência dos principais calibres de sedimentos observados nas amostragens (Areia Média, Areia Fina e Areia Muito Fina) está representada no gráfico da figura 6.

Nele pode-se inferir que as areias médias têm aumento na frequência conforme o aumento nas variáveis do fluxo *profundidade*, *velocidade* e *débito*. Já as areias finas e muito finas, têm relacionamento inverso com tais variáveis. Isso indica que, quando aumenta o fluxo

nos sistemas, deve haver a mobilização gradual dos calibres mais finos, diminuindo a frequência destes. Conforme os materiais mais finos são mobilizados pelo fluxo, os mais grosseiros vão sendo descobertos. Como os sistemas deposicionais de leito móveis apresentam trapeamento normalmente com grandecrescência para o topo, tal fato pode ser esperado. Desse modo, considerando a mobilização dos mais finos (AMF e AF) e a continuidade no aumento do fluxo, é possível que as areias médias sejam também mobilizadas. Contudo é necessário ainda levar em consideração a intensidade do aporte dos materiais. Já as areias finas (AF) apresentam maior sensibilidade ao fluxo e são mais facilmente mobilizadas pelas correntes nos sistemas avaliados. Assim, talvez a taxa de entrada desses materiais seja pequena em relação à compacidade e competência da corrente. Por outro lado, estes materiais podem estar sendo levados em saltação ou até mesmo em suspensão, caso mais provável das areias muito finas (AMF). Nesse caso um estudo mais detalhado é necessário.

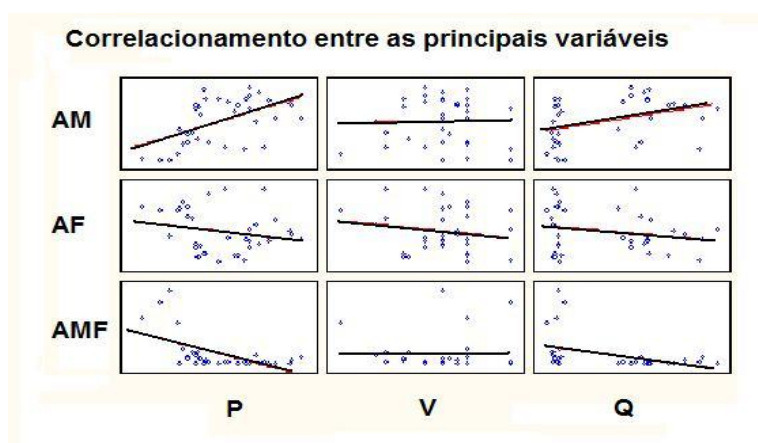


Figura 6. Gráficos de correlacionamento entre as areias e variáveis do fluxo.

4. CONCLUSÕES

Foi possível identificar a predominância de areias médias e areias finas no leito dos canais do sistema fluvial da planície do rio Paraná. Tal situação coaduna com observações anteriores para esses ambientes (Rocha, 2002; Rocha & Souza Filho, 2005).

Os relacionamentos hidráulicos indicam que os canais secundários da planície fluvial são estáveis para as condições de fluxo monitoradas.

O trabalho corrobora também com a hipótese de “afogamento” dos sistemas de ligação (canal Ipoitã → rio Paraná e foz do rio Baía → rio Paraná) e do canal Corutuba (ligação

Corutuba → rio Ivinheima). Isso se deve ao sistema de comunicação com rios de maior porte como os rios Ivinheima e Paraná, que controlam os níveis hidrométricos em todo o sistema.

Por fim, a dinâmica de transporte de sedimentos nos canais secundários apresenta trapeamento do leito por areias finas durante fluxos mais baixos e remoção sob condições mais eficientes.

5. AGRADECIMENTOS

O autor agradece ao CNPq/CT-HIDRO pelo financiamento da pesquisa e à GUC-MS pela autorização da pesquisa.

6. REFERÊNCIAS

- CHRISTOFOLETTI, A. Geomorfologia. São Paulo-SP, ed. EdgardBlücher. 1980.
- CHRISTOFOLETTI, A. Geomorfologia Fluvial. São Paulo-SP, ed. EdgardBlücher. 1981.
- IBGE. Geografia do Brasil, Região Sul. Vol. 2. Rio de Janeiro-RJ. 1990.
- ITAIPU BINACIONAL. Boletim Informativo. Foz do Iguaçu-PR. 1994.
- LEOPOLD, L.B., WOLMAN, M.G. & MILLER, J.P. Fluvial processes in geomorphology. Freedman, San Francisco, 319 p. 1964.
- QUEIROZ, F. L. L. & ROCHA, P. C. Avaliação de sedimentos do leito no canal curutuba / planície fluvial do alto rio Paraná, Mato Grosso do Sul – Brasil. Revista Eletrônica da Associação dos Geógrafos Brasileiros – Seção Três Lagoas/MS – nº 11 – Ano 7, 2010.
- PETTS, G.E. & FOSTER, I., Rivers and Landscape. The Athenaeum Press. 2. Ed., New Castle. Great Britain. 1990.
- ROCHA, P.C.; FERNANDEZ, O.V.Q.; SOUZA FILHO, E.E. Influência de Grandes Barragens Sobre o Regime Hidrológico do Rio Paraná em Guaíra-PR. An. 5º Cong. Bras. de Geógrafos, Curitiba-PR. boletim de resumos. 1994.
- ROCHA, P.C. & SOUZA FILHO, E.E., 1996. Erosão Marginal em Canais Associados ao Rio Paraná, na Região de Porto Rico-PR. Boletim Paranaense de Geociências, n. 44. ed. UFPR. Curitiba-PR.
- ROCHA, P.C. 2002. Dinâmica dos canais no sistema rio-planície fluvial do alto rio Paraná, nas proximidades de Porto Rico-PR. Tese de Doutorado – UEM/PEA. Maringá-PR.

ROCHA, P.C. & SOUZA FILHO, E.E., 2005. Interações dinâmicas entre os materiais do leito de um canal secundário com o canal principal no trecho multicanal do alto rio Paraná, Brasil.

Revista Brasileira de Geomorfologia, ano 6 n. 1. 19-32 pp.

SUGUIO, K. Introdução à sedimentologia. São Paulo-SP: Edgard Blücher. 1973