

Geometria hidráulica e transporte de sedimentos em canais do sistema fluvial do alto rio Paraná, centro-sul do Brasil

Paulo Cesar Rocha*

Resumo

Este estudo tem como objetivos a análise do relacionamento entre variáveis de geometria hidráulica e a distribuição granulométrica no leito em dez seções transversais de canais num trecho do sistema fluvial do Alto Rio Paraná. A área de estudo constitui um sistema fluvial onde se desenvolveu anteriormente uma extensa planície fluvial, agora cortada por canais afluentes do rio Paraná. Foram feitas medidas da geometria hidráulica nas seções de amostragem e efetuadas amostragens de sedimentos no talvegue das seções durante um ciclo hidrodinâmico anual e levados à análise granulométrica em laboratório e em seguida análise estatística convencional. Os resultados permitiram identificar a predominância de areias médias e areias finas no leito dos canais. A dinâmica de transporte de sedimentos nos canais apresenta trapeamento do leito por areias finas durante fluxos mais baixos e remoção sob condições mais eficientes, controlada principalmente pelas variações do raio hidráulico.

Palavras-chave: Transporte de sedimentos; Análise granulométrica; Geometria hidráulica; Alto do rio Paraná.

* Professor do Departamento de Geografia - FCT/UNESP – Presidente Prudente-SP (procha@fct.unesp.br).

Hydraulic geometry and sediment transport in channels of upper Paraná river fluvial system, south center of Brazil

Abstract

This study aims to analyze the relationship between variables of hydraulic geometry and particle size distribution in the bed of ten channel cross sections along a stretch of the Upper Paraná River system. The study area represents a river system where previously has developed an extensive fluvial plain, now intersected by tributaries of the Paraná River. Hydraulic geometry measurements were made in sections and the sediment sampling was performed in the thalweg over a year. The granulometric analysis was made in laboratory through the conventional statistical analysis. The results showed the predominance of medium and fine sand in the bed of the river channels. Dynamics of sediment transport in channels presents bed trapping by fine sands during lower flows and removal under more efficient flow conditions, controlled mainly by hydraulic radius variations.

Key words: Sediment transport; Grain size analysis; Hydraulic geometry; Upper Paraná river.

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 mantém 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 (BRANDT, 2000).

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 (LEOPOLD et al., 1964; CHRISTOFOLETTI, 1981).

A geometria hidráulica se refere às características geométricas que compõem os canais fluviais. Essas características são determinadas por meio de relações estabelecidas entre o perfil transversal de uma seção fluvial e as condicionantes do fluxo d'água. A forma do canal na seção transversal é uma função do ajustamento geométrico à vazão do rio (LEOPOLD e MADDOCK, 1953).

Como a tensão de cisalhamento, a potência do escoamento (stream power) é uma variável útil para prever o limite crítico de erosão e migração do canal, o transporte de sedimentos, a deposição de sedimentos e a forma do leito, e é em grande parte estes que determinam a geomorfologia do canal e planície de inundação (HICKIN e NANSON, 1984; NANSON e HICKIN, 1986; BAGNOLD, 1966; 1977; SIMONS et al., 1965 *em* NANSON & CROKE, 1992). E a potência do canal é determinada

pela combinação de variáveis de geometria da seção e das características do fluxo, ou seja, nos valores de largura, profundidade, velocidade, declividade, viscosidade cinemática da água e peso específico.

Os materiais do leito e margem são importantes para determinar a profundidade e largura do canal. A erodibilidade relativa do leito e margens irá determinar se a erosão será mais vertical ou horizontal e, principalmente, o tamanho dos grãos do material transportado em conjunto com as condições hidráulicas irá determinar se a deposição ocorra no leito ou nas margens (BRANDT, 2000).

Este trabalho tem como objetivos a análise do relacionamento entre variáveis de geometria hidráulica com a distribuição granulométrica no leito em canais secundários da planície 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”.

Área 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, que consiste do rio Paraná, da sua planície fluvial, e de canais que recortam a planície como os rios Baía, baixo rio Ivinheima e canal Corutuba/Araçatuba, além de inúmeras lagoas perenes e temporárias (figura 1).

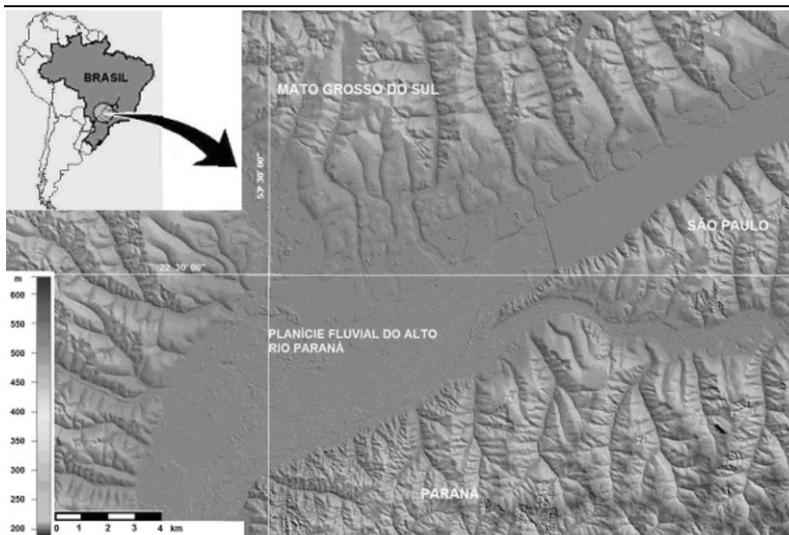


Figura 1: Localização do trecho da planície fluvial do alto rio Paraná, na região dos estudos.

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 trasbordadas, provenientes do rio. Possui configuração topográfica específica, com formas de relevo e depósitos sedimentares relacionados com as águas fluviais, na fase fluvial e na fase de trasbordamento.

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, 2010). 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.

Material e métodos

Foram realizadas seis amostragens de campo durante um ciclo hidrodinâmico completo (um ano hidrológico) 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 apresentaram estabilidade de margens durante o período monitorado.

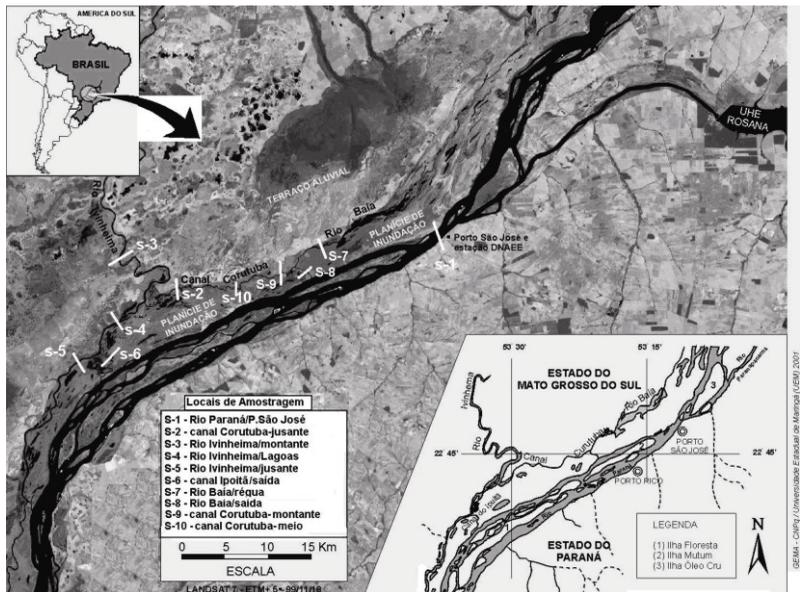


Figura 2: Localização das seções de amostragem na planície fluvial do alto rio Paraná.

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-Veenn, 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.

O material de um quarto da amostra passou por análise granulométrica por peneiramento a seco, com auxílio de um jogo de peneiras adequados à escala Wentworth e agitador. Utilizou-se em geral uma alíquota de 150 gramas da amostra a seco. As alíquotas das amostras foram levadas a peneiramento num agitador mecânico por 10 minutos. As amostras dos sedimentos de fundo foram classificadas de acordo com a escala Wentworth (tabela 1). 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.

Para a avaliação das variáveis de geometria hidráulica das seções transversais, foram efetuadas medições diretas no campo após cada coleta de sedimentos durante o período de amostragem. As velocidades de fluxo foram obtidas a partir de medidas no canal, com auxílio do aparelho “fluviômetro”, as amostras foram realizadas nos meses de setembro (2007) a novembro (2008), tomando uma sucessão de estágios de águas baixas e águas altas. As profundidades foram tomadas ao longo da seção, com auxílio de régua rígida metálica graduada.

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

Diâmetro da Peneira (mm)	Granulação do Material
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

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 a área da seção e V a velocidade média do fluxo. O raio hidráulico (A/P) é obtido a partir da relação entre a área molhada (A) e o perímetro úmido do canal (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, baseada em medidas topo-batimétricas do leito e linha d'água.

Resultados e discussão

Frequência granulométrica nas seções

A interpretação das curvas de frequência nas seções amostradas (figura 3) indica predominância de materiais em transporte para as condições de fluxo do período amostrado entre as areias médias (AM) e areias finas (AF), corroborando trabalhos anteriores nesta região (ROCHA & SOUZA FILHO, 2005), a exceção das seções 9 e 10, que apresentaram presença de elementos mais finos (areia muito fina - AMF). Nesses ambientes, podem ter ocorrido episódios com maior aporte de sedimentos finos, possivelmente 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 pelo pegador de mandíbula, compõem o substrato conglomerático do sistema fluvial, por sobre o qual ocorre 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 a composição aluvial do leito, exceto para os canais do sistema Baía/Corutuba, de muito baixa energia e cujo substrato geralmente não apresenta materiais arenosos em mobilização, conforme observações em campo. Santos et al (1992) estudando a dinâmica de barras de canal no rio Paraná mencionam mecanismos de mobilização de predominância entre as areias grossas a areias muito finas.

As variações de inflexão das curvas demonstram ainda variações de tendência a deposição ora de remoção ao longo do tempo, perante as variações no fluxo, indicando que estes calibres fazem parte da carga material do leito em movimentação.

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.

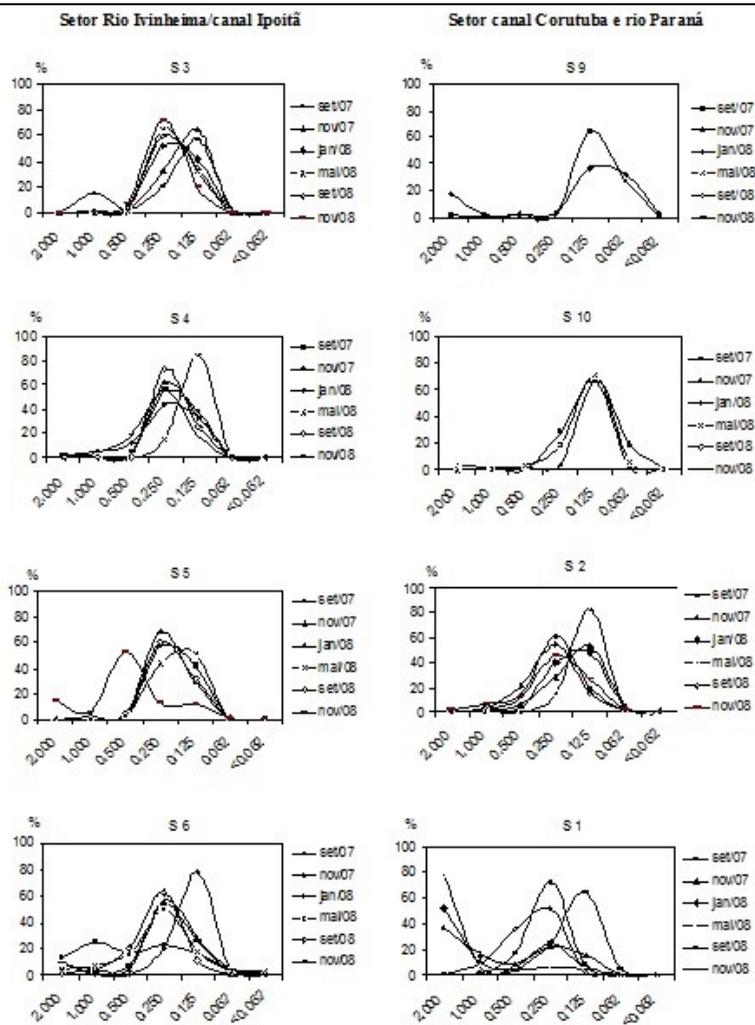


Figura 3: Curvas de frequência granulométrica nas seções amostradas.

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, conforme apresentado por Petts & Foster (1990).

Variáveis de geometria hidráulica e calibre dos sedimentos

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 4). Por outro lado, no sistema Baía/Corutuba/Ipoitã, o comportamento dos índices b e f (relação da vazão com a Largura e profundidade respectivamente) indicam que o fluxo independe de suas variações, 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, a vazão só aumentará se o sistema puder desaguar no rio Paraná ou Ivinheima, então com o aumento das velocidades. Desse modo, o aumento do débito só será possível se houver aumento das velocidades de fluxo. Isso se deve ao efeito de represamento temporário do sistema pelas águas do rio Ivinheima e/ou Paraná (tabela 2).

Tabela 2: Variação dos índices *b*, *f* e *m* nos 3 sistemas estudados

<i>Ambientes</i> \Índices	Índice <i>b</i> (largura)	Índice <i>f</i> (profundidade)	Índice <i>m</i> (velocidade)
Rio Paraná	-0,0120	0,5296	0,4704
Sistema Ivinheima	-0,0245	0,3903	0,6513
Baía/Corutuba/Ipoitã	-0,1836	0,0476	1,1360

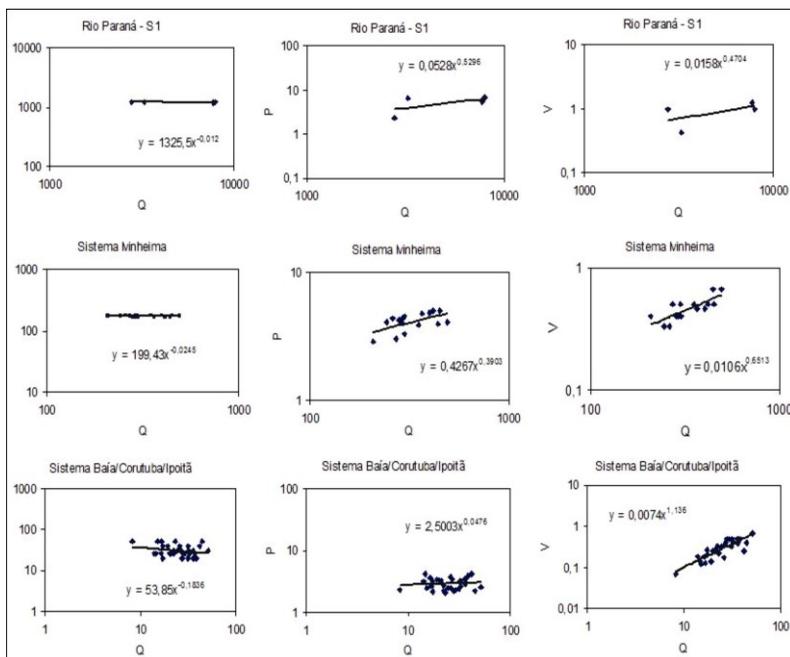


Figura 4: Gráfico apresentando os índices *b*, *f* e *m* nos sistemas rio Paraná (análise sazonal), rio Ivinheima e Baía/Corutuba/Ipoitã. L, largura, P, profundidade, V, velocidade, Q, vazão.

Desse modo, canais do 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 nos canais do rio Baía, canal Corutuba e canal Ipoitã tem o transporte de partículas controlado pela velocidade de fluxo, que por sua vez fica dependente da declividade da linha d'água estar no sentido de sua foz. 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, acarretando depósitos dos materiais hidrotransportados naquele momento.

Esta condição de “afogamento” foi abordada anteriormente por ROCHA (2002), e 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 e tais situações são encontradas nos sistemas de ligação *canal Ipoitã → rio Paraná, foz do rio Baía → rio Paraná e canal Corutuba → rio Ivinheima*. É possível ainda que haja aumento da vazão pelo aumento da profundidade sem necessariamente haver aumento na velocidade do fluxo.

Apesar de que a largura das seções não apresentou efetiva variação (figura 4) devido à estabilidade dos canais durante o período de amostragem, cabe a observação dos relacionamentos entre as variáveis da geometria hidráulica e a frequência dos principais calibres de sedimentos observados nas amostragens, como representadas no gráfico da figura 5, tabela 3.

Pode-se verificar que as areias grossas têm relacionamento direto com as velocidades. As areias médias também apresentam esse relacionamento para com os débitos e raio hidráulico. 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 de leito móveis apresentam trapeamento normalmente com granodecrescência para o topo (LEOPOLD et al, 1964; SUGUIO, 1973; PETTS & FOSTER, 1990), 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.

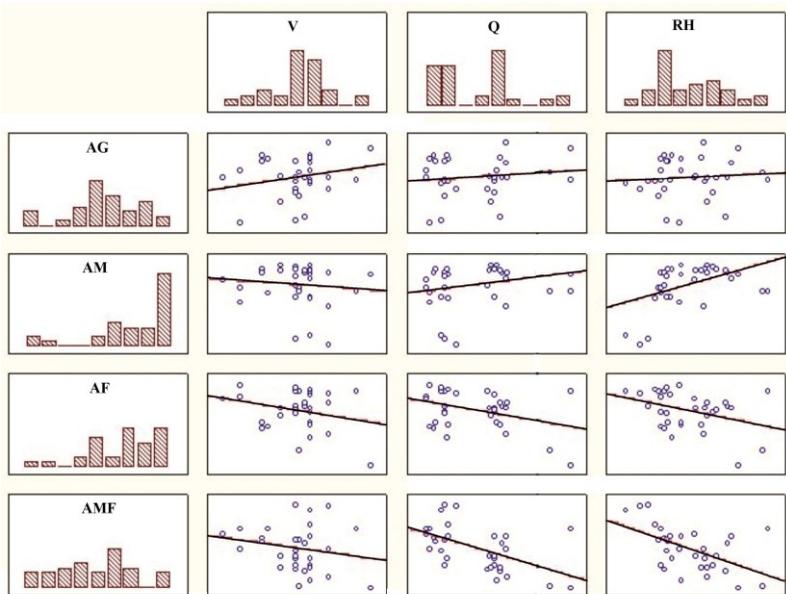


Figura 5: Gráficos de correlacionamento entre a concentração (%) das areias dominantes no leito e os valores das variáveis do fluxo. (V, velocidade, Q, vazão, RH, raio hidráulico; AG, areia grossa; AM, areia média; AF, areia fina; AMF, areia muito fina).

Tabela 3: Correlação entre variáveis hidráulicas e calibre dos sedimentos ($p < 0,05000$).

	<i>V</i>	<i>Q</i>	<i>RH</i>
AG	0,23	0,14	0,08
AM	-0,10	0,24	0,46
AF	-0,25	-0,37	-0,37
AMF	-0,20	-0,54	-0,54

Contudo é necessário ainda levar em consideração a intensidade do aporte dos materiais. As areias finas (AF) apresentam também grande sensibilidade ao fluxo e são facilmente mobilizadas pelas correntes nos sistemas avaliados. Assim, é possível que a taxa de entrada desses materiais seja pequena em relação à capacidade 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). É possível que a chegada de areias finas e muito finas esteja condicionadas a eventos hidrodinâmicos de maior magnitude, com trapeamento de uma camada maior sobre as areias médias.

Relacionamento espaço-temporal

No intuito de se estabelecer relacionamentos entre as seções de amostragem diante das suas características hidráulicas e sedimentológicas, a análise de agrupamento 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 6A), sendo que as variáveis de geometria hidráulica são as mais importantes na separação dos grupos (figura 6B).

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. Os teores de areias médias parecem também separar os dois grupos, sendo que as seções do sistema rio Ivinheima apresentaram maior presença de areias médias no leito do que nas seções do sistema rio Baía-Corutuba, como também apresentam os gráficos da figura 3.

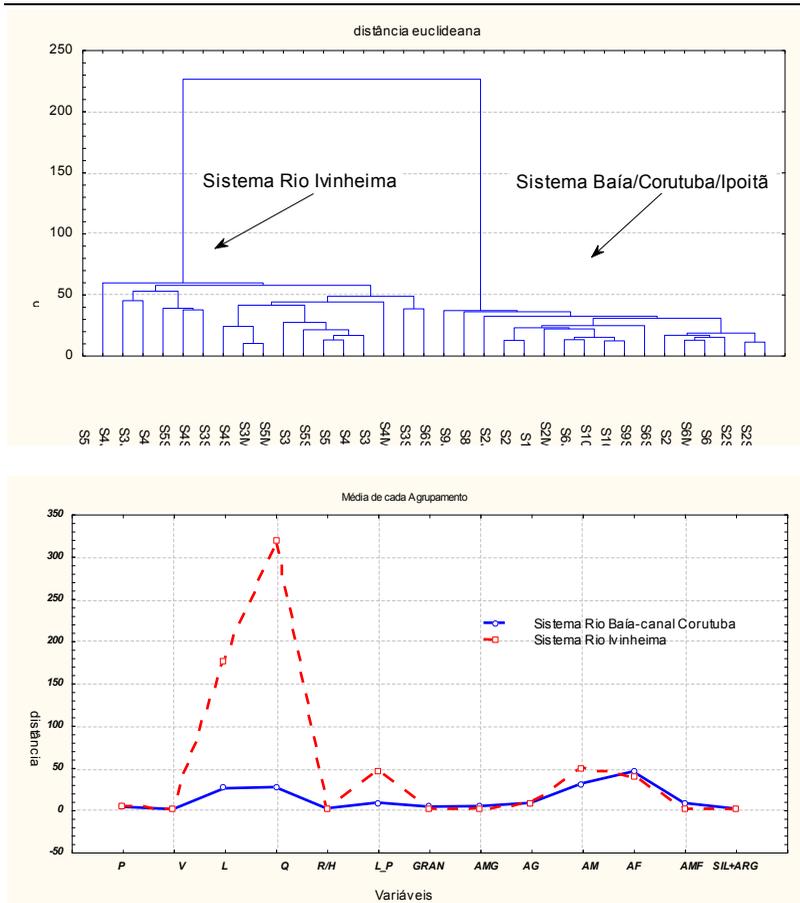


Figura 6: Análise de agrupamento entre as seções de estudos. A) Média de ligação dos agrupamentos. B) Variáveis de geometria hidráulica analisadas. Nesta análise não foi inserida a seção 1 (rio Paraná).

Conclusões

Foi possível identificar a predominância de areias médias e areias finas no leito dos canais do sistema fluvial da planície do rio Paraná conforme observações de pesquisas anteriores.

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

A análise das variáveis de geometria hidráulica, em especial os índices *b*, *f* e *m* corroboram com o conceito 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).

A presença e movimentação das partículas do leito apresentaram melhor correlacionamento com o raio hidráulico do que com as velocidades de fluxo, apesar de sua importância na locomoção das partículas.

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

Agradecimentos

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

Referências bibliográficas

BRANDT, S.A., Classification of geomorphological effects downstream of dams. **Catena**, 40 375–401 p, 2000.

CHRISTOFOLETTI, A., **Geomorfologia**. São Paulo-SP, ed. Edgard Blücher. 1980.

ROCHA, P.C. Geometria hidráulica e transporte de sedimentos em canais ...

CHRISTOFOLETTI, A., **Geomorfologia Fluvial**. São Paulo-SP, ed. Edgard Blücher. 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.; MADDOCK, T. The hydraulic geometry of stream channels and some physiographic implications. **United States Geological Survey**, Prof. Paper. 252, 56p, 1953.

LEOPOLD, L.B., WOLMAN, M.G. & MILLER, J.P. **Fluvial processes in geomorphology**. Freedman, San Francisco, 319 p., 1964.

NANSON, G.C. AND CROKE, J.C., A genetic classification of floodplains. In: G.R. Brakenridge and J. Hagedorn (Editors), Floodplain Evolution. **Geomorphology**, 4- 459-486. *Geomorphology*, 4. 459-486. 1992.

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 AGB – 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., 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. 2002.

ROCHA, P.C., Indicadores de Alteração Hidrológica no Alto Rio Paraná: Intervenções Humanas e Implicações na Dinâmica do

ROCHA, P.C. Geometria hidráulica e transporte de sedimentos em canais ...
Ambiente Fluvial. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, 22 (1):
205-225, abr. 2010.

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., Erosão Marginal em
Canais Associados ao Rio Paraná, na Região de Porto Rico-PR.
Boletim Paranaense de Geociências, n. 44. ed. UFPR. Curitiba-
PR. 1996.

ROCHA, P.C. & SOUZA FILHO, E.E., 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. 2005.

SANTOS, M.L., FERNANDEZ, O.V.Q, STEVAUZ, J.C. Aspectos
morfogenéticos de barras de canal no rio Paraná, trecho de Porto
Rico-PR. **Boletim de Geografia - UEM**. Ano 10, n. 1 1992.

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

Recebido em outubro de 2014

Aceito em abril de 2016

