

Os processos geomórficos e o estado de equilíbrio fluvial no alto Rio Paraná, centro sul do Brasil

Paulo Cesar Rocha*

Resumo

O presente artigo avalia os atuais processos hidrodinâmicos, sedimentológicos e geomorfológicos dos canais do alto Rio Paraná e seus relacionamentos com sua evolução quaternária. Os dados relativos à história geomórfica quaternária e o regime fluvial corrente mostraram que o rio desenvolve no presente, um desequilíbrio hidro-geomorfológico. Apesar de sua configuração multicanal, o sistema fluvial desenvolve uma trajetória de readaptação às novas condições neotectônicas e hidrológicas atuais. Assim, não se encontra nenhuma classificação na literatura para o atual Rio Paraná.

Palavras-chave: Geomorfologia fluvial; Quaternário; Rio Paraná; Equilíbrio fluvial.

Geomorphic processes and the fluvial equilibrium stage of the high Parana River, south-center of Brazil

Abstract

This paper evaluated the current hydrodynamic, sedimentologic and geomorphologic processes of the high Parana River channels and its relationships with the quaternary fluvial evolution. The relative data of the quaternary geomorphic history and the current river regimen showed that the river is in a present

* Departamento de Geografia - UNESP/FCT (pcrocha@fct.unesp.br).

hydro-geomorphologic disequilibrium. Despite multi-channel configuration, the fluvial system develops an adaptive phase in correspondence with the new hydrologic and neotectonic conditions. However, there is not a classification system in the literature taking into account the current High Parana River.

Key words: Fluvial geomorphology; Quaternary; Parana River, Equilibrium.

Introdução

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, ou ainda naqueles de grandes dimensões de drenagem.

Segundo Petts & Foster (1990), os rios podem ser vistos como um sistema aberto, em termos de entrada (input) e saída (output) de matéria 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. A morfologia de um sistema fluvial reflete uma história denudacional.

A morfologia da área de estudos, inserida no Compartimento Rio Baía (SOUZA FILHO & STEVAUX, 1997-a), é caracterizada por uma larga planície aluvial na sua margem direita, e na calha principal grandes arquipélagos subdividindo o canal em braços com diferentes importâncias. Na planície fluvial, desenvolve-se um sistema de canais anastomosados reativados, onde estão presentes o rio Baía/canal Corutuba e o baixo rio Ivinheima (figura 1). A hipótese inicial é de que o Alto Rio Paraná neste trecho está em

desequilíbrio. Neste trabalho, foram então avaliados e discutidos parâmetros geomórficos de relevância na abordagem do equilíbrio fluvial, com o objetivo de se esclarecer questões a respeito de tal hipótese, e estimar uma projeção para a morfologia do rio em direção ao equilíbrio fluvial.

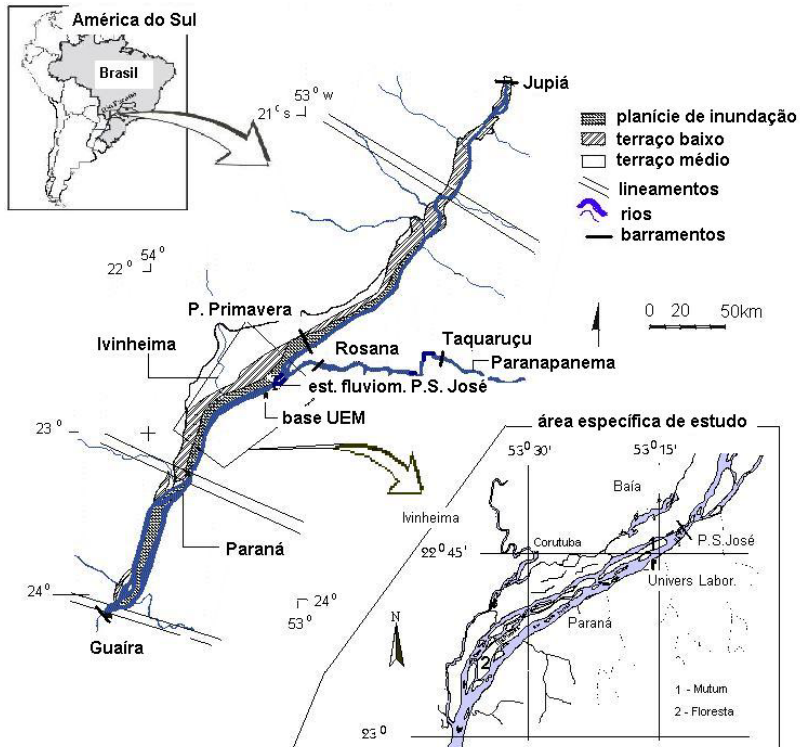


Figura 1: Localização da área de estudo (abaixo à direita a área específica dos estudos).

Evolução quaternária

As recentes pesquisas (SANTOS, 1997, SOUZA FILHO, 1993; SOUZA FILHO & STEVAUX, 1997-a; STEVAUX, 1993;

STEVAUX *et al.*, 1997; STEVAUX & SANTOS, 1998) evidenciam 2 estágios bem definidos de padrão de drenagem deste sistema nesta região durante o período Quaternário. Um primeiro estágio de padrão *entrelaçado* (braided), ocorrido sob influência de um clima árido ao longo do Pleistoceno Superior cujas feições reliquias são áreas fusiformes de grandes dimensões encontradas em alguns locais da planície fluvial (depósitos areno-seixosos). Depois, um estágio de padrão *anastomosado* (anastomosed), ocorrido sob clima úmido entre 8.000 e 3.500 A.P., cujas formas relictas são diques marginais, canais, leques de rompimento de dique e baixios (bacia de inundação), sendo que alguns destes paleocanais estão ativos no atual sistema (depósitos de areia fina/lama arenosa).

Após este período teria havido um rápido evento árido, entre 3.500 e 1.500 A.P., cujas formas reliquias mais expressivas são leques aluviais da drenagem intermitente de baixa ordem (1^a a 3^a) da margem direita do sistema. A partir do segundo evento úmido (figura 2), tais processos levaram a uma configuração particular do canal atual do Rio Paraná, de aspecto multicanal entrelaçado, de alta capacidade. O Rio Paraná ganha energia e passa a escavar os depósitos relictos dos sistemas anastomosado e entrelaçado que ocupam sua calha principal atual e reativa alguns paleocanais de baixa energia do sistema anastomosado deixado à sua margem direita.

No estágio atual de drenagem, iniciado 1.500 A.P. sob as características ambientais atuais (clima úmido), o Rio Paraná está levemente encaixado a uns 3 a 4 metros abaixo do nível médio da sua planície, e o estágio de margens plenas (considerando esta topografia) tem 5,6 anos de intervalo de recorrência (FERNANDEZ & SOUZA FILHO, 1995), exercendo pouca influência geomórfica sobre a planície fluvial da margem direita, quando comparado com sua calha atual.

O termo aqui usado como *planície fluvial* levou em consideração a sua gênese (PETTS, 1990; NANSON & CROKE, 1992), a despeito de que o atual sistema a utilize eventualmente

(eventos com recorrência de 5,6 anos) como planície de inundação. O atual Rio Paraná apenas flui sobre um modelado formado por diferentes ciclos geomórficos.

Ressalta-se que durante as mudanças climáticas, houveram episódios neotectônicos concomitantes, que em conjunto foram responsáveis por importantes eventos geomórficos de incisão de canal, migração e agradação do sistema. É possível também que durante as fases de degradação do sistema, a incisão deve ter exposto controles litológicos e estruturais. A influência dos knickpoints é bem observada no rio, geralmente com soleiras e / ou com pontos nodais (canal único) em alguns trechos, intercalando com trechos multicanaís. Contudo, este é um assunto que ainda merece ser discutido particularmente.

Hidrodinâmica, sedimentologia e processos erosivos e deposicionais

Do ponto de vista da hidrodinâmica atual neste trecho, o Rio Paraná apresenta o evento de cheia entre os meses de dezembro e março, com a vazante entre os meses de abril e novembro. Sua descarga média histórica está em torno de 9.500 m³/s e tem sido elevada desde o início da década de 70. Nos canais principais do Rio Paraná, as velocidades de fluxo estão em torno de 1,4 m/s e profundidade média de 13 m (talvegue principal – margem esquerda) e 0,9 m/s e profundidade média de 5 m (talvegue secundário – margem direita), porém ambos valores diminuem nos canais estreitos que cortam ilhas. Nos canais reativados do sistema anastomosado na planície fluvial (rio Baía, canal Corutuba e baixo rio Ivinheima), as profundidades giram em torno de 2 e 6 metros e as velocidades de fluxo de até 0,9 m/s. porém, dependendo da relação entre o nível da água no Rio Paraná e destes canais o sentido do fluxo pode ser invertido.

As barras são macroformas típicas no rio alto Paraná, apresentando centenas a milhares de metros de comprimento, que emergem durante os períodos de baixo fluxo e níveis hidrométricos médios; as mega-ondas e dunas são comuns (figura 2). Elas

apresentam uma complexa história erosivo-deposicional e são formadas pela superimposição de menores formas de leito, limitadas por corpos de segunda e terceira ordem (SANTOS & STEVAUX, 2000), de acordo com a hidrodinâmica local, e têm alta mobilidade (SOUZA FILHO & STEVAUX, 1997-b). Nos canais secundários do sistema multicanal, na calha atual do Rio Paraná, como o canal Cortado, as formas de leito são originadas por outras formas de leito maiores em migração para jusante nos canais principais. Estes depósitos têm predominância de areias finas a médias e representam a carga de fundo atual do rio neste trecho.

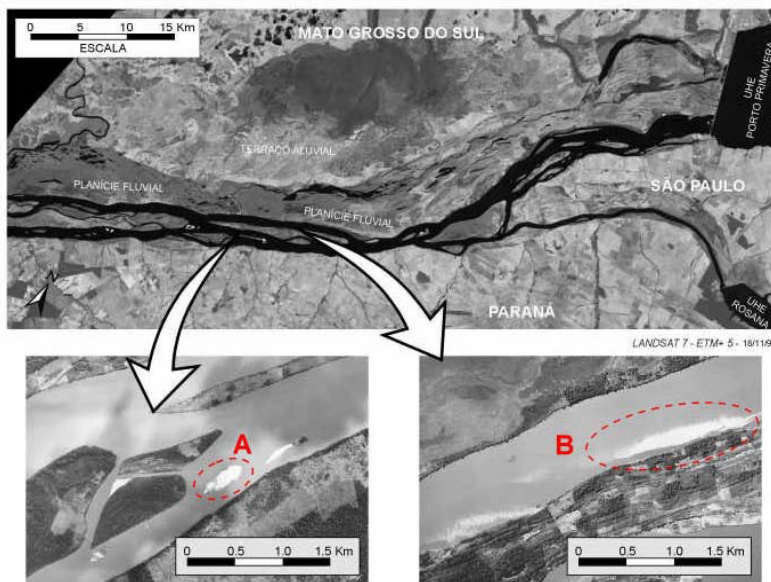


Figura 2: Recorte de Imagem Landsat do trecho multicanal do sistema de inundação do Alto Rio Paraná (ao alto). Em recorte (abaixo), os principais sub-tipos das barras transversais: barras centrais (A) e as barras laterais (B), obtidos a partir de fotografia aérea em escala original 1:25.000 (1970).

Sítios erosivos e deposicionais são ativos nos canais principais e são controlados pela direção do talvegue e as formas de leito migram durante o ciclo hidrodinâmico e são por sua vez controlados pela intensidade da cheia. Além disso, em pequenos trechos do rio os canais podem exibir características hidrodinâmicas próprias. Isso faz com que hajam diferenças relevantes entre trechos do rio, no que diz respeito à sua morfologia e formas de leito, assim como nos processos erosivos e deposicionais.

O perfil longitudinal do rio

A literatura cita modelos exponenciais e logarítmicos para a relação entre a elevação e a extensão do perfil do rio. A mais familiar maneira de expressar tal relação seria que a elevação varia conforme o logaritmo da distância (extensão) (LEOPOLD et al., 1964). Testando-se tal afirmação para o perfil longitudinal do Alto Rio Paraná, observou-se um melhor ajuste do rio no trecho de montante. No trecho de jusante parece haver pouco ajuste à condição de equilíbrio no perfil do rio.

A figura 4 mostra um trecho do perfil longitudinal do Rio Paraná, baseado no logaritmo da distância, desde a confluência dos rios Grande e Paranaíba, 44 km a montante de Ilha Solteira (Alto Rio Paraná), até Porto Mendes, já no Médio Rio Paraná, 60 km a jusante das Sete Quedas de Guaíra, o principal nível de base estrutural que limita a jusante o Alto Rio Paraná. Nesse trecho, observa-se um perfil levemente irregular, com alguns ressaltos do leito (soleira) refletindo no rio um parcial controle litológico/estrutural. Na parte de montante, observa-se uma superfície côncava até a primeira soleira (Porto Primavera), indicando um estágio evolutivo de rio equilibrado. Para jusante, uma nova soleira (ilha Maracá) e logo em seguida a soleira do nível de base regional (Sete Quedas, em Guaíra-PR). Neste trecho é observado um estágio menos avançado de ajuste do rio, onde um sistema multicanaís se desenvolve intercalado por pontos nodais, constituindo a área núcleo deste trabalho.

A despeito das considerações teóricas sobre a forma da equação de ajuste entre a distância e a elevação, e de que apesar da ampla discussão na literatura, o perfil de equilíbrio dos rios está longe de apresentar uma equação universal, cabe aqui apenas uma comparação com relação à concavidade do perfil para os dois trechos definidos. Assim, o trecho de montante, apresenta um perfil mais ajustado, ou mais evoluído, do ponto de vista do equilíbrio, de que o trecho a jusante. Sendo assim, é possível que dentro deste nível de base, a parte de montante evoluiu mais rapidamente que a parte de jusante, como resposta, possivelmente, a fatores estruturais e tectônicos diferenciados. Porém tais fatos ainda devem ser testados. Contudo, no trecho de jusante as soleiras afetam grandemente no processo de ajuste do rio.

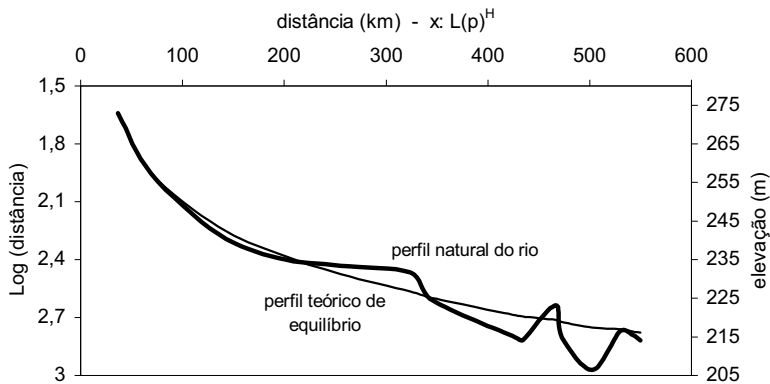


Figura 4: Perfil longitudinal do Alto Rio Paraná (substrato) e curvas de equilíbrio aproximadas. Curva de equilíbrio baseada na relação das distâncias pelo seu respectivo valor logarítmo (conforme Leopold et al., 1964). x : distância horizontal do trecho; L : comprimento total; p : $L/(1+L)$; H : é a altura acima do ponto onde $x=L$.

Com relação ao importante papel do regime hidrológico sobre os aspectos morfogenéticos do rio nesse trecho, observa-se

que nem todas as cheias causam inundações (FERNANDEZ & SOUZA FILHO, 1995). O fato de o rio estar ligeiramente encaixado permite que a superfície da planície fluvial e das ilhas se coloque entre 3 a 4 metros acima do nível médio do rio. Frequentemente a superfície do vale (canal e planície) é empregada como referência para definir o nível de margens plenas natural. Na estação fluviométrica de Porto São José-PR (aprox. 140 km a montante da estação de Guaíra-PR) essa descarga é de 22.220 m³/s (cota de 7,0 m na régua linimétrica da estação de Porto São José-PR) e possui intervalo de recorrência de 5,6 anos.

Esta alta capacidade do canal sugere a atuação de uma série de condições sedimentológicas, hidrológicas e tectônicas na modificação de processos que envolvem a evolução da planície aluvial e o equilíbrio entre os processos de acreção vertical e lateral (PICKUP & WARNER, 1976 em FERNANDEZ & SOUZA FILHO, 1995), e suas interações com a evolução do sistema biológico de várzea na planície e no canal tornam-se particulares. Tal variedade espacial e topográfica na planície de inundação e o encaixe atual do Rio Paraná permitem que, para um mesmo evento de descarga (ou nível da água), hajam diferentes parcelas inundadas, como sugerido por Rocha et al. (1995) e Rocha (1998).

A morfologia do sistema na calha principal e na planície fluvial

A interpretação dos processos e das feições no sistema fluvial pode também ser muito útil no entendimento do estado de equilíbrio de um rio. Com relação aos padrões de canal, uma extensa discussão paira sobre a morfologia atual do Rio Paraná e a concepção de padrões de canal existente na literatura, considerando que se trata de um grande rio tropical. Diversos pesquisadores tem concordado em atribuir às formas pré-atuais a origem em um padrão anastomosado, que fora parcialmente reativado pela drenagem atual (SOUZA FILHO, 1994; STEVAUX et al., 1997; SANTOS et al., 2001).

A presença de ilhas vegetadas e canais secundários estreitos de menor competência cortando as ilhas, com diques marginais típicos dá semelhança a modelos de rios anastomosados, que predominam na planície fluvial, com canais parcialmente reativados.

A ocorrência de fácies de areias fina a média, estratificada e com teores variáveis de matéria orgânica (Sp, St, Sr e So), associadas a fácies siltosas e argilosas (Fm e Fi) se dá tanto na planície fluvial como nas ilhas da calha atual. Datações em depósitos orgânicos mais antigos deste sistema dão idades em torno de 4.500 anos AP. Associação de fácies de canal com fácies de planície e a sucessão de fácies de abandono em paleocanais no topo do pacote sedimentar sugere que o topo do pacote sedimentar foi elaborado por um sistema anastomosado a partir do Holoceno, mas que perdurou até recentemente (SANTOS et al., 2001).

O padrão *anastomosado* se refere a rios com múltiplos canais sinuosos, porém estáveis, com margens coesas, separados por grandes ilhas vegetadas. Segundo Schumm (1968), os canais anastomosados se caracterizam pela alta estabilidade das margens, alta sinuosidade, margens coesivas, canais múltiplos separados por ilhas largas, estáveis e vegetadas. Este modelo, no conceito de Miall (1985), é representado por barras arenosas relativas aos canais e depósitos de trasbordamento com raras barras laterais e mais freqüentes depósitos de rompimento de diques.

Já para o sistema da calha atual, a forma em planta sugere um padrão entrelaçado, no entanto algumas formas que exibem este mosaico são herdadas de processos e produtos de um ou mais padrões relictos. Rios *entrelaçados* apresentam dois ou mais canais com barras entre os canais, instáveis, e alta relação largura/profundidade, alta declividade e, geralmente baixa sinuosidade (MIALL, 1977) (tabela 1). A figura 5 mostra os 4 tipos principais de padrão de canal. Contudo, há evidências de que o Rio Paraná tem um caráter destrutivo, quando comparando-se os demais padrões aluviais com a sua dinâmica erosiva e deposicional.

Diferentes padrões de canal são parte de um *continuum*, determinado pelas condições de energia em relação com a construção local da forma do canal. Schumm & Khan, (1972) em estudos de laboratório, perceberam que o contínuum da forma do canal foi caracterizado pela relativamente forte transição, marcada por um limiar no relacionamento carga sedimentar/declividade.

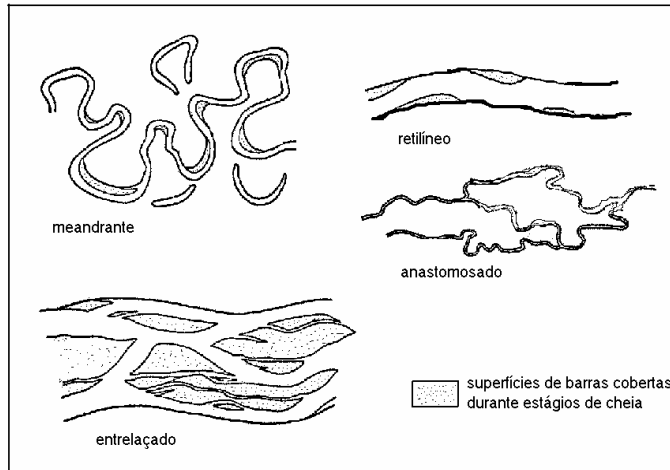


Figura 5: Padrões de canal - forma em planta. (conforme MIALL, 1977).

Tal relacionamento mostra que rios entrelaçados tendem a ocorrer mais onde existam maiores descargas de margens plenas e/ou declividades no canal e/ou carga sedimentar do que rios meandrantos, e que canais retilíneos poderão meandrar a partir de um certo limiar de declividade para uma determinada descarga.

Utilizando-se o relacionamento de tais variáveis, percebe-se que o atual Rio Paraná tem semelhanças com um rio entrelaçado e meandrante, a despeito de que tais subjeções da literatura sejam na maioria oriundas de pequenos canais e de experimentos em laboratório.

Tabela 1: Classificação dos tipos de canais fluviais e suas principais características.

<i>Tipo</i>	<i>Morfologia</i>	<i>Sinuosidade</i>	<i>Tipo de carga</i>	<i>Carga de fundo (%)</i>	<i>L/P</i>	<i>Padrão erosivo</i>	<i>Padrão deposicional</i>
<i>Meandrante</i>	Canal único	> 1,3	Suspensa ou mista	< 11	<40	Incisão no canal; migração lateral	Formação de barras em pontal
<i>Entrelaçado</i>	Dois ou mais, com barras e peq. ilhas	< 1,3	Carga de fundo	> 11	>40	Migração lateral	Agradação do canal; formação de barras
<i>Retilíneo</i>	Canal único com <i>riffles</i> e <i>pools</i> ; talvegue meandrante	< 1,5	Suspensa mista ou de fundo	< 11	<40	Menor migração do canal e incisão	Formação de barras laterais de canal
<i>Anastomosado</i>	Dois ou mais canais, com ilhas largas e estáveis	> 2,0	Carga suspensa	< 3	<10	Lenta migração de meandros	Lenta acreção das margens
<i>Rio Paraná</i>	Canal múltiplo com ilhas vegetadas e barras	1,14	Mista ??	10 ?!	> 100 para a calha atual	Incisão do canal, erosão (ilhas e margens) deposição	Barras de canal, lateral e de soldamento

Fonte: Baseado em MIALL (1977).

A gênese da planície de inundação

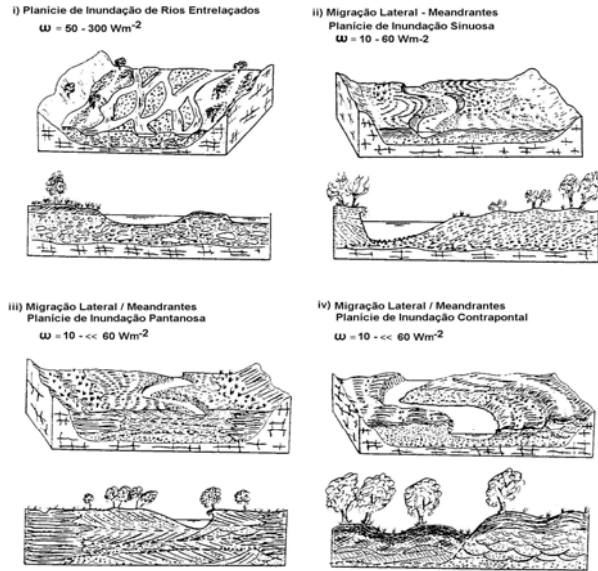
A migração lateral do canal do rio envolve a erosão de depósitos existentes e a deposição de novos materiais, levando à manutenção das características da planície de inundação adjacente ao canal de acordo com as propriedades hidro-sedimentológicas do rio.

A planície de inundação é composta de segmentos de diferentes idades, as quais refletem o padrão de avulsão e migração do canal histórica e recente. Também não é tão plana e nem uniforme em composição; a superfície da planície de inundação tem uma associação com os canais, ligando o rio principal com lagos de canais abandonados (oxbow lakes), alagados semi-permanentes (brejos) e outras depressões.

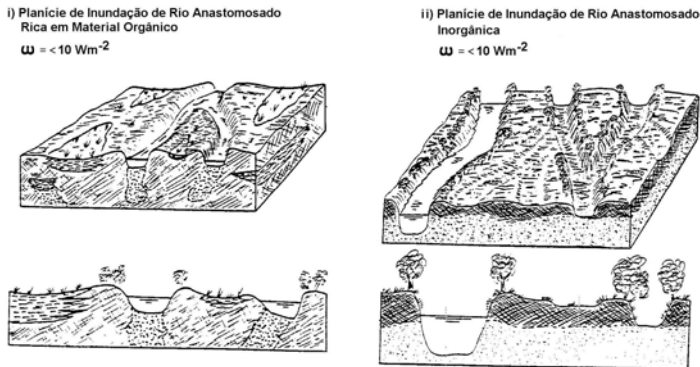
A planície de inundação surge, pois, composta por variados depósitos de canal e de transbordamento, e nem todos podem ser identificados em muitas planícies de inundação. Em primeira instância, a morfologia da planície de inundação pode depender dos depósitos de canal (barras), mas subsequente, a sedimentação superficial confinando o canal pode ser de considerável significância (BRIDGE & JARVIS, 1976 em PETTS & FOSTER, 1990).

Nesta região, a planície de inundação do rio atual (aqui já referenciada como planície fluvial) não está geneticamente ligada ao sistema atual, se constituindo em uma planície herdada de um ou mais sistemas anteriores, a qual se comporta como planície de inundação apenas em eventos de recorrência bem superior a 1,58 anos (entre 1 a 3 anos) de recorrência. Ela se encaixa no conceito de planície em desequilíbrio passivo persistente, conforme Fergusson (1981, em NANSOSN & CROKE, 1992).

Com base nos parâmetros de energia total e energia específica, foi feita a tentativa de classificação do sistema atual do Alto Rio Paraná de acordo com a terminologia proposta por Nanson & Croke (1992), com base no *calibre médio dos sedimentos*, relativos às formas atuais (depósitos), e na *energia específica* do canal (figura 6).



modelo B



modelo C

Figura 6: Modelos esquemáticos de *planícies de inundação*. Modelos: B) não-coesivas de média energia; C) coesivas de baixa energia. (conforme NANSON & CROKE, 1992).

Avaliando-se o perfil do rio no sistema multicanal, a presença da planície fluvial, o regime hidrológico, a relação largura/profundidade, sinuosidade, declividade, diâmetro médio das partículas e formas de leito em transporte apresentadas anteriormente, observam-se semelhanças ao padrão entrelaçado. É possível que a fase atual do rio se enquadre numa das sub-ordens da classe B, numa provável trajetória de crescimento de energia, a partir de um sistema de baixa energia (anastomosado - figura 6, modelo C), rumo a um ajuste de equilíbrio do sistema que pode ser encontrado sob condições de um sistema entrelaçado (média energia - figura 6, modeloB), culminando com a erosão completa das ilhas da calha e total abandono da planície fluvial relictada do sistema anastomosado anterior.

A tabela 2 mostra os parâmetros de energia utilizados e os valores obtidos para os canais que compõem o sistema estudado. De fato, conforme os resultados, a energia específica obtida enquadra o Rio Paraná entre a classe B, considerando o perfil como um todo e também o trecho multicanal, de média energia (entre 10 e 300 W/m²). Os canais secundários (que são relictos do sistema anastomosado pré-atual) são todos enquadrados na classe C, conforme proposto pelos autores citados, onde predominam os sistemas anastomosados, e como de fato, cuja morfologia foi discutida anteriormente.

Tabela 2: Parâmetros de Energia nos Canais do Sistema.

Ambiente	$Q_{1.58}$ m ³ /s	S (x 10 ⁻⁵)	Ω W/m	ω W/m ²
Rio Paraná	12.300	11,16	13.728	12,48
Trecho multicanal	22.220	14,30	31.115	28,29
Rio Ivinheima	600	2,06	121	0,58
Baía/Corutuba	100	4,02	39	0,65
Canal Cortado	170	4,76	79	1,58

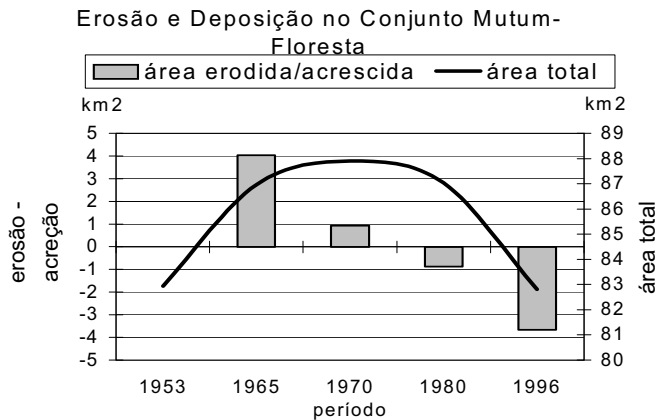
Obs: W: Watts; m: metros; s: segundos. (rio Paraná na região de P.S.José-PR); $\Omega = \gamma QS$; $\omega = \Omega/L$; γ : 9792,3812 kg/(m² s²); S: m/m; L: m; Q: m³/s.

É importante lembrar que existe grande variação nos débitos sazonais do rio neste trecho. Se for considerada para o débito de *margens plenas* como aquele que atinge na justa medida o topo dos diques marginais relictos (considerado neste trabalho como *margens plenas naturais*, figura 8), considerando-se o trecho entre Porto Primavera e Fazenda Caiuá (trecho multicanal), que é de 22.220 m³/s, ou 7,0 m na régua da estação de P.S.José, e a declividade média deste trecho (14,3 cm/km), os valores de energia total Ω de 31.115 W/m, e a energia específica sobe para ω : 28,29 W/m² (largura total do canal = 1.100 m). Isso leva à outra classificação para este trecho do rio, incluindo-o também na *classe B*, de média energia, onde estão inseridos os *sistemas meandranes e entrelaçados*, conforme Nanson & Croke (1992)

A trajetória recente no trecho multicanal do Rio Paraná

Em pequena escala de tempo, mudanças na morfologia do canal causam um ajuste de variáveis para a manutenção do equilíbrio entre as condições de fluxo e carga sedimentar, e mudam as características do regime de fluxo e/ou da carga sedimentar, com um ajustamento da morfologia do canal para o novo estado de equilíbrio (PETTS & FOSTER, 1990).

Nesta área, o nível médio do rio foi elevado (assim como os débitos) após a década de 1970, fato este relacionado com a ocupação das vertentes e regulação do fluxo pelas grandes barragens (ROCHA *et al.*, 1998; 2001). A deposição de parte da carga suspensa e de fundo nos reservatórios e uma grande elevação dos baixos fluxos nas últimas 5 décadas, acompanhada com aumento dos débitos médios anuais representam maior energia no sistema e maior poder destrutivo do rio. A partir destes fatos, após a década de 1970 uma nova fase geomórfica foi iniciada e as ilhas têm sido atacadas por processos erosivos mais intensos e vem apresentando redução na sua área (figura 7), intensificando o desajuste do rio neste trecho.



B

Figura 7: Variação na área do conjunto Mutum-Floresta (km²) (períodos de erosão lateral ou deposição): ilhas do sistema multicanal (B). (ROCHA et.al., 2001).

A jusante da UHE, estudos iniciais indicam incremento de processos erosivos de incisão do canal e nas margens, além da diminuição da carga em suspensão. Associada a tais modificações, ocorre um novo ajuste local na regulação do fluxo do rio pela operação do reservatório (SILVA, 2005) (figura 8). Tais mecanismos são entendidos em seu conjunto como uma aceleração dos processos destrutivos no sistema relicto descrito anteriormente.

Considerações finais: trajetória do rio e projeção morfológica

A influência de knicpoints, atuando em conjunto com as últimas mudanças climáticas ocorridas no Quaternário afetou e deve ainda afetar o ajuste entre variáveis como a carga do rio atual, as formas pretéritas no leito (ilhas) e planície (diques, canais e depósitos de inundação), os processos erosivos e deposicionais e a energia do fluxo (débitos e declividade).

Na calha principal, o sistema atual descreve uma trajetória erosiva, tanto lateral quanto de incisão de canal desde o início da fase atual. Tal situação tem sido intensificada nas últimas décadas devido ao aumento das descargas do rio e à menor carga sedimentar em transporte, devido à deposição nos reservatórios a montante.

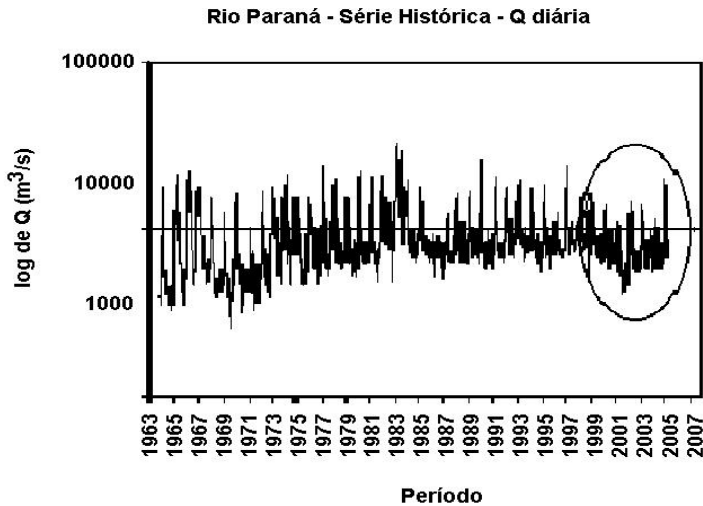


Figura 8: Dados diários no Rio Paraná. Em destaque o período de influência da UHE Porto Primavera e a fase de enchimento e operação da U.H.E. (SILVA, 2005).

Os processos na planície fluvial se resumem aos depósitos de acreção vertical nos diques marginais e de rompimento de diques (crevasse), efetuados pelo Rio Paraná, que são pontuais. Entretanto, estes eventos apenas ocorrem durante as cheias intensas ou com transbordamento, e estas últimas tem intervalo de recorrência de 5,6 anos. Os canais anastomosados reativados têm alta estabilidade marginal, e os processos se resumem ao transporte em suspensão. Isto indica uma baixa taxa de agradiação da planície.

Tais considerações sugerem que tal trajetória gradativamente leve ao abandono da planície fluvial da margem direita pelo Rio Paraná.

Em contra-partida, o caráter erosivo do rio tende a levar à destruição das ilhas na sua calha principal. Se consideradas as condições erosivas atuais, em pouco mais de mil anos o atual sistema entrelaçado poderia atingir seu equilíbrio, por meio da remoção completa dos conjuntos insulares, com a instalação de um sistema entrelaçado arenoso, com grandes barras de areia fina a média deslocando-se em uma calha mais ampla e rasa que a atual (Souza Filho et al., 2001) e como sugere a aplicação do modelo B de Nanson & Croke (1992).

No entanto, os grandes barramentos segurando a carga material do leito devem influenciar sobremaneira tal expectativa, já que a mobilização da carga de fundo em trânsito neste trecho e a indisponibilidade de mais materiais em trânsito devem dar ao rio uma dose extra de energia, para apressar a erosão dos depósitos relictos (ilhas e planície adjacente), e sem a chegada da carga arenosa de montante, continuar remobilizando os depósitos pelíticos adjacentes. Ao mesmo tempo, o aprofundamento do talvegue pode também mobilizar o material do substrato mais grosseiro (conglomerado), dando novas formas ao sistema, inclusive podendo ser um ajuste para um canal encaixado (erosivo).

Desse modo, pode-se confirmar a hipótese inicial. O Rio Paraná neste trecho atualmente está em desequilíbrio hidrogeomorfológico e, apesar da configuração multicanal, o sistema vem desenvolvendo uma fase adaptativa às novas condições hidrológicas e neotectônicas neste trecho, e o estágio de desequilíbrio impede uma classificação dentro dos padrões de canal conhecidos na literatura.

Agradecimentos

Ao CNPq/MCT/FINEP-CT-Hidro, pelo apoio financeiro, à UNESP e à UEM/NUPELIA e GEMA pela viabilização desta pesquisa.

Referências bibliográficas

FERNANDEZ, O.V.Q. & SOUZA FILHO, E.E.. Efeitos do regime hidrológico sobre a evolução de um conjunto de ilhas no Rio Paraná. **Bol. Paranaense de Geociências**, 43. Pp 161-171. 1995.

HARMS, J.C., SOUTHARD, J.B. & WALKER, R.G. **Structures and Sequences in clastic Rocks**. Lecture Notes for SEPM Short Course n. 9. Calgary. 1982.

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

MIALL, A.D. A Review of the Braided-River Depositional Environment. **Earth Science Reviews**, 13. 1-62 pp. 1977.

MIALL, A.D. Architectural Element Analysis: A New Method of Facies Analysis Applied to Fluvial Deposits. **Earth Science Reviews**, 22. 261-308. 1985.

NANSON, G.C. & CROKE, J.C. A genetic classification of floodplains. **Geomorphology**, 4, pp 459-486. 1992.

PETTS, G. Regulation of large rivers: problems and possibilities for environmental-sound river development in South America. **Interciencia**, 15 – 6, pp 388-395. 1990.

PETTS, G. & FOSTER, I. **Rivers and Landscape**. The Athenaeum Press, 3 ed., New Castle, Great Britain. 1990.

ROCHA, P.C. Considerações Sobre a Hidrodinâmica e a Estabilidade de Margens no Sistema Rio Baía/Canal Corutuba/Rio Ivinheima, na Planície Aluvial do Alto Rio Paraná, na Região de Porto Rico-PR. **Revista Geosul** 14 (27). Florianópolis-SC. 1998.

ROCHA, P. C. ; FERNANDEZ, O. V. Q. ; SOUZA FILHO, E. E. Abrangência de Enchentes Sobre a Planície Aluvial do Rio Paraná entre Porto Primavera-MS e Porto Camargo-PR. In: **IV simpósio de geologia do sudeste**, Águas de São Pedro-SP. boletim de resumos, 1995.

ROCHA, P.C. Os processos geomórficos e o estado de equilíbrio fluvial ...

ROCHA, P.C., SOUZA FILHO, E.E & FERNANDEZ, O.V.Q. Aspectos do controle de descargas efetuado por barramentos no alto Rio Paraná. **Boletim Paranaense de Geociências**, n. 46. Curitiba-Pr-Brasil, pp 117-122. 1998.

ROCHA, P.C., SANTOS, M.L. & SOUZA FILHO, E.E. Alterações no regime hidrológico do alto Rio Paraná como resposta ao controle de descargas efetuado por grandes barramentos a montante. **VIII Encuentro de Geógr. de América Latina**, Santiago-Chile, pp 28-39. 2001.

ROCHA, P. C., SOUZA FILHO, E. E.; COMUNELLO, Ê.; CORRÊA, G. T. Evolução Hidrodinâmica e Processos Erosivos Marginais nos Canais do Sistema de Inundação do Alto Rio Paraná, Região Centro-Sul do Brasil.. **Pesquisas em Geociências** (UFRGS), Porto Alegre-RS, v. 28, n. 2, p. 161-170, 2001.

SANTOS, M.L. Estratigrafia e Evolução do Sistema Siliciclástico do Rio Paraná no seu Curso Superior: Ênfase à Arquitetura dos Depósitos, Variação Longitudinal das Fácies e Processos Sedimentares. Porto Alegre-RS. **Tese de Doutorado**. Inédito. 1997.

SANTOS, M.L. & STEVAUX, J.C. Facies and architectural analysis of channel sandy macroforms in the upper Parana river. **Quaternary International**, 72, pp87-94. 2000.

SANTOS, M.L., ROCHA, P.C. & COMUNELLO, E. Sistema Fluvial do Rio Paraná (Brasil) em seu Curso Superior: Um Exemplo de Planície Aluvial em Desequilíbrio. **V REQUI/ I CQPLI, Lisboa, Portugal**. Jul/2001. 145 – 148 p. 2001.

SCHUMM, S. A. River Adjustment to Altered Hydrologic Regimen - Murrumbidgee River and Paleochannels, Australia. **U.S.Geol. Surv. Prof. Pap.**, 598: 65 pp. 1968.

SCHUMM, S. A. & KHAN, H.R., Experimental study of channel patterns. **Geological Society of America Bulletin**, 83. 1755-70 pp. 1972.

SILVA, J. L. **Considerações sobre o regime hidrológico do baixo rio Ivinheima**. Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação em Licenciatura Plena e Bacharelado Em Geografia) - Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, 30 p. 2005.

SOUZA FILHO, E.E. **Aspectos da Geologia e Estratigrafia dos Depósitos Sedimentares do Rio Paraná entre Porto Primavera (MS) e Guaíra (PR)**. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências/USP. São Paulo-SP. Inédito. 1993.

SOUZA FILHO, E.E., Feições do sistema anastomosado pré atual do Rio Paraná. **XXXVIII Congresso Brasileiro da ABEQUA**, Curitiba, Res. Exp. 265-269. 1994.

SOUZA FILHO, E.E. & STEVAUX, J.C. Geologia e Geomorfologia do Complexo Rio Baía, Curitiba, Ivinheima. In **Vazzoler, A.E.A.M., Agostinho, A .A ., Hahnn, N.S. (eds), A planície de inundação do alto Rio Paraná: Maringá-PR**, Eduem: NUPELIA, pp 03-46. 1997-a.

SOUZA FILHO, E.E. & STEVAUX, J.C. As barras fluviais da parte média do alto Rio Paraná. **VI Congresso brasileiro da ABEQUA**, Curitiba-PR, pp 265-269. 1997-b.

SOUZA FILHO, E.E., ROCHA, P.C., CORREA, G.T. & COMUNELLO, E., O Ajuste Fluvial e a Erosão das Margens do Rio Paraná em Porto Rico (Brasil). **V REQUI/ I CQPLI, Lisboa, Portugal**. Jul/2001. 37 – 40 p. 2001.

STEVAUX, J.C. **O Rio Paraná: Geomorfogênese, Sedimentação e Evolução Quaternária do seu Curso Superior (região de Porto Rico-PR)**. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências/ USP. São Paulo-SP. Inédito. 1993.

STEVAUX, J.C., SOUZA FILHO, E.E. & JABUR, I.C. A história quaternária do Rio Paraná em seu alto curso. In **Vazzoler, A.E.A.M., Agostinho, A.A., Hahnn, N.S. (eds), A planície de inundação do alto Rio Paraná: Maringá-PR**, Eduem: NUPELIA. Pp 47-72. 1997.

ROCHA, P.C. Os processos geomórficos e o estado de equilíbrio fluvial ...

STEVAUX, J.C. & SANTOS, M.L. Paleohydrological changes in the upper Parana river, Brazil, during the late Quaternary: A facies approach. **In: Benito, G., Baker, V.R. & Gregory, K.J. (eds). Paleohydrology and environmental changes.** London. Pp 273-285. 1998.

Recebido em junho de 2008

Aceito em maio de 2009