

SISTEMAS RIO-PLANÍCIE DE INUNDAÇÃO: GEOMORFOLOGIA E CONECTIVIDADE HIDRODINÂMICA

Renata Ribeiro de Araújo Rocha^{*}
Paulo Cesar Rocha^{2**}

Resumo

Este trabalho aborda uma discussão dos processos hidrodinâmicos atuantes nos sistemas rio-planície de inundação, visando a uma interpretação associativa entre as diversas feições geradas pelos processos geomórficos e as principais dimensões de conectividade (vias de interação) hidrodinâmica entre os ambientes de canal e planície de inundação. A geomorfologia, os depósitos e as características hidrodinâmicas assumem grande importância na estrutura e função dos ecossistemas rio-planície de inundação. Como resultado, observa-se um alto grau de heterogeneidade espaço-temporal dos processos físicos, químicos e bióticos nesses ecossistemas, que promovem uma grande riqueza de espécies. Tal riqueza, por sua vez, também está relacionada diretamente à grande diversidade de formas (habitats) e ecótonos; e ainda, que a dinâmica fluvial originada pela inundação ao longo do tempo é responsável pelos diferentes estágios sucessionais dos ambientes aquáticos, transicionais e terrestres, relativos à própria evolução geomórfica do sistema fluvial.

Abstract

This paper shows a review about hydrodynamic processes in the floodplain-river systems, with an associative interpretation among the geomorphic forms and the main dimension of hydrologic connectivity dimensions (interactions way) between main channel and floodplain system. Geomorphology, deposits and hydrodynamic characteristics assume very importance in the structure and function of the river-floodplain ecosystems. As result, there are a great spatial and temporal heterogeneity of physical, chemical and biotic processes in these systems that results in large species richness. It is attributed in turn, to the large diversity of forms (habitats) and ecotone and so far, the fluvial dynamic originated by the inundation along the time is responsible to the different successional stages of aquatic, transitional and terrestrial segments, relative to the aim geomorphic evolution of the fluvial system.

* Professora Doutora do Departamento de Planejamento, Urbanismo e Ambiente, Faculdade de Ciências e Tecnologia, UNESP – Campus de Presidente Prudente - re Rocha@prudente.unesp.br

** Professor Doutor da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul – Campus de Três Lagoas - pcrocha@ceul.ufms.br

INTRODUÇÃO

As principais feições de ambientes aluviais são os canais e as planícies de inundação, juntamente com uma zona transicional de pequenos diques e canais de rotas de inundação (*crevasses*). Os segmentos de canais podem ser múltiplos (anastomosados, entrelaçados) ou únicos (meandantes, retilíneos) e em síntese, carregam materiais grosseiros associados a formas de leito confinadas dentro das margens do canal. Por outro lado, a bacia de inundação recebe as águas carregando materiais finos (silte, argila) durante os estágios superiores ao de margens plenas (Leeder, 1982).

Do ponto de vista dos processos fluviais, a planície de inundação é tomada como uma feição deposicional do vale do rio, associada com um clima particular ou com o regime hidrológico da bacia de drenagem. Os sedimentos são temporariamente estocados na planície durante a rota de fluxo para o vale e, sob condição de equilíbrio durante um período de anos, a taxa de entrada de sedimentos é igual à de saída. Uma alteração nas condições de equilíbrio, devido a mudanças tectônicas ou no regime hidrológico (clima), incluindo mudanças no aporte de sedimentos e água, pode resultar em alteração da planície de inundação e levar à degradação e à formação de um terraço, ou por outro lado levar à agradação do sistema (Leopold et al., 1964).

Desse modo, uma diversidade de estágios geomórficos pode ser observada nos sistemas rio-planície de inundação, quer seja nas altas latitudes ou nos trópicos, ou considerando um determinado trecho no perfil longitudinal dos rios, os quais admitem relações particulares entre o canal fluvial e sua planície de inundação (figura 1), e que estão também associados com a evolução do sistema ao longo do tempo.

Nos últimos anos, uma maior atenção internacional tem sido dada aos grandes rios e suas planícies de inundação, levada por catastróficas **enchentes** ocorridas em Bangladesh, Oeste europeu e Estados Unidos. Várias questões foram feitas a respeito da efetividade e custos das atuais políticas de manejo das planícies de inundações e das cheias, e sobre o potencial para se reduzir futuras catástrofes provocadas por inundações, através da preservação e restauração de grandes ecossistemas rio-planície de inundação, suas bacias tributárias e áreas alagáveis (Sparks, 1995). Assim, o enfoque nos problemas das grandes inundações reforça o interesse na construção de estratégias de ação para o entendimento funcional, manejo e restauração de grandes sistemas rio-planície de inundação. No Brasil, o interesse maior no entendimento funcional de um rio tem sido associado, em parte, a processos de inundação em cidades ribeirinhas. Contudo, parece haver atualmente um maior interesse advindo dos **impactos de obras de engenharia** e pela **poluição e contaminação** das águas. Considerando os

grandes rios, notadamente essas duas últimas têm levado boa parte dos pesquisadores a focar os estudos na busca do entendimento funcional desses sistemas e propostas de manejo, impulsionados pela legislação em vigor (CONAMA, 1986).

No início do século XX, a maioria dos estudos com enfoque ecológico nos meios aquáticos foi guiada por conceitos relativos à biologia de lagos. Eles enfocavam a descrição da história da vida e padrões de distribuição da biota no canal. Em meados do século XX, a ênfase mudou para a descrição e medição da produção biológica e fluxo de energia dentro de canais. Concomitantemente, os trabalhos sobre *hidrodinâmica* e *geomorfologia* sugeriram que as feições físicas de um canal são predizíveis ao longo de seu perfil. Em meados da década de 60 (1960), pesquisadores começaram a usar estudos experimentais em canais para entender o relacionamento entre fatores ambientais e bióticos. Mais recentemente, os conceitos físicos e biológicos da organização dos canais fluviais têm sido tratados com uma aproximação *holística*, que interpreta sistemas lóticos como uma combinação interdependente entre as feições do modelado aquático e terrestre. Atualmente existem duas hipóteses primárias de como sistemas lóticos funcionam (Johnson et al., 1995): o *conceito da continuidade dos rios* (Vannote et al., 1985) e o *conceito do pulso de inundação* (Junk et al., 1989). O primeiro se refere principalmente às *interações longitudinais* nos canais; o segundo enfoca principalmente as *interações laterais* nos sistemas rio-planície de inundação.

Além dessas duas dimensões, outras duas são importantes no entendimento funcional dos sistemas fluviais: as *interações verticais*, associadas aos *fluxos subterrâneos e corredores hiporrêicos*, e a *dimensão temporal*, associada às variações nos processos conduzidos pelas *variações hidrodinâmicas ao longo do tempo*, sejam sazonais ou de maiores espaços de tempo.

O conceito de que a *integridade* nos grandes sistemas rio-planície de inundação é mantida pela *dinâmica hidrológica* (inclusive a inundação) e *conectividade* entre o rio e sua planície de inundação está num contexto de idéias relativamente recente (Sparks, 1995) e a conectividade está na dependência das vias de interação (longitudinal, lateral, vertical e temporal) entre o rio e a planície de inundação.

De qualquer modo, apesar de que sistemas fluviais de baixa ordem (cabeceiras de drenagem) podem apresentar planícies de inundação, estas são senão muito estreitas, pouco expressivas do ponto de vista das interações hidrodinâmicas e ecológicas com o canal fluvial, quando comparadas com as porções de média e alta ordem ao longo do perfil longitudinal, cujas feições geomórficas correspondem comumente aos sistemas entrelaçados, meandrante e anastomosado respectivamente. Nestas, uma vasta rede de interações longitudinais, laterais (principalmente),

superficiais e hiporréicas podem estar em ação, ao longo do tempo. Assim, neste artigo serão abordados os principais conceitos a respeito das interações geomorfológicas, hidrodinâmicas e sua aplicação no entendimento dos processos de conectividade em grandes sistemas rio-planície de inundação.



Figura 1. Sistema rio-planície de inundação. Região da foz do rio Ivinheima / planície do rio Paraná. Fonte: Agostinho & Zalewski (1996).

O reconhecimento de diferentes tipos de canais e rios tem maior relevância quanto aos aspectos de forma e função do canal. Essas duas categorias são a base para a classificação de sistemas lóticos. Os geomorfologistas têm mostrado que os sistemas fluviais (água corrente) apresentam padrões, ou ajustamentos, no relacionamento de certas características físicas (largura do canal, profundidades, velocidades, carga do leito etc.) ao longo de seu curso, e as características bióticas em cada zona do rio refletem a influência dos aspectos físicos. Para tanto, será sumarizado inicialmente o contexto geomorfológico do ambiente rio-planície de inundação, onde o relacionamento do fluxo e os sedimentos carreados serão enfatizados, pois, na visão dos autores, têm maiores influências nos aspectos de conectividade.

Principais Conceitos Geomorfológicos Acerca dos Sistemas Rio-Planície de Inundação

Das suas nascentes até a sua foz, um canal fluvial natural essencialmente representa um sistema no qual a energia potencial é proveniente de certa quantidade de água das áreas mais elevadas, convertida em energia cinética pelo fluxo da água e dissipada na fricção criada pelas paredes do canal e atmosfera. A importância, nesse caso, é dada à distribuição de energia ao longo do rio, apesar da energia total ser também importante no desenvolvimento da paisagem. Em analogia com as leis da termodinâmica, essa distribuição pode ser descrita como entropia, considerando que a entropia de um sistema é função da distribuição de energia disponível dentro do sistema, e não uma função da energia total dentro do sistema.

O processo natural representado pelo fluxo de água das cabeceiras de drenagem para a foz de um sistema fluvial é um irreversível processo no qual a energia é transformada simultaneamente com o aumento da entropia, e esta então pode ser considerada como medida da energia disponível em um sistema para realizar trabalho. Quanto maior a entropia, menor a quantidade de energia disponível para o trabalho mecânico (erosão, transporte, deposição). Assim, oito variáveis (que se inter-relacionam) são consideradas responsáveis pela modificação da declividade e forma do canal do rio: *largura, profundidade, velocidade, declividade, carga sedimentar, tamanho dos sedimentos, rugosidade hidráulica e descarga*. Assim, três relacionamentos hidráulicos são importantes nas mudanças que ocorrem ao longo do rio: 1- continuamente, a descarga será o produto da área da seção vezes a velocidade; 2- a velocidade é função da profundidade, declividade e rugosidade do canal; 3- o transporte de sedimentos é uma função da energia do rio – esta, combinada com a relação entre o tamanho dos sedimentos e rugosidade do canal, leva a considerar que a concentração de sedimentos é uma função da velocidade, profundidade, declividade e rugosidade do canal (Leopold *et al*, 1964; Christofolletti, 1981).

Considerando a variabilidade dos fluxos, os eventos de magnitude moderada e de ocorrência relativamente freqüente controlam a forma do canal. Nessa categoria, os débitos de margens plenas surgem como os de maior poder efetivo na esculturação do modelado do canal, pois as ondas de fluxo escoam com ação morfogenética ativa sobre as margens e fundo do leito e possuindo competência suficiente para movimentar o material detrítico. Na morfogênese do perfil longitudinal, deve-se ter em mente que os processos morfogenéticos relacionados com a dinâmica e com a mecânica do fluxo somam maior efetividade quando dos **débitos de margens plenas**. É a essa categoria de débitos que deve ser imputada a responsabilidade na esculturação do perfil, em detrimento da categoria dos débitos de transbordamento (mais altas águas), que constitui evento raro e de ação intensa, mas cujas conseqüências vão sendo esmaecidas e substituídas

pelos efeitos mais constantes (Wolman & Miller, 1960; 1974; em Christofoletti, *op cit*).

Considerável dificuldade é encontrada na definição da descarga dominante, responsável pela formação (esculturação) do canal; a descarga constante que pode formar ou manter as propriedades geométricas médias de um canal de leito móvel, considerando que a esculturação do canal ou as descargas, podem não ser de natureza constante! Algumas definições incluem:

1 - A descarga na qual preenche na justa medida a seção do canal, para o nível da planície de inundação (p.ex. descarga de margens plenas).

2 - Qual descarga apresenta melhor correlação com a geometria dos canais.

3 - A descarga na qual a máxima carga sedimentar é movida.

4 - A recorrência no ano hidrológico das descargas que aceleram os processos erosivos (atacam) em diferentes tipos de margens.

O estágio de margens plenas assinala a descontinuidade entre o sistema canal fluvial e o sistema planície de inundação. Até atingir o estágio de margens plenas, o escoamento das águas processa-se no interior do canal e origina diversas formas topográficas. Ultrapassado o estágio de margens plenas, considerado como sendo igual ao débito de 1,58 anos de intervalo de recorrência, as águas espraiam-se e há relacionamento diferente entre as variáveis da geometria hidráulica. Embora englobando o canal fluvial, como um subsistema, a planície de inundação não deve ser confundida nem ser caracterizada pelos processos e formas de relevo desenvolvidas no canal fluvial (Christofoletti, 1981).

A constância do intervalo de recorrência do estágio de margens plenas tem muita importância. A frequência da inundação é aproximadamente a mesma em regiões de diferentes taxas de escoamento (*runoff*) - dos trópicos a regiões semi-áridas - implicando que o tamanho do canal do rio é apropriado para a quantidade de fluxo provida pela bacia de drenagem. É também aparente, porém, que se o transbordamento pela água contendo sedimentos ocorre, alguma deposição em qualquer local próximo ao canal ocorra associada a tal evento. Se o processo é contínuo, o canal poderá gradualmente vir a ser encaixado dentro de seu próprio aluvião. A frequência regular da inundação parece não ser o único caso, mas, alguns mecanismos devem interagir com essa tendência deposicional. Muitos mecanismos podem ser sugeridos. O relativo conteúdo de sedimentos na planície de inundação resultantes da deposição lateral e vertical varia, dependendo das características da inundação da bacia e da disponibilidade e distribuição do tamanho dos sedimentos (Leopold *et al.*, 1964).

A despeito dos problemas de definição, segundo Chorley et al. (1985), a geometria hidráulica de canais aluviais é, em geral, ajustada a

eventos de escoamento de menor intensidade, tendo intervalo de recorrência de uns poucos anos somente nas regiões úmidas, e de 30-100 anos nas regiões mais áridas. No entanto, os impactos morfológicos dos eventos (descargas) são parcialmente um problema tanto da magnitude do tempo de intervalo entre os picos, quanto da magnitude dos picos para qualquer forma de relevo. Obviamente, tanto a água e o transporte de sedimentos são muito importantes para o entendimento da morfologia do canal, e um simples diagrama pode ilustrar o fato (figura 2). O *balanço de Lane* apresenta como o gradiente do canal S é relacionado à carga sedimentar L (capacidade do canal) e tamanho do sedimento (competência do canal) D_{50} , assim como a descarga média de água Q , como segue:

$$L D_{50} \propto S Q \text{ onde,}$$

L : carga sedimentar; D_{50} : tamanho médio do sedimento; S : a declividade do canal; Q : a descarga média, sendo que a declividade ou o gradiente é diretamente relacionado à carga sedimentar e inversamente relacionado com a descarga, assim:

$$S \propto (L D_{50} / Q)$$

Tanto a aggradação ou a degradação refletem uma mudança nessas variáveis, assim como a declividade é ajustada às condições de alteração (Chorley et al., 1985). O progressivo entalhamento de um canal aluvial, seja devido à alteração hidrológica ou tectônica, pode levar ao abandono da planície de inundação. Tais depósitos passarão então ao estágio de *terraço fluvial*, em nível topográfico superior, e uma nova constru o em fase com o novo padrão hidrológico tenderá a ser desenvolvida – a nova planície de inunda o - cujos processos de escultura o estarão associados com a disponibilidade de sedimentos, com as descargas do rio e com a recorrência do importante estágio de margens plenas.

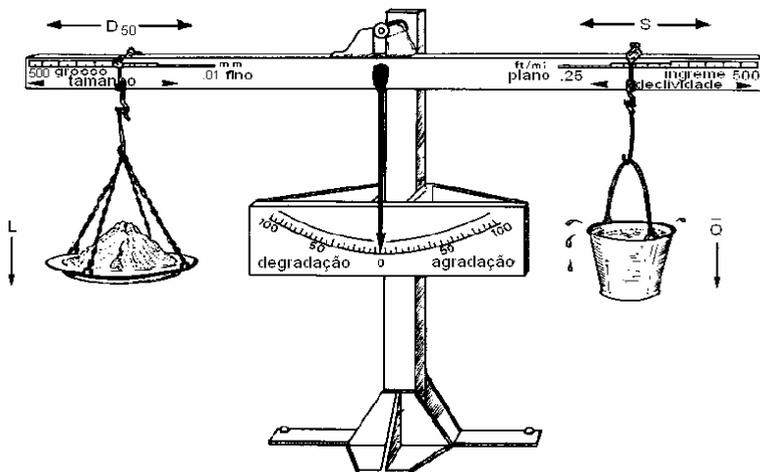


Figura 2. Esquema do balanço da estabilidade do canal $L \times D_{50} \propto S \times Q$. adaptado de Chorley et al. (1985). L: carga sedimentar; D_{50} : diâmetro das partículas; S: declividade (média); Q: vazão.

Entretanto, em canais de leito móvel, é muito provável que os eventos de alta magnitude (grandes cheias) tenham grande influência na morfologia do canal, posicionamento do talvegue e posição das áreas erosivas e deposicionais, como ocorre, por exemplo, no rio Paraná (Fernandez & Souza Filho, 1995; Souza Filho & Stevaux, 1997; Souza Filho et al., 2001; Santos et al., 2001; Rocha et al, 2001), e estão relacionados com situação de equilíbrio do rio.

Assim sendo, a morfologia do rio tende a mudar de montante para jusante. Diferentes **padrões de canal** são parte de um *continuum*, entre um extremo e outro do rio (Leopold et al., 1964), determinado pelas condições de energia em relação a controles locais (Petts & Foster, 1990). As variáveis que geralmente mudam seu relacionamento ao longo do rio e produzem padrões diferentes podem ser referidas, por exemplo, à relação carga sedimentar – declividade, débito de margens plenas – declividades, declividades – sinuosidade (figura 3).

Com relação à descrição de tais padrões, a morfologia dos rios *meandrantés* exibe um canal único, com altos índices de sinuosidade, transportando predominantemente carga em suspensão ou mista. O padrão erosivo nas margens côncavas e deposicional nas margens convexas é típico desses canais. Rios retilíneos apresentam índices de sinuosidade próximos de 1,0 (< 1,5) e transportam comumente carga em suspensão ou mista, apesar de que o seu talvegue pode apresentar maior sinuosidade.

Rios *retilíneos* modernos são pouco comuns, assim como pouco conhecidos os depósitos correlatos ao seu padrão. O padrão *anastomosado* se refere a rios com múltiplos canais sinuosos, porém estáveis, com margens coesas, separados por grandes ilhas vegetadas. Rios *entrelaçados* apresentam dois ou mais canais com barras entre os canais, instáveis, e apresentam alta relação largura/profundidade, alta declividade e, geralmente, baixa sinuosidade (Miall, 1977) (tabela 1). A figura 4 mostra os 4 tipos principais de padrão de canal.

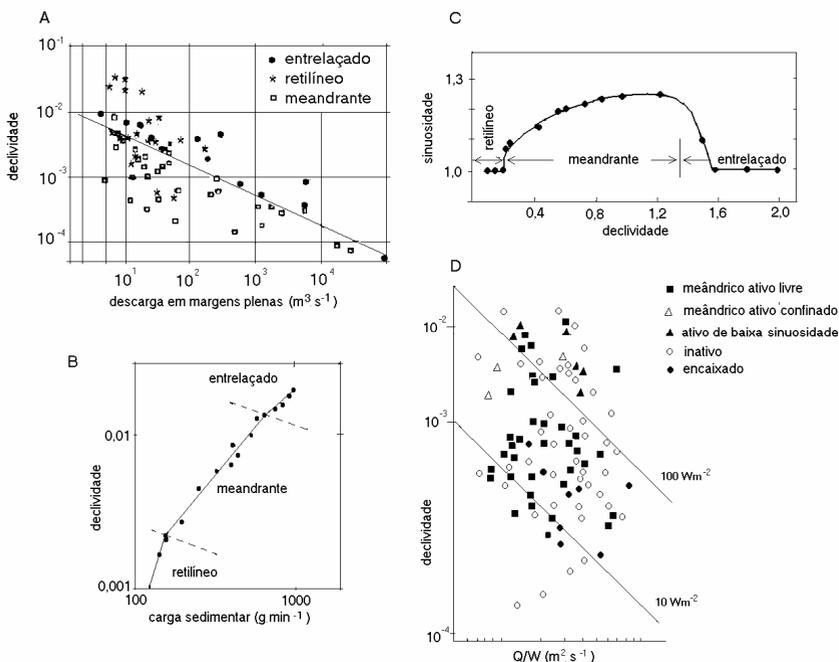


Figura 3. O *continuum* fluvial, representado por variações no padrão de canal conforme o relacionamento entre a declividade, descarga, carga sedimentar e energia do canal. A: Leopold & Wolman (1957); B e C: Schumm & Khan (1973); D: Ferguson (1981), em Petts & Foster (1990). Adaptado de Petts & Foster (1990).

Schumm & Khan, (1972) em estudos de laboratório, perceberam que o *continuum* da forma do canal foi caracterizado pela relativamente forte transição, marcada por um limiar no relacionamento carga sedimentar - declividade. 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 meandrantes, e que canais retilíneos poderão meandrar a partir de um certo limiar de declividade

para uma determinada descarga. Com respeito aos distintos limiares de relacionamento entre as variáveis e os padrões de canal, Fergusson (1981, em Petts & Foster, 1990) classificou canais naturais (rios britânicos) usando a sinuosidade e "atividade", relacionada com a intensidade com que os processos geomórficos ocorrem, considerando canais ativos, inativos e encaixados.

Vários autores têm, no entanto, utilizado o conceito do *continuum* para explicar as variações e **interações longitudinais** do **ecossistema fluvial**. Considerando tal dinâmica longitudinal e a questão do *continuum*, aplicada aos trechos de canais aluviais (entrelaçados e meandantes), alguns autores apresentaram um sistema de padrões de canais hipotéticos que se sucedem (zona temperada), considerando três trechos bem definidos do perfil longitudinal: canais encaixados, entrelaçados e meandantes respectivamente (figura 5), alertando que outras configurações podem ocorrer e que as feições geomórficas podem alterar a seqüência dos padrões utilizados no modelo (Minshall et al., 1985; Ward & Stanford, 1993; 1995-a). Com o intuito de discutir os efeitos geomórficos do sistema aluvial sobre os ecótonos, adiante serão feitas outras considerações importantes e de visão abrangedora acerca da conectividade e as interações longitudinais, verticais e laterais no sistema fluvial.

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

Tipo	Morfologia	Sinuo- Sidade	Tipo de carga	Carga de fundo %	L/P	Padrão erosivo	Padrão deposic.
Meandrante	Canal único	> 1,3	Suspensa ou mista	< 11	<40	Incisão no canal; migração lateral	Formação de barras em pontal
Entrelaçado	Dois ou mais, com barras e peq. ilhas	< 1,3	Carga de fundo	> 11	>40	Migração lateral	Agradaç. do canal; formação de barras
Retilíneo	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
Anastomo- sado	Dois ou mais canais, com ilhas largas e estáveis	> 2,0	Carga suspensa	< 3	<10	Lenta migração de meandros	Lenta acrecção das margens

Adaptado de Miall (1977).

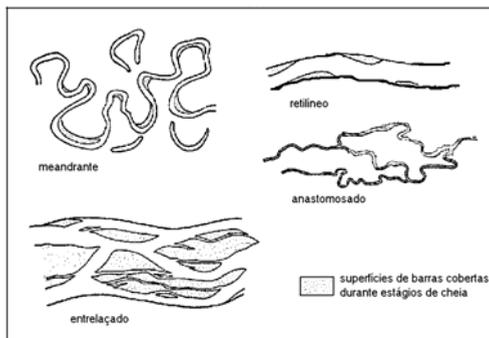


Figura 4. Padrões de canal - forma em planta, conforme Miall (1977).

Do ponto de vista longitudinal dos canais fluviais, os trechos entrelaçado, meandrante e anastomosado são de canais aluviais. O leito e as margens destes consistem de sedimentos transportados e depositados por ação fluvial. Nesses trechos, as interações laterais entre o canal e a planície de inundação são extremamente importantes, especialmente no trecho meandrante, não só do ponto de vista geomórfico, mas também ecológico. Podem ocorrer planícies de inundação nos trechos de cabeceira de drenagem, porém do ponto de vista ecológico, a duração da inundação é muito pequena e a periodicidade da inundação é também irregular para a evolução de estratégias adaptativas, que são intimamente ligadas ao regime das cheias. Os trechos de planícies aluviais do médio e baixo perfil longitudinal têm ainda como principais feições os canais e as bacias de inundação, os diques e as crevasses.

FEIÇÕES GEOMÓRFICAS			
	CANYON	ENTRELAÇADO	MEANDRANTE
PARÂMETRO			
SUPERFÍCIE DO CANAL ÁREA : DESCARGA	BAIXA	ALTA	MÉDIA

Figura 5. Mudanças nas feições geomórficas, resultantes das interações entre a dinâmica hidrológica e as diferentes zonas do perfil longitudinal do rio. Adaptado de Minshall et al. (1985).

Tanto as áreas erosivas e deposicionais quanto os padrões de canal podem ser explicados, tomando-se como base os princípios e leis que regem a dinâmica fluvial ao longo do perfil longitudinal dos rios e a busca do equilíbrio ("grade"). De maneira prática, são esperadas *áreas erosivas* no trecho superior, *áreas de transporte* no trecho médio e *áreas deposicionais* no trecho inferior do rio, respectivamente, considerando a sua foz ou os seus níveis de base, como mencionado anteriormente.

Entretanto, essas três zonas do sistema fluvial apresentam características morfológicas e dinâmicas particulares, cujas propriedades dependem do tempo de evolução do sistema, do relevo inicial, das características litológicas e tectônicas do substrato, do clima atuante, da vegetação, do relevo acima do nível de base, do padrão de drenagem, da morfologia das vertentes, da carga sedimentar e da descarga fluvial (Souza Filho, 1993).

Contudo, várias são as formas provenientes de processos deposicionais e ajuste fluvial dos rios, seja ao longo de seu curso, de uma confluência ou na sua foz, como as planícies de inundação, os leques aluviais e os deltas. Assim, as *planícies de inundação* surgem como uma importante forma proveniente do ajuste entre as variáveis da geometria hidráulica do canal e a sua carga, na busca do perfil gradacional do rio ao longo do tempo.

E é dentro desse contexto que toda a biota local evolui, apresentando relacionamentos importantes com o meio físico, que assume um papel determinante, de modo geral, mas, por outro lado, sendo também influenciado pela biota na sua evolução física em certas escalas. Desse modo, vários conceitos a respeito do ecossistema dirigido pelo meio fluvial foram formulados, buscando o entendimento das interações entre os meios físico e biótico e suas resultantes, como se discute em seguida.

Breve Resumo dos Principais Conceitos Acerca do Ecossistema Fluvial

Segue-se aqui uma breve revisão de alguns conceitos que surgiram desde o final do século XX, na tentativa de melhor explicar a estrutura e função das comunidades biológicas nos ecossistemas fluviais, e a própria visão "ecológica" do rio, a partir das interações com o sistema físico, principalmente geomorfológico e hidrológico.

O conceito do rio como um *continuum*, de Vanotte et al. (1980)

O conceito da **continuidade** fluvial (originalmente **RCC: River Continuum Concept**) propõe que o entendimento das estratégias biológicas e de dinâmica do sistema fluvial requer consideração do gradiente dos fatores

físicos formado pelo trabalho de drenagem. Desta maneira, a energia que entra, o transporte da matéria orgânica, o estoque, e o uso pelos grupos consumidores podem ser regulados pelos processos geomórficos fluviais. A expansão dessa idéia incluindo afinidade funcional tem permitido desenvolvimento do Conceito de Continuidade Fluvial (adaptado dos conceitos em geomorfologia), descrevendo a estrutura e função das comunidades ao longo do curso do rio. Assim sendo, a estrutura física acoplada ao ciclo hidrológico formam um arcabouço para respostas biológicas e resultam em padrões consistentes de estrutura e função de comunidades, carga de matéria orgânica, transporte, utilização e estocagem ao longo do curso de um rio (Vannote et al., 1980).

Tal conceito sugere que as características estruturais e funcionais das comunidades de organismos de rios são adaptadas à mais provável condição média do sistema físico. Nas cabeceiras (baixa ordem), os canais são estreitos e a vegetação ripariana tende a ser mais extensa. São maiores os inputs terrestres do que a produção dentro do canal, gerando maior taxa de matéria orgânica particulada grosseira (CPOM – coarse particulate organic matter). A taxa de respiração é maior que a de produção. Predominam coletores e roedores. No trecho médio, os materiais grosseiros provenientes de montante vão se tornando mais finos, e a fonte de material grosseiro diminuindo nessa região. O rio se torna mais largo, possibilitando maior absorção de luz (radiação), aumentando a produção de matéria orgânica dentro do canal, em relação à que chega das encostas e de montante. Predominam coletores e pastadores. No trecho de alta ordem de drenagem, predominam os materiais orgânicos particulados finos (FPOM), há grande largura do canal que lhe permite bastante entrada de radiação. A contribuição por input ripariano é pequena e o transporte para jusante é grande. A relação produção/respiração é > 1 . Predominam coletores entre as espécies (figura 6).

A figura 6 mostra um gradiente contínuo de condições físicas postulado pelo **RCC**. Esse gradiente propicia uma série de respostas das populações de organismos, resultando num contínuo ajustamento biótico e em efetivas taxas de remoção, transporte, utilização e estocagem de matéria orgânica ao longo da extensão do rio, levando em consideração os fluxos longitudinais e verticais de resultante espiral.

O conceito da *Descontinuidade Fluvial*, de Ward & Stanford (1983)

Na literatura, existem registros de casos de impactos ecológicos em sistemas rio-planície de inundação (Kadlec & Tilton, 1979; Jamil et al., 1983). Em regiões tropicais, os casos mais frequentes se referem aos impactos resultantes da construção de hidrelétricas. A construção de grandes lagos para a geração de energia hidroelétrica resulta em profunda

modificação no sistema natural rio-planície de inundação, como consequência, a área natural desse sistema tem sido diminuída.

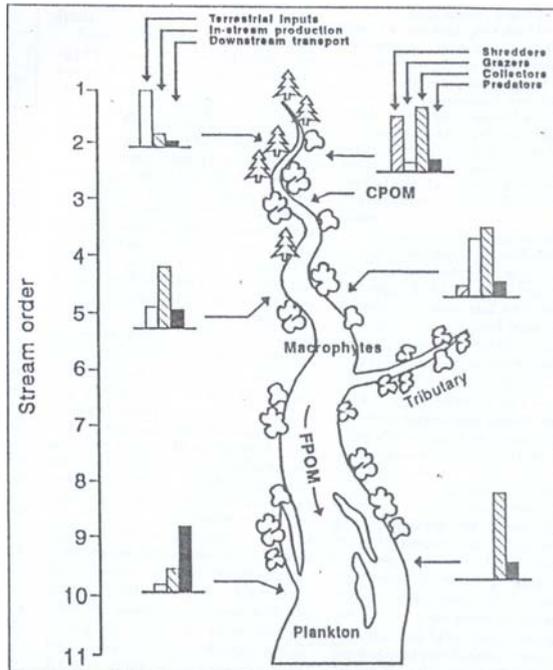


Figura 6. Diagrama do conceito de continuidade fluvial. As características estruturais e funcionais das comunidades de organismos de rios são adaptadas à mais provável posição ou condição média do sistema físico. (Vannote et al., 1980).

Na bacia do alto rio Paraná, por exemplo, das mais de 120 barragens, 27 grandes barragens têm mais de $500 \times 10^6 \text{ m}^3$ de água acumulada nos seus respectivos reservatórios e o tema foi estudado por Rocha et al. (1994, 1998 e 2001) e Rocha (2002 e 2003). O único trecho livre de represamentos situa-se a jusante da UHE Primavera, e estende-se até o remanso do reservatório de Itaipu, na região de Guairá-PR, com aproximadamente 200 Km, restantes dos mais de 700 km desde a confluência Grande-Paranaíba até Itaipu. Esse trecho mantém uma extensa planície fluvial que varia de aproximadamente 5 a 15 km de largura, a partir da calha do rio Paraná para a margem direita.

O canal abaixo do reservatório, com regime hidrológico modificado e redução da carga de sedimento, terá modificações na distribuição de espécies e redução da fertilidade da planície de inundação. Por outro lado,

planícies de inundação artificiais serão criadas no entorno do reservatório, a montante do eixo da barragem.

A esse respeito, o conceito de descontinuidade serial (*Serial Discontinuity Concept* - SDC), foi desenvolvido como uma construção teórica que visualiza estes represamentos (reservatórios) como principais rompimentos de gradientes de recursos longitudinais. O conceito expressa que: reservatórios resultam em mudanças no sentido montante-jusante (dimensão longitudinal) nos padrões e processos bióticos e abióticos; a direção e extensão do deslocamento dependem da variável de interesse e são função da posição do reservatório ao longo do curso do rio. Acrescenta também a discussão em áreas de planície de inundação e ao longo do perfil longitudinal do rio (Ward & Stanford, 1983 – 1995).

O conceito de SDC, originalmente, não considerou interações entre o rio e suas planícies de inundação. Posteriormente, pesquisadores estenderam o modelo do SDC, apresentando uma perspectiva que abrangeu a dinâmica dos sistemas rios-planícies de inundação aluviais dentro do modelo, usando a caracterização de três trechos longitudinais: trechos de cabeceira de drenagem (canais encaixados); trecho entrelaçado e trecho meandrante. Interações laterais entre o canal e a planície de inundação são críticas para um entendimento holístico de ecossistemas fluviais naturais e as alterações induzidas pela regulação do fluxo. Tais discussões serão ainda abordadas no conceito de conectividade.

O conceito das *quatro dimensões*, de Ward (1989)

Esse conceito propõe que os sistemas fluviais se estruturam em quatro dimensões: longitudinal, lateral, vertical e temporal, comentadas abaixo. Tais dimensões podem ser entendidas como vias de interação que atuam no ambiente fluvial, considerando o ecossistema e suas relações bióticas, físicas e químicas. Maiores detalhes a respeito das vias de interação serão abordadas na discussão da conectividade hidrodinâmica.

-Longitudinal: abrangendo tanto a direção de montante e de jusante, as águas correntes comumente seguem através de mudanças estruturais na rota desde as nascentes até a foz. Três zonas são usualmente reconhecidas: - as *cabeceiras de drenagem (zona erosiva)*, onde a magnitude do fluxo (débitos) é usualmente menor do que qualquer outro trecho a jusante, as declividades, contudo, são geralmente maiores e a erosão é maior que a deposição de sedimentos; - a *zona de transferência*, a porção média do canal (trecho médio), onde as declividades usualmente diminuem ao passo que a magnitude do fluxo aumenta e, tanto há deposição quanto erosão como processos atuantes; e a *zona deposicional*, onde o fluxo tem sua magnitude máxima mas as declividades são as mínimas no rio, e a

deposição de sedimentos excede significativamente a erosão a maior parte do tempo.

-Lateral: abrangendo o canal, planície de inundação e as vertentes, significantes variações ocorrem entre os tipos de canais, mas um padrão comum inclui o canal, as partes mais profundas (o talvegue), as partes baixas (a planície de inundação) que são inundadas freqüentemente, as partes mais altas de planícies inundadas menos freqüentemente, os terraços, que são planícies de inundação abandonadas (p/ ex. pela incisão do canal fluvial, as cheias não mais atingem o nível das mesmas), e as vertentes ou outras áreas altas que estão dentro dos limites da bacia de drenagem.

-Vertical: entre águas superficiais, lençol subterrâneo e suas interações. É sempre importante reconhecer que os corpos aquáticos não são puramente feições superficiais; rios e canais constantemente interagem com a água subterrânea (aquífero) e trocam água, compostos químicos e organismos. Ao longo do perfil longitudinal, o rio muitas vezes varia entre trechos como influente, onde a água de superfície do canal entra para baixo no aquífero, e trechos como efluente, onde o canal recebe água adicional do lençol subterrâneo.

Em planícies de inundação fora de fase (transbordamento com recorrência superior a 3 anos), torna-se de grande importância o entendimento do movimento subsuperficial e subterrâneo lateral e longitudinal da água, e das contribuições pelas vertentes. Vários corpos aquáticos passam longos períodos sendo mantidos apenas por esse tipo de conexão (p.ex. períodos sem transbordamento), e diversos processos, principalmente ecológicos, se desencadeiam.

Fato importante é o *efeito esponja* das planícies aluviais. Considerando o intervalo de tempo entre duas cheias, ou duas vazantes, o nível de ressecamento dos ambientes aquáticos e transicionais irá variar conforme a capacidade de armazenamento dos depósitos, dada principalmente pela composição sedimentar e influenciada pela orientação estratigráfica dos mesmos. É de grande importância a interpretação estratigráfica, estudo de fácies e paleoformas associadas, com respeito à capacidade de absorção e de escoamento subterrâneo nos diferentes ambientes da planície. Tal fato pode ser evidenciado pelas diferenças de tempo das ondas de cheia entre períodos normais e após longas estiagens, entre duas seções.

-Temporal: ao longo do tempo, desde respostas temporárias até mudanças evolutivas no sistema fluvial, a dimensão temporal é importante porque os sistemas fluviais são perpetuamente mutantes (dinâmicos). As estruturas associadas às outras três dimensões nunca devem ser consideradas permanentes, e os gerenciadores da bacia de drenagem devem sempre pensar na estrutura, não somente como ela se apresenta

nesse momento, mas em termos de mudanças estruturais que estão em processo e suas taxas de recorrência. Tanto pequenos ajustes ao longo de um ciclo hidrológico (cheia – vazante – cheia), quanto ajustes evolutivos do sistema, que estão em curso.

O conceito do *pulso de inundação*, de Junk et al. (1989)

Junk et al. (1989) apresentaram o conceito do pulso de inundação (FPC, *Flood Pulse Concept*). Propuseram que as variações (pulsação) da descarga do rio (pulso de inundação) são a maior força controladora da biota em sistemas rio-planície de inundação. As trocas laterais entre a planície de inundação e o canal do rio e reciclagem de nutrientes dentro das planícies de inundação têm mais impacto direto sobre a biota do que o sistema espiral de nutrientes, discutido no RCC (Vannote et al.,1980). Os autores postularam que em grandes sistemas fluviais inalterados com planícies de inundação em ambientes temperados, subtropicais ou tropicais, o enorme volume de biomassa fluvial animal deriva diretamente ou indiretamente da produção dentro da planície de inundação, e não a partir do transporte para jusante da matéria orgânica produzida em qualquer parte da bacia a montante.

Tomando-se como referência o regime alternado da hidrologia do sistema e as feições geomorfológicas, dois tipos de ambientes podem ser característicos: os ambientes terrestres, que na verdade são em uma parte do ano inundados, e por conseguinte melhor definidos como ZTAT, *zona de transição aquática-terrestre* (abreviatura em inglês ATTZ de Junk et al., 1989); e os *corpos aquáticos* perenes.

Na ZTAT, os pulsos de inundação aparecem como componente principal de regulação nas relações hidrológicas e bióticas (ecológicas) no sistema rio-planície de inundação. Segundo Junk et al. (*op cit*), a principal função de força responsável pela existência, produtividade e interações da biota maior em sistemas rio-planície de inundação é o pulso de inundação, que constitui uma via de interação lateral. Uma variada interação de condições geomorfológicas e hidrológicas produz os pulsos de inundação, as quais variam para gerar desde pulsos imprevisíveis a previsíveis, desde curta a longa duração. Pulsos de curta duração e geralmente imprevisíveis ocorrem em canais de baixa ordem, ou em ambientes muito modificados pelo homem. Devido à drenagem de baixa ordem, os pulsos são breves e imprevisíveis, os organismos tem limitadas adaptações para a utilização da zona de transição aquática-terrestre; e os organismos aquáticos beneficiam-se indiretamente do transporte de recursos alimentares dentro do ambiente lótico.

Conversamente, um pulso previsível de longa duração envolve adaptações e estratégias dos organismos para uma eficiente utilização dos

atributos da ZTAT. Esse pulso é conjugado com um dinâmico efeito de borda, os quais se estendem com um movimento litoral (ou lateral) através da ZTAT. Tal movimento provê uma prolongada estagnação e permite rápida reciclagem de matéria orgânica e nutrientes, e assim resultando em alta produtividade. Tal conceito revela a maior importância das trocas laterais entre o canal e a planície de inundação, do que do processamento de matéria orgânica proveniente das partes de montante do canal.

Uma variedade de estruturas físicas em combinação com o pulso de inundação resulta em uma grande diversidade de habitats. O regime de pulsos regulares em conjunto com a diversidade de habitats favorece a alta diversidade de plantas e animais aquáticos e terrestres, a despeito do considerável *stress* que resulta da mudança entre a fase terrestre e aquática. A produtividade aquática e terrestre dos sistemas rio-planície de inundação depende principalmente do status de nutrientes da água e sedimentos, do clima e do pulso de inundação. A rápida reciclagem de matéria orgânica e nutrientes, entre o período úmido e seco, resulta numa produtividade na ZTAT maior do que se esta fosse sempre seca ou inundada. A produção primária associada com a ZTAT é muito maior que a de corpos aquáticos permanentes (perenes) em sistemas não-modificados e pode, muitas vezes, exceder o de habitats permanentemente terrestres (Junk et al, 1989).

A figura 7 mostra a planície de inundação do alto rio Paraná exemplificando a dimensão lateral abordada por Junk (1989). A figura 7-A mostra uma imagem de satélite da planície no período de vazante. A figura 7-B mostra uma imagem de satélite da planície em um evento de cheia, com transbordamento do rio principal. Embora ocorram cheias anuais no rio Paraná, a recorrência dessa amplitude nessa região é de 5,6 anos (Fernandez & Souza Filho, 1995; Rocha et al., 2002).

Do ponto de vista da interação com o perfil longitudinal do rio, tais autores relatam que o transporte de carbono orgânico a partir das áreas a montante na bacia de drenagem para dentro da planície de inundação é de pouca importância para a produtividade do sistema, dando um rumo diferente de interpretação daqueles conceitos que dão ênfase aos processos longitudinais no perfil do rio (Vanote et al., 1985; Minshall et al., 1985). Ao contrário, a produção primária e secundária da planície de inundação é essencial para a fauna dos canais principais. A principal função do canal do rio em relação aos animais e plantas no sistema rio-planície de inundação é que os canais servem como um sistema de rotas de migração e dispersão, e acesso aos recursos naturais e áreas de refúgio na planície. O rendimento e produção de peixes estão mais relacionados à extensão acessível da planície de inundação, enquanto que o canal principal é usado principalmente como uma rota de migração pela maioria dos peixes.

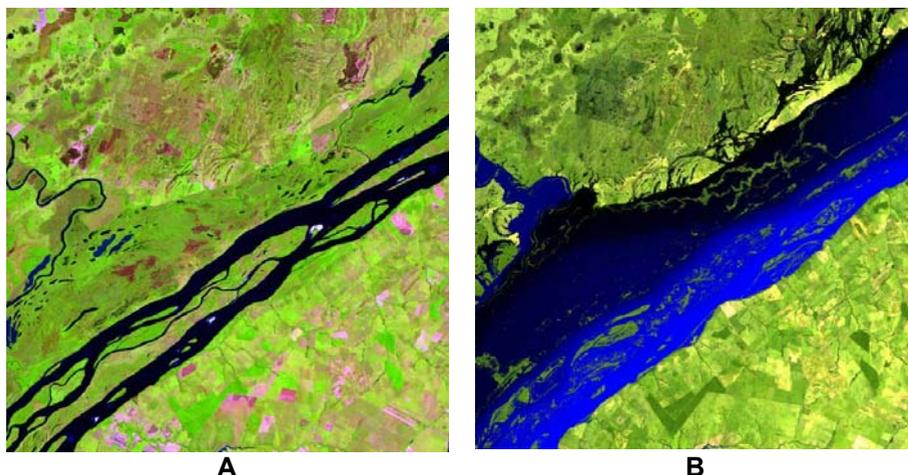


Figura 7. Recorte de imagens Landsat 3, 4, 5 (RGB) da área de estudo, região da foz do rio Ivinheima / planície do alto rio Paraná (divisa MS-PR). **A**: período de vazante; **B**: evento de cheia com transbordamento – recorrência de 5,6 anos. Fonte: Rocha et al. (2002).

Os Corredores Hiporréicos – dimensão vertical, de Stanford & Ward (1993)

O conceito de **corredor hiporréico**, proposto por Stanford & Ward (1993), foi definido sob três diferentes contextos: é uma zona do lençol subterrâneo, penetrada por organismos anfibiônicos de canais; é uma zona do lençol subterrâneo na qual a dinâmica química microbiana exerce controle sobre os ciclos materiais nos canais ativos e vegetação ripariana associada; e fisicamente, a zona hiporréica inclui o volume do lençol subterrâneo que pode ser hidraulicamente interativo a hidrógrafa do canal durante curto período do tempo (–por ex. horas). O tamanho da zona hiporréica é temporalmente dinâmico e determinado pela porosidade e ainda, relativo ao volume de água recarregando o freático a partir do canal, ou o canal a partir do aquífero. Como planícies de inundação de variados tamanhos estão presentes ao longo do rio, parece intuitivo que ligações longitudinais poderão ocorrer. Entretanto, as ligações longitudinais variam entre escalas espaciais e temporais.

A figura 8-A mostra o conceito comum de que a entrada líquida para o escoamento na calha principal se dá através da relativa recarga do canal a partir do aquífero (lateral) somado ao volume do escoamento proveniente de montante (Bencala, 1993). Na figura 8-B, a zona hiporréica é considerada parte do *continuum* água subterrânea/água superficial originada

tanto da água do aquífero quanto do canal do rio (Bencala,1993; White, 1993; Winter, 1995).

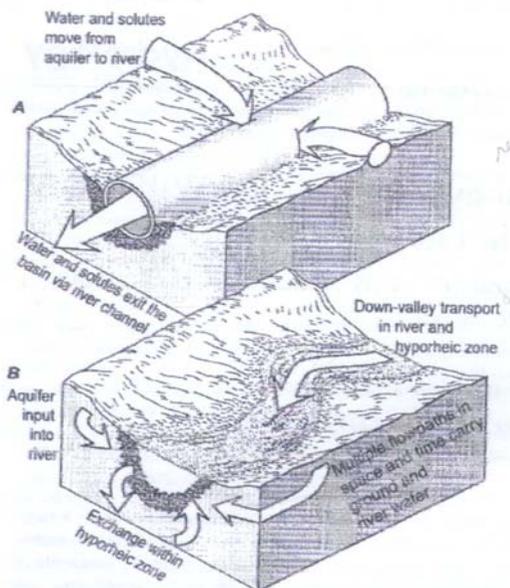


Figura 8. Conceito comum de interações água subterrânea/água superficial (A) em um rio com entrada direta do freático para o fluxo do canal; (B) conceito alternativo no qual a água subterrânea e a água do rio interagem nos materiais do aquífero adjacente ao canal do rio. (Hinkle et al. 2001).

Por causa das diferenças na terminologia, metodologia e dogmas entre biólogos, hidrólogos, geomorfólogos e químicos, não existe uma única definição conceitual para zona hiporréica. Essa zona tem sido definida por distribuições de organismos epigênicos (canal aberto), organismos hipogênicos (água subterrânea) e associações epigênicas-hipogênicas, nutrientes, matéria orgânica, temperatura, fluxos subterrâneos etc (White, 1993).

De acordo com White (op cit), hidrologicamente, a zona hiporréica é estabelecida pelo movimento de advecção da água do canal e pode ser definida como um "zona média" entre água do canal e água subterrânea.

A figura 9 mostra seções transversal e longitudinal, e a visão em plano das direções dos fluxos de água ao longo da calha principal. As vias de fluxo e as feições geomórficas são comuns, mas não são as únicas feições aptas a induzir trocas hiporréicas. As demais trocas são dadas através das trocas químicas e biológicas (Findlay, 1995).

White (1993) destaca que os conceitos de modelos de seção transversal e de seção longitudinal têm sido apresentados por estudos de caso, e que os primeiros apresentam relação ao aquífero lateral e zona ripariana, enquanto os últimos apresentam relação com a hidráulica do canal.

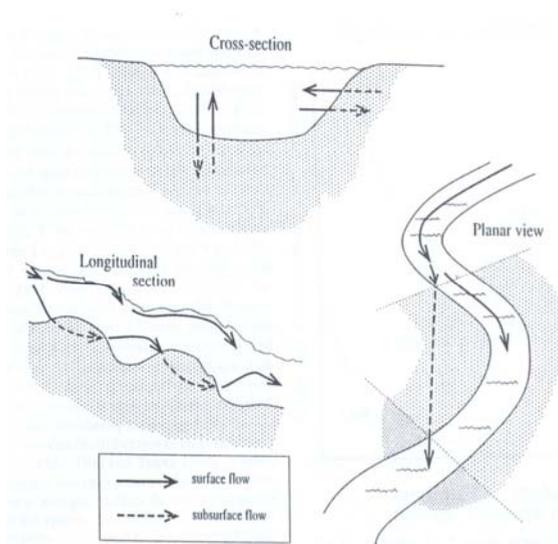


Figura 9. Diagrama com as trocas verticais e laterais da água entre o canal aberto e os sedimentos saturados de entorno. (Flindlay, 1995).

O entendimento das interações complexas entre a água superficial e o solo, muitas vezes, não pode ser descrita pelos simples conceitos de advecção e dispersão. Modelos de estoque transitório e zona inerte agregada têm sido desenvolvidos para simular transporte de solutos em rios onde os solutos, em resposta à advecção e dispersão, são retidos dentro do rio e zona de estoque hiporréica (Less et al., 2000, em Hinkle et al., 2001).

O Conceito de Conectividade no Ambiente Fluvial

A conectividade entre o canal fluvial e ambientes aquáticos na planície de inundação foi sendo gradativamente abordada como um fator relativo a todos os processos no sistema fluvial. Ward & Stanford (1995-A) enfocaram a ruptura da conectividade pela regulação do fluxo. Petts & Amoros (1996) relataram que canais podem ser progressivamente desconectados não somente, mas também, pela deposição resultante de

processos geomórficos e sucessão ecológica. Esses e vários outros estudos podem ser sumarizados como conceitos de *conectividade*.

Para um razoável entendimento do conceito de conectividade, os pressupostos básicos da geomorfologia e hidrodinâmica de um rio foram estabelecidos nos tópicos anteriores.

Condições hidrológicas e geomórficas interagem para determinar padrões e processos em várias escalas. Em pequena escala espacial, os padrões de movimento da água durante uma inundação sazonal, por exemplo, produz áreas de solos aeróbicos e anaeróbicos sobre a planície de inundação, que se diferem na dinâmica de nutrientes e decomposição. Padrões de zonação da vegetação aluvial mostram um exemplo de fenômenos de moderada escala espaço-temporal, quando essa representa estágios sucessionais estruturados pela migração lateral do canal do rio na sua planície de inundação (p/ex. rios meandranes). Feições topográficas de grande escala como as planícies de inundação, assim como os terraços refletem um ajuste do rio na busca do equilíbrio (grade) e podem ter-se formados por processos relacionados com glaciação/deglaciação, mudanças do nível do mar (ou níveis de base), movimentos tectônicos, oscilações climáticas e outros fenômenos dessa ordem de escala (Ward & Stanford, 1995-b).

O sistema rio-planície de inundação consiste de um complexo de ecossistemas, incluindo o(s) rio(s), brejos (pântanos), canais, lagos, ilhas e zonas de transição. Esses ecossistemas são interligados, notavelmente durante as fases de inundação, permanecendo mais ou menos individualizados quando a água recede. O sistema rio-planície de inundação tem como uma de suas principais características um alto grau de dinamismo geomorfológico, determinado pelos processos de erosão e sedimentação. Como uma consequência desses processos, a paisagem é constantemente modificada, e diretamente interfere nos processos de sucessão ecológica (Esteves, 1998).

Outra característica dos sistemas rio-planície de inundação é a alternância entre os períodos de inundação e recessão das águas, que resulta em grandes variações no nível da água. Tais variações promovem grandes transformações nos habitats, passando de lântico para lótico, para lântico, de terrestre para aquático, para terrestre. Os habitats da planície de inundação podem ser profundamente alterados, permanecendo diferenciados durante a fase de águas baixas, e mais similares entre si durante a fase de inundação (Thomaz et al., 1997). Essas características fazem dos sistemas rio-planície de inundação altamente complexos, no sentido da hidrodinâmica, conectividade e processos geocológicos.

Tomando-se como referência o regime alternado da hidrologia do sistema e as feições geomorfológicas de uma planície de inundação *em fase* com o rio (aquela que é inundada a cada 1,58 anos de recorrência), dois

tipos de ambientes podem ser característicos: os ambientes terrestres, que na verdade são em uma parte do ano inundados, e por conseguinte melhor definidos como *zona de transição aquática-terrestre* (ZTAT de Junk et al., 1989); e os *corpos aquáticos* perenes.

Assim, em rios com planície de inundação, os ecótonos e suas adjacências são coligados em séries hierárquicas dentro de diferentes escalas. Numa escala de resolução mais grosseira (regional p/ex.), planícies de inundação franjeadas apresentam um complexo de ecótonos dispostos entre os canais do rio e as áreas mais altas adjacentes (p/ex terraços não inundáveis ou as vertentes). Numa escala de resolução mais refinada, áreas de vários tipos e tamanhos, desde habitats a micro-habitats, apresentam uma diversidade de padrões. Uma ampla perspectiva espaço-temporal, incluindo padrões e processos dentro de diferentes escalas é necessária, no sentido de ordenar as idéias a respeito da biodiversidade desses ecossistemas (Ward et al., 1999).

Do ponto de vista da conectividade ecológica, subentende-se uma série de interação entre diferentes corpos de água e entre sistemas aquáticos e riparianos. Tais interações incluem o movimento da água, dos sedimentos, nutrientes, detritos e organismos vivos - transporte ativo e passivo (Ward & Stanford, 1995-a). Nos canais encaixados, predominam interações longitudinais; no trecho aluvial, canais entrelaçados apresentam maiores interações laterais, com certa importância dos processos hiporréticos; nos trechos meandantes, são maiores as interações laterais, porém os aspectos topográficos permitem ainda grande interação longitudinal (figura 10).

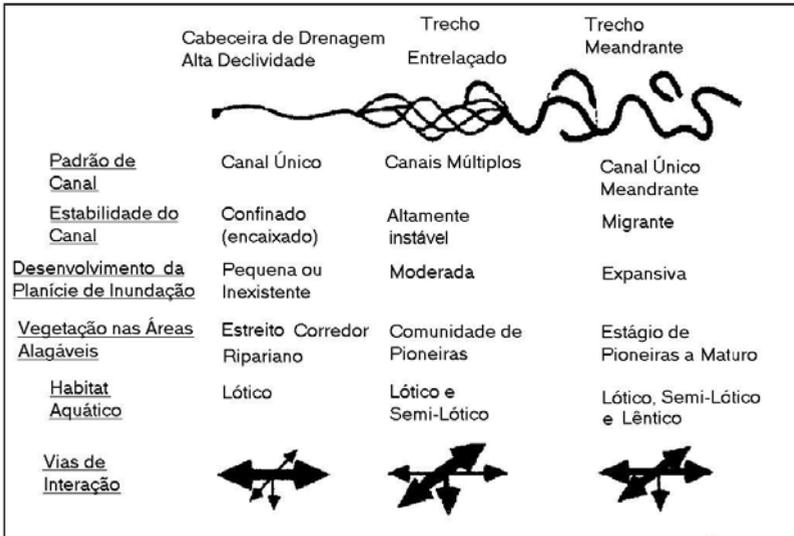


Figura 10. Seqüência longitudinal de sistemas fluviais e prováveis feições gerais que distinguem os trechos. As setas indicam a relativa intensidade das interações (conectividade) longitudinais (seta horizontal), verticais (seta vertical) e laterais (seta oblíqua). *Adaptado de Ward & Stanford (1995-a).*

Um alto grau de heterogeneidade espaço-temporal faz dos ecossistemas de planícies de inundação um dos ambientes de maior riqueza de espécies. A dinâmica fluvial originada pela inundação exerce uma grande importância na manutenção da diversidade de tipos de habitats léticos, lóticos e semi-aquáticos, cada qual representado por uma diversidade de estágios sucessionais. Os ecótonos (zonas de transição entre diferentes áreas adjacentes) e a conectividade (o grau de interação entre os ecótonos) são elementos estruturais e funcionais que resultam e contribuem para a dinâmica espaço-temporal de ecossistemas ribeirinhos.

Por outro lado, Ward & Stanford (1995-b) descreveram o grau de conectividade de diversos *corpos aquáticos* no ambiente de planície de inundação, com o canal do rio, baseados nos seus atributos estruturais e funcionais, que geomorficamente são desenvolvidos ao longo do tempo e da história geológica, hidrodinâmica e geomorfológica do sistema, sendo também um bom exemplo de diversidade de habitats no sistema. Planícies de inundação aluviais contêm uma variedade de biótopos lóticos e lênticos, incluindo o rio e seus canais laterais, olhos d'água emergentes (*springbrooks*), canais tributários e segmentos de canais abandonados (figura 11-A). O rio principal e seus canais laterais (braços) são designados como "eupotamon"; os braços interrompidos (*dead arms*) que mantêm uma

conexão com o canal ativo somente na parte jusante são designados como "parapotamon"; o "plesiopotamon" são segmentos de formato entrelaçado que se tornaram desconectados do canal principal; o "palaeopotamon" é formado de curvas de meandros que se tornaram desconectados. Essa terminologia foi inicialmente desenvolvida no rio Rhône francês em reconhecimento das diferenças ecológicas entre os corpos aquáticos da planície de inundação, baseada nos atributos como conectividade, trajetória sucessional e estrutura das comunidades. Contudo pode ser aplicada aos sistemas tropicais, cujas transformações pleistocênicas e holocênicas permitem a presença de feições atuais e pré-atuais na várzea, desde que possam ser conectadas pelos pulsos do regime hidrológico atual (clima úmido).

Segundo tais autores, os corpos aquáticos da planície de inundação podem estar arrançados ao longo de um gradiente de conectividade com o canal principal ou o talvegue, descritos a seguir (figura 11-B).

Os canais laterais (secundários) do eupotamon, que são conectados com o canal principal nas duas extremidades, são verdadeiros segmentos lóticos, com maior conectividade que o parapotamon, o qual não apresenta corrente unidirecional, sendo conectado apenas na extremidade de jusante.

Os corpos aquáticos enquadrados como plesiopotamon têm maior conectividade com o canal ativo do que os do palaeopotamon (lagos em ferradura - *oxbow lakes*). Nos ambientes de plesiopotamon, tais corpos são menores, habitats rasos que rapidamente sofrem terrestrialização e geralmente ocorrem próximo ao canal ativo, enquanto que os do palaeopotamon são maiores, profundos e de maior longevidade aquática, que podem se situar a grande distância dos canais ativos. Além da distância, os diques naturais, que usualmente não estão presentes nos segmentos entrelaçados, reduzem a frequência da inundação no palaeopotamon, causando nesse tipo de ambiente maior isolamento na planície de inundação do que outros corpos aquáticos.

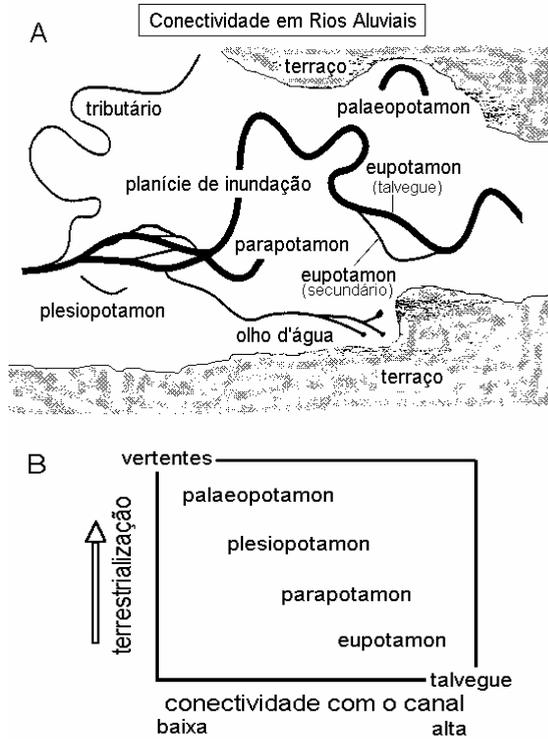


Figura 11. Aspectos da conectividade no sistema rio-planície de inundação. A) tipos de corpos aquáticos, baseados em atributos estruturais e funcionais; B) conectividade relativa dos corpos aquáticos da planície de inundação com o canal principal do rio. (*Adaptado de Ward & Stanford, 1995-b*).

Como o nível da água se eleva durante o pulso de inundação, as ligações a montante dos habitats do parapotamon permitem que os mesmos sejam reconectados ao canal ativo. Com uma elevação adicional do nível da água, o plesiopotamon assume um caráter de água corrente. No pico da inundação, todos os corpos aquáticos, incluindo o palaeopotamon, são inundados. Porém, planícies de inundação adjacentes que são *separadas* durante a estação seca permanecem essencialmente uniformes e contíguas com respeito à química de nutrientes e propriedades biológicas durante a estação de inundação. Assim, passada a inundação, esses sistemas de inundação restabelecem sua individualidade, como mostra o exemplo da figura 12.



Figura 12. Aspectos gerais da planície fluvial do alto rio Paraná sem a inundação, onde os diferentes ambientes aquáticos (conectados e desconectados a canais) e terrestres, se individualizam dentro do seu estágio evolutivo. Contudo, torna-se importante a identifica o dos intervalos de recorrência dos eventos de inunda o e as respectivas áreas que são inundadas a cada magnitude do pulso para o entendimento da intensidade das vias de intera o no contexto da conectividade.

A heterogeneidade espaço-temporal dos sistemas rio-planície de inunda o  , antes de tudo, responsável por uma diversidade de habitats aquáticos dinâmicos. A diversidade de habitats   melhor conhecida pelas diferentes idades (estágios de desenvolvimento) de vários tipos de corpos aquáticos. Dessa maneira, níveis de perturba es naturais mant m a integridade ecológica dos ecossistemas fluviais aluviais. Do ponto de vista da evolu o desse tipo de ecossistema, a "sucessão" dos ambientes para a terrestrializa o pode ser considerada a partir de duas muito diferentes perspectivas: (1) sucessão hídrica dos corpos aquáticos da planície de inunda o, podendo seguir por duas vias, considerando processos alog nicos ou autog nicos; e (2) sucessão da floresta (vegeta o) aluvial (Ward & Stanford, 1995-b). No entanto, nas duas perspectivas,   muito notável que os estágios evolutivos em sistemas naturais são diretamente relacionados com a característica evolutiva (tempo) dos diferentes padrões de canal e suas planícies de inunda o, considerando-se a mesma escala de tempo, envolvendo sua hidrologia, tipo de sedimentos e o clima (figura 13).

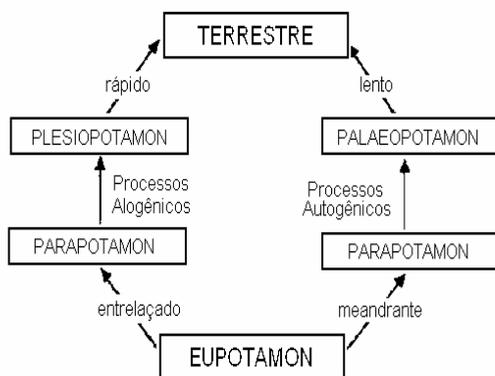


Figura 13. Sucessão hídrica de corpos aquáticos da planície de inundação mediante duas trajetórias (autogênica e alogênica), relacionada ao padrão de canal e seus processos geomórficos, hidrológicos e ecológicos (baseado em Ward & Stanford, 1995-b).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A origem das planícies de inundação está diretamente relacionada com o ajuste entre a energia do sistema fluvial, dada pelas variáveis da geometria hidráulica num trecho do canal, e a carga e calibre do material detrítico proveniente das encostas, intimamente relacionado com as litologias e o clima na bacia. Nesse ajuste, e na busca do perfil ideal de equilíbrio, a planície de inundação surge como uma forma deposicional, onde os sedimentos são estocados. Num pequeno intervalo de tempo, sob condição de equilíbrio, a taxa de entrada de sedimentos é igual à taxa de saída. O estágio de margens plenas assume o papel mais importante na evolução do sistema rio-planície de inundação, pois os processos de acreção lateral e vertical, assim como de abandono de canais, estão diretamente associados a tal estágio. Assim, em situação de equilíbrio, o sistema evolui na mesma taxa de ocorrência dos eventos hidrológicos mais importantes, como o débito de margens plenas (aqui mencionado como o débito com recorrência de 1,58 anos).

A planície de inundação, seja do ponto de vista puramente deposicional, morfológico ou genético, apresenta direta relação com o canal fluvial, desde que seja contemporânea com o regime hidrodinâmico do canal (energia e tipo de carga). Assim, a morfologia e facies da planície de inundação apresentam-se como uma recíproca da morfologia e facies exibidas pelos canais dos diferentes tipos e subtipos de padrões fluviais, seja

o meandrante, anastomosado ou entrelaçado, apresentando conseqüentemente, uma identidade com a energia no sistema.

A geomorfologia, os depósitos e as características hidrodinâmicas assumem grande importância na estrutura e função dos ecossistemas rio-planície de inundação. Um alto grau de heterogeneidade espaço-temporal nesses ecossistemas promove uma grande riqueza de espécies. Tal riqueza está relacionada diretamente a uma grande diversidade de habitats e ecótonos, cuja dinâmica fluvial originada pela inundação é responsável pelos diferentes estágios sucessionais dos ambientes aquáticos. Com referência à alternância do regime hidrológico e à geomorfologia do sistema, a zona de transição aquática-terrestre apresenta-se como ambiente terrestre no período de águas baixas, e como área inundada, no período de águas altas. Nessa zona, assim como nos corpos aquáticos perenes, o pulso de inundação apresenta-se como um fator regulador nas relações hidrológicas, morfogenéticas e bióticas do sistema.

As características geomorfológicas e sedimentares atuais e pretéritas, associadas à hidrodinâmica no sistema fluvial são responsáveis pela diversidade espaço-temporal dos processos ecológicos nos seus diferentes subambientes. Tais características, associadas ao aspecto geomórfico evolutivo do sistema, conduz a uma alta diversidade de habitats terrestres, transicionais e aquáticos, em diferentes estágios sucessionais de terrestrialização, como canais principais, canais semilóticos (secundários), lagoas conectadas, lagoas fechadas, baixios e áreas baixas, áreas de transição (ztat) e áreas permanentemente secas, as quais estão associadas aos estágios de utilização e abandono dos canais do sistema principal e dos paleocanais na planície fluvial, em concordância com o estado de equilíbrio do sistema canal fluvial e sua planície aluvial.

A conectividade pode ser definida pela maneira como organismos, matéria e energia interligam os ecótonos entre unidades ecológicas adjacentes. A conectividade também se refere à extensão na qual nutrientes, matéria orgânica e outras substâncias cruzam os ecótonos. A conectividade hidrológica, em especial, refere-se à transferência de água entre o canal do rio e a planície de inundação e entre os compartimentos da superfície e subsuperfície, e tem maiores implicações para os padrões de biodiversidade. Isso é devido, em parte, à função que a conectividade hidrológica desempenha na estruturação dos padrões sucessionais no sistema rio-planície de inundação (Ward et al., 1999).

Agradecimentos

Os autores agradecem à CAPES e CNPq pelo apoio financeiro, à UFMS/CPTL/DCH, à UEM (DGE/GEMA e ao NUPELIA/PEA) pela possibilidade da execução das pesquisas que originaram este trabalho.

REFERÊNCIAS

AGOSTINHO, A. A., & ZALEWSKI, M.A., 1996. *A planície alagável do alto rio Paraná: importância e preservação*. Maringá: EDUEM. 100p.

CHORLEY, R.J.; SCHUMM, S.A. & SUGDEN, D.E., 1985. *Geomorphology*. Methuen, Inc., New York, 607 p.

CHRISTOFOLETTI, A. 1981. *Geomorfologia Fluvial*. ed. Edgard Blucher. São Paulo-SP.

CONAMA, 1986. Resolução CONAMA n. 20 de 18 de junho de 1986. Resolução do Conama – 1984/86. *Brasília*: SEMA. 92 p.

ESTEVES, F.A., 1998. Considerations on the Ecology of Wetlands, With Emphasis on Brazilian Floodplain Ecosystems. In: Scarano, F.R. & A.C. Franco (eds.). *Ecophysiological Strategies of Xerophitic and Amphibious Plants in the Neotropics. Séries Oecologia Brasiliensis*, vol IV. PPGE-UFRJ. Rio de Janeiro, Brazil.

FERNANDEZ, O.V.Q. & SOUZA FILHO, E.E. 1995. Efeitos do regime hidrológico sobre a evolução de um conjunto de ilhas no rio Paraná. *Boletim Paranaense de Geociências*, ed da UFPR, Curitiba, n° 43, p161-171.

FINDLAY, S. 1995. Importance of surface-subsurface exchange in stream ecosystems: the hyporheic zone. *Limnology and Oceanography* 40:159-164 pp.

HINKLE, S. R., J. H. DUFF, F. J. TRISKA, A. LAENEN, E. B. GATES, K. E., BENCALA, D. A. WENTZ, AND S. R. SILVA, , 2001. Linking hyporheic flow and nitrogen cycling near the Willamette River—A large river in Oregon, USA, *J. Hydrol.*, 244, 157–180.

JOHNSON, L.J., RICHARDSON, W.B. & NAIMO, T.J., 1995. Past, Present, and Future Concepts in Large River Ecology. *BioScience*, 45. N.3., 134-141 pp.

JUNK, W.J.; BAYLEY, P.B. & SPARKS, R.E., 1989. The Flood Pulse Concept in River-Floodplain Systems. In: D.P. Dodge (Ed) *Proceedings of the International Large River Symposium*. *Can. Spec. Public. Fish. Aquat. Sci.*, 106. 110-127 pp.

LEEDER M.R., 1982. River Plains. In: *Sedimentology, Products and Process*. Cap. 15. John Wiley & Sons.

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

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

MINSHALL, G.W.; CUMMINS, K.W.; PETERSEN, R.C.; CUSHING, C.E.; BRUNS, D.A.; SEDELL, J.R. & VANNOTE, R.L., 1985. Developments in Stream Ecosystem Theory. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 42. 1045-1055 pp.

PETTS, G.E. & FOSTER, I., 1990. *Rivers and Landscape*. The Athenaeum Press. 2. Ed., New Castle. Great Britain.

PETTS, G. & AMOROS, C. (eds.), 1996. *Fluvial Hydrosystems*. Chapman & Hall, London.

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.

ROCHA, P.C.; FERNANDEZ, O.V.Q.; SOUZA FILHO, E.E., 1994. Influência de Grandes Barragens Sobre o Regime Hidrológico do rio Paraná em Guaíra-PR., an. .5^o Congr. Bras. de Geógrafos, Curitiba-PR.

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

ROCHA, P.C., SANTOS, M.L. & COMUNELLO, E. (2001), The Disequilibrium Stage of Upper Parana River Flood System, Southern-Central Brazil. *V REQUI/ I CQPLI*, Lisboa, Portugal. Jul/2001. 137 – 140 p.

ROCHA, P.C., COMUNELLO, E. & SOUZA FILHO, E.E., 2003. CONSIDERAÇÕES SOBRE A VARIABILIDADE HIDROLÓGICA DO ALTO RIO PARANÁ. *Revista do Departamento de Geografia (Geo UERJ)* ed. Esp. X SBGFA. Rio de Janeiro. 2022 – 2033 pp.

SANTOS, M.L., ROCHA, P.C. & COMUNELLO, E. (2001), 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.

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

SOUZA FILHO, E.E., 1993. 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.

SOUZA FILHO, E.E. & STEVAUX, J.C. 1997., Geologia e Geomorfologia do Complexo Rio Baía, Curutuba, Ivinheima. In: Vazzoler, A.E.A.M., Agostinho, A.A. and Hahnn, N.S. (eds), *A Planície De Inundação Do Alto Rio Paraná*. UEM-Nupelia, Maringá-PR.

SOUZA FILHO, E.E., ROCHA, P.C., CORREA, G.T. & COMUNELLO, E., 2001. 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.

SPARKS, R. E., 1995. Need for Ecosystem Management of Large Rivers and Their Floodplains. *BioScience*, 45. N.3, 168-182.

STANFORD, J.A. & WARD, J.V., 1993. An ecosystem perspective of alluvial rivers: connectivity and the hyporheic corridor. *J. North Am. Benthol. Soc.* 12, 48-60 pp.

THOMAZ, S.M., ROBERTO, M.C. & BINI, L.M. 1997. Caracterização Limnológica dos Ambientes Aquáticos e Influência dos Níveis Fluviométricos. In: Vazzoler, A.E.A.M., Agostinho, A.A. and Hahnn, N.S. (eds), *A Planície De Inundação Do Alto Rio Paraná*. UEM-Nupelia, Maringá-PR.

VANNOTE, R.L., MINSHALL, G.W., CUMMINS, K.W., SEDELL, J.R. & CUSHING, C.E., 1980. The river continuum concept. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, vol.37, p. 130-137.
WARD, J.V., 1989. The four-dimensional nature of lotic ecosystems. *J. North Am. Benthol. Soc.* 8. 2-8 pp.

WARD, J.V. & STANFORD, J.A., 1983. The intermediate-disturbance hypothesis: an explanation for biotic diversity patterns in lotic ecosystems. In Fontaine, T.D. and Bartell, S.M. (eds). *Dynamics of Lotic Ecosystems*. A. A. S. Publishers. 347-356 pp.

WARD, J.V. & STANFORD, J.A., 1993. Research needs in regulated river ecology. *Regulated Rivers: Research & Management*. John Willey & Sons Ltd. Vol. 8, 205-209 pp.

WARD, J.V. & STANFORD, J.A., 1995-A. The serial discontinuity concept: Extending the model to floodplains rivers. *Regulated Rivers: Research & Management*, vol 10. P. 159-168.

WARD, J.V. & STANFORD, J.A., 1995-B. Ecological Connectivity in Alluvial River Ecosystem and Its Disruption by Flow Regulation. *Regulated Rivers: Research & Management*, vol. 11, 105-119 pp.

WARD, J.V.; TOCKNER, K & SCHIEMER, F., 1999. Biodiversity of Floodplain River Ecosystems: Ecotones and Connectivity. *Regul. Rivers: Res. & Mgmt.*, 15. 125-139.
WHITE, D. S. (1993): Perspectives on defining and delineating hyporheic zones. – *J. N. Am. Benthol. Soc.* 12, 1: 61–69.