

SISTEMAS RIO-PLANÍCIE DE INUNDAÇÃO: GEOMORFOLOGIA E CONECTIVIDADE HIDRODINÂMICA

Paulo Cesar Rocha

Professor do Departamento de Geografia da Faculdade de Ciência e Tecnologia –
UNESP, Campus de Presidente Prudente.
Rua Roberto Simonsen, 305, CEP 19.060-900 - Presidente Prudente-SP. E-mail:
pcrocha@fct.unesp.br

RESUMO: Este artigo aborda uma discussão de conceitos acerca dos processos hidrodinâmicos atuante nos sistemas rio-planície de inundação, visando uma interpretação associativa entre as diversas feições geradas pelos processos geomórficos e a intensidade da 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 nestes ecossistemas, que promovem uma grande diversidade de formas (e habitats) terrestres e aquáticas, e grande riqueza de espécies, tornando estas áreas de grande importância para a preservação ambiental. A dinâmica fluvial originada pela inundação ao longo do tempo é responsável pelos diferentes estágios sucessionais dos ambientes aquáticos, transicionais e terrestres, dependentes da própria evolução geomorfológica do sistema fluvial. Esses fatores determinam o grau de conectividade dos ambientes ao sistema fluvial.

Palavras-chave: geomorfologia, conectividade, sistemas rio-planície de inundação.

River-floodplain systems: geomorphology and hydrodynamic connectivity

ABSTRACT: This paper explains the hydrodynamic processes concepts in the floodplain-river systems, with an associative interpretation among the different forms generated and their geomorphic process with the intensity of hydrologic connectivity (interactions way) between main channel and floodplain environments. 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 ecosystems that support a large diversity of terrestrial and aquatic forms (and habitats), and also species richness, making these areas with special importance to environmental preservation. The fluvial dynamic originated by the inundation along the time is responsible to the different sucessional stages of aquatic transitional and terrestrial segments and there are relative to the aim geomorphic evolution within the fluvial system. These factors determine the degree of connectivity between the fluvial system environments and the River.

Keywords: geomorphology, connectivity, river floodplain systems

1. Introdução

Os estudos geográficos, a respeito de rios, ancorados na geomorfologia, vêm sendo levados a partir de uma visão holística, principalmente quando com enfoque ambiental. A necessidade de preservação ambiental e de uso racional dos recursos naturais tem sido discutida ultimamente, principalmente com preocupação especial voltada aos recursos hídricos. Contudo, sabe-se que os recursos hídricos são parte de um sistema ambiental mais amplo, que envolve a litosfera, a atmosfera e a biosfera. Tal integração pode ser observada nos estudos ambientais dos sistemas rio-planície de inundação.

A planície de inundação é uma feição deposicional do vale do rio associada com um regime climático ou hidrológico particular da bacia de drenagem. Os sedimentos são temporariamente estocados na planície de inundação ao longo do vale e, sob condição de equilíbrio, sem aumento ou diminuição por um longo tempo (anos), a taxa de entrada de sedimentos é igual à de saída. Porém, uma alteração das condicionantes do equilíbrio, através de processos tectônicos ou por mudanças no regime hidrológico, incluindo mudanças no aporte de sedimentos e de água, controle por barragens, poderá resultar na alteração da planície de inundação e levar a degradação e formação de terraço, ou por outro lado levar à nova agradação (LEOPOLD et al., 1964).

O estágio de margens plenas assinala a descontinuidade entre o sistema *canal fluvial* e o sistema *planície de inundação*. Até atingi-lo, o escoamento das águas processa-se no interior do canal e origina diversas formas topográficas. Ultrapassado este estágio, 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 (CHRISTOFOLLETTI, 1981).

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. Assim, sua conceituação foi

sendo herdada de outros conceitos que foram surgindo ao longo do tempo, como o *continuum* geomorfológico (LEOPOLD et al, 1964) e ecológico (VANOTE et al, 1980), a *descontinuidade serial* (WARD & STANFORD, 1983), o *pulso de inundação* (JUNK et al, 1989), as *dimensões fluviais* (WARD, 1989), os *corredores hiporreicos* (STANFORD & WARD, 1993) dentre outros. Estes e vários outros estudos que buscam entender as interações hidrodinâmicas e biológicas entre os ambientes aquáticos e terrestres podem ser entendidos também como conceitos de *conectividade*.

Para um razoável entendimento da conectividade, os pressupostos básicos de gênese das formas de relevo e da hidrodinâmica de um sistema fluvial devem ser avaliados.

Condições hidrológicas e geomorfológicas interagem para determinar padrões e processos fluviais 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 esta representa estágios sucessionais estruturados pela migração lateral do canal do rio na sua planície de inundação (p/ex. rios meandantes). 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 desta ordem de escala (WARD & STANFORD, 1995-A).

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 além de 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. Contudo, ambientes em desequilíbrio fluvial podem ter a inundação total

com intervalos maiores, como no caso do alto rio Paraná, que apresenta recorrência de aproximadamente 5,6 anos (FERNANDEZ & SOUZA FILHO, 1995; SANTOS et al, 2001; ROCHA et al, 2001, ROCHA 2009), como fruto do estágio de ajuste do sistema rumo ao equilíbrio fluvial.

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 destes ecossistemas (WARD et al., 1999).

Neste artigo o objetivo geral é apresentar uma discussão conceitual sobre os processos de conectividade em sistemas rio-planície de inundação, procurando evidenciar a importância do entendimento da evolução das diferentes formas de relevo nestes ambientes no entendimento dos fluxos entre os segmentos aquáticos e os canais principais. Nessa perspectiva, esta discussão subsidia estudos ecológicos nestes sistemas ambientais.

Para tanto, utilizou-se de uma revisão dos principais conceitos acerca dos padrões evolutivos dos sistemas fluviais, no espaço e no tempo, assim como dos conceitos acerca da ecologia de rios. O intuito é evidenciar que todo entendimento dos postulados ecológicos em sistemas rio-planície de inundação são fortemente determinados pelos padrões evolutivos geomorfológicos.

2. 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 neste 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; CHRISTOFOLETTI, 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 esta 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, 1981).

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 freqüência 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. 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 1). A *balança 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 agradção 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 construção em fase com o novo padrão hidrológico tenderá a ser desenvolvida – a nova planície de inundação - cujos processos de esculturação estarão associados com a disponibilidade de sedimentos, com as descargas do rio e com a recorrência do importante estágio de margens plenas.

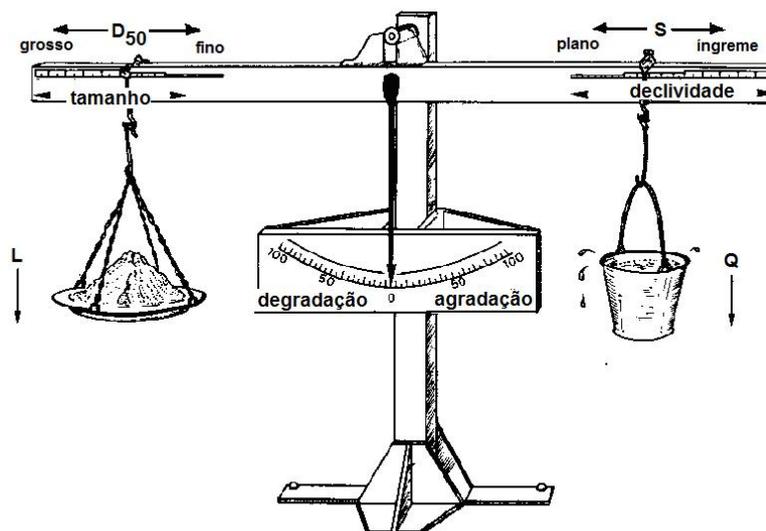


Figura 1. Esquema da balança da estabilidade do canal $L \times D_{50} \propto S \times Q$. adaptado de Chorley et al. (1985). L : carga sedimentar; D_{50} : diâmetro das partículas; S : declividade (média); Q : vazão.

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 2).

Com relação à descrição de tais padrões, a morfologia dos rios *meandrant*es 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 (Petts & Foster, 1990).

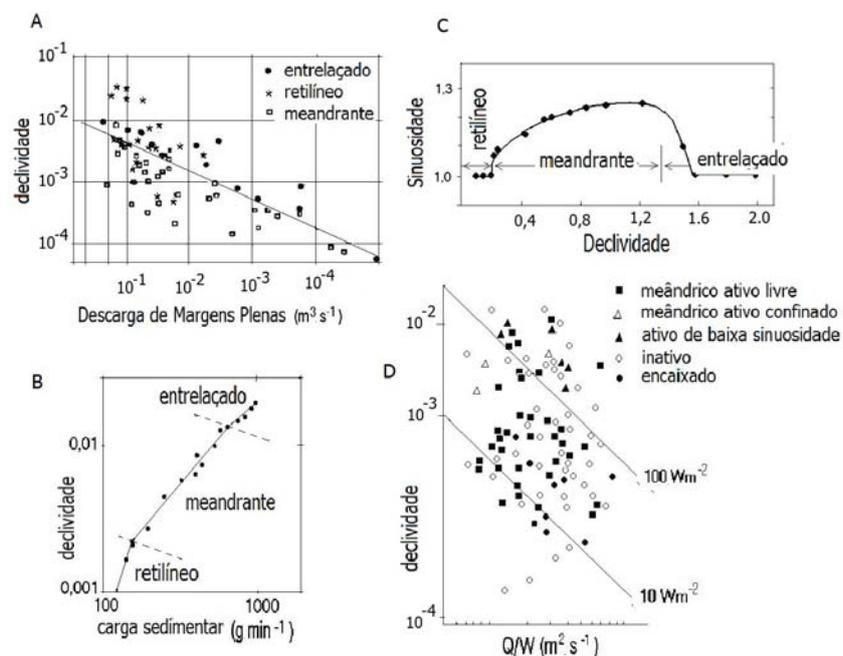


Figura 2. O *continuum* fluvial, representado por variações no padrão de canal conforme o relacionamento entre a declividade, descarga, carga sedimentar e energia do canal. A: Leopold & Wolman (1957); B e C: Schumm & Khan (1973); D: Fergusson (1981), em Petts & Foster (1990). Adaptado de Petts & Foster (1990).

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). A figura 3 mostra os quatro tipos principais de padrão de canal.

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, a figura 4 apresenta um sistema clássico de padrões de canais que teoricamente se sucedem ao longo do perfil longitudinal: canais encaixados, entrelaçados, meandringantes e anastomosados respectivamente. Contudo, outras configurações podem ocorrer e controles geomórficos 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.

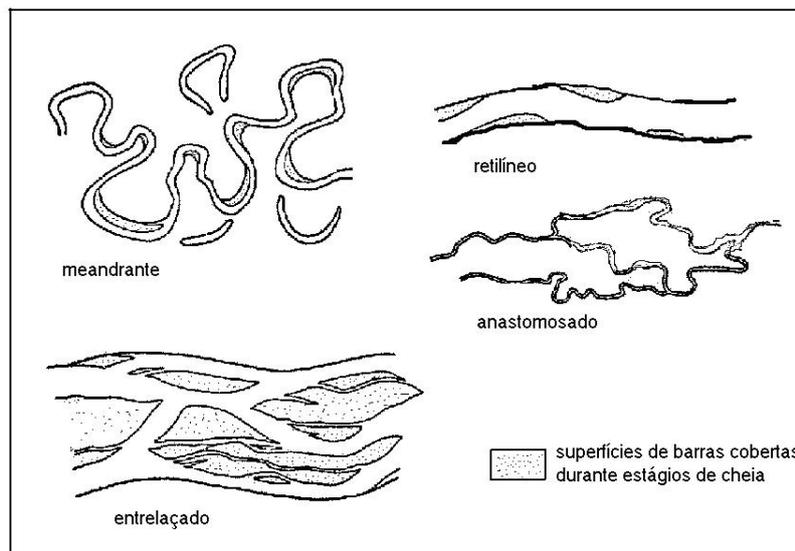


Figura 3. Padrões de canal - forma em planta, conforme Miall (1977).

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. Nestes 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 morfológico, 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 — CONTINUUM | | | | |
|---------------------------------|-------------|-------------|------------|--------------|
| | ENCAIXADO * | ENTRELAÇADO | MEANDRANTE | ANASTOMOSADO |
| PARÂMETRO | | | | |
| SUPERFÍCIE DO CANAL | BAIXA | ALTA | MÉDIA | MÉDIA |
| ÁREA : DESCARGA | > veloc | > largura | > profund | > profund |
| ÁREA INUNDADA calha aluvial | PEQUENA | MÉDIA | GRANDE | GRANDE |

* Sistemas Erosivos

Figura 4. 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).*

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 deste contexto que toda a biota local evolui, apresentando relacionamentos importantes com o meio físico, que assume um papel determinístico, 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.

3. O Conceito de *Conectividade* no Ambiente Fluvial

O sistema rio-planície de inundação consiste de um complexo de ecossistemas, incluindo o rio(s), brejos (pântanos) canais, lagos, ilhas e zonas de transição. Estes 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 geo-ecológicos.

Na conceituação 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-B). Nos canais encaixados, predominam interações longitudinais; no trecho aluvial, canais entrelaçados apresentam maiores interações laterais, com certa importância dos processos hiporréicos; nos trechos meandrantés, são maiores as interações laterais, porém os aspectos topográficos permitem ainda grande interação longitudinal (figura 5).



Figura 5. 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-B).

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 lânticos, 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 do ecossistema fluvial.

4. Atributos Geomorfológicos no Entendimento da Intensidade de Conectividade

Ward & Stanford (1995-A) 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 lânticos, incluindo o rio e seus canais laterais, olhos d'água emergentes (*springbrooks*), canais tributários e segmentos de canais abandonados (figura 6-A).

O rio principal e seus canais laterais (braços) são designados como "eupotamon"; os braços interrompidos (*dead arms*) que mantém uma conexão com o canal ativo somente na parte jusante, também chamado popularmente de "ressaco", são designados como "parapotamon"; os "plesipotamons" são segmentos de sistemas multicanais que se tornaram desconectados do canal principal; o "palaeopotamon" são formados de curvas de meandros que tornaram-se desconectados (meandros abandonados). Esta terminologia foi inicialmente desenvolvida no rio Rhöne na França, em reconhecimento das diferenças ecológicas entre os corpos aquáticos da planície de inundação, baseada nos atributos como conectividade, trajetória sucessional e estrutura das comunidades.

Esta conceituação pode ser aplicada aos estudos nos sistemas tropicais, cujas transformações pleistocênicas e holocênicas permitem a presença de feições atuais e pré-atuais na planície fluvial, adaptadas para a identificação da sua gênese geomórfica e grau de conectividade em função do regime hidrológico atual.

Segundo Ward & Stanford (1995-A), os corpos aquáticos da planície de inundação podem estar arranjados ao longo de um gradiente de conectividade com o canal principal ou o talvegue, descritos a seguir (figura 6-B).

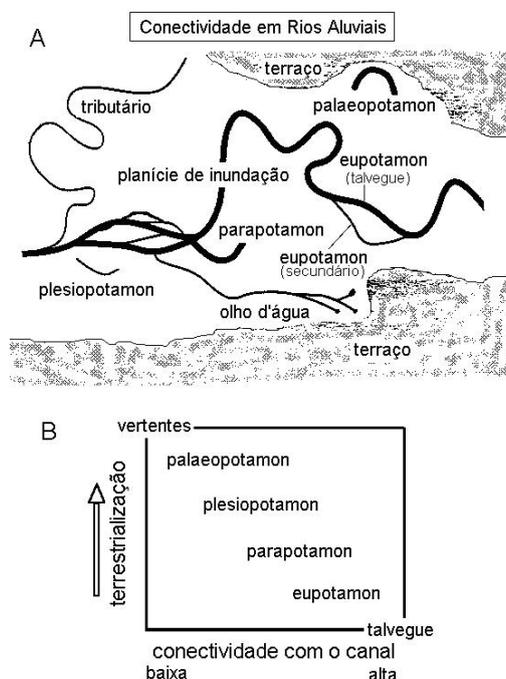


Figura 6. Aspectos da conectividade no sistema rio-planície de inundação. A) tipos de corpos aquáticos, baseados em atributos estruturais e funcionais; B) conectividade relativa dos corpos aquáticos da planície de inundação com o canal principal do rio. Adaptado de Ward & Stanford, (1995-A).

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

Os corpos aquáticos enquadrados como segmentos abandonados de sistemas multicanais, caso sejam de sistemas entrelaçados (*plesiotamon*), os quais não têm diques marginais tão bem desenvolvidos como os meandantes, têm maior conectividade com o canal ativo do que os do palaeopotamon (meandros abandonados - *oxbow lakes*). Nestes canais, tais corpos são menores, habitats rasos que rapidamente sofrem terrestrialização e geralmente ocorrem próximo ao canal ativo, enquanto que os meandros abandonados (*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 freqüência da inundação no meandro abandonado, causando neste tipo de ambiente maior isolamento na planície de inundação do que outros corpos aquáticos.

Como o nível da água se eleva durante o pulso de inundação, as ligações a montante dos braços interrompidos ou ressacos (*parapotamon*) permitem que os mesmos sejam reconectados ao canal ativo. Com uma elevação adicional do nível da água, os segmentos abandonados (*plesiotamon*) assumem um caráter de água corrente. No pico da inundação, todos os corpos aquáticos, incluindo os meandros abandonados (*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, estes sistemas de inundação restabelecem sua individualidade.

A heterogeneidade espaço-temporal dos sistemas rio-planície de inundação é, antes de tudo, responsável por uma diversidade de habitats aquáticos dinâmicos. A diversidade de habitats é mais bem conhecida pelas

diferentes idades (na verdade, estágios de desenvolvimento) de vários tipos de corpos aquáticos. Dessa maneira, níveis de perturbações naturais mantêm a integridade ecológica dos ecossistemas fluviais aluviais. Do ponto de vista da evolução desse tipo de ecossistema, a "sucessão" dos ambientes para a terrestrialização pode ser considerada a partir de duas muito diferentes perspectivas: (1) sucessão hídrica dos corpos aquáticos da planície de inundação, podendo seguir por duas vias, considerando processos alogênicos ou autogênicos; e (2) sucessão da floresta (vegetação) aluvial (WARD & STANFORD, 1995-A).

No entanto, nas duas perspectivas, é 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 inundação, considerando-se a mesma escala de tempo, envolvendo sua hidrologia, tipo de sedimentos e o clima (figura 7).

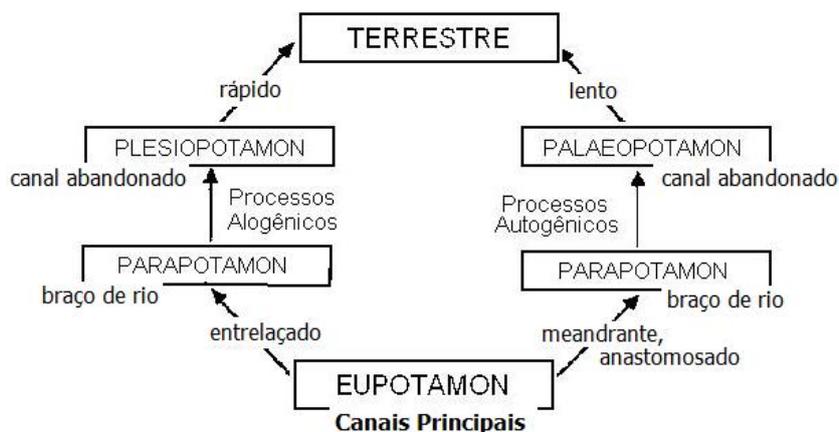


Figura 7. Sucessão hídrica de corpos aquáticos da planície de inundação mediante duas trajetórias (autogênica e alogênica), relacionada ao padrão de canal e seus processos geomórficos, hidrológicos e ecológicos. Adaptado de WARD & STANFORD (1995-A).

5. Considerações Finais

A planície de Inundação seja do ponto de vista puramente deposicional, morfológico ou genético, apresenta direta relação com o canal fluvial, desde que esta seja contemporânea com o regime hidrodinâmico do canal (energia e tipo de carga). Assim, a morfologia e fácies da planície de inundação apresentam-se como uma recíproca da morfologia e fácies exibida

pelos canais dos diferentes tipos e sub-tipos de padrões fluviais, seja o meandrante, anastomosado ou entrelaçado, apresentando conseqüentemente, uma identidade com a energia no sistema.

A morfologia, 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 nestes 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, próprios da evolução geomorfológica do sistema.

As características morfológicas e sedimentares atuais e pretéritas, associadas à hidrodinâmica no sistema fluvial são responsáveis pela diversidade espaço-temporal dos processos ecológicos nos seus diferentes sub-ambientes. Tais características, associadas com o 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 semi-lóticos (secundários), lagoas conectadas, lagoas fechadas, baixios e áreas baixas, áreas de transição (*zta*) 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, se refere 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. Isto 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). Estes aspectos devem ser entendidos no conjunto da evolução do sistema geomorfológico fluvial e dos diferentes estágios das feições presentes no rio e na planície de inundação.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq/CT-Hidro pelo apoio financeiro, à UEM (DGE/GEMA e ao NUPELIA/PEA) pelo apoio e logística, e à GUC-MS, Parque Estadual das Várzeas do Rio Ivinheima pela autorização ambiental para execução das pesquisas de campo que originaram este trabalho.

Referências

- CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia Fluvial**. São Paulo: Edgard Blucher, 1981.
- ESTEVES, F.A. Considerations on the Ecology of Wetlands, With Emphasis on Brazilian Floodplain Ecosystems. In: SCARANO, F.R. & FRANCO, A. C. (eds.). **Ecophysiological Strategies of Xerophitic and Amphibious Plants in the Neotropics**. Séries Oecologia Brasiliensis, vol IV. PPGE-UFRJ. Rio de Janeiro, 1998.
- FERNANDEZ, O.V.Q. & SOUZA FILHO, E.E. Efeitos do regime hidrológico sobre a evolução de um conjunto de ilhas no rio Paraná. **Boletim Paranaense de Geociências**, Curitiba: UFPR, n° 43, p161-171, 1995.
- JUNK, W.J.; BAYLEY, P.B. & SPARKS, R.E. 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, 1989.
- LEOPOLD, L.B., WOLMAN, M.G. & MILLER, J.P. **Fluvial processes in geomorphology**. San Francisco: Freedman, 1964, 319 p.
- ROCHA, P.C., SANTOS, M.L. & COMUNELLO, E. The Disequilibrium Stage of Upper Parana River Flood System, Southern-Central Brazil. V **REQUI/ I CQPLI**, Lisboa, Portugal. Jul/2001. p.137-140, 2001.
- 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. p.145-148, 2001.
- THOMAZ, S. M., ROBERTO, M.C. & BINI, L.M. Caracterização Limnológica dos Ambientes Aquáticos e Influência dos Níveis Fluviométricos. In: VAZZOLER, A.E.A.M., AGOSTINHO, A.A., HAHNN, N. S. (eds), **A Planície De Inundação Do Alto Rio Paraná**. Maringá: UEM-Nupelia, 1997.

VANNOTE, R.L., MINSHALL, G.W., CUMMINS, K.W., SEDELL, J.R. & CUSHING, C.E. **The river continuum concept**. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, vol.37. p. 130-137, 1980.

WARD, J.V. **The four-dimensional nature of lotic ecosystems**. *J. North Am. Benthol. Soc.* 8. 2-8 pp, 1989.

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

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

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

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

WARD, J.V.; TOCKNER, K & SCHIEMER, F. **Biodiversity of Floodplain River Ecosystems**: Ecotones and Connectivity. *Regul. Rivers: Res. & Mgmt.*, 15. p.125-139, 1999.

Recebido em: 25/02/2011.

Aceito para publicação em:20/07/2011.