1.1 - Aspectos geológicos e geomorfológicos

Introdução

O segmento fluvial do rio Paraná, alvo de estudo deste projeto, é palco de um conjunto de modificações proporcionadas pela formação do reservatório de Porto Primavera. Todo segmento a montante da área de estudo encontra-se barrado (UHE Porto Primavera e UHE Jupiá). Da mesma forma, seu principal afluente na área, o rio Paranapanema, possui uma sucessão de reservatórios, culminada pela barragem da UHE Rosana.

Pelo exposto, o segmento fluvial da área de Porto Rico encontra-se sob influência dos efeitos das barragens de Porto Primavera e de Rosana. Contudo, o Reservatório de Porto Primavera é o que mais tem influenciado o sistema, visto que sua formação é relativamente recente (final de 1998), e pelo fato de sua existência ter aumentado o controle das vazões, diminuído o transporte de carga suspensa, e cortado o suprimento de material de fundo. Além disso, sua operação aumentou o controle sobre a vazão, e tem proporcionado variações dioturnas significativas de nível e descarga.

Os estudos a respeito da geomorfologia do sistema vem sendo conduzidos de forma a acompanhar o processo de ajuste fluvial, no que diz respeito ao transporte de sedimentos, erosão marginal, e abrangência de cheias. A hipótese de trabalho adotada é que o ajuste se propaga de montante para jusante, e é controlado pela dinâmica das formas de leito, que por sua vez é controlada pela descarga fluvial.

Conforme mencionado, a descarga fluvial depende da operação das barragens de Porto Primavera e de Rosana, e um dos efeitos já relatados é a ausência de cheias significativas desde o final de 1998. Por outro lado, o fluxo fluvial é responsável pelo transporte de sedimentos, que sem reposição, leva à remoção do leito móvel do canal. Esta remoção do leito móvel aumenta a eficiência do fluxo, e aprofunda o canal, levando à diminuição da área abrangida pelas cheias.

Tais modificações interferem no sistema rio planície alterando os habitats do canal e da planície. No primeiro caso um canal de fundo arenoso está sendo transformado em um canal de fundo rochoso. No segundo caso, o aumento da eficiência do fluxo reduz o nível do rio, que leva ao abaixamento do freático, que por sua vez é responsável pela manutenção do nível das lagoas. Alem disso, a redução do nível das cheias interfere com a comunicabilidade do conjunto da planície nos períodos de inundação.

Para o acompanhamento do processo de ajuste fluvial as variáveis que vêm sendo estudadas são a variabilidade dos dados hidrológicos, a abrangência das cheias, o transporte de sedimentos, e a erosão marginal.

Materiais e Métodos

Para o estudo da variabilidade hidrológica são utilizados os dados relativos a nível fluviométrico e de vazão das estações de Porto São José, de Porto Caiuá, de Guaíra, e os dados de vazão das barragens de Porto Primavera e de Rosana, da estação fluviométrica Ivinheima, e Porto Paraíso do Norte (rio Ivaí), além dos dados de uma régua de controle situada na base de campo em Porto Rico.

As séries históricas de nível e de vazão já foram estudadas sob o ponto de vista da caracterização de condições de fluxo natural e controlado, e de variabilidade dioturna. Atualmente a análise dá ênfase à dinâmica espacial, por meio da comparação de dados das diversas estações ao longo do segmento. Esta abordagem vem sendo feita para que possa ser verificada a validade da curva de correlação nível-vazão (curva chave) de cada estação fluviométrica.

O estudo da abrangência das cheias vem sendo realizado por meio de duas formas. Uma delas utiliza-se de imagens orbitais para a delimitação de áreas inundadas em um determinado nível fluviométrico. A outra forma utiliza-se de vestígios de sedimentos de cheias antigas e por análise da freqüência e magnitude de cheias registradas nas séries históricas de nível fluviométrico.

A primeira abordagem trabalha com imagens orbitais obtidas a partir de 1972, e infelizmente não pôde ser utilizada em período posterior a 1998 porque apenas em janeiro de 2005 o rio Paraná apresentou uma cheia significativa. Contudo serão importantes para a comparação com as cheias futuras.

A segunda forma de abordagem envolve o estudo de depósitos de canal encontrados sobre a planície, formados em período de cheia. Tais depósitos possuem características sedimentológicas e estruturais que permitem avaliar a profundidade em que os depósitos foram formados. A análise de freqüência e magnitude das cheias permite estabelecer o período de retorno de cada nível fluviométrico, e os níveis de transbordamento em cada estação fluviométrica.

Para a análise da recorrência de determinada vazão é utilizada a fórmula:

$$Ir = \frac{(n+1)}{m}$$

Ir: intervalo de recorrência
n: número total de eventos considerados
m: número de ordem do evento organizado numa escala em ordem decrescente

Para a análise da recorrência de determinado nível fluviométrico é utilizada a fórmula:

$$f = \frac{r}{n}$$

f: recorrência das cheias
r: ordem do evento
n: número de anos (n) da série histórica

A utilização das duas fórmulas de cálculo é importante porque o nível fluviométrico é um valor observado, enquanto ao vazão é um valor calculado, que depende da correta calibração da curva chave. Como a área está em ajuste, as curvas chave existentes já não estão calibradas, e o estabelecimento de uma nova correlação segura só poderá ser feita após o término do período de ajuste.

O transporte de sedimentos é realizado de duas formas: por suspensão e pelo fundo. O transporte de sedimentos em suspensão vem sendo estudado por meio de imagens orbitais e por meio de coleta em campo. O transporte de fundo vem sendo realizado por meio de trabalhos de campo.

As imagens utilizadas para o estudo do transporte de sedimentos em suspensão foram obtidas pelo sensor CCD do Satélite Sino-Brasileiro (CBERS II). As imagens são georreferenciadas, passam por correção radiométrica e atmosférica, e têm a área do canal recortada. A seguir é feita o fatiamento das bandas 3 e 4 da cena recortada, e os valores de reflectância são comparados com dados de campo. Tal procedimento permite avaliar qual é a carga suspensa em grandes extensões fluviais, assim como verificar sua variabilidade espacial.

As verificações de campo para a avaliação da carga suspensa são realizadas em duas seções. Uma delas está situada próximo a barragem de Porto Primavera e outra está na seção de Porto São José. Em ambas há quatro pontos de coleta georreferenciados, onde é feita a amostragem. Cada amostragem coleta água com garrafa de Vann Dor em cinco níveis diferentes. Cada amostra de água é filtrada em filtro micro-pore, e o material retido é pesado, após queima da matéria orgânica.

Os trabalhos de campo para avaliação do transporte de fundo utiliza um eco-batímetro georreferenciado, e são realizadas seções longitudinais pré estabelecidas no segmento de Porto São José. As seções são levantadas em um único dia, e sua densidade permite a elaboração do mapa de fundo da área. Duas semanas após a primeira passagem é feito um novo levantamento, e o fundo é novamente cartografado. A avaliação do transporte é feita ao longo de uma seção tranversal de referência, e é calculado a partir do volume deslocado no intervalo de tempo existente entre ambos os levantamentos.

A avaliação da erosão marginal é feita por meio de monitoramento de campo e por imagens orbitais. Para as medidas de campo foram estabelecidos 40 locais de monitoramento, onde são utilizados pinos fixos às margens, e estacas sobre elas. Os pontos são visitados trimestralmente, quando é feita a medida do recuo de cada margem.

Como os dados monitorados possuem valor local, as imagens orbitais são utilizadas para a regionalização das informações. Para esse caso são utilizadas imagens LANDSAT 5, e imagens CBERS. O procedimento adotado é o de georreferenciamento das imagens de diferentes datas, o recorte da área de canal, e a comparação entre as áreas de canal em diferentes datas. Uma vez que a resolução espacial das imagens é baixa (30 e 20 metros), são comparadas imagens de períodos relativamente longos, e é utilizado apoio de fotografias aéreas.

Resultados e discussão

O estudo das vazões no período pós 1999 está em preparação (Meurer et al 2005). Os dados de vazão no período 1999 a 2003 mostraram a ausência de cheia em 1999, 2000, e 2001, e cheias reduzidas em 2002 e 2003. Alem disso, a vazão média do período de águas baixas foi relativamente alta em 1999 e em 2000, uma vez que os valore registrados foram similares à media anual histórica (8 900 m³/s), tendo diminuído consideravelmente em 2001 (6000 m³/s) para voltar a aumentar nos anos seguintes (7000 m³/s em 2002, e 7700 m³/s em 2003). Tais dados demonstram a capacidade de regulação instalada no sistema de barragens existentes a montante da área de estudo.

O acompanhamento das vazões médias diárias do rio Paraná e afluentes demonstrou que em 2004 a soma das vazões registradas em Porto Primavera e em Rosana foi maior que aquela registrada na estação de Porto São José, situada logo a jusante da confluência do rio Paranapanema. No início do ano, para uma vazão total de 10 0000 m³/s em ambas as barragens, Porto São José acusava uma vazão de 8 500 m³/s, enquanto a estação de Porto Caiuá (próxima a jusante) acusava 10 600 m³/s.

A análise dos dados históricos mostra um incremento de cerca de 600 m³/s entre as duas estações. Tais dados demonstram que a curva chave aplicada à estação de Porto São José não está mais ajustada à nova realidade do canal, uma vez que subestima os valores de vazão.

Tal situação demonstra que a estação de Porto São José necessita do estabelecimento de uma nova curva chave, e que processo semelhante pode já estar acontecendo em Porto Caiuá. As razões que justificam tal modificação estão relacionadas ao processo de ajuste fluvial, que será mais bem discutido à frente.

A avaliação da abrangência de cheias foi alvo de estudo da dissertação de mestrado de Maurício Meurer, que estudou as séries históricas de Porto São José, Porto Caiuá e Ivinheima (Meurer, 2004).

Para a estação de Porto São José foi possível estabelecer que o nível de 600 cm equivale à vazões suficientes para a inundação da planície, e que antes de Porto Primavera, a recorrência destes eventos era de 2,64 anos. Da mesma forma o autor estabeleceu que o nível de 700 cm era o suficiente para a completa submersão da planície, com período de retorno de 5,75 anos. O autor estabeleceu ainda que o nível de cheia anual era de 474 cm, e o deca-anual era de 771 cm.

Para a estação de Porto Caiuá, o nível de 329 cm marca o limite das cheias de intervalo de recorrência anual e o de 649 cm marca o limite das cheias de intervalo de recorrência decenal. O nível de 676 cm, maior já registrada nesta estação, possui intervalo de recorrência de 14 anos.

O autor realizou ainda um estudo da abrangência de cheias. A Figura 1 mostra a área coberta pela cheia de 1983. Infelizmente as imagens disponíveis para a época possuíam resolução muito baixa (80 metros), o que dificulta um maior detalhamento.

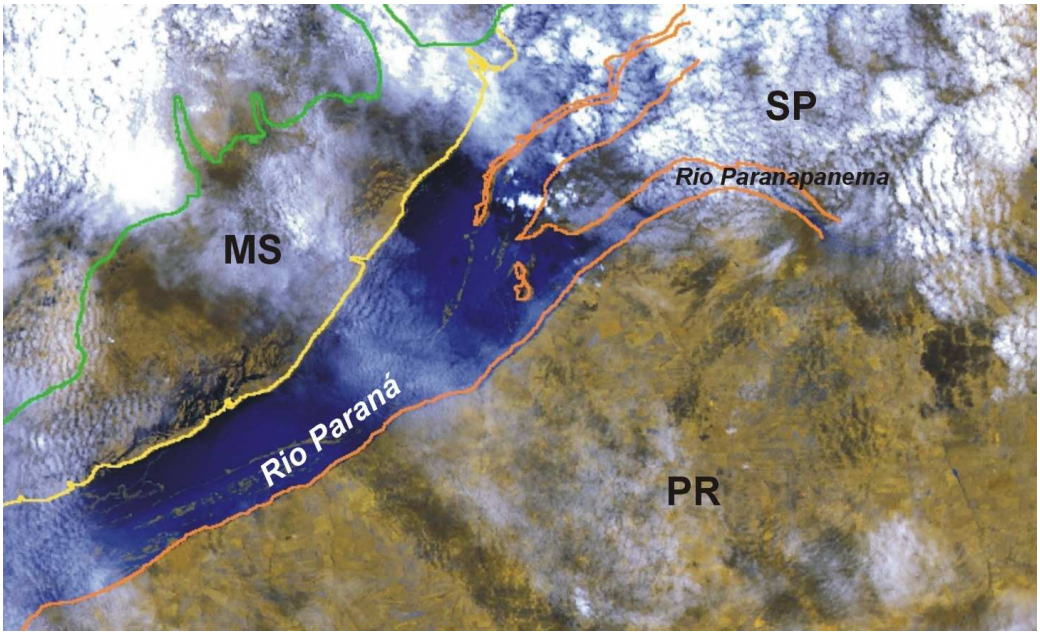

Figura 1 Composição colorida de imagem LADSAT 3 de 27/02/1983. a linha amarela indica o limite da cheia, e a verde o limite da área inundável por elevação do freático

O estudo de imagens de cheias posteriores permitiu uma melhor definição dos limites entre área inundável e áreas que são encharcadas pelo freático (Figura 2). A imagem apresentada foi obtida com o nível da água a 788 cm.

A questão que atualmente se apresenta é que no pico da cheia de janeiro de 2005 (30/01.2005), as águas chegaram a 676 cm, ou seja, pouco mais de 20 000 m³/s, (pela utilização da curva chave), mas a soma da vazão de Porto Primavera e de Rosana ultrapassou 26 000 m³/s. Isso indica que houve uma forte redução da abrangência das cheias, porque nas condições antigas tal volume de água teria ultrapassado o nível de 780 cm. Fato interessante a ser registrado, é que a estação de Porto Caiuá atingiu seu pico de vazão em 31/01/2005, quando a vazão chegou a 21 937 m³/s. O fato de este valor ser menor do que o registrado pelas barragens confirma que sua curva chave também não está mais calibrada.

Figura 2 Composição colorida LANDSAT 5 de 17/01/1990 mostrando as áreas de inundação por extravasamento e por elevação do freático.

Os trabalhos de avaliação da carga suspensa realizados a partir de imagens CCD/CBERS II demonstraram que a barragem de Porto Primavera libera água com muito pouca carga em suspensão, confirmando os dados de Rocha (2001), e que a principal entrada de sedimentos em suspensão são as águas da UHE Rosana (figura 3). O tratamento de imagens mostrou também que existe incorporação de sedimentos via erosão marginal, mas que esta contribuição apenas é observável junto às margens, e é pouco significativa para o canal como um todo.

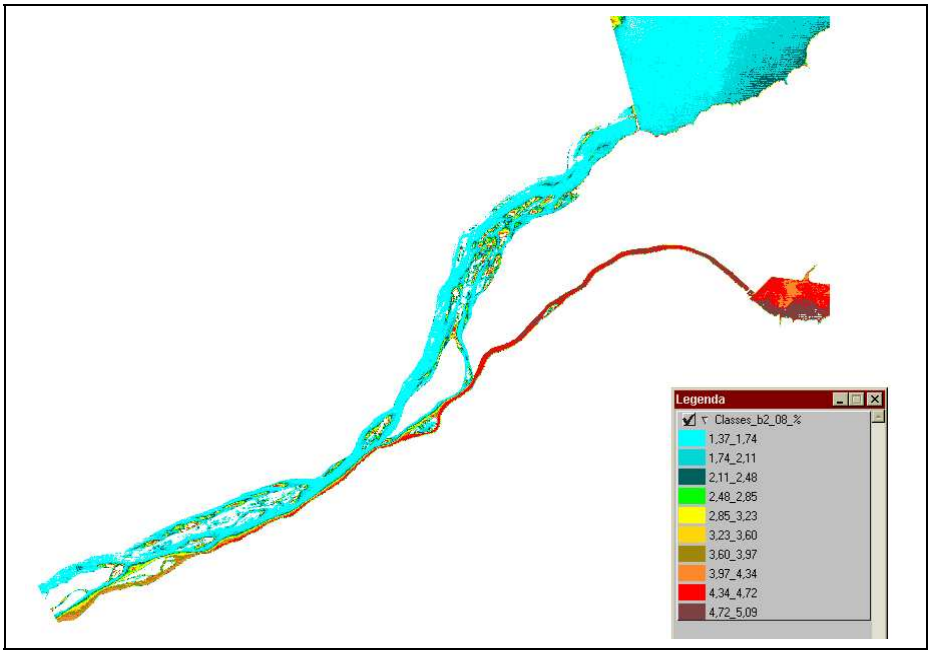

Figura 3 Mapa resultante do fatiamento da banda 2 de imagem CCD CBERS II, de 01/08/2004.

Os dados obtidos pelo tratamento em diferentes meses demonstraram que não há aumento de reflectância para jusante, o que indica que não há incorporação significativa de sedimentos finos pelo canal ao longo de todo segmento (Figuras 3, 4 e 5).

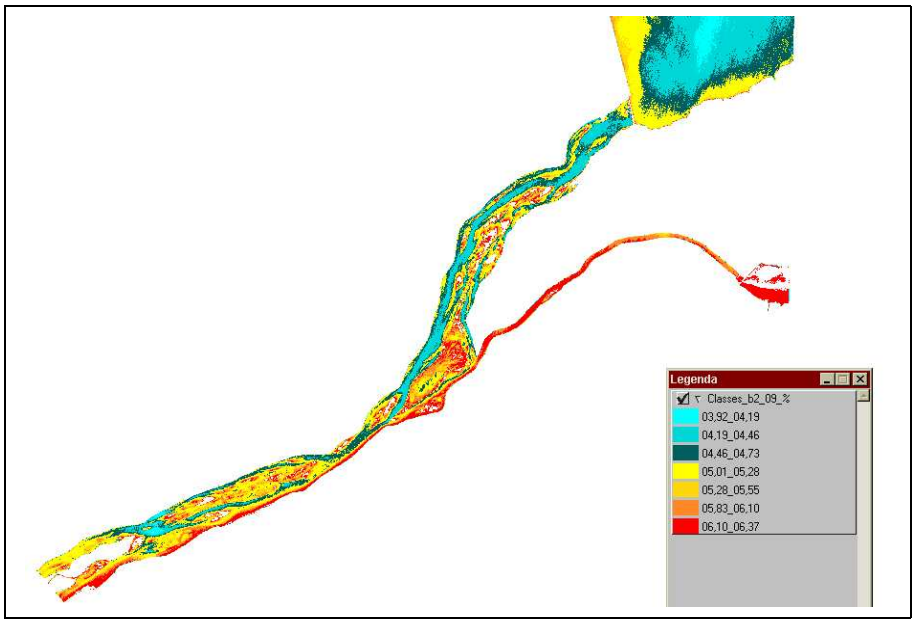

Figura 4 Mapa resultante do fatiamento da banda 2 de imagem CCD/CBERS II de 22/09/2004

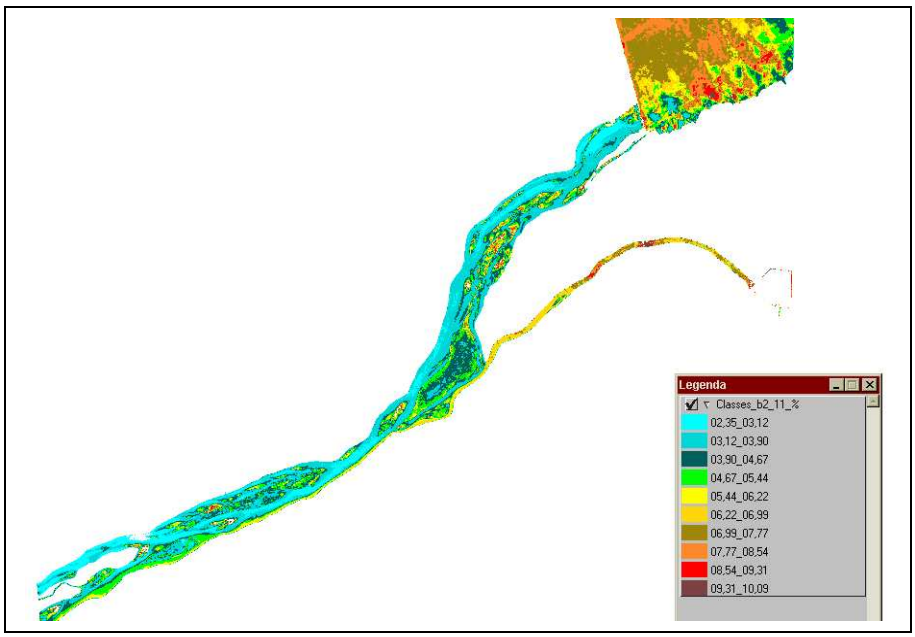

Figura 5 Mapa resultante do fatiamento da banda 2 de imagem CCD/CBERS II de 13/11/2004

Tais resultados são diferentes dos exibidos por Souza Filho et al (2004), que analisaram os dados de carga suspensa no período 2000 2001, e verificaram o aumento da carga suspensa para jusante.

A diferença entre os dois períodos de análise indica que de 2001 a 2004 o leito foi significativamente desprovido dos sedimentos mais finos, e que a erosão marginal é baixa.

Os dados relativos a transporte de fundo na seção de Porto São José, levantados por Martins (2004) demonstraram que o transporte de sedimentos diminuiu no período de 2003 para 2004, ao mesmo tempo em que as formas de leito reduziram seu tamanho e tiveram sua granulação aumentada de areia muito fina a fina para areia grossa a cascalho. Os perfis batimétricos realizados a partir das proximidades de Porto Primavera a Porto São José demonstraram que as macroformas de leito desapareceram em toda a parte montante, e que o processo avança para jusante a uma velocidade de sete quilômetros por ano.

O monitoramento da erosão marginal realizado por Borges (2004) no período 2002 a 2004, mostrou que a velocidade de fluxo junto às margens diminuíram de montante para jusante, assim como sua variabilidade. Da mesma forma as taxas de erosão marginal também diminuíram de montante para jusante ao longo do tempo de monitoramento.

Tais resultados podem ser explicados pelo avanço para jusante da remoção das formas de leito de grande porte. Uma vez que tais formas dividiam o fluxo do canal, à medida que se deslocavam as margens eram sucessivamente submetidas a diferentes velocidades de fluxo, e sofriam diferentes intensidades de erosão.

A remoção das formas de leito permitiu um aumento da uniformidade do fluxo, um aumento da eficiência hidráulica, e um aumento da velocidade média do fluxo. Porem, o aumento da velocidade ocorreu no talvegue, e as margens passaram a ser submetidas a menores velocidades de fluxo, e por conseqüência, menores taxas erosivas.