



A EROSÃO MARGINAL NAS ILHAS MUTUM E CARIOCA (PR-MS) ANTES E DEPOIS DA UHE PORTO PRIMAVERA (ENG^o SÉRGIO MOTTA)

Edilaine Valéria Destefani
Mestranda em Geografia
Universidade Estadual de Maringá - UEM
evdestefani@pop.com.br

Edvard Elias de Souza Filho
Prof^o Dr. Dep. de Geografia e Programa de Pós-Graduação em Geografia
Universidade Estadual de Maringá - UEM
eesfilho@uem.br

José Cândido Stevaux
Prof^o Dr. Dep. de Geografia e Programa de Pós-Graduação em Geografia
Universidade Estadual de Maringá - UEM
jcestevaux@uem.br

RESUMO

A erosão marginal é uma das variáveis fluviais que pode ser afetada quando uma barragem é construída. Este trabalho apresenta uma comparação entre as informações sobre a erosão marginal obtidas antes e depois da instalação da barragem de Porto Primavera. O estudo foi realizado no rio Paraná nas proximidades de Porto Rico (PR-MS) e compara dados de 1988-1989 com os de 2000-2001. As variáveis consideradas para a análise foram as taxas de erosão, a vazão, a velocidade de fluxo e a composição sedimentar das margens. Os dados foram obtidos por meio de trabalhos de campo realizados no período entre junho de 1988 a agosto de 1989 e outubro de 2000 a agosto de 2001 respectivamente. Os resultados mostraram que no período pós-barragem a ação erosiva foi menos intensa em decorrência da diminuição dos níveis de vazão e conseqüentemente da velocidade do fluxo.

Palavras chave: Rio Paraná, erosão marginal, barragem de Porto Primavera.

INTRODUÇÃO

Tendo em vista que as barragens passam a controlar o regime hidrológico de um sistema fluvial, todos os componentes do meio físico que estão relacionados a esse fenômeno são comprometidos. As alterações da hidrodinâmica fluvial a jusante das barragens podem provocar mudanças na capacidade de transporte do fluxo e na carga sedimentar resultando em modificações na geomorfologia do canal fluvial (Brandth, 2000). Caso haja intensificação dos processos erosivos a instabilidade das margens pode comprometer as comunidades bióticas que se desenvolvem nas margens ou nas proximidades das mesmas.

Em decorrência das modificações introduzidas no sistema fluvial pelas barragens, os estudos sobre a variável erosão marginal ganham destaque, porque eles exigem o entendimento da dinâmica fluvial. Desta forma outras variáveis são estudadas, tais como a vazão, a variação de nível da água, a velocidade de fluxo, entre outras. O entendimento da dinâmica fluvial e das alterações provocadas pelas atividades antrópicas é de fundamental importância para o gerenciamento do ecossistema fluvial.



O rio Paraná sofreu alterações em seu regime hidrológico devido a implantação de barragens de grande porte em seu trecho superior, considerados como um dos trechos fluviais mais barrados do mundo (Rocha et al., 1998). As influências sobre o regime de débito fizeram-se presentes a partir da década de setenta, e a partir de 1998 as alterações intensificaram-se em decorrência do funcionamento da UHE Sérgio Motta (Porto Primavera).

O rio Paraná, nas proximidades de Porto Rico, está sob efeito desta barragem, e tal condição pode afetar as características da erosão marginal. Por isso, o objetivo deste trabalho é caracterizar a erosão marginal em um conjunto de ilhas no rio Paraná, próximo a região de Porto Rico, de modo a comparar os dados de 1988-1989 (período pré-barragem) aos dados de 2000-2001 (período pós-barragem), identificando-se as mudanças no processo de erosão marginal em período pós-barragem.

A área de estudo compreende um trecho do curso superior do rio Paraná na região de Porto Rico, localizado na porção noroeste do Estado do Paraná, na fronteira com o Estado do Mato Grosso do Sul. O segmento fluvial encontra-se entre as coordenadas geográficas $53^{\circ}13'11''$ - $53^{\circ}21'27''$ W e $22^{\circ}43'18''$ - $22^{\circ}49'24''$ S (Figura 1).

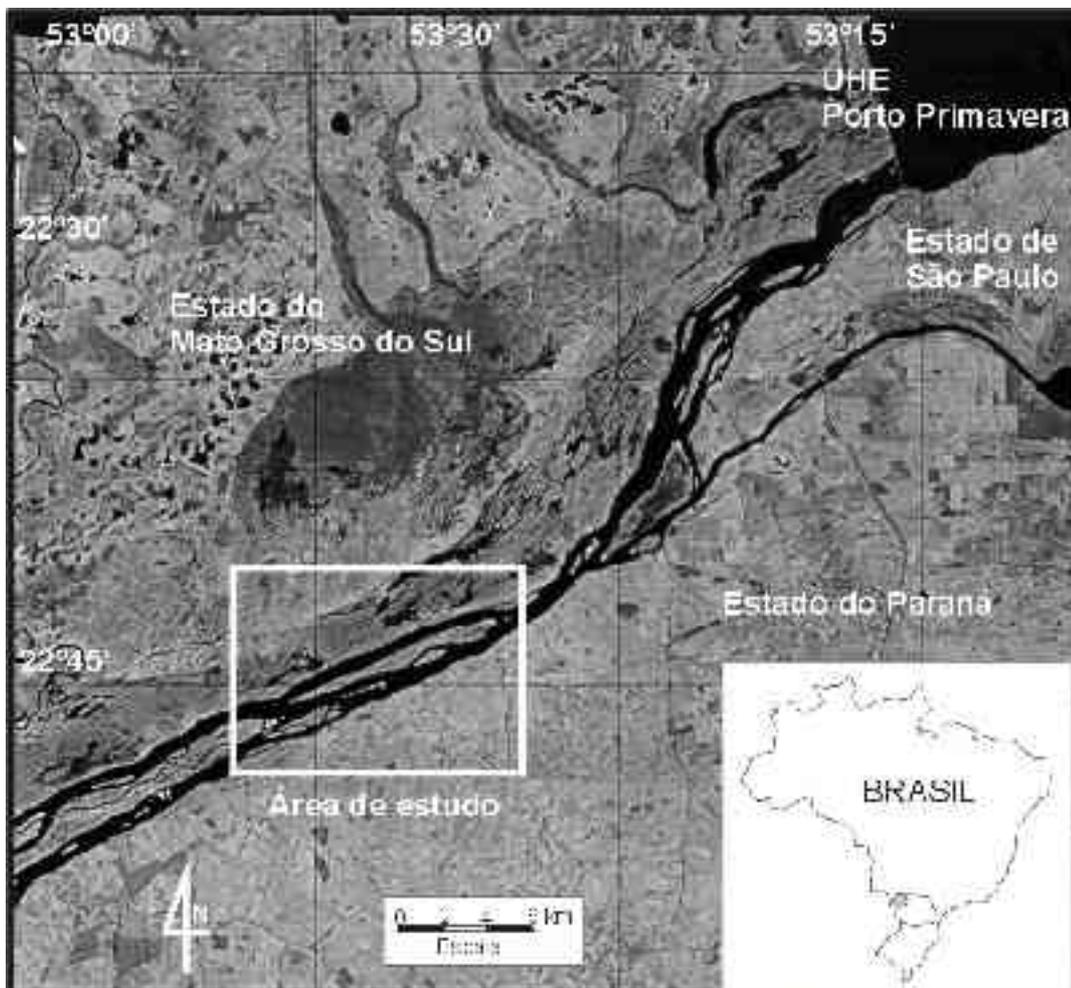


Figura 1: Localização da área de estudo.

O REGIME HIDROLÓGICO DO RIO PARANÁ E O SEU CONTROLE EFETUADO PELAS BARRAGENS EXISTENTES À MONTANTE



A estação fluviométrica de Porto São José registra a descarga diária do rio Paraná desde 1964. Desse período até 1989 a vazão média anual registrada foi de 8845 m³/s, sendo a média das cheias máximas 17860 m³/s e a maior vazão registrada foi de 33740m³/s para o ano de 1983 (Fernandez & Souza Filho, 1995). Os períodos de maior descarga ocorrem entre os meses de dezembro a março (estação chuvosa), e entre os meses de abril a novembro o rio apresenta os menores valores de descarga (período de estiagem).

Atualmente, o rio Paraná não apresenta mais uma vazão natural, pois seu regime hidrológico passou a ser controlado pelas inúmeras barragens instaladas em seu curso superior (Rocha, 2002). A bacia hidrográfica do rio Paraná possui cerca de 120 barragens de grande porte instaladas em seu trecho superior (Souza Filho, 1999 b). Elas foram construídas em sua maioria na década de 60 e 70, acumulando um volume total de aproximadamente 150 x 10⁹ m³ pelos 26 maiores reservatórios.

O conjunto de barragens provocou uma sensível diminuição do tempo de permanência dos débitos de valores inferiores à média anual, e dos débitos de cheia, e em contrapartida aumentou o tempo de permanência dos débitos médios (Rocha et al., 1998). Além disso, extinguiu a ocorrência dos eventos extremos (tanto os mínimos quanto os máximos), e alterou o tempo de permanência das ondas de cheia e seu período de ocorrência, que passou de fevereiro para o final de março (Rocha, 2002).

Dessa forma, com o controle da descarga efetuado pelos barramentos o rio não apresenta grandes cheias, ou descargas muito baixas, pois a água passa a ser contida nos reservatórios, e distribuída conforme as necessidades de geração no sistema. Tais mudanças no padrão de descarga natural do rio estabelecem novas características ao meio físico o que pode gerar conseqüências para o sistema físico/ecológico.

A UHE DE PORTO PRIMAVERA E A EROSÃO MARGINAL A JUSANTE

O rio Paraná é um sistema fluvial intensamente barrado com a finalidade principal de produzir energia elétrica. A 35 km a montante da área de estudo localiza-se a Usina Hidrelétrica Eng^o Sérgio Motta (Porto Primavera). Essa barragem é a segunda maior hidrelétrica do Estado de São Paulo, e foi construída pela Companhia Energética de São Paulo (CESP). A fase inicial de construção desta usina procedeu-se no início da década de 80, e o reservatório foi fechado no final de 1998. A UHE de Porto Primavera caracteriza-se por ser uma barragem de acumulação, com 11.385 m de comprimento de crista e 38 m de altura sobre as fundações. Seus 16 vertedouros têm capacidade de descarga de 52000 m³/s, sendo que a cota de operação no momento é de 257 m. Seu reservatório ocupa uma área de 2.250 km² e estende-se por 10.186,20 m.

Pelas proporções desta barragem pode ser esperada uma intensa influência sobre o meio fluvial. A jusante dela as características de fluxo são modificadas, a água sai com maior velocidade e menor carga sedimentar (Souza Filho, 1999 a). Dessa forma, o fluxo de saída obtém maior capacidade de transporte e pode vir a intensificar a dinâmica erosiva no canal e nas margens. Além disso, a barragem aumentou o controle do regime de débitos e introduziu uma significativa oscilação diuturna do nível da água.

As alterações mencionadas podem levar o sistema a um desequilíbrio. Elas propagam-se de montante para jusante e poderão chegar à grandes distâncias. O tempo de atuação das mudanças no canal pode perdurar por décadas até que o sistema se ajuste às novas condições. As alterações podem surgir nos estágios iniciais da construção das barragens, antes mesmo destas entrarem realmente em funcionamento quando o rio é desviado de seu leito natural. Contudo, o efeito é completo quando a barragem entrar em atividade diária após seu fechamento (Brandt, 2000).



FATORES CONDICIONANTES DA EROSÃO MARGINAL NO RIO PARANÁ

Os processos de erosão marginal são condicionados por diversos fatores, sendo os principais aqueles relacionados ao regime hidrológico do rio. Segundo Fernandez (1990), a variação de nível é um fator importante na erosão marginal. Tal variação quando freqüente, fragiliza a estrutura da margem através da pressão por entre os poros dos sedimentos, ocasionando a perda de material sedimentar através de desmoronamentos e da ação do fluxo. Contudo pesquisas mais recentes realizadas por Rocha & Souza Filho (1999), constataram que a velocidade de fluxo é a principal condicionante das taxas de erosão. Quanto maior for a velocidade mais força abrasiva o fluxo terá para remover os sedimentos das margens.

A atividade erosiva ocorre por meio da ação dinâmica do fluxo, expressa principalmente pelas linhas de fluxo. O talvegue é que direciona o fluxo principal (Fernandez & Souza Filho, 1995) e, portanto a sua mobilidade gera novas áreas erosivas e deposicionais, por meio da aproximação ou afastamento das principais linhas de fluxo em relação a uma determinada porção marginal.

O material sedimentar que compõe as margens também é uma variável que interfere na intensidade da erosão. Rocha & Souza Filho (1999) ressaltam que a composição granulométrica da margem é responsável pelo grau de coesividade dos materiais em erosão. As margens compostas por materiais arenosos são menos estáveis e, portanto mais susceptíveis à erosão. Em contraposição, as margens que contém material argiloso são mais estruturadas e mais resistentes. Dessa forma, para uma mesma velocidade de fluxo, quanto maior a quantidade de areia na margem, maior será a intensidade erosiva, e esta diferença é tanto maior quanto maior a velocidade de fluxo.

MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho foi realizado por meio do levantamento em campo das variáveis relacionadas com o processo de erosão, tais como: taxa erosiva, velocidade de fluxo, variação de nível e composição sedimentológica das margens. O procedimento metodológico empregado foi o mesmo desenvolvido por Fernandez (1990), para que dessa forma os resultados pudessem ser comparados. Desse modo, os dados do período pré-barragem (1988-1989) foram obtidos do trabalho realizado pelo autor supra mencionado. Os dados do período pós-barragem (2000-2001) foram obtidos através de coleta direta em campo utilizando-se como método principal o método dos pinos.

O método dos pinos consiste na inserção de pinos metálicos de um metro de comprimento horizontalmente nas faces das margens. A erosão é medida pelo grau de exposição que os pinos apresentam depois de determinado período de tempo. Os pinos devem ser inseridos em época de vazante, pois o nível do rio deve estar baixo para que as margens estejam expostas. A quantidade de pinos vai depender da magnitude dos processos erosivos e das características das margens (Rocha & Souza Filho, 1996).

Os pinos foram instalados em 11 margens e os pontos de amostragem foram os mesmos utilizados por Fernandez (1990) (Figura 2). Em cada ponto de observação foram coletadas amostras para análise sedimentológica, considerando-se para a coleta o material onde os pinos estavam inseridos. Para análise da distribuição granulométrica foram utilizados os métodos de peneiramento e de pipetagem.

As observações de campo foram efetuadas trimestralmente, sendo as variáveis observadas o recuo de cada pino e a velocidade de fluxo junto a margem, medida por meio



de molinete fluviométrico. Para que fosse estabelecida a relação entre a velocidade de fluxo em cada margem e o nível fluviométrico foi utilizada a base de dados fornecida pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL).

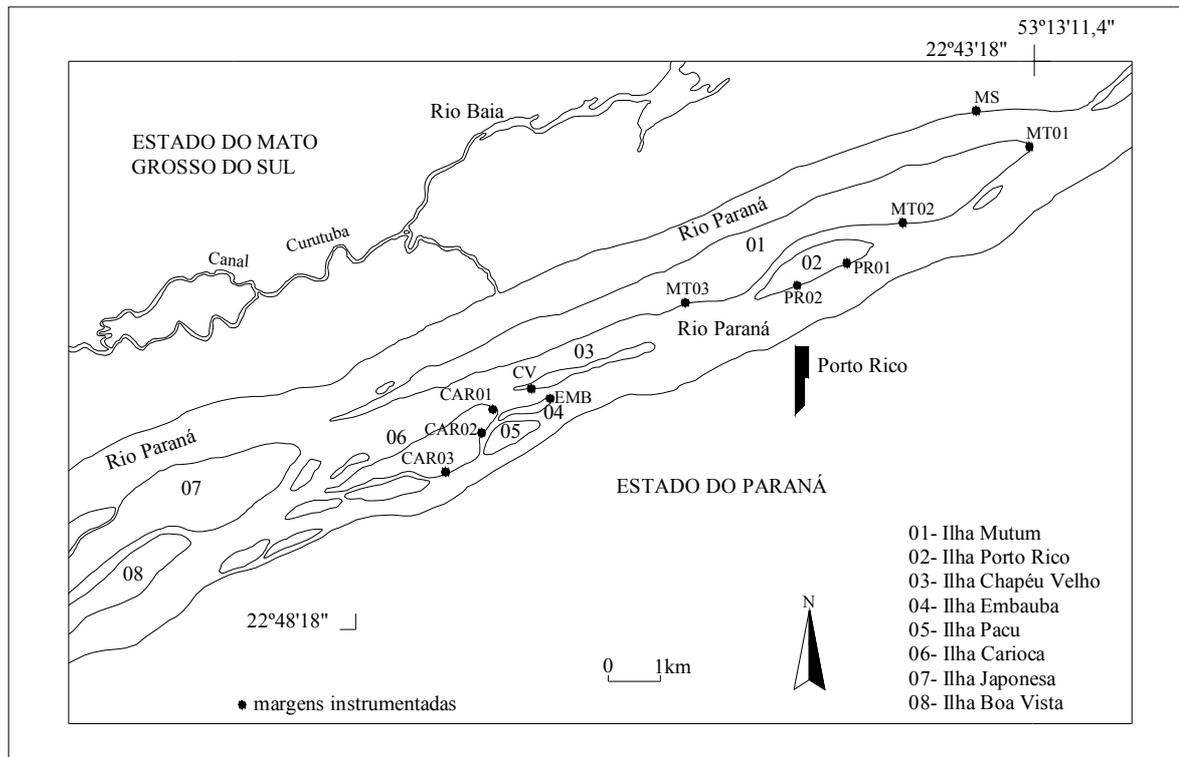


Figura 2: Localização dos pontos de amostragem

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 apresenta um resumo das características das margens monitoradas nos dois períodos utilizados para estudo. Como pode ser observado, há diferenças entre a altura média das margens, suas características morfológicas e sua composição sedimentar. Essas diferenças ocorrem porque, embora as margens amostradas sejam as mesmas, a erosão marginal expôs diferentes conjuntos sedimentares durante o tempo transcorrido entre os dois períodos de amostragem.

Tabela 1 – Descrição das margens monitoradas

Variáveis observadas	Período monitorado	
	1988 – 1989 (a)	2000 – 2001 (b)
Altura média das margens	2,24 m	2,93 m
Características morfológicas	as margens apresentavam poucos patamares e por vezes uniformemente verticais, diferenciando-se mais pela inclinação dos perfis.	as margens exibem um perfil escalonado, caracterizado por vários taludes negativos e patamares que aparecem com maior frequência na porção inferior até 1,5 m de altura.



Composição sedimentológica

As margens são predominantemente de composição siltosa e apenas as margens do conjunto Carioca eram constituídas por material arenoso	ausência de sedimentos grosso e o predomínio de material de granulometria fina (abrangendo uma escala de areia média a silte fino). Apenas as margens MT02 e CV predominam sedimentos arenosos.
---	---

Fonte: (a) extraídos de Fernandez (1990).
(b) coletados para este trabalho.

A comparação dos resultados obtidos em 2000-2001 com os registrados em 1988-1989 possibilitou a identificação de mudanças na dinâmica erosiva sobre as margens. A figura 3 mostra que as margens localizadas a montante da área de estudo (MS, MT01, MT02 e MT03) exibem um comportamento erosivo semelhante no período pré e pós-barragem, mas os demais pontos apresentaram diferenças consideráveis.

Uma das diferenças está relacionada à distribuição das taxas erosivas: no período pré-barragem havia uma tendência ao aumento da taxa de erosão média de montante para jusante, enquanto que no período posterior a tendência registrada foi de taxas iguais. Outra diferença diz respeito à intensidade dos processos erosivos, cujos valores foram maiores no período pré-barragem. A redução das taxas erosivas está relacionada às baixas velocidades de fluxo a que as margens estiveram submetidas no período analisado (Figura 4).

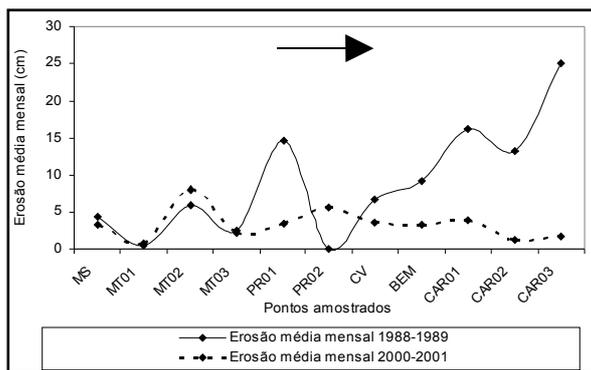


Figura 3: Comparação das taxas erosivas médias mensais.

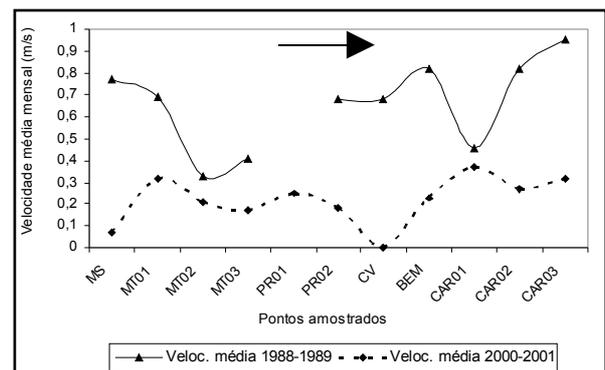


Figura 4: Comparação da velocidade média mensal do fluxo.

A velocidade de fluxo junto a margem é controlada pela posição do talvegue e pela vazão, destacando-se uma nítida diferença de comportamento do regime hidrológico entre o período de 1988-1989 e 2000-2001 (Figura 5). Desta forma, a ocorrência de vazões mais baixas é acompanhada de velocidades menores junto as margens e conseqüentemente de menores taxas erosivas. Por outro lado, as modificações das velocidades de fluxo em cada margem (Figura 4) podem ser devidas a diferentes posicionamentos do talvegue.

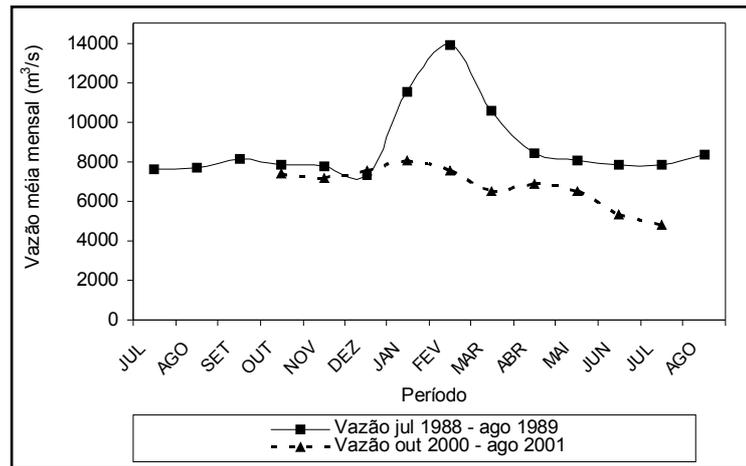


Figura 5: Comparação das vazões médias mensais.

Especialmente verifica-se pelas taxas de erosão média do período 2000-2001 (Figura 4), que as margens sofreram poucas alterações, provavelmente decorrente das baixas velocidades de fluxo a que as margens estiveram submetidas, uma vez que a composição das margens é uma variável significativa apenas em altas velocidades de fluxo, conforme Figura 6 (Rocha & Souza Filho, 1999).

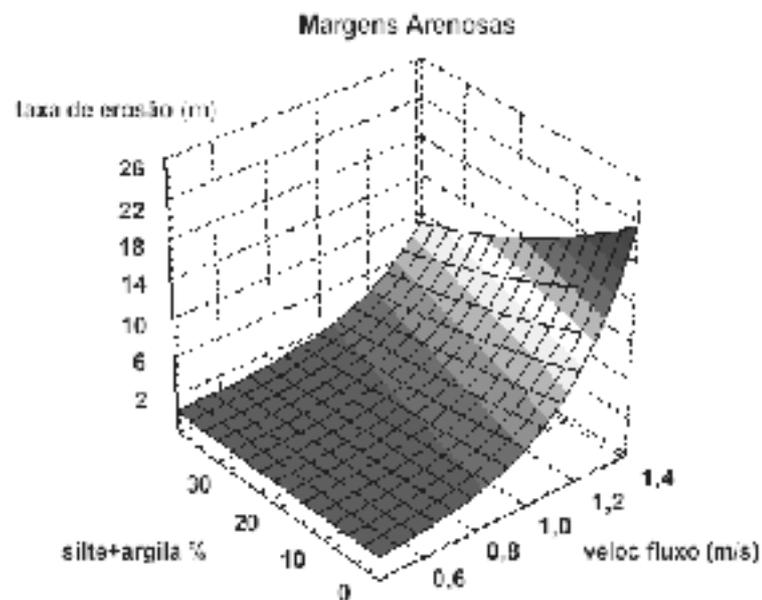


Figura 6: Relação entre taxa de erosão, velocidade de fluxo, e teor de finos.
Fonte: Rocha (2002).

Tal fenômeno pode explicar também as relações entre velocidade de fluxo e taxa de erosão de cada uma das margens (Figura 7 e 8). Conforme pode ser observado nas figuras, no período anterior à barragem a relação entre maior velocidade de fluxo com maior taxa erosiva é mais clara, mas no período posterior à barragem, esta relação não é observável.

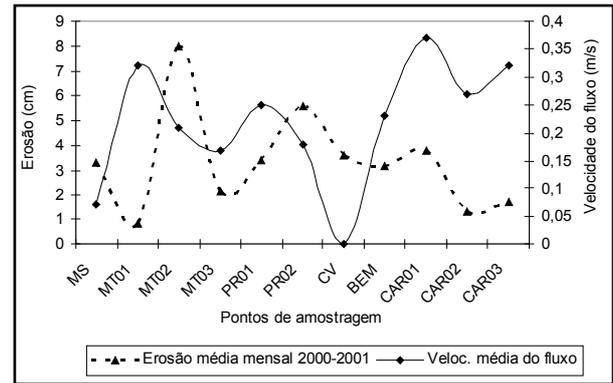
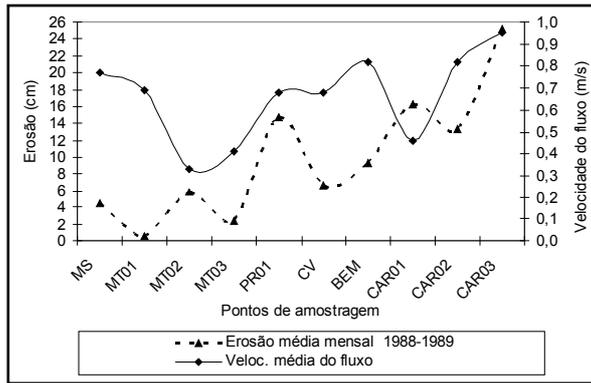


Figura 7: Comparação entre as taxas erosivas e velocidade do fluxo do período de 1988-1989. Figura 8: Comparação entre as taxas erosivas e velocidade do fluxo do período de 2000-2001.

A explicação anterior pode ser reforçada pela relação observada entre a taxa de erosão e a composição granulométrica (Figura 9), uma vez que as margens MT02 e CV (arenosas) mostraram recuos consideráveis apesar da baixa velocidade a que estavam submetidas. Da mesma forma, o inverso também ocorre.

A observação da Figura 10 mostra um quadro mais claro para a relação entre o teor de argila e a taxa de erosão, o que também reforça a explicação anterior. Pode ser que esta explicação seja suficiente, mas não pode ser desprezada a influência de fatores ainda não avaliados, tais como a direção de incidência do fluxo sobre a margem, a ação de ondas, e a atividade de “pipping”.

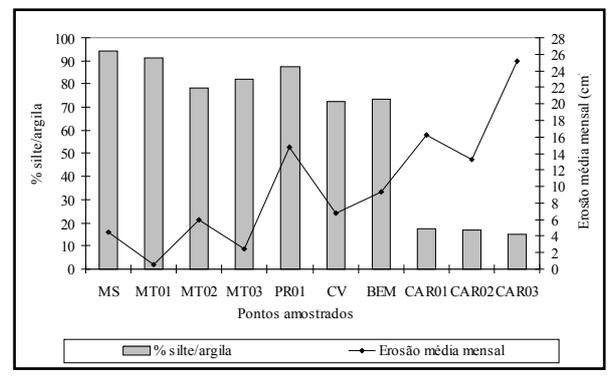
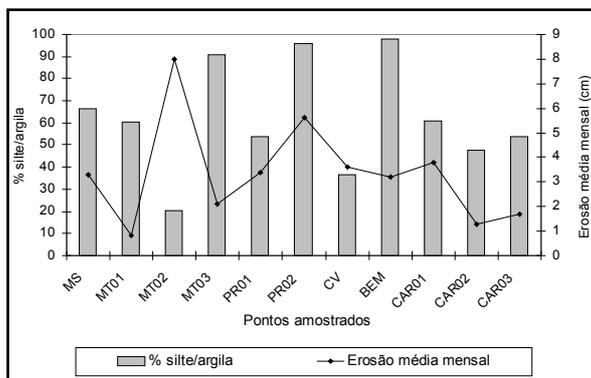


Figura 9: Taxa erosiva e composição granulométrica dos pontos amostrados no período de 2000-2001. Figura 10: Taxa erosiva e composição granulométrica dos pontos amostrados no período de 1988-1989.

Outro fator que pode ter influenciado os resultados de recuo das margens é o nível em que a água atingiu as mesmas. Durante o período anterior a barragem (Figura 11) o rio Paraná principalmente durante o período de cheia apresentou cotas superiores ao período pós barragem e o nível d'água pode atingir as margens a uma altura bem maior submetendo-as a atuação dos processos erosivos relacionados a ação do fluxo. Já no segundo período, não houve cheia (Figura 5), e o comportamento dos níveis hidrológicos foi distinto em três diferentes períodos (Figura 12).

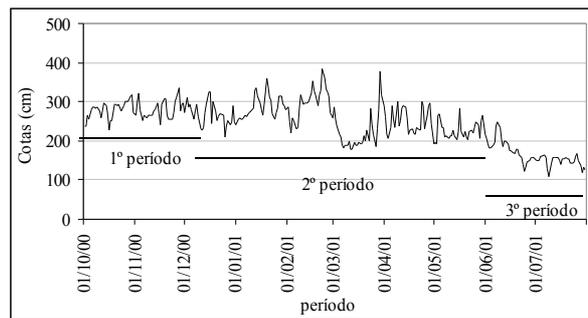
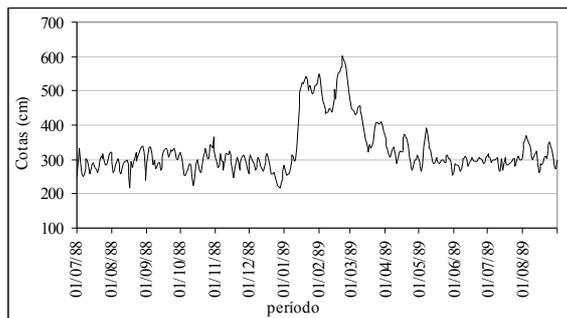


Figura 11: Variação de nível do período de 1988 - 1989
Figura 12: Variação de nível do período 2000 - 2001

Fonte: Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL)

O primeiro período (Figura 11) corresponde as cotas limnimétricas diárias registradas na régua da Estação de Porto São José, e equivalem à uma vazão pouco inferior a 8 000 m³/s. A oscilação do nível neste período não ultrapassou 1,10 m e o nível máximo atingiu apenas os pinos inferiores das margens MT01, BEM, e CAR03. Ou seja, os valores de recuo registrados pelos pontos de amostragem referem-se à modificações subaéreas das margens.

No segundo período, que deveria corresponder à cheia, as oscilações de nível chegaram a três metros, e os níveis mais altos atingiram um número maior de margens e de pinos. Desta forma, neste período as margens MT01, CAR03, MT03, BEM, PR02, CAR01 e MT02 e os respectivos pinos PC, PA e PB; PC e PD; PA e PB; PB, PD, e PB estiveram sob ação das águas e o processo atuante foi a corrasão.

No terceiro período o rio apresentou o nível de descarga mais baixo do período de monitoramento e apenas o último pino das margens MT01 e EMB sofreram ação da água, e, portanto o recuo das margens foi proporcionado por processos subaéreos.

Observou-se ainda, que tanto em 1988-1989 quanto em 2000-2001 as margens que sofreram processo erosivo mais intenso apresentam um perfil mais longo, ou seja, de praia. Já as margens que se mantiveram mais estáveis caracterizam um perfil verticalizado. Verificou-se que a morfologia da margem não está necessariamente relacionada a composição granulométrica, pois tanto margens arenosas quanto argilosas possuem esses tipos de perfis mencionados, portanto percebeu-se que a morfologia das margens está mais condicionada pela intensidade do fluxo.

No que se refere aos processos erosivos identificados, Fernandez (1990) identificou a corrasão como o principal processo atuante em níveis normais e em cheia, e os desmoronamentos como processo dominante na fase de abaixamento do nível da água (pós-cheia). Em 2000-2001, houve o predomínio da corrasão, e secundariamente houve ocorrência de desmoronamentos (margens MT01 MT03 PR02 e CAR01). Além disso, as margens CAR01 e MT01 mostraram a ocorrência de “pipping” em julho de 2001.

Verifica-se desse modo, que os tipos de processos erosivos correlacionam-se bem com a intensidade do regime hidrológico. Em 1988-1989, entre as margens monitoradas apenas duas (MT01 e BEM) não apresentaram desmoronamento enquanto no período atual apenas quatro apresentaram esse tipo de processo erosivo. Uma vez que o abaixamento das águas de cheia é a principal causa da ocorrência deste processo, seria esperado que ele fosse pouco freqüente no segundo período de amostragem, uma vez que não houve cheia.

Por outro lado, o processo de pipping só havia sido identificado uma única vez em 1994, em um único ponto (Rocha & Souza Filho, 1996), e teria sido provocado por um rápido abaixamento dos níveis da água em uma onda de cheia. Tal abaixamento teria provocado um forte gradiente hidráulico na água do freático da margem, e o processo foi instalado onde a margem era muito arenosa. No caso atual, as margens possuem mais de



60% de finos, e não ocorreu variação de nível significativa no período em que as formas foram observadas. Tais formas devem estar relacionadas a outras variáveis que possam criar gradientes hidráulicos elevados. Entre estas destaca-se a variação diuturna de nível, causada pela operação da UHE Porto Primavera, conforme destacou Souza Filho *et al.* (2002).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A caracterização da erosão marginal no rio Paraná, na região de Porto Rico, mostrou significativas diferenças entre os períodos pré e pós-barragem no que se refere a intensidade dos processos erosivos sobre as margens.

No período de 2000-2001 (fase pós-barragem) o recuo das margens apresentou-se menos intenso, e surgiram evidências de atuação de “pipping”. Além disso, houve uma ocorrência menor de desmoronamentos.

Os baixos valores das taxas erosivas registradas neste período devem-se ao domínio de vazões baixas e médias, proporcionado pelo controle da barragem de Porto Primavera. Este fato, por sua vez, conduziu a uma diminuição da velocidade de fluxo e conseqüentemente dos processos erosivos. Por outro lado, a variação diuturna de nível pode ser responsável pela implantação de um novo processo erosivo, o “pipping”.

Este novo comportamento hidrodinâmico imposto pelo funcionamento da barragem está produzindo uma nova configuração geomorfológica das margens, o que pode refletir em alterações para os componentes do sistema que dependem e relacionam-se com o meio físico.

REFERÊNCIAS

BRANDT, A. S. Classification of geomorphological effects downstream of dams. CATENA, 40, p.p. 375-401, 2000.

FERNANDEZ, O. V. Q.. Mudanças no canal fluvial do rio Paraná e processos de erosão das margens: região de Porto Rico, PR. Dissertação de mestrado, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, UNESP, Rio Claro, Inédito, 96p.,1990.

FERNANDEZ, O. V. Q. & SOUZA FILHO E. E. Efeitos do regime hidrológico sobre a evolução de um conjunto de ilhas no rio Paraná, PR. In : Bol. Par. Geociências, nº 43, Ed. UFPR, p.p. 161-171, 1995.

ROCHA, P. C. & SOUZA FILHO E. E. Erosão marginal em canais associados ao rio Paraná na região de Porto Rico - PR. In : Bol. Paranaense de Geociências, Nº 44, Ed. URPR, p.p. 97-116, 1996.

_____. Considerações sobre a hidrodinâmica e a estabilidade de margens no sistema rio Baía/Canal Curutuba/Rio Ivinheima, na planície aluvial do alto rio Paraná, na região de Porto Rico – PR. II Simp. Nac. de Geomorfologia, Ed. UFSC, p. p. 563 – 568, 1998.



_____. Avaliação preliminar das principais condicionantes da intensidade de processos erosivos nos canais do sistema de inundação do alto rio Paraná. In : VIII Simp. Bras. de Geog. Física Aplicada, Ed. UFMG, Belo Horizonte – MG, p. p. 351 – 353, 1999 a.

_____. Diagnóstico do meio físico e condições emergentes da planície do rio Paraná em Porto Rico (PR). Revista GEONOTAS, Ed. UEM, Maringá – PR, p. p. 1 – 10, 1999 b.

_____. Grandes Barragens e mudanças na dinâmica fluvial: o caso de Porto Primavera. In: Simpósio Brasileiro de Geografia Física, UFMG, p.p. 01 – 08, 1999.

ROCHA, P. C. Dinâmica dos canais no sistema rio-planície fluvial do alto rio Paraná, nas proximidades de Porto Rico-PR. (Tese de Doutorado). Universidade Estadual de Maringá. Programa de pós-graduação em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais. Maringá-PR. 171 p., 2002.