

A Planície Alagável do Alto Rio Paraná: aspectos geológico e geomorfológico

Edvard Luis Souza Filho e José Cândido Steveaux

Introdução

A conclusão da barragem de Porto Primavera e a formação do seu reservatório iniciaram um processo de transformação do rio Paraná no final do ano de 1998. O fechamento da barragem modificou a dinâmica fluvial da parte a montante por meio de alterações que incluem o aumento do controle de débito, corte de vazões elevadas, supressão do suprimento de carga de fundo, e acentuada diminuição da carga suspensa.

Os estudos efetuados em 2003 dão continuidade aos esforços para a compreensão das modificações que o segmento fluvial situado à jusante da barragem vem sofrendo. Os esforços de pesquisa foram concentrados na avaliação das mudanças da erosão marginal e nas modificações do transporte de sedimentos de fundo.

No que diz respeito à erosão marginal os objetivos foram sua caracterização a jusante da UHE Porto Primavera; a identificação de seus fatores condicionantes sob as novas condições hidrológicas; e a definição das modificações temporais e espaciais. Quanto ao transporte de sedimentos, o objetivo foi à caracterização das formas de leito quanto à suas dimensões, composição e velocidade de deslocamento.

A escolha dessas duas variáveis está relacionada ao estudo do ajuste fluvial que o rio vem sofrendo, que pode levar à alteração do padrão de canal, e a modificações ambientais significativas, cujas repercussões podem alterar em muito a ecologia do canal e da planície fluvial.

Metodologia

O estudo a respeito das modificações da erosão marginal após o fechamento da barragem de Porto Primavera vêm sendo realizado seguindo os seguintes protocolos: a

comparação de dados obtidos antes e depois da barragem, o estudo da erosão antes da barragem, e as modificações temporais e espaciais da erosão após o fechamento da barragem.

A comparação da erosão antes e depois da barragem foi realizada nas margens da ilhas Cariocas, Mutum e Porto Rico (Figura 1), nos mesmos pontos monitorados por Fernandez (1990), no período 2000-2002, e tiveram seus dados analisados em 2003. O monitoramento foi realizado pelo método dos pinos e de estacas, com coletas trimestrais, em 11 pontos de amostragem.

O estudo da erosão marginal anterior à barragem vem sendo feito por meio de fotografias aéreas de 1952, 1965, 1970, 1980 e 1996, nas áreas desprovidas de trabalhos de campo anteriores à barragem. A área estudada no período foi o arquipélago Floresta-Japonesa (Figura 1), e os estudos foram realizados por meio da elaboração de mosaicos controlados de fotografias aéreas, delimitação das ilhas, e cálculo da variação de área de cada uma delas ao longo de cada intervalo de tempo.

O estudo da variação temporal e espacial das taxas de erosão vem sendo feita no intervalo entre a ilha Óleo Cru e o Porto 18. O acompanhamento do recuo das margens vem sendo feito em intervalos trimestrais, por meio do método dos pinos, de estacas e de perfilagens sucessivas. O arquipélago Floresta Japonesa foi monitorado por meio de um conjunto de 19 pontos de amostragem, e o segmento total está sendo monitorado por 23 pontos de amostragem, dos quais cinco deles na parte montante (ilha Óleo Cru), oito na parte média (ilhas Mutum, Porto Rico e Cariocas), e os dez restantes na parte jusante (ilhas Floresta, Japonesa e Barbado).

O estudo do transporte de sedimentos vem sendo feito na secção fluvial de Porto

Componente Físico

São José por meio de levantamentos ecobatimétricos, medidas de velocidade de fluxo e coleta de sedimentos de fundo. O levantamento consiste de uma seção transversal, e oito seções longitudinais com pouco mais de quatro quilômetros de extensão. Foram realizados quatro

Geologia e Geomorfologia

levantamentos de campo durante os quais foram coletadas dez amostras de material de fundo em cada oportunidade. Além disso foi realizado um perfil ecobatimétrico longitudinal, abrangendo o segmento fluvial desde a proximidade da barragem até as proximidades de Porto Rico.

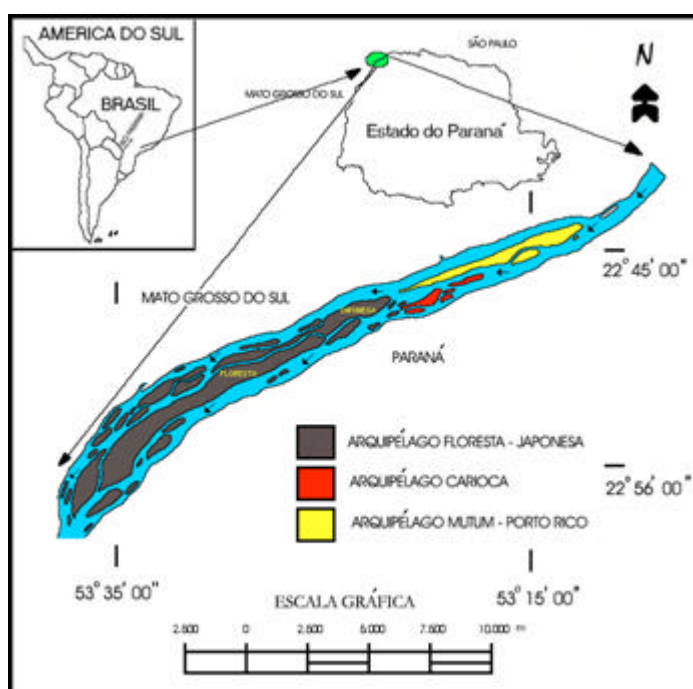


Figura 1 Localização dos arquipélagos Floresta-Japonesa, Carioca, e Mutum -Porto Rico.

Resultados

A comparação do comportamento erosivo das ilhas Cariocas, Mutum e Porto Rico demonstrou que no período compreendido entre 2000 e 2002 (inclusive) a taxa de erosão marginal foi de 0,47 m/ano para uma vazão média de 6.973 m³/s (máximo de 11.043 m³/s) conforme Destefani *et al* (2003). Os dados obtidos por Fernandez (1990) em 1988 e 1989 registraram uma taxa

média de 2,43 m/ano, para uma vazão média de 8.629 m³/s (com máxima de 17.280 m³/s). A diferença entre os valores de débito justificaria a disparidade entre ambos os valores, contudo, a comparação entre intervalos com valores de descarga equivalentes mostrou que as taxas de erosão foram consideravelmente superiores no período anterior à barragem (Tabela 1).

Tabela 1 Taxa de erosão média mensal nos pontos monitorados das ilhas Mutum Porto Rico e Cariocas, e os valores de débito do rio Paraná.

Período	Taxa de erosão média (cm/mês)	Vazão média (m ³ /s)	Vazão máxima (m ³ /s)	Vazão mínima (m ³ /s)
Julho a setembro de 1988	15,4	7935	9900	7110
Julho a setembro de 2002	2,76	7770	9832	5887

Componente Físico

Os trabalhos de campo identificaram também uma modificação quanto aos processos erosivos atuantes sobre as margens. Fernandez (1990) identificou a corrasão, os escorregamentos, e a queda de blocos como os principais processos atuantes na esculturação das margens, e os trabalhos de campo mais recentes identificaram o aparecimento de feições relacionadas à “pipping”. Os dados de campo permitiram identificar a corrasão como o processo dominante, e embora os escorregamentos, queda de blocos, e desmoronamento tenham sido registrados, em todos os casos eles foram fruto de condição de instabilidade gerada a partir da remoção da base das margens por meio da corrasão.

O estudo da variação de área das ilhas do arquipélago Floresta-Japonesa permitiu avaliar a área de todas as ilhas do conjunto em cada uma das datas referidas. Os dados completos e as discussões mais aprofundadas encontram-se em Corrêa & Souza Filho (2004). A configuração do arquipélago em cada uma das datas está apresentado nas Figuras 2 a 6. A variação de área das ilhas grandes está representada na Figura 7, a das ilhas médias encontra-se na Figura 8, a das ilhas pequenas na Figura 9, e a das ilhas pequenas encontra-se na Figura 10. As áreas que tiveram comportamento erosivo ou deposicional nos períodos 1952-1965, 1965-1970, 1970-1980, e 1980-1996, encontram-se na Figura 11.

O monitoramento de campo no arquipélago Floresta-Japonesa (Corrêa & Souza Filho 2004a) permitiu observar a evolução de três tipos de margens: as do **tipo 1** são as areno-argilosas com faces íngremes; as do **tipo 2** são argilo-siltosas com perfil suave, e as do **tipo 3** são argilo-siltosas com faces inclinadas. O recuo das

Geologia e Geomorfologia

margens durante o período amostrado está apresentado na Tabela 2.

Os levantamentos de perfis das margens demonstraram que a forma delas evolui independentemente de seu tipo. A figura 12 mostra que uma margem com face vertical pode ser estável (margem 11), ou submetida à erosão intensa (margem 17). A figura demonstra ainda que o recuo pode ser paralelo à face, ou pode estar concentrado na parte baixa da margem.

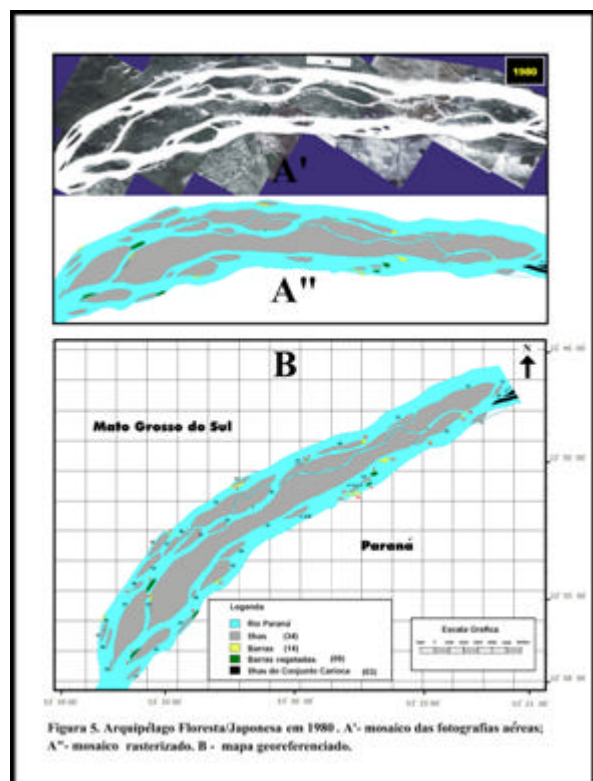
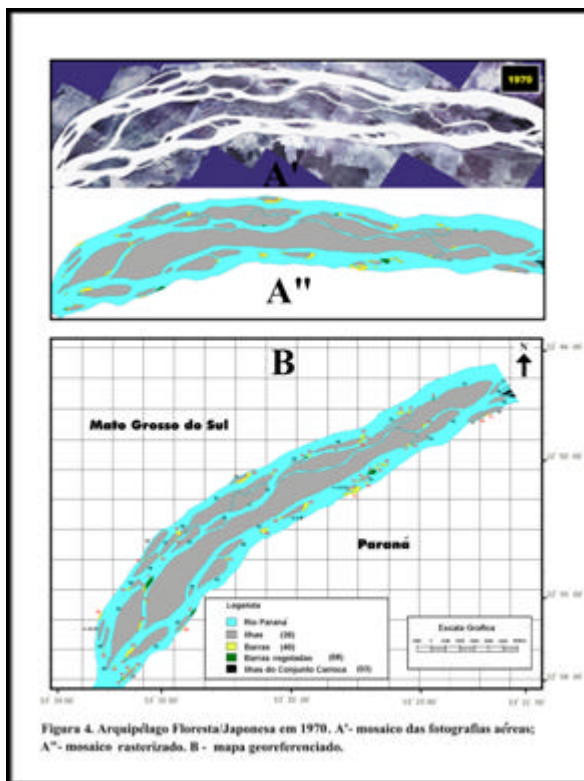
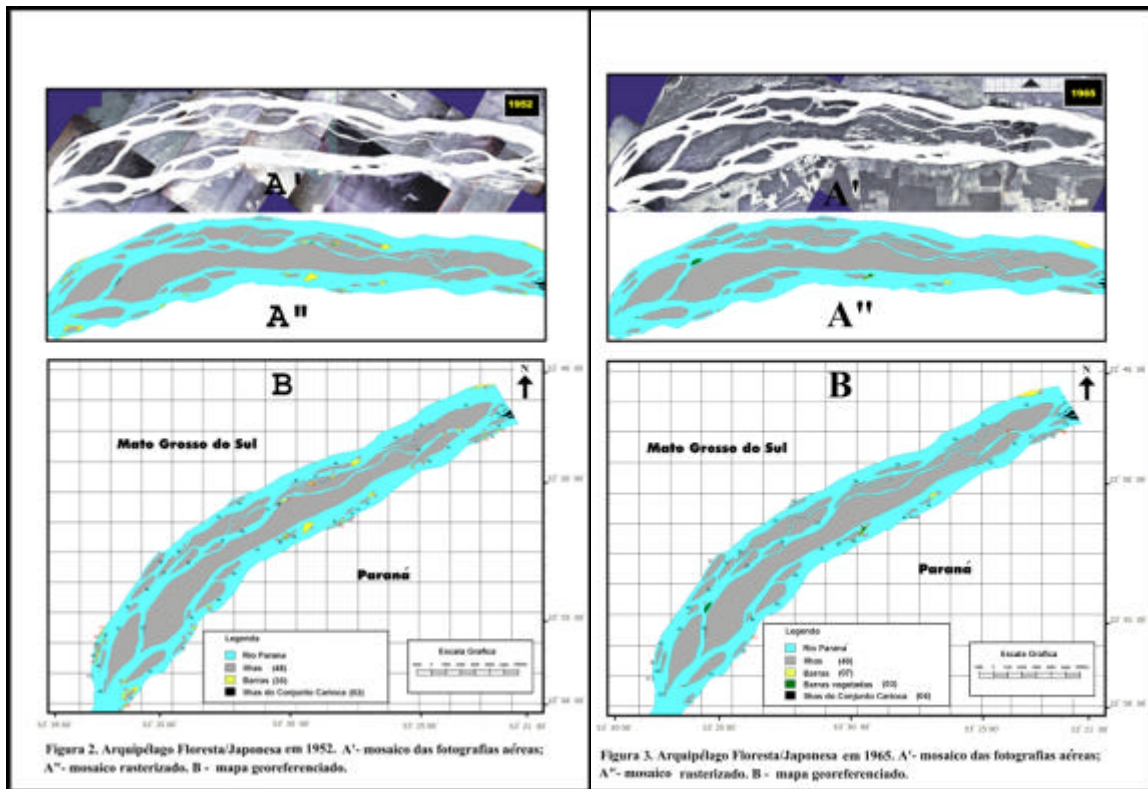
A figura 13 reafirma a situação, uma vez que demonstra que as margens do tipo 2 mostraram tendência a verticalização (margens 9, 14, 16 e 19), e à manutenção do escalonamento, mesmo sob diferentes taxas erosivas. A mesma situação está exposta na figura 14, onde pode ser observado que as margens 2, 3, 10, e 15 tenderam a verticalização, embora submetidas a diferentes taxas erosivas.

Os dados da tabela 3 demonstram que a taxa média de erosão foi de 1,02 m/ano para o período de 2000 a 2002. A referida tabela e as figuras 12, 13 e 14 demonstram também que os três tipos de margens apresentam taxas de erosão variadas, e que a observação da forma da margem não é diagnóstica para avaliar a intensidade erosiva a que a margem está sujeita.

O monitoramento regional realizado entre 2002 e 2003 (Borges & Souza Filho 2003) demonstrou que as partes mais distantes da barragem (ilhas Floresta e Japonesa) apresentaram taxas de erosão intermediárias (9,14 cm/mês), a parte média (ilhas Mutum, Porto Rico e Cariocas) mostrou valores mais altos (9,35 cm/mês) e a parte a montante apresentou a taxa mais baixa (6,17 cm/mês).

Tabela 2 Recuo das margens monitoradas no período amostrado, em centímetros.

Margens	Tipo 1				Tipo 2				Tipo 3										
	11	13	17	18	01	04	06	09	12	14	16	19	02	03	05	07	08	10	15
09/99 a 06/00	00	77	205	64	127	06	65	299	45	180	42	91	361	60	08	00	70	41	189
06/00 a 04/01	00	41	356	47	110	22	81	147	36		42	364	497	27	66	00	27	58	219
Período total	00	118	561	111	237	28	147	446	81		84	455	858	87	74	00	97	99	408



Componente Físico

Geologia e Geomorfologia

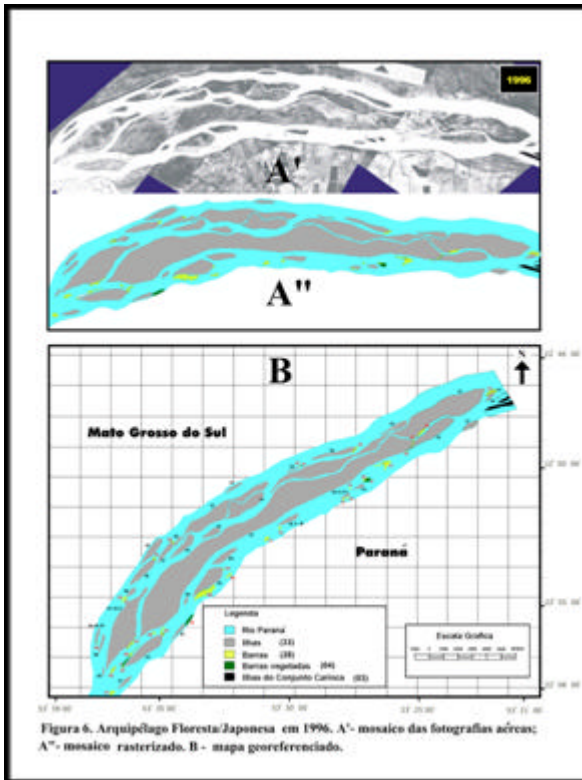


Figura 6. Arquipélago Floresta/Japonesa em 1996. A'- mosaico das fotografias aéreas; A''- mosaico rasterizado. B - mapa georreferenciado.



Figura 7. Variações de área das Ilhas Muito Grandes e Ilhas Grandes nos anos de 1952-1965-1970-1980 e 1996.

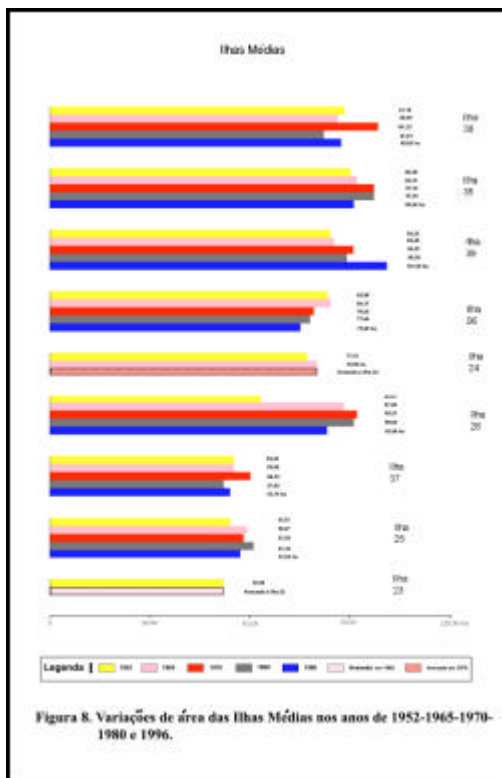


Figura 8. Variações de área das Ilhas Médias nos anos de 1952-1965-1970-1980 e 1996.

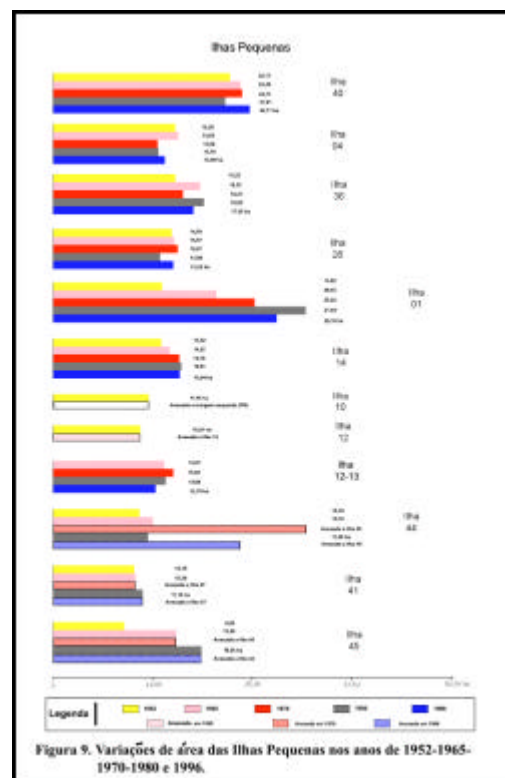
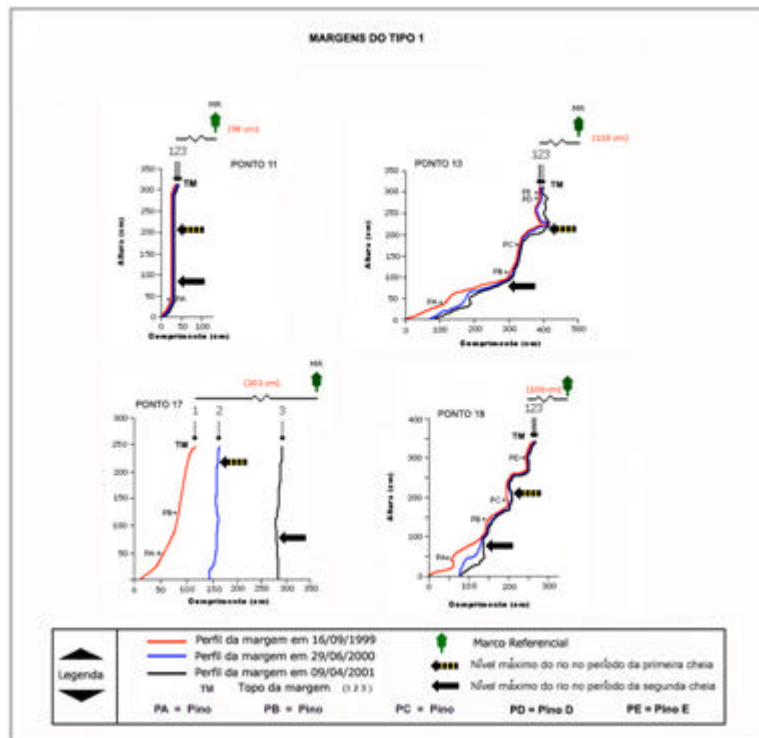
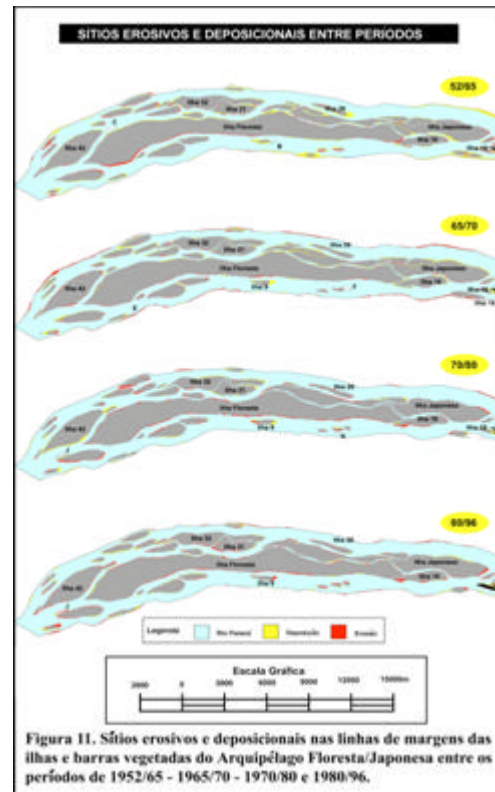
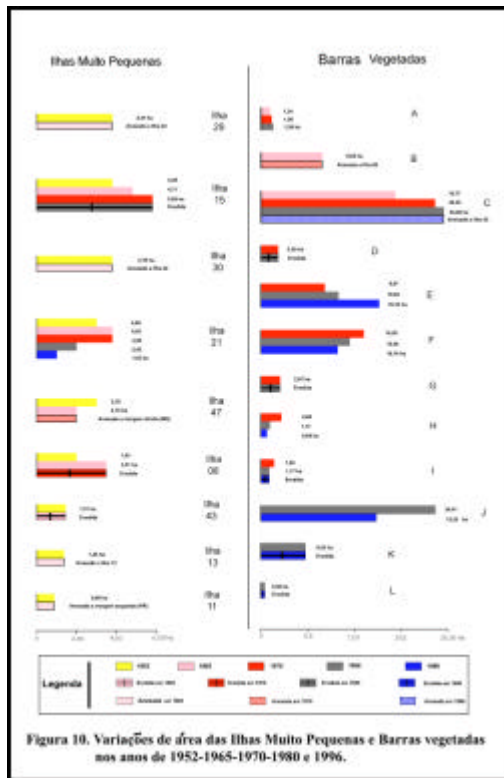


Figura 9. Variações de área das Ilhas Pequenas nos anos de 1952-1965-1970-1980 e 1996.

Componente Físico

Geologia e Geomorfologia



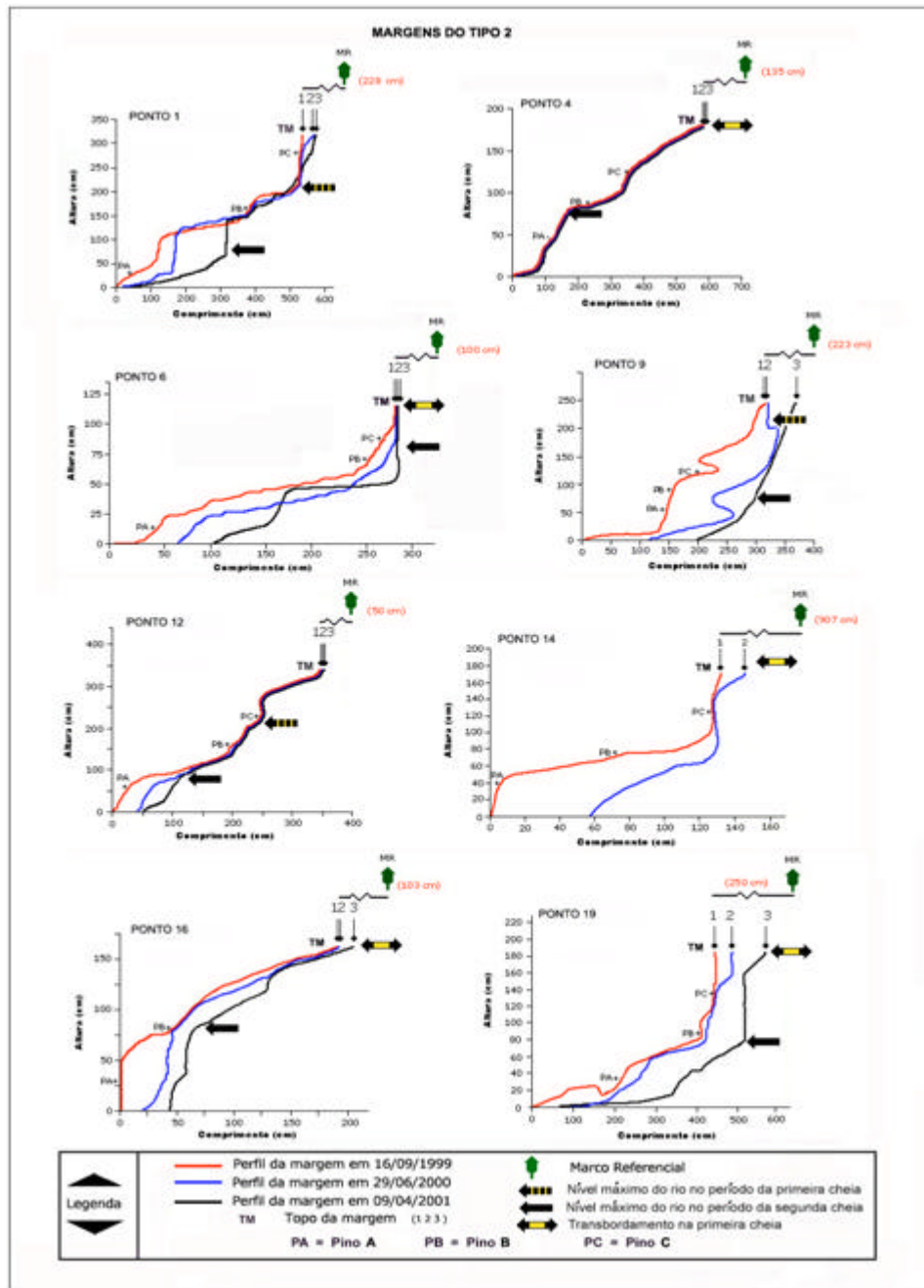


Figura 13 Evolução da forma das margens do tipo 2.

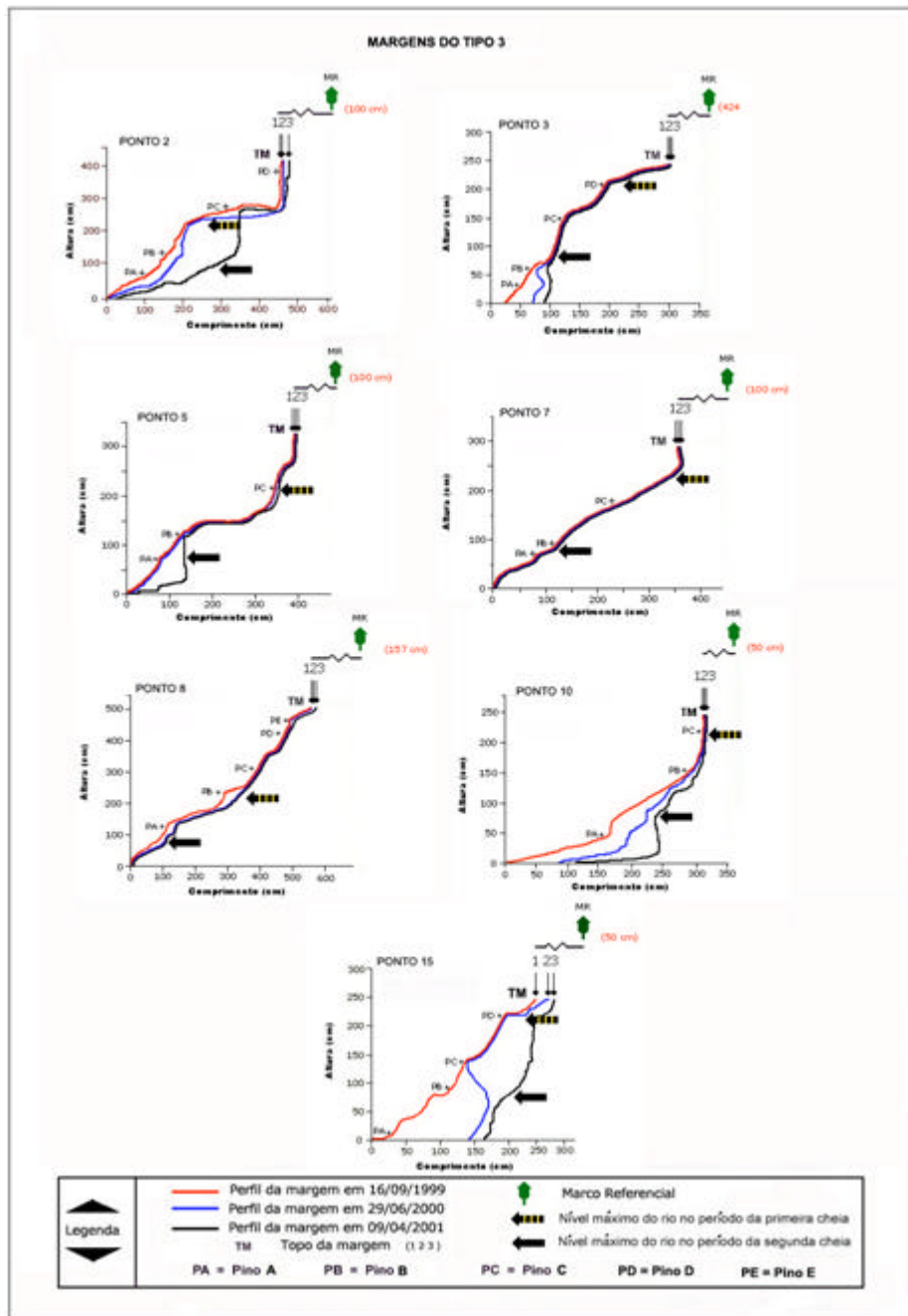


Figura 14 Evolução da forma das margens do tipo 3.

Componente Físico

A classificação das margens de acordo com os valores médios mensais máximos demonstrou que as margens com maiores taxas de erosão são mais frequentes conforme aumenta a distância da barragem (Tabela 3).

A análise temporal e espacial das taxas de erosão no segmento ainda encontra-se em andamento. Preliminarmente vem sendo possível observar que as taxas de erosão de cada conjunto vêm sofrendo modificações, e que até o momento a parte

Geologia e Geomorfologia

situada à montante vem apresentando as taxas mais baixas.

A tabela 4 apresenta os valores médios obtidos até o momento, e conforme pode ser observado, no início de 2001 a parte a montante apresentou valores mais baixos, no meio de 2001 a parte média foi submetida a valores menores, e a partir de agosto de 2001, a parte superior voltou a mostrar os menores índices. As taxas mais elevadas ocorreram inicialmente na parte mais distante da barragem, mas a partir de dezembro de 2002 o setor médio passou a apresentar os índices mais altos.

Tabela 3 Classificação dos tipos de margens de acordo com os valores máximos da taxa de erosão média mensal.

	Margens estáveis (? 1 cm/mês)	Margens com erosão baixa (de 1 a 5 cm/mês)	Margens com erosão média (de 5 a 10 cm/mês)	Margens com erosão alta (? 10 cm/mês)
Conjunto montante	Oleo Cru, Mato Grosso3	Mato Grosso1, Mato Grosso2, Ilha do Cruzeiro		
Conjunto segmento médio	Mutum1, Carioca2	Muto Grosso, Mutum2, Velho, Carioca1, Carioca3		Porto Rico1, Porto Rico2
Conjunto jusante	4, 5, 16 (Floresta), 11 (Cajá), 13, 17 (Japonesa),	1 (Japonesa), 3, 10 (Floresta), 7, 8 (Barbado), 15 (Mato Grosso)	2 (Japonesa), 19 9 (Macacas)	12, 18 (Japonesa), 14 (Chata),

Tabela 4 Recuo médio das margens em cada período de amostragem (em centímetros por período).

Período	Jan a Abr/2001	Abr a Ago/2001	Ago/2001	Dez/2002	Mar a Jun/2003
Setor			Dez/2002	Mar/2003	
Montante	12,83	17,50	70,60	57,00	14,70
Médio	29,03	4,60	84,62	91,12	52,31
Jusante	35,16	22,36	102,55	64,60	31,20

O monitoramento demonstrou também que a ocorrência de "pipping" é generalizada, e que a incidência de estruturas resultantes deste fenômeno é cada vez maior, tanto em número de margens atingidas, quanto em

intensidade de ocorrência na mesma margem. Antes da formação do reservatório de Porto Primavera, esse processo havia sido registrado uma única vez. No último trabalho de campo (junho), cerca de 92% das margens observadas demonstravam

Componente Físico

estruturas diagnósticas do processo. Apesar disso, o processo dominante foi o de corrasão, e a relação entre velocidade de fluxo e intensidade deste processo foi similar à estabelecida por Rocha *et al.* (1999).

O perfil longitudinal realizado a partir das proximidades de Porto Primavera até Porto Rico mostrou que em dezembro de 2003, o talvegue do rio Paraná não mais dispõe de seqüências contínuas de formas de leito no intervalo entre a barragem e Porto São José. Os sedimentos de fundo em transporte resumem-se a formas de leito isoladas e com amplitude de no máximo 0,5 metros. Os depósitos de barras submersas ou emersas encontram-se apenas em áreas protegidas do fluxo principal do rio. A

Considerações Gerais

A análise das séries hidrológicas das estações de Guaíra e de Porto São José utilizou os conceitos de Richter *et al.* (1997) e de Poff *et al.* (1997) para a análise dos impactos das barragens sobre a magnitude dos débitos, duração, periodicidade, frequência, e taxa de alteração. O resultado desta abordagem resultou no trabalho de Rocha *et al.* (2002), que considerou o período anterior a 1972 como o período de regime natural do rio, o período entre 1972 e 1981 como período de transição, e o período entre 1982 até 2001 como controlado.

O trabalho de Rocha *et al.* (2002) levou em conta os valores de débitos que possuem significância geomorfológica e ambiental para o sistema fluvial obtidos por Comunello e Souza Filho (2001), para obter a "Taxa de Aproximação da Variabilidade" (reality variation average (RVA) targets de Richter *et al.*, 1997).

A análise da magnitude dos débitos foi realizada por meio do cálculo da média das vazões médias mensais de todo o período com registro em Porto São José, e por meio da análise dos valores mais baixos e mais altos de eventos de um, três, sete, trinta, e noventa dias de duração. A partir dessa análise foi possível observar que os valores de débito mais elevados aumentaram no período de transição e em seguida obtiveram uma pequena redução, enquanto os valores

Geologia e Geomorfologia

configuração de depósitos em lençol com dunas subaquosas está presente apenas a partir das proximidades de Porto Rico, embora a amplitude das dunas seja menor que aquelas monitoradas por Stevaux *et al.* (1997) no período de 1994 a 1996.

Os estudos sobre as formas de leito e transporte de sedimentos realizadas em Porto São José (Martins *et al.*, 2004) demonstraram que as dunas isoladas são predominantemente grosseiras (de areia grossa e grânulos), e que se movimentam a uma velocidade de 56 m/mês, sob uma velocidade média de fluxo situada entre 0,55 e 0,85 m/s. O cálculo do transporte de sedimentos chegou a um valor de 2 825 toneladas por dia (7 627 m³/dia).

de débito mais baixo elevaram-se consideravelmente.

As modificações da frequência e duração dos débitos foram estudadas pela análise da distribuição dos valores dos débitos do período natural. Foram utilizados o conjunto de valores situados no quartil inferior (vazões baixas) e o conjunto do quartil superior (vazões altas), calculado a média de ocorrência anual, e a duração média de cada evento.

Os eventos de baixo débito ocorriam em média 3 vezes ao ano e duravam 32 dias, podendo ocorrer até 9 vezes por ano e chegando a durar até 126 dias, durante o período de regime natural. Após 1971 eles não mais ocorreram.

Os eventos de alto débito aumentaram sua frequência média de ocorrência de 3 vezes ao ano para 6 vezes e depois para 7 vezes. Simultaneamente a duração média de cada evento diminuiu de 42 dias para 25 dias e finalmente para 21 dias. A média anual de dias em que ocorreram altos débitos não mostrou variação significativa, permanecendo próximo a 150, ou seja, a modificação principal foi referente à frequência e duração. Os valores de "RVA targets" também evidenciam estas alterações, uma vez que apenas a duração dos eventos de alto débito pode ser

Componente Físico

enquadrada dentro das características do regime natural.

Juntamente com o aumento da frequência de eventos de alto débito houve um aumento na taxa de elevação e de diminuição dos débitos diários. Durante o regime natural, os episódios de cheia mostravam em média uma elevação de 289 cm/dia, e uma queda de 214 cm/dia. No período de transição estes valores passaram a 398 cm/dia para ambas as situações, e após 1982 a elevação média passou a 356 cm/dia e a diminuição passou a 375 cm/dia, e as ocorrências não se enquadram dentro da variabilidade do regime natural.

A alteração da periodicidade dos débitos foi realizada utilizando-se a frequência de ocorrência do maior e do menor valor de débito em cada ano. Os maiores valores ocorriam mais freqüentemente no 89º dia do ano (final de março), depois passaram a ocorrer no 73º dia (meio de março) e no último período eles têm ocorrido no 63º dia (início de março). Esta variação não é significativa para o sistema porque a variabilidade do evento é muito grande, e todas as ocorrências do período de transição e do período sob controle das barragens estão dentro da variabilidade do período natural.

No caso dos valores de débito diário mínimo a situação é diferente. No período natural a vazão mínima ocorria no 258º dia (meio de setembro), e passou a ocorrer no 240º dia (final de agosto), e em seguida no 215º dia (início de agosto). Além disso, as ocorrências do período sob controle das barragens estiveram fora da variabilidade natural em 58 % das vezes.

A formação do reservatório de Porto Primavera introduziu modificações no quadro já exposto, mas o fato de que o período transcorrido desde seu fechamento ser curto, não é possível a realização de uma análise como a que foi apresentada. Apesar disso os registros hidrológicos mostram duas alterações significativas, e os dados de campo comprovam uma terceira modificação.

Uma das alterações diz respeito à redução do débito fluvial nos meses de novembro e dezembro de 1998, para a primeira fase de enchimento do reservatório, e à eliminação da cheia de 2000–2001, para

Geologia e Geomorfologia

a segunda fase do enchimento. Infelizmente o período de chuvas de 1999-2000 foi pouco intenso, e os períodos de 2001-2002 e 2002-2003 estiveram sob forte controle das barragens (recuperação dos níveis dos reservatórios devido à crise de energia), o que acabou deixando o sistema sem cheias significativas por cinco períodos sucessivos.

Outra alteração diz respeito à variabilidade do débito diário, cujos valores ficaram compreendidos entre 6000 e 8000 m³/s, de abril de 1999 até junho de 2001, a partir de quando os valores foram inferiores a 6000 m³/s, tendo voltado ao intervalo anterior apenas em 2003. Neste intervalo de tempo, em apenas poucas ocasiões os valores superaram 10.000 m³/s (nos meses de março).

Tais dados mostram o aumento do controle do débito fluvial introduzido pela barragem de Porto Primavera, uma vez que proporcionou uma maior redução da variabilidade do débito fluvial, por meio da eliminação dos valores mais elevados.

A terceira alteração introduzida por Porto Primavera diz respeito à variação de nível entre o período da manhã e o início da noite. A série histórica da estação fluviométrica de Porto São José não permite avaliar este tipo de variação porque os dados disponíveis referem-se apenas à média diária, mas há um registro realizado pelo início da manhã e ao início da noite na base de campo da Universidade de Maringá, que possui a série completa a partir do ano 2000.

A análise desses dados permitiu verificar que no referido período houve uma variação de nível da ordem de até 10 cm em 47 % das ocasiões, variações entre 10 e 30 cm em 42 % das ocorrências, e variações de mais de 30 cm em 11 % das oportunidades, tendo a variação máxima chegado a 128 cm em 12 horas.

Este tipo de variação tem sido explicado na literatura (Brandt, 2000) pela maior necessidade de geração no período noturno. Entretanto, a seqüência de dados mostrou freqüentes reduções do débito entre a manhã e a noite (42 % das ocorrências), o que indica a necessidade de uma outra razão adicional para explicar tais alterações.

No caso de Porto Primavera, a coluna de água útil para geração não chega a 30 m,

Componente Físico

e mais a jusante encontra-se a Usina Hidrelétrica de Itaipu, cuja coluna de água para geração está próxima a 180 m. Dessa forma é bastante provável que as variações detectadas em Porto Rico sejam resultantes da liberação de água para que a Usina de Itaipu tenha geração mais eficiente.

O conjunto de barragens que existe na bacia hidrográfica modificou o padrão natural de magnitude, duração, periodicidade, e frequência dos débitos do rio Paraná, e seus efeitos foram mais intensos sobre os eventos de vazão baixa. A instalação da barragem de Porto Primavera aumentou o controle sobre o regime de débitos e eliminou os valores mais elevados. Além disso, proporcionou a instalação de uma significativa variabilidade entre os débitos diurnos e noturnos, que afeta todo o segmento a jusante.

A barragem de Porto Primavera produziu um outro efeito: o corte total do suprimento da carga de fundo e da carga suspensa. O monitoramento da carga sedimentar realizado entre 2000 e 2002 demonstrou que a 5 quilômetros da barragem a concentração média anual da carga suspensa foi reduzida de 25 mg/l para 1,04 mg/l. Para jusante o efeito foi atenuado, mas ainda assim, em Porto São José a concentração da carga suspensa foi reduzida para 10 mg/l (média anual).

Os sedimentos de fundo sofreram outro efeito. Nas proximidades de Porto Primavera houve remoção contínua até que

Geologia e Geomorfologia

em 2002 o leito já não apresentava mais sedimentos em trânsito, e as águas passaram a correr sobre basalto. Em Porto São José durante o ano de 2000 e 2001 os sedimentos de fundo (originalmente areia fina a média) passaram a ser dominados por areia muito fina, e a partir de 2002 passaram a tornar-se progressivamente mais grosseiros. Atualmente o fundo é dominado por sedimentos grosseiros.

Concomitantemente com o aumento da textura, houve uma modificação das formas de leito. As maiores formas em migração eram dunas subaquosas de grande porte (mais de cinco metros de altura e quarenta a sessenta metros de comprimento), e gradativamente elas foram tendo sua altura reduzida até que hoje a altura não ultrapassa 0,5 metros.

Os estudos em fotografias aéreas e imagens demonstraram que antes da barragem havia uma variação periódica no que diz respeito ao equilíbrio do balanço erosão/deposição (Tabela 5). Além disso, a superposição dos perímetros das áreas insulares demonstra que há uma alternância entre o domínio da erosão e deposição em um determinado local. Contudo, deve ser ressaltado o fato de que os processos erosivos removem depósitos argilosos mais antigos, relacionados ao sistema anastomosado pré-atual, enquanto os processos deposicionais fazem a ampliação das ilhas por meio de depósitos arenosos.

Tabela 6 Variação de área das ilhas do rio Paraná

Arquipélago \ Ano	1953	1963 / 1965	1970	1980	1996	2000
Cariocas-Mutum-Porto Rico	13,60	15,75	15,73	15,53	13,72	14,04
Floresta e Japonesa	71,74	72,02	75,52	72,38	71,80	70,21

Os dados de 2000 (Tabela 6) indicam que o período 1993-2000 mostra uma mudança de tendência quanto ao comportamento erosivo. As ilhas Cariocas, Mutum e Porto Rico estiveram sob domínio de sedimentação, enquanto o

arquipélago Floresta Japonesa esteve submetido à erosão, marcando uma ruptura no que diz respeito ao comportamento que todo o conjunto vinha apresentando.

A análise dos dados de monitoramento de campo mostra que as taxas erosivas foram reduzidas após a conclusão de Porto Primavera. Demonstrem também

Componente Físico

uma tendência de maiores taxas erosivas à jusante no período de 2000 a 2002, e um incremento nas taxas do segmento intermediário em 2003 (ilhas Mutum, Porto Rico e Cariocas). Tais variações podem ser reflexo das modificações dos depósitos de fundo e da conseqüente redistribuição das linhas de fluxo.

Pelo exposto, a implementação da barragem de Porto Primavera reduziu as taxas de erosão marginal. As causas para esta redução estão relacionadas aos baixos valores de débito, e à baixa magnitude das cheias. Os baixos valores de débito fazem com que as velocidades de fluxo junto às margens sejam mais baixas, e como esta é a principal variável no controle da erosão, as taxas erosivas tornam-se mais reduzidas. Além disso, a diminuição das formas de leito



Geologia e Geomorfologia

favorece o posicionamento do talvegue no centro do canal, vindo a diminuir ainda mais as velocidades junto às margens.

Por outro lado, o aumento da freqüência do número de cheias e principalmente a variação de nível diuturna são outros efeitos da barragem sobre os processos erosivos. Estas são as causas prováveis para a freqüente ocorrência de "pipping", visto que a rápida redução dos níveis de água permite a instalação de um significativo gradiente hidráulico nas margens do rio. A atuação do "pipping" pode tornar-se importante no que diz respeito à evolução da erosão marginal, não só pela freqüência em que ocorre, mas pela intensidade que vem demonstrando, conforme pode ser visto na figura 15, que mostra a evolução de uma das formas ao longo de pouco mais de um ano.



Figura 15 Evolução de uma forma de "pipping" da ilha Floresta entre 2001 (esquerda) e 2003 (direita).

As modificações dos sedimentos de fundo aparentemente estão ocorrendo de forma progressiva de montante para jusante, e muito possivelmente são responsáveis por modificações no talvegue do rio, com influência não só no que diz respeito à erosão marginal, mas também no que concerne aos demais aspectos

geomorfológicos do canal. O rio Paraná está passando por um processo de ajuste devido à mudança do débito e do suprimento sedimentar. Tal ajuste certamente terá efeitos sobre o conjunto canal-planície, tanto no que diz respeito aos aspectos geomorfológicos como também ecológicos.

Bibliografia

CORRÊA, G. T. & SOUZA FILHO, E. E. – 2004 – Evolução morfológica do arquipélago Floresta Japonesa (alto rio Paraná), no período 1952-1996. Artigo apresentado como

parte integrante da Tese de Doutorado apresentada junto ao PEA, 52 pp. (inédito).

Componente Físico

CORRÊA, G. T. & SOUZA FILHO, E. E. – 2004a – Avaliação dos processos de erosão marginal no arquipélago Floresta Japonesa (alto rio Paraná), no período 1999 a 2001. Artigo apresentado como parte integrante da Tese de Doutorado apresentada junto ao PEA, 22 pp. (inédito).

DESTEFANI, E. V.; SOUZA FILHO, E. E.; & STEVAUX, J. C.-2003 - A erosão marginal nas ilhas Mutum e Cariocas antes e depois da UHE Porto Primavera. Boletim de Geografia Teorética, (encaminhado).

FERNANDEZ, O.V.Q.- 1990- Mudanças no canal do rio Paraná e processos de erosão nas margens: região de Porto Rico (PR). IGCE, UNESP, dissertação de mestrado, Rio Claro, SP, 96 pp., (inédito).

POFF, H.L., ALLAN, D., BAIN, M.B., KARR, J.R., PRESTEGAARD, K.L., RICHTER, B.D., SPARKS, R.E., & STROMBERG, J.C., 1997. The natural flow regime: a paradigm for river conservation and restoration. *Bioscience*, vol. 47, n. 11. P. 769-784.

Geologia e Geomorfologia

RICHTER, B.D., BAUMGARTNER, J.V., WIGINGTON, R. & BRAUN, D.P., 1997. How Much Water Does a River Need. *Freshwater Biology*, 37. 231-249 p.

ROCHA, P. C., SOUZA FILHO, E. E., & FERNANDEZ, O. V. Q. (1999) Intensity of erosive processes at channel banks of up Parana river, Porto Rico Town area, Parana State, Brazil. International Symposium on Paleohydrology Geomorphology. of Large Rivers and Field Conference, Araguaia, 3pp (no prelo).

ROCHA, P. C.; SOUZA FILHO, E. E.; COMUNELLO, E.; CORRÊA, G. T. (2002). Evolução hidrodinâmica e processos erosivos marginais nos canais do sistema de inundação do alto rio Paraná, Região Centro Sul do Brasil. *Revista Pesquisas, Porto Alegre*, v. 28, n. 02, p. 161-170.

STEVAUX, J. C.; TAKEDA, A. M.; & MORAES, M. (1997) Dinâmica sedimentar no canal do rio Paraná. XI Simpósio Sul Brasileiro de Geologia, v. 1, (284-286).