

A HIDROQUÍMICA DO RIO PARANÁ APÓS A BARRAGEM DE PORTO PRIMAVERA

The Hydrochemistry of the Parana River after Porto Primavera Dam

Edvard Elias de Souza Filho¹

Kenia Zanetti²

José Paulo Peccinini Pinese²

Valmir de França²

Universidade Estadual de Maringá

Departamento de Geografia

Avenida Colombo, 5790 Maringá-PR CEP 87020-900

edvardmarilia@wnet.com.br

Universidade Estadual de Londrina

Departamento de Geociências

Rodovia Celso Garcia Cid (PR-445), Km 380 CEP 86051-990 - Caixa Postal 6001

keniabioq@gmail.com

pinese@uel.br

defranca@uel.br

RESUMO

A barragem de Porto Primavera, concluída ao final de 1998, introduziu um conjunto de modificações na parte jusante do sistema canal-planície do rio Paraná. Este trabalho tem como objetivo avaliar as modificações hidroquímicas ocorridas após a conclusão da barragem. Para isso foram levantados os dados bibliográficos a respeito de características físicas e químicas das águas do rio Paraná, do rio Baía e de lagoas associadas a ambos os cursos de água. Os dados obtidos foram analisados considerando-se o período anterior e posterior à conclusão do empreendimento, levando-se em conta as informações comuns a ambos os intervalos de tempo. Os resultados mostraram que o reservatório provocou aumento da temperatura e da concentração de potássio das águas, e diminuiu seu pH e a concentração de fósforo total. As cheias passaram a ter papel de agente diluidor de um conjunto de elementos (fósforo, magnésio, cálcio, manganês, ferro, zinco, chumbo, cádmio, alumínio, bário, cobalto e cobre) e de enriquecedor de potássio e sódio.

Palavras-chave: Hidroquímica. Impacto de barragem. UHE Porto Primavera. Rio Paraná.

ABSTRACT

The Porto Primavera dam has introduced a number of modifications in the downstream part of channel-floodplain of the Parana River. This study aims to evaluate the hydro chemical changes occurred after completion of the dam. For that, bibliographic data were raised on physical and chemical characteristics of the Paraná and Baía rivers and those lakes associated with both rivers. The data were analyzed considering the period before and after the completion of the dam project, taking into account the information common to both time intervals. The results showed that the reservoir caused an increase the water temperature and potassium concentration, and decreased the water pH and concentration of total phosphorus. Floods play a role as an agent of dilution of a set of elements (phosphorus, magnesium, calcium, manganese, iron, zinc, lead, cadmium, aluminum, barium, cobalt and copper) and enriched the potassium and sodium concentrations.

Keywords: Hydro chemistry. Dam environmental impacts. Porto Primavera dam, Paraná River.

1 INTRODUÇÃO

A construção de uma barragem introduz considerável modificação no sistema fluvial onde ela é instalada. A conclusão da barragem de Porto Primavera, em 1998, promoveu um grande conjunto de mudanças nas características do rio Paraná. As alterações físicas, as bióticas e as limnológicas vêm sendo amplamente estudadas, mas as modificações da química da água que não estão relacionadas à limnologia são pouco conhecidas.

Uma vez que a formação do reservatório de Porto Primavera transformou quase 200 km de curso de água em um lago artificial, é muito provável que as características da água vertida pelo empreendimento tenham características químicas distintas das originais, uma vez que as condições ambientais originais foram modificadas. Um exemplo disso é a retenção de fósforo em reservatórios, discutida por THOMAZ et al. (1992a), Agostinho, Vazzoler e Thomaz (1995), entre outros. Por outro lado, há a possibilidade de que outros parâmetros químicos não tenham sido afetados, como é o caso da concentração de nitrogênio, cujas variações são semelhantes ao longo do tempo, conforme THOMAZ et al. (2004).

O desenvolvimento de um conjunto de projetos financiados pela Fundação Araucária permitiu a obtenção de dados hidroquímicos de distintos ambientes em dois momentos de um ano hidrológico do rio Paraná. Tais dados fazem parte de uma Dissertação (ZANETTI, 2009) e foram parcialmente divulgados em evento científico (ZANETTI et al. 2009). A existência de tais dados permitiu a comparação de informações recentes com aquelas que foram obtidas anteriormente à construção do reservatório, possibilitando uma inferência a respeito dos efeitos da barragem sobre as características químicas das águas do rio Paraná e dos corpos de água existentes na planície fluvial.

Dessa forma, o objetivo deste trabalho é apresentar a avaliação das modificações ocorridas na hidroquímica do sistema fluvial do rio Paraná após a construção da barragem de Porto Primavera, abordando a área situada à jusante desta obra de engenharia.

2 A ÁREA DE ESTUDO

A barragem de Porto Primavera (UHE Engenheiro Sergio Motta) está situada na divisa entre os Estados de São Paulo e Mato Grosso do Sul, poucos quilômetros acima da foz do rio Paranapanema. Possui pouco mais de 10 km de extensão e pode reter 20 km³ de água.

A área estudada está situada à jusante da foz do rio Paranapanema, compreendendo o canal do rio Paraná, corpos de água da ilha Mutum e da porção sul mato-grossense da planície fluvial, o canal do rio Baía e lagoas a ele associadas (Figura 1).

Todo esse segmento fluvial encontra-se em processo de ajuste fluvial provocado pelo controle das descargas fluviais e pelo corte do suprimento detrítico (SOUZA FILHO, 1999, 2008, 2009 a e b; SOUZA FILHO et al., 2004; ROCHA, 2002; SILVA 2007; OKAWA, 2009). O aporte principal de água é feito pelo rio Paraná, sob controle da barragem de Porto Primavera, secundado pelo rio Paranapanema, por sua vez sob influência da barragem de Rosana. A entrada de água pela margem esquerda está limitada à contribuição de pequenos córregos e riachos, assim como a da margem direita, cuja água é captada pelo rio Baía.

As áreas marginais da calha fluvial são intensamente ocupadas por pecuária e agricultura, enquanto a planície fluvial é parcialmente ocupada por pastagens e plantações de arroz, além de grandes áreas de vegetação natural. Os principais centros urbanos são a cidade de Porto Rico e o Distrito de Porto São José.

O rio Paraná apresenta fluxo livre com velocidade média próxima a 1m/s em Porto São José (CRISPIM, 2001) e suas águas apresentam diferentes características em virtude da contribuição do rio Paranapanema. Contudo, ao longo de toda a área estudada, a contribuição do referido rio fica restrita às proximidades da margem esquerda (faixa mais clara na Figura 1). Sua descarga fluvial era controlada pelas chuvas em toda a bacia e atualmente depende da operação da barragem de Porto Primavera.

O rio Baía possui fluxo livre quando o rio Paraná encontra-se em águas baixas, mas pode mostrar fluxo contrário quando este último eleva o nível de suas águas. Dessa maneira, o rio alterna a condição de afluente e de distributário de acordo com os níveis existentes em ambos os cursos de água. Sua descarga fluvial é controlada pela precipitação local, pelo fluxo subterrâneo da planície fluvial e pelo nível fluviométrico do rio Paraná.

A conexão dos corpos lânticos existentes na planície está relacionada à dinâmica de inundação. No período entre 1998 a 2007, o nível fluviométrico médio registrado na estação de Porto São José foi de 2,94 m correspondente a uma descarga

de 7.974 m³/s (SOUZA FILHO, 2009b). Neste nível, apenas os corpos de água com comunicação permanente com os rios recebem suas águas. Quando o nível do rio Paraná sobe, a planície ganha água por meio da elevação do lençol freático e a partir do valor de 3,5 m inicia-se conexão com os corpos lânticos; quando o nível chega a 4,6 m o rio Baía tem fluxo impedido e suas margens começam a ser inundadas; a 6 m as áreas de altitude intermediária são alagadas e por fim, a partir de 7 m, toda a planície encontra-se coberta por água (ROCHA, 2002; MEURER; 2004; CORRADINI; 2006).

As lagoas situadas nas ilhas e na parte oriental da planície mantêm forte relação com as águas do rio Paraná, seja por contribuição subterrânea, seja por conexão superficial. As lagoas situadas ao longo da faixa próxima ao rio Baía possuem clara associação com as suas águas quando o nível das cheias é inferior a 6 m. Em níveis superiores ao mencionado, há uma homogeneização das características limnológicas dos corpos de água (THOMAZ et al. 2001, 2004, ROBERTO, 2007; ROCHA ; COMUNELLO, 2009).

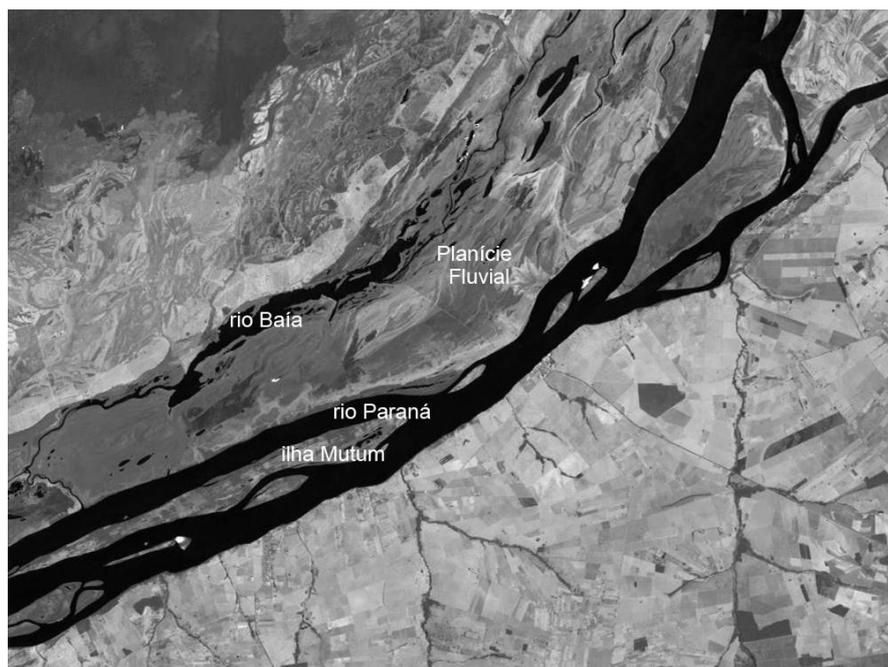


Figura 1: Recorte de imagem CBERS2/CCD da área de estudo

As imagens orbitais da Figura 2 mostram que tal afirmação é procedente, uma vez que a imagem de 1982 foi obtida quando o nível da água em Porto São José era de 6,24 m (18.160 m³/s) e mostra a

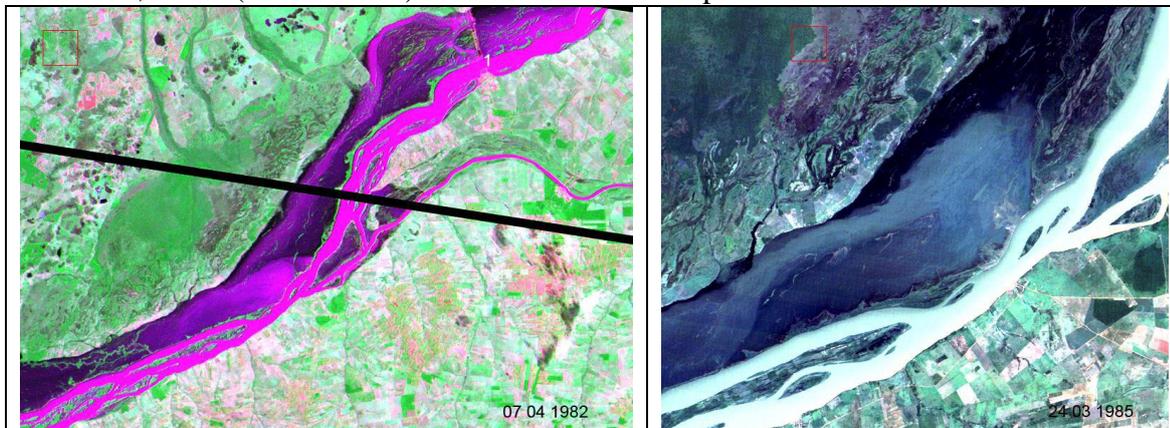


Figura 2: Recortes de imagens MSS (LANDSAT 2) de 07/04/1982 e TM (LANDSAT 5) de 24/03/1985, mostrando situações de cheia. O eixo da barragem está assinalado com o número 1 na figura da esquerda

Contudo, a imagem TM (LANDSAT 5) de 17/01/1990 (Figura 3) foi obtida com o nível do rio a 7,90 m, mas mostra áreas com forte influência do rio Paraná e áreas em que as águas do rio Baía estão preservadas. Embora as imagens registrem a situação do momento em que foram obtidas, esta última lança dúvidas a respeito dos locais em que ocorre a homogeneização. De qualquer modo, o monitoramento limnológico que vem sendo efetuado nos ambientes do rio Paraná indica que mesmo as pequenas cheias podem alterar as características das águas do sistema do rio Baía, conforme registrado em fevereiro de 1999 (THOMAZ et al. 2001).

Uma vez que as águas do rio Paraná são diferentes das águas do rio Baía e seu caudal é incomparavelmente maior, as modificações químicas proporcionadas pelo reservatório podem atingir todo o sistema fluvial situado à jusante.

3 A HIDROQUÍMICA PRÉ-BARRAGEM

Os dados relativos à hidroquímica da área são oriundos dos trabalhos que abordaram a limnologia dos corpos de

calha do rio Baía tomada por água do rio Paraná. A imagem de 1985 foi obtida com o nível fluviométrico a 5,59 (15755 m³/s) e as águas do rio Baía encontram-se separadas das do rio Paraná.

água e alguns aspectos químicos, levados a termo por pesquisadores do Nupelia (Núcleo de Pesquisas em Limnologia, Ictiologia e Aquicultura) e do GEMA (Grupo de Estudos Multidisciplinares do Ambiente).

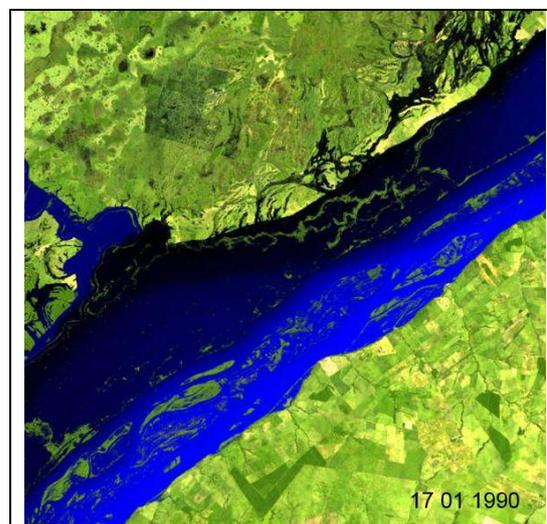


Figura 3: Recorte de imagem TM (LANDSAT 5) de 17/01/1990 mostrando o rio em cheia. Fonte: Rocha (2002).

Os dados obtidos em coletas mensais em 1987 e em 1988 (THOMAZ et al. 1992 a) demonstraram que as águas do rio Paraná tinham temperatura que variava entre 20 e 30°C, de acordo com a época do

ano; valores de pH entre 7,4 e 7,9, mais baixos em descargas maiores e mais elevados em descargas menores, sempre mais alto junto à margem paranaense; concentração de fósforo (P) total variando entre 0,007 e 0,053 mg/L, com relação direta com a descarga fluvial e com a carga em suspensão.

No mesmo intervalo de tempo, THOMAZ et al. (1992b) verificaram que as águas da lagoa do Guaraná (ligada ao rio Baía) na maior parte do tempo estavam estratificadas e mostraram temperaturas médias entre 16 e 28°C. Nesse período, o pH variou entre 5,1 em águas baixas e 7,1 em águas altas. Os valores de concentração de fósforo total variaram de 0,30 a 0,365 mg/L, mas não acompanharam as variações do nível da água. Os dados de concentração de fósforo total para a lagoa das Garças (relacionada ao rio Paraná) mostraram comportamento semelhante, variando entre 0,04 e 0,175 mg/L (THOMAZ et al. 1992a).

No período de 1989 e 1990, as águas do rio Paraná e as do rio Baía foram amostradas nos meses de setembro, novembro (1989) e fevereiro (1990). Os dados obtidos foram publicados por RAUBER et al. (1992). No rio Paraná, as concentrações médias de fósforo total variaram entre 0,136 e 0,245 mg/L enquanto as de potássio variaram entre 0,90 e 2,09 mg/L. No rio Baía, as concentrações médias de fósforo variaram entre 0,132 e 0,531 mg/L enquanto as de potássio variaram entre 0,938 e 2,406 mg/L.

4 A HIDROQUÍMICA PÓS-BARRAGEM

No período posterior ao fechamento da barragem de Porto Primavera, o sistema do rio Paraná teve diversas variáveis limnológicas monitoradas por meio das atividades relacionadas às “Pesquisas Ecológicas de Longa Duração” - PELD (CRISPIM, 2001;

THOMAZ et al. 2000, 2001, 2004; ROBERTO, 2007, 2008).

A amostragem levada a termo em fevereiro de 1999 demonstrou que as lagoas relacionadas ao rio Baía apresentavam águas mais ácidas (5,7 de pH), o rio Paraná tinha as águas mais básicas (7,3 de pH) e mais pobres em fósforo (THOMAZ, et al., 2000). À época, os autores chamaram a atenção para a pequena concentração de nutrientes existentes no rio Paraná e a possível ação de suas cheias no sentido de proporcionar o empobrecimento da planície de inundação por meio da diluição dos nutrientes.

A análise dos dados levantados durante o ano 2000 (THOMAZ, et al 2001) demonstrou que as lagoas ligadas ao rio Baía apresentaram águas com pH mais baixo (6 a 6,3), seguidas pelo próprio rio Baía (6,4 a 6,8), enquanto as lagoas relacionadas ao rio Paraná apresentaram os maiores valores desta variável (6,2 a 8,1). As lagoas ligadas ao rio Baía apresentaram maiores concentrações médias em fósforo total (0,055 mg/L), secundadas pelas lagoas ligadas ao rio Paraná (0,050 mg/L) e pelo rio Baía (0,045 mg/L). As águas do rio Paraná mostraram-se empobrecidas nesse elemento (inferior a 0,020 mg/L).

Os dados de pH levantados mensalmente durante o ano de 2000 em Porto São José (CRISPIM, 2001) mostraram que o pH médio das águas do rio foi de 6,9, com mínimo de 6,3 em outubro (margem direita) e máximo de 7,9 em dezembro (margem esquerda). As amostragens confirmaram que as águas próximas à margem esquerda eram ligeiramente menos ácidas que as do restante do canal.

Os dados levantados por ZANETTI (2009) foram obtidos em amostragens realizadas em 34 locais diferentes, em agosto de 2008 e em março de 2009. A autora trabalhou com dados de pH, temperatura da água, e concentração de ferro, sódio, potássio, silício, magnésio, cálcio, estrôncio, níquel, manganês, zinco,

chumbo, cádmio, fósforo, cromo, alumínio, bário, cobalto e cobre, além de coletar dados de condutividade nas amostragens realizadas em março.

A análise dos componentes principais realizada pela referida autora encontrou alta correlação positiva entre as variações de ferro e manganês, e entre magnésio cálcio e estrôncio em águas baixas. No período de águas altas as variações de fósforo, magnésio, cálcio, manganês, ferro, zinco, chumbo, cádmio, alumínio, bário, cobalto e cobre, apresentaram correlação alta, além das de potássio e sódio. Tais relações indicam que a cheia de 2009 proporcionou a homogeneização do sistema.

A análise espacial dos dados, realizada por meio de krigeagem, mostrou que no período de águas baixas (agosto de 2008) o pH das águas do rio Baía era mais baixo enquanto que as do rio Paraná era mais alto. No período de águas altas (março de 2009), todos os ambientes possuíam águas com pH mais baixo, mas as lagoas relacionadas ao rio Baía apresentaram os menores valores (Quadro 1). A temperatura da água foi muito semelhante em todos os ambientes tanto em agosto quanto em março, mas as águas das lagoas mostraram-se mais quentes que as águas correntes.

Ambientes	pH		Temperatura (C)	
	agosto	março	agosto	março
rio Baía	6,2	5,9	22,1	28,9
lagoas rio Baía	6,4	5,8	22,6	29,7
rio Paraná	7,1	6,6	22,1	28,2
lagoas rio Paraná	6,8	6,4	22,25	29,6

Quadro 1: Dados de pH médio e de temperatura média nos diversos ambientes estudados, em 2008 e 2009

Fonte: ZANETTI (2009).

A concentração média de quase todos os elementos diminuiu no período de águas altas, com exceção das concentrações de sódio e de potássio (Quadros 2 e 3), além de níquel e cromo, detectados apenas em águas altas.

Tais dados indicam que as cheias do rio Paraná realizam a diluição da maior parte dos elementos químicos existentes nas águas do sistema, de acordo com que foi postulado por THOMAZ et al. (2000).

Por outro lado, suas cheias aumentam a concentração de sódio e potássio, efeito particularmente pronunciado nas lagoas relacionadas ao rio Paraná, mas pouco intenso nas águas do rio Baía e inexistente nas lagoas a ele relacionadas (Quadro 2).

Outro efeito que pode ser observado é o aumento da variabilidade das concentrações médias de quase todos os elementos entre os quatro ambientes no período de águas altas, com exceção da

sílica e do alumínio. Isso indica que as características de cada ambiente estudado também controlam os teores dos elementos.

A detecção de níquel e cromo nos ambientes da planície no período de cheia talvez esteja relacionada ao aporte destes elementos pelas águas do rio Paraná. Contudo, uma vez que o número de amostras é pequeno, é difícil afirmar categoricamente e o fato dos elementos não terem sido detectados nas águas do rio (Quadro 3) indica a possibilidade de que tenha havido contaminação local, embora não se possa descartar que o aporte tenha sido feito durante o pico de cheia.

Caso as cheias estejam aumentando os teores dos referidos elementos na planície, uma futura amostragem durante o pico de cheia poderá esclarecer a situação.

Por outro lado, há evidências de aporte localizado de elementos químicos. Os mapas da distribuição espacial das

concentrações obtidas no sistema (ZANETTI, 2009) indicam diversas situações que caracterizam a presença de fontes locais de contaminação. A título de exemplo, os valores mais pronunciados mostrados na Figura 4 indicam fonte local

para os elementos cálcio e magnésio em agosto de 2008 e em setembro de 2009.

As anomalias não estão restritas aos elementos mencionados e, desta forma, é necessário descartar os valores anômalos para avaliar os valores de concentração média dos ambientes.

	Na		K		Mg		Ca		Sr		Ba	
	Ago	Mar	Ago	Mar	Ago	Mar	Ago	Mar	Ago	Mar	Ago	Mar
rio Baía	2,01	2,89	1,64	1,67	0,603	0,036	2,316	0,111	0,015	0,0009	0,045	0,003
lagoas rio Baía	2,34	1,796	2,75	1,221	1,002	0,379	2,913	1,09	0,019	0,007	0,06	0,022
rio Paraná	2,959	4,7	2,291	3,4	1,94	0,085	2,956	0,192	0,024	0,002	0,066	0,004
lagoas rio Paraná	3,274	8,4	1,54	4,3	1,078	0,146	3,2	0,397	0,025	0,003	0,067	0,007
	Fe		Mn		Zn		P		Si		Al	
	Ago	Mar	Ago	Mar	Ago	Mar	Ago	Mar	Ago	Mar	Ago	Mar
rio Baía	1,61	0,177	0,084	0,008	0,043	0,0009	0,053	0,003	4,86	0,336	0,263	0,008
lagoas rio Baía	3,603	1,146	0,343	0,042	0,059	0,0058	0,076	0,015	3,503	0,68	0,504	0,029
rio Paraná	0,355	0,042	0,031	0,0029	0,085	0,0001	0,015	0,0007	6,095	0,45	0,113	0,006
lagoas rio Paraná	2,6	0,54	0,082	0,024	0,084	0,001	0,052	0,014	5,949	0,365	1,202	0,033

Quadro 2: Valores de concentração dos elementos detectados em todas as amostragens (mg/l)

Fonte: ZANETTI (2009).

	Ni		Cr		Pb		Cd		Co		Cu	
	Ago	Mar	Ago	Mar	Ago	Mar	Ago	Mar	Ago	Mar	Ago	Mar
Rio Baía		0,011		0,0003	0,033	0,001	0,005	0,0001	0,011	0,0005	0,0036	0,0004
amostras		1		1	1		1	1	1	3	5	4
lagoas rio Baía		0,038		0,002	0,047	0,004	0,004	0,0002	0,011	0,0006	0,002	0,002
amostras		1		1	1	1	1	1	1	2	1	1
rio Paraná					0,137	0,001		0,0001			0,007	
amostras					1	4		1			1	
Lagoas r. Paraná		0,013		0,0002	0,01	0,001		0,0001		0,001		0,0007
amostras		1		2	1	2		1		1		2

Quadro 3: Valores de concentração (mg/l) e número de amostras que obtiveram valores detectáveis de elementos de ocorrência rara.

Fonte: Zanetti (2009).

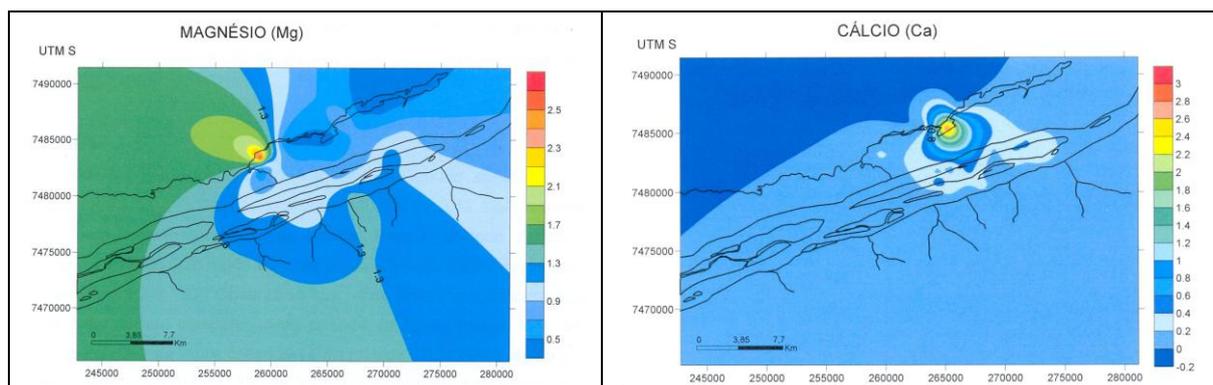


Figura 4: Concentração de magnésio em agosto de 2008 (esquerda) e de cálcio em março de 2009 (direita), por krigeagem ordinária

Fonte: ZANETTI (2009).

5 A HIDROQUÍMICA EM AGOSTO E EM MARÇO ANTES E DEPOIS DA BARRAGEM

Uma vez que os dados disponíveis para o período anterior e para o posterior à barragem não abordam as mesmas variáveis, a análise comparativa deve se restringir aos parâmetros comuns a ambos os períodos. Da mesma forma, uma vez que há variabilidade ao longo do ano hidrológico, a comparação deve abordar situações semelhantes em termos hidrológicos.

Por essa razão, os dados de temperatura da água, pH, de concentração de fósforo e de potássio foram escolhidas para a comparação, utilizando-se os valores dos meses de agosto e março para os dados de THOMAZ et al. (1992 a, b), de CRISPIM (2001), e de setembro e fevereiro para os dados de RAUBER et al. (1992). Os valores obtidos por ZANETTI (2009) foram utilizados após a retirada dos dados dos pontos que mostravam fonte local de contaminação.

Em agosto de 1988, o nível médio do rio Paraná foi de 2,90 m (7750 m³/s) e a cheia de 1989 iniciou em janeiro, com o nível de água chegando a 6,03 m em 22 de fevereiro. Após atingir esse valor, as águas abaixaram e no mês de março ficaram a 3,98 m em média (10.557 m³/s). Em setembro desse ano, o nível médio foi de 3,11 m (8.249 m³/s) e em dezembro a cheia teve início. O nível da água atingiu o

máximo de 7,91 m em 16 de janeiro de 1990 e teve uma média de 3,67 m (9.689 m³/s) em fevereiro.

O início do ano de 2000 não teve elevação significativa das águas a não ser no final de março, quando as águas atingiram 5,07 m no dia 25. O nível médio deste mês foi de 3,47 m (9.416 m³/s) e o de agosto foi de 2,85 m (7.610 m³/s). Por fim, o nível médio das águas em agosto de 2008 foi de 3,10 m (8.110 m³/s) e a cheia de 2009 teve início em fevereiro, com máximo de 5,06 no dia 28/02, após o que as águas abaixaram fazendo com que no mês de março o rio tivesse o nível médio a 3,47 m (9074 m³/s).

O conjunto de informações obtidas pelos autores mencionados encontra-se na Quadro 4. Os dados relativos ao rio Baía mostram que suas águas tornaram-se significativamente mais pobres em fósforo e que antes da conclusão da barragem a concentração em período de cheia era maior que em período de águas baixas. Contudo, com relação ao potássio, verifica-se que a concentração no período de águas baixas tornou-se maior que era anteriormente, mas atualmente há diluição durante as cheias.

Após a barragem, nas lagoas relacionadas ao rio Baía, a temperatura das águas aumentou e o pH diminuiu no período de cheia. A concentração de fósforo diminuiu em águas baixas e o elemento praticamente desapareceu durante a cheia. As lagoas relacionadas ao

rio Paraná também mostraram diminuição dos valores de concentração de fósforo.

Os dados relativos ao rio Paraná demonstram aumento da temperatura da água e da concentração de potássio, além de diminuição do pH e da concentração de fósforo, após a formação do reservatório. Logo após a conclusão da barragem, suas águas eram mais ácidas e empobrecidas em fosfato em águas baixas e tornaram-se mais ácidas e empobrecidas no elemento em águas altas nas amostragens mais recentes. O enriquecimento em potássio nas águas altas persiste até 2009.

O período pós-barragem aparentemente proporcionou a elevação e homogeneização da temperatura dos ambientes e a redução do pH, em especial durante o período de cheia. Esses efeitos podem ser atribuídos ao aquecimento das águas e à produção de ácidos orgânicos a partir da decomposição de matéria orgânica no reservatório de Porto Primavera. A homogeneização das

temperaturas em todos os corpos de água em período de águas baixas pode ser indicativo de que as águas subterrâneas também estejam sendo aquecidas por meio da alimentação do rio Paraná. Este efeito é pouco conhecido e merece uma investigação apropriada.

Um efeito particularmente importante é o empobrecimento na concentração de fósforo. Antes da barragem, as águas do rio Paraná apresentavam as maiores concentrações de fósforo total e suas cheias aumentavam a concentração do elemento em praticamente todos os ambientes. Após a barragem, verificou-se a diminuição da concentração do elemento em todos os locais amostrados e o período de cheia é caracterizado pela diluição ainda maior do elemento. Tal situação pode ser mais grave, pois os dados de ROBERTO (2008) mostram tendência à diminuição dos valores no período de 90 meses a partir do início do ano 2000 (Figura 5).

Ambientes		Temperatura (°C)		pH		P (mg/l)		K (mg/l)	
		agosto	março	agosto	março	agosto	março	agosto	março
rio Baía	1989/1990					0,132	0,531	0,938	2,406
	2008/2009	22,2	29	6,3	6	0,042	0,001	1,456	1,24
lagoas rio Baía	1987/1988	16	25,5	6,4	6,4	0,070	0,100		
	2008/2009	22,5	29,9	6,4	5,9	0,030	0,000	1,372	0,85
rio Paraná	1987/1988	21	27	7,9	7,7	0,026	0,065		
	1989/1990					0,175	1,360	0,9	1,86
	2000			6,8	7,2	0,003	0,047		
lagoas rio Paraná	2008/2009	22,1	28,2	7,1	6,6	0,015	0,001	2,291	3,4
	1987/1988					0,125	0,042		
	2008/2009	22,3	30,2	6,8	6,6	0,052	0,003	1,54	4,3

Quadro 4: Valores de temperatura, ph, fósforo (p) e potássio (k) obtidos nos ambientes do sistema do rio paraná em diferentes datas.

Fonte: THOMAZ et al. (1992 a, b); RAUBER et al. (1992); CRISPIM (2001) e por ZANETTI (2009).

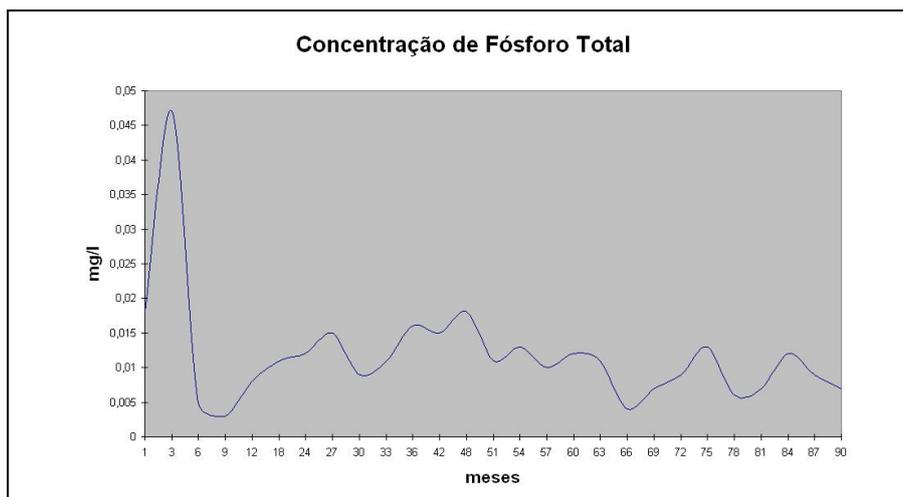


Figura 5: Variação temporal da concentração de fósforo total no rio Paraná a partir do ano 2000
Fonte: ROBERTO, 2008.

6 CONCLUSÃO

Os dados analisados indicam que a formação do reservatório da UHE de Porto Primavera promoveu modificação das características das águas do sistema do rio Paraná no que se refere à temperatura, pH, fósforo e potássio. Após a conclusão da barragem, os seguintes efeitos puderam ser documentados: a temperatura das águas aumentou e tornou-se mais homogênea entre os ambientes, tanto em águas baixas como em águas altas; o pH diminuiu nas águas do rio Paraná e nas lagoas associadas ao rio Baía; a concentração de fósforo diminuiu em todos os ambientes e as cheias passaram a exercer o papel de agente diluidor do elemento; a concentração de potássio aumentou no rio Paraná, tanto em águas altas como em águas baixas, mas diminuiu no rio Baía em período de águas altas.

A cheia de 2009 proporcionou ainda a diluição das concentrações de ferro, silício, magnésio, cálcio, estrôncio, manganês, zinco, chumbo, cádmio, alumínio, bário, cobalto e cobre, além do aumento da concentração de sódio, cromo e níquel. Uma vez que a variação de concentração de fósforo teve alta correlação com as variações das concentrações de magnésio, cálcio, manganês, ferro, zinco, chumbo, cádmio, alumínio, bário, cobalto e cobre durante as

águas altas é possível que a diluição de todos estes elementos seja consequência da construção da barragem assim como o enriquecimento de sódio, que apresentou alta correlação com a variação de potássio.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos o apoio da Fundação Araucária do Estado do Paraná, Brasil, pelo suporte financeiro através dos projetos 9527/06 e 13015/2008 e do CNPq.

REFERÊNCIAS

AGOSTINHO, A. A.; VAZZOLER, A. E. A. de M.; THOMAZ, S. M. **The High Paraná River Basin limnological and ichthyological aspects.** In: TUNDISI, J. G.; BICUDO, C. E. M.; MATSUMURA TUNDISI, T. (Ed.). *Limnology in Brazil.* Rio de Janeiro: Brazilian Academy of Science/Brazilian Limnological Society, 1995. p. 59-104.

CORRADINI, F. A. **Processos de conectividade e a vegetação ripária do alto rio Paraná – PR.** 2006. 80 f. Dissertação. (Mestrado em Geografia)-Pós-graduação em Geografia, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2006.

CRISPIM, J. Q. **Alterações na hidrologia do canal após a construção do**

reservatório Engenheiro Sérgio Motta (Represa de Porto Primavera) Rio Paraná. 2001. 25 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais)-Programa de Pós-Graduação em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais, Universidade Estadual de Maringá, 2001.

MEURER, M. Regime de Cheias e **Cartografia de Áreas Inundáveis no Alto Rio Paraná, na Região de Porto Rico – PR.** 2004. 54 f. Dissertação (Mestrado em Geografia)-Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Estadual de Maringá, 2004.

OKAWA, C. M. P. **Em busca do hidrograma ecológico para a planície de inundação do alto rio Paraná: considerações iniciais.** 2009. 76 f. Tese (Doutorado em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais)-Programa de Pós-Graduação em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais, Universidade Estadual de Maringá, 2009.

RAUBER, T. et al. Nível de concentração dos macronutrientes N, P e K, que aportam nos rios Paraná e Baía, na região de Porto Rico – PR. **Acta Limnologica Brasiliensia**, São Carlos, v. 4, p. 239-245, 1992.

ROBERTO, M. C. Fatores Limnológicos Abióticos. In: A PLANÍCIE de Inundação do Alto Rio Paraná. Programa PELD/CNPq. Relatório Anual PELD 2006. Maringá: UEM; Nupélia, 2007. 5 p. Disponível em: <http://www.peld.uem.br/Relat2006/pdf/01_Fatores_limnologicos_bioticos.pdf>. Acesso em: 29 nov. 2010.

ROBERTO, M. C. Limnologia. In: A PLANÍCIE de Inundação do Alto Rio Paraná. Programa PELD/CNPq. Relatório Anual PELD 2007. Maringá: UEM; Nupélia, 2008. 8 p. Disponível em:

<http://www.peld.uem.br/Relat2007/pdf/capitulo_2.pdf>. Acesso em: 29 nov. 2010.

ROCHA, P. C. **Dinâmica dos Canais no Sistema Rio-Planície Fluvial do Alto Rio Paraná, nas proximidades de Porto Rico – PR.** 2002. 169 f. Tese (Doutorado)-Programa de Pós-Graduação em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2002.

ROCHA, P. C. ; COMUNELLO, E. Geomorfologia e áreas inundáveis na planície fluvial do alto rio Paraná. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 23., 2009, Viçosa. **Anais...**, Viçosa-MG, SBGFA, 2009.

SILVA, S. A. **Características do regime hidrológico do alto rio Paraná: modificações e aspectos ambientais.** 2007. 36 f. Tese (Doutorado em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais)-Programa de Pós-Graduação em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais, Universidade Estadual de Maringá, Maringá 2007.

SOUZA FILHO, E. E. Diagnóstico do meio físico e condições emergentes da planície do rio Paraná em Porto Rico (PR). **Geonotas**, Maringá, v. 3, n. 3, p. 1-10, 1999.

SOUZA FILHO, E. E. Geologia e Geomorfologia. In: A PLANÍCIE de Inundação do Alto Rio Paraná. Programa PELD/CNPq. Relatório Anual PELD 2007. Maringá: UEM; Nupélia, 2008. 86 p. Disponível em: <http://www.peld.uem.br/Relat2007/pdf/capitulo_1.pdf>. Acesso em: 29 nov. 2010.

SOUZA FILHO, E. E. Geologia e Geomorfologia. In: A PLANÍCIE de Inundação do Alto Rio Paraná. Programa PELD/CNPq. Relatório Anual PELD 2007. Maringá: UEM; Nupélia, 2009a 78 p.

Disponível em:
<<http://www.peld.uem.br/Relat2008/pdf/Capitulo01.pdf>>. Acesso em: 29 nov. 2010.

SOUZA FILHO, E. E. Evaluation of the Parana River discharge control on Porto São José Fluviometric Station (State of Parana - Brazil). **Brazilian Journal of Biology**, v. 69, n, 2 (Suppl.), p. 631-37, 2009b.

SOUZA FILHO, E. E. et al. Effects of the Porto Primavera Dam on physical environment of the downstream floodplain. In: THOMAZ, S. M.; AGOSTINHO, A. A.; HAHN, N. S. (Ed.). **The Upper Paraná River and its floodplain: Physical aspects, Ecology and Conservation**. Leiden: Backhuys, 2004. p. 55-74

THOMAZ, S. M. Fatores Limnológicos. In: A PLANÍCIE de Inundação do Alto Rio Paraná. Programa PELD/CNPq. Relatório Anual PELD 2000. Maringá: UEM/Nupélia, 2001. 10 p. Disponível em: <http://www.peld.uem.br/Relat2000/2_2_CompBioticoFatLimnologicos.PDF>. Acesso em: 29 nov. 2010.

THOMAZ, S. M. Variação espacial e temporal de fatores limnológicos. In: A PLANÍCIE de Inundação do Alto Rio Paraná. Programa PELD/CNPq. Relatório Anual PELD 2001. Maringá: UEM/Nupélia, 2002 14 p. <http://www.peld.uem.br/Relat2001/pdf/componente_bioticos_llimnologico.PDF>. Acesso em: 29 nov. 2010.

THOMAZ, S. M. et al. Características limnológicas de uma estação de amostragem do alto rio Paraná e outra do baixo rio Ivinheima (PR, MSBrasil). **Acta Limnologica Brasiliensia**, São Carlos, v. 4, p. 32-51. 1992a.

THOMAZ, S. M. et al. A.F. Seasonal variation of some limnological factors of lagoa do Guaraná, a várzea lake of the high

rio Paraná, State of Mato Grosso do Sul, Brazil. **Revue D'Hydrobiologie Tropicale**, Paris, v. 25, p. 269-276, 1992b.

THOMAZ, S. M. et al. Limnological Characterization of the Aquatic Environments and the influence of hydrometric levels. In: THOMAZ, S. M., AGOSTINHO, A. A.; HAHN, N. S. (Ed.). **The Upper Paraná River and its floodplain: physical aspects, ecology and conservation**. Leiden. Backhuys Publishers, 2004. p. 56-75.

ZANETTI, K. **Considerações hidroclimáticas e hidrogeoquímicas do município de Porto Rico (PR) e relações com a saúde coletiva no alto rio Paraná**. 2009. 141f. Dissertação (Mestrado em Geografia). Programa de Pós-Graduação em Geografia, Meio Ambiente e Desenvolvimento, Universidade Estadual de Londrina, 2009.

ZANETTI, K. et al. Aspectos geomorfológicos e hidrogeoquímicos preliminares das ilhas Mutum e Porto Rico, rio Paraná, Brasil In: ENCUESTRO DE GEOGRAFOS DE AMÉRICA LATINA, 12., Caminando en una América Latina en Transformación, 2009, Montevideo. **Anais...**, Montevideo: Universidad de la República, 2009. v.1. p.1-14. 1 CD-ROM.

Data de recebimento: 10.06.2010.

Data de aceite: 26.10.2010.