

# BARRAGEM DE PORTO PRIMAVERA E O TRANSPORTE FLUVIAL NA SEÇÃO DE PORTO SÃO JOSÉ, RIO PARANÁ

*the Porto Primavera Dam and the fluvial transport on the Porto São José section, Parana River*

Edvard Elias Souza Filho \*

## Resumo

A barragem de Porto Primavera provocou a diminuição da concentração da carga suspensa e a redução do porte das formas de leito do rio Paraná, mas os efeitos de sua construção sobre o transporte fluvial ainda não foram quantificados. Por esta razão, este trabalho tem como objetivo avaliar a influência da barragem sobre o transporte de sedimentos na seção de Porto São José. Para isso foram analisados os dados da série histórica da estação fluviométrica de Porto São José e as informações existentes na literatura. Foi utilizada análise de regressão para que a correlação entre a descarga fluvial e o transporte de sedimentos pudesse ser definida e as equações obtidas foram utilizadas para estimar o transporte em diferentes períodos de tempo. O transporte em suspensão antes da construção era de 214,1 kg/s, passou a ser de 222,2 kg/s durante a obra e diminuiu para 56,4 kg/s depois da barragem. O transporte de fundo era de 99,7 kg/s durante a construção, diminuiu para 86,2 kg/s em 1999 e 2000 e para 41,2 kg/s após 2001. O transporte total diminuiu de 321,9 para 177,8 e finalmente para 91,2 kg/s no mesmo período. Tais resultados permitiram concluir que a barragem reduziu o transporte em suspensão em 74,6%, o transporte de fundo em 58,7%, o transporte total em 71,7% e aumentou a proporção da carga de fundo de 33,9% para 44,5% do total.

**Palavras-chave:** Transporte sedimentar; Impacto de barragem; UHE Porto Primavera; Rio Paraná.

## Abstract

The Porto Primavera Dam caused the decrease of the concentration of suspended load and reduction of the size of the bed forms of Paraná River, but the effects of the construction on fluvial transport have not yet been quantified. In order to do that, this paper aims to evaluate the influence of the dam on the sediment transport in the section of Porto São José. Thus, data of Porto São José Fluvimetric Station, field and orbital images information available in literature were used. The data were analyzed by linear regression to obtain significant correlation between sediment transport and river discharge. The equations with significant coefficient of determination were used to estimate the annual average transport for different time periods. The suspended transport before construction was 214.1 kg/s, increased to 222.2 kg/s during construction and decreased to 56.4 kg/s after completion of the dam. The bed load transport was 99.7 kg/s during the construction, decreased to 86.2 kg/s during 1999 and 2000 and to 41.2 kg/s after 2001. In the same period the total transport decreased from 321.9 kg/s to 177.8 and finally to 91.2 kg/s. These results indicated that the Porto Primavera Dam reduced 74.6% of the suspended transport, 58.7% of the bed load transport, 71.7% of the total transport and increased the proportion of the bed load of 33, 9% to 44.5% of total.

Key words: Sediment transport; Impact of dam; UHE Porto Primavera; Parana River.

## Résumé

Le barrage Porto Primavera a causé la diminution de la concentration de charge suspendue et la réduction de la taille des formes du fond de la rivière Paraná, mais les effets de la construction sur le transport fluvial n'ont toujours pas été quantifiés. Pour cette raison, ce document vise à évaluer l'influence du barrage sur le transport de sédiments dans la section de Porto São José. Ainsi, les données la série temporelle de la station de jaugeage de Porto São José et les informations existantes dans la littérature ont été utilisées. L'analyse de régression a été utilisée pour s'assurer que la corrélation entre le débit de la rivière et le transport des sédiments pourraient être définis et les équations obtenues ont été utilisées pour estimer le transport au cours des différentes périodes de temps. Le transport en suspension avant la construction était de 214,1 kg/s, en est venu à être 222,2 kg/s pendant les travaux et a diminué à 56,4 kg/s après le barrage. Le transport par charriage a été de 99,7 kg/s au cours de la construction, a diminué à 86,2 kg/s au cours de l'année 1999 et 2000 et de 41,2 kg/s après 2001. Dans la même période, le transport solide total a diminué, passant de 321,9 kg/s à 177,8 et enfin à 91,2 kg/s. Ces résultats ont montré que le barrage a réduit le transport en suspension dans 74,6 %, le transport par charriage dans 58,7 %, le transport solide total de 71,7% et a augmenté la proportion de la charge de fond de 33,9 % pour 44,5 % du total.

**Mots-clés:** Transport des sédiments; Impact de barrage; UHE Porto Primavera; Fleuve Paraná.

(\*) Prof. Dr. do Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Estadual de Maringá e Pesquisador Produtividade em Pesquisa do CNPq - Avenida Colombo, 5790, CEP 87020-900, Maringá (PR), Brasil. Tel: (+55 44) 3031-4290 - eesfilho@uem.br

## INTRODUÇÃO

A formação do reservatório de uma barragem modifica o transporte fluvial no segmento situado à sua jusante porque transforma um determinado segmento lótico em um corpo de água lântico. A redução da velocidade de fluxo faz com que os sedimentos de fundo sejam depositados nas proximidades do remanso do corpo de água, a carga em suspensão pode decantar parcial ou totalmente e a própria carga dissolvida pode ser alterada conforme as novas condições físico/químicas do lago artificial.

O grau de interferência depende de diversas variáveis, entre elas destacam-se o tamanho do reservatório, forma de operação, o tempo de residência de suas águas, o tipo e posição dos vertedouros e das tomadas de água e as características físico-químicas das águas. Tal tema não é novo na literatura e diversos autores já o abordaram, tais como Petts (1979, 1984), Grimshaw & Lewin (1980), Williams & Wolman (1984), Chien (1985), Petts & Gurnall (2005), entre muitos outros.

A barragem de Porto Primavera (UHE Eng. Sergio Motta) começou a interferir no canal do rio Paraná no final de 1991, quando foram implantadas ensecadeiras para a construção de parte das estruturas de concreto (desvio de primeira fase). No período entre 1992 e 1994, o rio passou a correr em apenas metade do canal e, a partir de 1995, passou a correr pelos vertedouros recém construídos, uma vez que a metade livre do canal foi também isolada para a construção do restante das estruturas da barragem.

A construção terminou em 1998 e seu reservatório começou a ser formado em novembro daquele ano. No ano seguinte, Souza Filho (1999) previu a redução da carga em suspensão e a retenção da carga de fundo. A diminuição da concentração de sedimentos em suspensão e do transporte já havia sido verificada durante a construção da barragem pelas amostragens realizadas entre 1993 e 1995 (STEVAUX & TAKEDA, 2002) e foi confirmada por Crispim (2001). O corte do suprimento de fundo foi verificado por levantamentos de campo realizados no ano 2000 nas proximidades da barragem (ROCHA & SOUZA FILHO, 2008) e ratificado por Martins & Stevaux (2006) e Martins et al. (2009). A carga dissolvida também foi modificada e as águas do rio se empobreceram em fósforo, ferro, silício, magnésio, cálcio, estrôncio, manganês, zinco, chumbo, cádmio, alumínio, bário, cobalto e cobre, mas se enriqueceram em potássio, sódio, cromo e níquel (SOUZA FILHO et al. 2010).

As informações disponíveis nos artigos mencionados indicam que o transporte fluvial diminuiu a partir do início da construção da barragem, mas ainda não foi realizada uma avaliação do valor desta redução. Ou seja, todas as evidências apontam para a confirmação desta alteração, mas a intensidade com que ela ocorreu ainda é desconhecida.

Por esta razão, o objetivo deste trabalho é a avaliação do transporte detrítico do rio Paraná na seção de Porto São José no período anterior à barragem, durante a sua construção e no período posterior a ela, de forma a verificar qual foi a influência da UHE Porto Primavera sobre esta variável.

## A ÁREA DE ESTUDO

A seção de Porto São José está situada na parte média do Alto rio Paraná, a pouco mais de 35 quilômetros a jusante da barragem de Porto Primavera e a quase 12 quilômetros abaixo da foz do rio Paranapanema (Figura 1).

Este local funciona como seção de referência para os estudos do rio Paraná, pois além de estar situada em canal único, dispõe de uma estação fluviométrica ativa desde outubro de 1963 (estação de Porto São José, registro 64575000) e foi palco de coleta de dados de concentração de sedimentos suspensos pela Agência Nacional das Águas (ANA), pela ITAIPU BINACIONAL e por diversos pesquisadores.

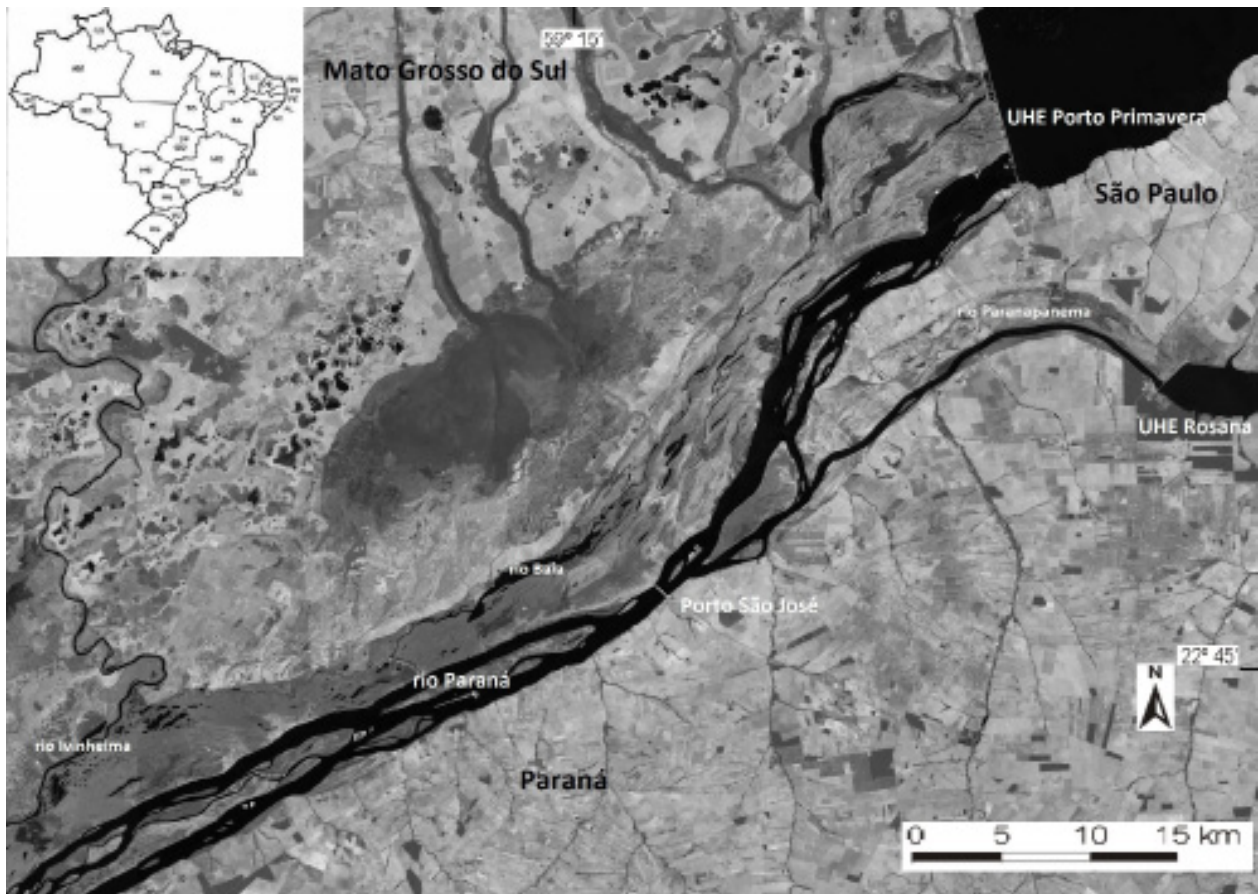


Figura 1 – Localização da seção de Porto São José. (recorte de imagem ETM, 223/076 de 18/11/1999).

A seção possui 1140 metros de largura e é assimétrica, pois o talvegue está situado nas proximidades da margem esquerda (Figura 2). A vazão média registrada entre 1964 e 2012 foi de 8822 m<sup>3</sup>/s (cota média de 3,35 m), com valor mínimo de 2551 m<sup>3</sup>/s (0,27 m) e máximo de 33698 m<sup>3</sup>/s (8,74 m).

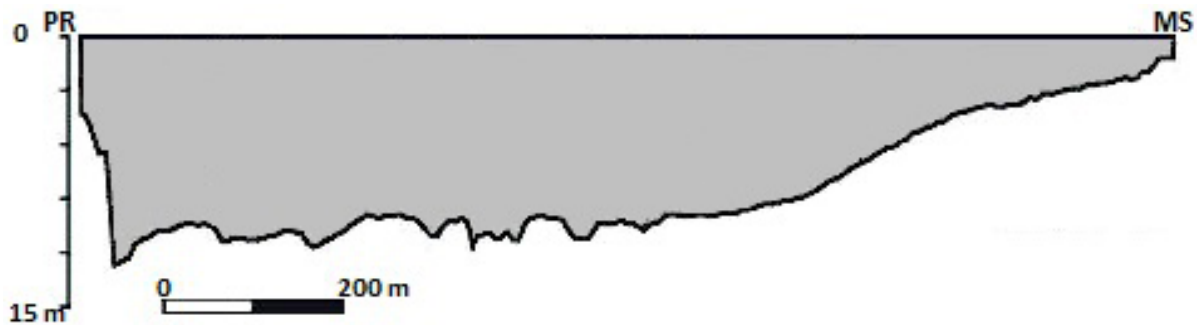


Figura 2 – Seção de Porto São José. (Modificado de Martins & Stevaux, 2005).

O transporte de sedimentos em suspensão foi avaliado por diversos autores (STEVAUX, 1994; STEVAUX & TAKEDA, 2002; CRISPIM, 2001), mas todas estas estimativas foram realizadas para períodos específicos e o conjunto de informações disponíveis é maior do que aquelas já avaliadas. Os dados mais antigos foram obtidos pelo DNAE em 1979 e pela ITAIPU BINACIONAL no período de 1986 a 1988, por amostragem de campo. Neste último caso, a empresa calculou o transporte médio de 856 kg/s para os três anos amostrados (ITAIPU BINACIONAL, 1990).

No período entre 1986 e 2001 o DNAE (e depois a ANA) realizaram coletas na estação Porto São José Jusante (registro 64575003). Todos os resultados estão disponíveis no site HIDROWEB, mantido pela ANA. A seção também foi monitorada por pesquisadores da UEM, que realizaram



levantamentos sistemáticos nos períodos de 1993 a 1995 e de 2000 a 2001. Os valores médios obtidos pelas amostragens encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1 – Número de coletas e média dos valores de concentração e de transporte em suspensão obtidos pelas diversas amostragens realizadas na seção fluvial

Período	1979	1986-1988	1986-2001	1993-1995	2000-2001
Fonte	ANA	Stevaux (1994)	ANA	Stevaux & Takeda (2002)	Crispim (2001)
Número	13	14	44	26	13
Concentração (mg/l)	65,2	24,9	11,4	14,8	10,8
Transporte (kg/s)	468	209,3	101,2	142,7	85,6

Os dados da tabela 1 não representam a concentração média dos períodos de tempo, mas apenas as médias das amostragens realizadas. O mesmo pode ser afirmado com relação aos valores de transporte. Contudo, eles demonstram que há uma clara redução do transporte em suspensão no período de construção e depois da conclusão da obra, principalmente quando as informações do período entre 1986 e 2001 são separadas em intervalos de tempo distintos (Tabela 2).

Tabela 2 – Concentração média e transporte médio das amostragens realizadas de 1986 a 1991, de 1992 a 1998 e de 1999 a 2001

Período	1986-1991	1992-1998	1999-2001
Fonte	ANA		
Número	19	15	10
Concentração (mg/l)	17,4	9	3,6
Transporte (kg/s)	157,2	80	26,2

Além dos dados de campo, o tratamento de imagens também obteve informações a respeito da concentração de sedimentos na seção de Porto São José, conforme Montanher & Souza Filho (2010 e 2011) e Águas et al. (2013). A Tabela 3 apresenta os valores médios de concentração de sedimentos obtidos pelos referidos autores e a média do transporte calculada a partir dos dados de concentração e vazão.

Tabela 3 – Valor médio da concentração e do transporte em suspensão obtidos a partir de imagens de satélite

Período	1984-1991	1992-1998	1999-2011	1984-1991	1993-1997	1999-2011
Fonte	Montanher & Souza Filho (2010-2011)			Águas et al. (2013)		
Número	44	23	73	7	9	24
Concentração (mg/l)	27	20,7	5,5	138,5	135	5,6
Transporte (kg/s)	258,7	209,8	51,8	1115,8	1119,7	43,4

Os valores de concentração obtidos por Águas et al. (2013) para os intervalos entre 1984 e 1991 e entre 1993 e 1997 são muito superiores aos obtidos por Montanher & Souza Filho (2010 e 2011) e aos obtidos em campo (Tabelas 1 e 2), o que proporcionou valores muito elevados para o transporte de sedimentos. Já os valores obtidos pelos dois outros autores possuem ordem de grandeza semelhante aos obtidos em campo, embora sejam mais elevados. Em ambos os casos há uma considerável redução do valor médio de ambas as variáveis após a formação do reservatório.

O transporte de carga de fundo ainda é pouco conhecido, pois há muito poucas informações disponíveis. A primeira avaliação foi realizada pela ITAIPU BINACIONAL (1990), que chegou ao valor de 95,1 kg/s para o período entre 1986 e 1989. Contudo, este valor foi baseado nos dados de transporte em suspensão, tendo sido considerado que a carga de fundo corresponderia a dois décimos da descarga sólida em suspensão. Em relatório posterior, a empresa passou a considerar que a descarga sólida de fundo corresponderia a 32,3 % da carga em suspensão, relação válida para

o transporte no período anterior a 1998 (ITAIPU BINACIONAL, 1996). Uma vez que não foram realizadas medidas diretas, não é possível levar os resultados em consideração.

As duas únicas avaliações de campo realizadas na seção de Porto São José disponíveis na literatura ocorreram em 2002 e 2003 (MARTINS & STEVAUX, 2005) e entre 2005 e 2007 (MARTINS et al., 2009). Ao todo foram realizados seis levantamentos, cujos resultados encontram-se na Tabela 4.

Tabela 4 – Transporte de fundo na seção de Porto São José, conforme Martins & Stevaux (2005) e Martins et al. (2009)

Mês	Ano	Transporte (kg/s)	Vazão média (m³/s)
Novembro dezembro	2002	34,03	6257
Junho julho	2003	31,36	6762
Novembro dezembro	2003	32,55	7625
Julho	2005	32,59	9769
Maiο	2006	37,71	7953
Janeiro fevereiro	2007	115,23	18136

Uma vez não há dados anteriores aos exibidos na Tabela 4, não é possível avaliar o efeito da barragem sobre esta variável. Contudo, a variação do tamanho das dunas subaquosas e de sua velocidade de deslocamento (Tabela 5) demonstram que é muito provável que o transporte de fundo também tenha sido modificado.

A variação da altura das dunas talvez seja mais importante que a variação da sua velocidade de deslocamento porque aparentemente esta última variável não foi modificada pela barragem, já que ela depende da descarga fluvial, conforme demonstrado por Souza Filho & Rigon (2012). Segundo estes autores a velocidade de deslocamento das dunas ( $V_d$ ) é função da descarga fluvial, relação expressa por  $V_d = -29,3034 + 0,0108.Q$ , com coeficiente de determinação de 0,8842 e erro de 3,9 m/mês.

Tabela 5 – Variação da altura média (H) e da velocidade de deslocamento das dunas ( $V_d$ ) subaquosas no período entre 1994 e 2007

Período	1994-1995	2000-2001	2002-2003	2005-2007
Autor	Stevaυx & Takeda (2002)	Crispim (2001)	Martins & Stevaυx (2005)	Martins <i>et al.</i> (2009)
H (m)	2,21	2,20	1,15	1,23
$V_d$ (m/dia)	2,23	2,06	1,61	3,15

O transporte da carga dissolvida nunca foi avaliado, pois não foram realizados levantamentos sistemáticos relativos a esta variável. Os dados de concentração de alguns elementos foram obtidos em levantamentos eventuais tais como os de Rauber et al. (1992), Thomaz et al. (1992, 1994), Zanetti et al. (2009), mas nenhum deles avaliou a carga dissolvida total.

## METODOLOGIA

Este trabalho foi desenvolvido a partir da coleta das informações disponíveis na literatura e em bases de dados institucionais. No caso da revisão bibliográfica relativa ao transporte em suspensão, foi dada ênfase às abordagens que tiveram as seguintes características: a) fizeram coletas sistemáticas por um período significativo na seção de Porto São José; b) apresentaram os dados de concentração de sedimentos e o dia da coleta; c) deixaram claro qual foi a forma de amostragem para a obtenção dos dados.

Tal seleção foi necessária porque a seção em estudo é muito grande e a variabilidade da concentração de sedimentos em suspensão é muito alta. Sendo assim, é prudente que as análises estatísticas sejam feitas a partir de dados que possam ser comparados entre si, seja no que diz respeito ao local, seja no que diz respeito ao número de amostras. Da mesma forma, a exigência da presença



do dia e do valor da concentração é justificada pela forma com que os dados serão analisados. Por outro lado, a seleção reduziu o número de fontes aos trabalhos de Crispim (2001), Montanher & Souza Filho (2010 e 2011), Águas et al. (2013) e às séries históricas das estações de Porto São José e Porto São José Jusante.

A análise dos dados foi iniciada pela elaboração de quatro planilhas no Microsoft Excel, com as datas e as concentrações de sedimentos. Foi elaborada uma planilha para cada um dos conjuntos de dados: os de Crispim (2001), os de Montanher & Souza Filho (2010 e 2011), os de Águas et al. (2013) e os da estação de Porto São José mais os de Porto São José Jusante (dados da ANA).

Aos dados iniciais, foi adicionado o valor da descarga fluvial no respectivo dia, tendo como referência as séries históricas de vazão das estações mencionadas. O transporte em cada dia foi calculado a partir da multiplicação do valor da concentração pelo valor da descarga fluvial. Os valores de transporte exibidos nas colunas de 1979 e 1986-2001 da Tabela 1 e os da Tabela 3 foram obtidos desta forma.

Contudo, a concentração de sedimentos e a descarga fluvial possuem alta variabilidade temporal, o que faz com que o transporte em suspensão também apresente esta característica. Ou seja, o transporte é um processo contínuo e com alta variabilidade. Neste caso, a avaliação mais adequada deveria ser de forma contínua, o que infelizmente não é possível. Dentre as variáveis mencionadas, a única que se aproxima da referida continuidade é a descarga, uma vez que há valores médios diários, ainda que tais valores sejam inferidos a partir das medidas de nível fluviométrico.

Sendo assim, uma forma de transformar os dados de concentração (e de transporte), que são discretos e pouco numerosos, em dados diários (quase contínuos) é estabelecer uma correlação entre concentração e descarga ou entre o transporte e a vazão. Se a concentração de sedimentos em suspensão for dependente da descarga líquida, seu valor médio diário pode ser calculado a partir dos dados de vazão média diária, o que permitiria a obtenção do valor do transporte médio diário. Caso o transporte seja dependente da descarga, o seu valor médio diário seria uma função da vazão média diária.

Portanto, o tratamento estatístico dos dados buscou verificar a existência de correlação entre a descarga e as duas outras variáveis. As equações que descrevem as relações entre as variáveis foram obtidas por meio de análise de regressão por meio do “software” STATISTICA.

Cada uma das planilhas foi analisada separadamente, pois os dados foram obtidos de maneiras distintas. Além disso, os dados foram agrupados em diferentes intervalos de tempo, porque aparentemente a barragem de Porto Primavera modificou o transporte sedimentar. A análise estatística foi realizada inicialmente para o ano de 1979 e para os períodos 1986-1992, 1993-1998 e 1999-2001 (dados da ANA). Os dados de Crispim (2001) compreenderam o período 2000-2001, enquanto os dados de Montanher & Souza Filho (2010 e 2011) foram divididos nos intervalos 1984-1992, 1993-1998 e 1999-2011. Os dados de Águas et al. (2013) foram agrupados nos períodos 1984-1991, 1993-1997 e 1999-2011.

Depois de realizada as análises, cada período foi novamente subdividido até o intervalo de um ano de forma a verificar qual o conjunto tinha melhor coeficiente de determinação. As equações com melhor coeficiente de correlação foram utilizadas para o cálculo do transporte do respectivo período e os resultados foram comparados entre si.

No caso do transporte de fundo, os autores utilizaram o volume das formas de leito e a velocidade de deslocamento para avaliar o transporte de sedimentos de fundo na seção de Porto São José (MARTINS & STEVAUX, 2005 e MARTINS et al., 2009). Contudo, os valores de transporte obtidos referem-se aos períodos em que foram realizados os levantamentos e não permitem a avaliação do transporte efetuado pelo rio Paraná no período posterior à barragem. Para a realização de tal cálculo também é necessário estabelecer uma relação entre o transporte de fundo e a descarga fluvial.



A relação entre o transporte de fundo e a descarga fluvial foi estabelecida por meio de análise de regressão entre a vazão e o transporte, a partir dos dados obtidos em cada levantamento dos dois autores supracitados. Contudo, a equação obtida não pode ser aplicada período anterior a 1999 porque as dunas eram mais altas (Tabela 5), aliás, ela talvez não possa ser aplicada aos anos de 2000 e 2001 porque o tamanho das dunas era equivalente do período de construção.

Uma vez que os dados anteriores à conclusão da barragem restringem-se à altura e à velocidade de deslocamento das dunas subaquosas, é necessário estabelecer uma relação entre estas variáveis e o transporte de sedimentos de fundo. Uma vez que a velocidade de deslocamento é função da descarga (Souza Filho & Rigon, 2012) e que aparentemente a altura das dunas manteve-se estável no período entre 1994 e 2001, tais variáveis podem ser utilizadas para estimar o transporte de fundo no período da construção da barragem.

Infelizmente, a avaliação do transporte de sedimentos de fundo no período anterior ao início da construção não poderá ser realizado porque as únicas informações a respeito da altura das dunas é que elas variam de 1,5 a 7,0 m (Stevaux, 1994) e tal informação não é suficiente para a realização de um cálculo confiável.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### O TRANSPORTE EM SUSPENSÃO NO PERÍODO ANTERIOR À CONSTRUÇÃO DA BARRAGEM DE PORTO PRIMAVERA

A análise de regressão dos dados de 1979 (ANA) demonstrou que havia uma alta relação de dependência entre a concentração de sedimentos e o transporte em suspensão, enquanto a descarga fluvial apresentava baixa influência sobre a variável, conforme demonstrado pelos valores do coeficiente de determinação apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 – Valores do coeficiente de determinação ( $r^2$ ) da regressão linear entre as variáveis: descarga, concentração e transporte em suspensão, obtidas em 1979

	Concentração	Transporte
Descarga	0,2346	0,4259
Concentração		0,9529

A equação que descreve a relação entre a descarga e o transporte em suspensão ( $T_s$ ) é  $T_s = -676,8416 + 0,1627.Q$ , com erro padrão de 164,29 kg/s. Uma vez que a descarga média ( $Q$ ) em 1979 foi de 8300 m<sup>3</sup>/s, o valor médio anual do transporte em 1979 seria de  $673,57 \pm 164,29$  kg/s.

A análise dos dados do período entre 1986 e 1992 (ANA) demonstrou novamente a alta relação entre a concentração e o transporte ( $r^2$  de 0,9601) e baixa relação entre a descarga e a concentração ou com o transporte ( $r^2$  de 0,2402 e de 0,4575, respectivamente). A equação resultante da regressão linear entre a descarga e o transporte é  $T_s = -399,3482 + 0,069.Q$ , com erro padrão de 125,78 kg/s. O uso dos valores da descarga média anual do período obteve os resultados apresentados na Tabela 7.

Apesar das margens de erro, o transporte em suspensão no período entre 1986 e 1992 foi menor do que o estimado para o ano de 1979 visto que o maior valor máximo do período (435,3 kg/s em 1992) é inferior ao valor mínimo de 1979 (509,3 kg/s).



Tabela 7 – Descarga média anual (Q) e transporte em suspensão anual (médio, mínimo e máximo) na seção e Porto São José entre 1986 e 1992 (ANA)

Ano	Q (m³/s)	Transporte em suspensão (kg/s)		
		Médio	Mínimo	Máximo
1986	7723	133,54	7,76	259,32
1987	8140	162,31	36,53	288,09
1988	9023	223,24	97,46	349,02
1989	9015	222,69	96,91	348,47
1990	8695	200,61	74,83	326,39
1991	9517	257,32	131,54	383,10
1992	10273	309,49	183,71	435,27
<b>Média</b>	<b>8912</b>	<b>215,60</b>	<b>89,82</b>	<b>341,38</b>

As análises de regressão envolvendo parte do período obtiveram coeficientes de determinação mais elevados para o biênio 1986-1987 (0,6078), para 1987 (0,6529) e para 1988 (0,5584), permitindo refinar os resultados, conforme a Tabela 8.

Tabela 8 – Equações resultantes da análise de regressão linear entre a descarga e o transporte, coeficiente de determinação (r<sup>2</sup>), erro padrão e transporte médio, mínimo e máximo no biênio 1986-1987 e nos anos de 1987 e 1988 (ANA)

Ano	Equação	r <sup>2</sup>	Erro padrão	Transporte em suspensão (kg/s)		
				Médio	Mínimo	Máximo
1986	Ts=-675,4201+0,1102.Q	0,6078	87,00	175,66	88,66	262,66
1987				221,61	134,61	308,61
1987	Ts=-667,7707+0,1112.Q	0,6529	68,98	237,40	168,02	306,38
1988	Ts= -344,3033+0,0631.Q	0,5584	105,03	225,05	120,02	330,08

Os dados obtidos por Montanher & Souza Filho (2010 e 2011) para o intervalo 1984-1992 apresentaram alto coeficiente de determinação para a regressão linear entre a concentração e o transporte (r<sup>2</sup> de 0,8485) e baixos coeficientes para as regressões realizadas com a descarga. O coeficiente mais alto foi obtido na regressão entre a descarga e o transporte (r<sup>2</sup> 0,3840), mas é muito baixo para que a equação obtida pudesse ser utilizada com confiabilidade. Contudo, as análises efetuadas ano a ano obtiveram melhores valores de coeficiente de determinação para os anos de 1986 a 1992 e os resultados encontram-se na Tabela 9.

Tabela 9 – Equações resultantes da análise de regressão linear entre a descarga e o transporte, coeficiente de determinação (r<sup>2</sup>), erro padrão e transporte médio, mínimo e máximo anuais no período entre 1986 e 1992 (MONTANHER & SOUZA FILHO, 2010 e 2011)

Ano	Equação	r <sup>2</sup>	Erro padrão	Transporte em suspensão (kg/s)		
				Médio	Mínimo	Máximo
1986	Ts= -595,7401+0,0963.Q	0,4652	79,28	147,99	68,70	227,26
1987	Ts= -1562,8005+0,2163.Q	0,8816	64,17	197,88	133,71	262,05
1988	Ts= -444,8607+0,071.Q	0,6383	90,15	195,77	105,62	285,92
1989	Ts= -666,2335+0,1042.Q	0,8382	69,78	273,13	203,35	342,91
1990	Ts= -88,1954+0,0377.Q	0,4873	91,81	239,61	147,80	331,42
1991	Ts= -108,8171+0,0461.Q	0,4300	160,03	329,92	169,89	489,95
1992	Ts= -114,9438+0,0267.Q	0,6518	69,46	159,35	89,89	228,81
<b>Média</b>				<b>220,52</b>	<b>131,28</b>	<b>309,76</b>



A análise dos dados de Águas et al. (2013) do período 1984-1991 demonstrou que a concentração exerce forte influência sobre o transporte ( $r^2$  de 0,9967) e que a descarga não influencia a concentração de sedimentos ou o transporte ( $r^2$  inferior a 0,01). A análise dos dados anuais não pode ser realizada porque o número de amostras em cada ano é muito baixo.

Os dados obtidos em campo (ANA) e os dados obtidos por imagens orbitais (MONTANHER & SOUZA FILHO, 2010 e 2011) permitiram a obtenção de valores semelhantes para o transporte da carga suspensa, embora quando considerados os coeficientes de determinação, o transporte estimado por imagem tenha maior confiabilidade.

### O TRANSPORTE EM SUSPENSÃO DURANTE A CONSTRUÇÃO DA BARRAGEM DE PORTO PRIMAVERA

A análise dos dados obtidos pela ANA para o período 1993-1998 obteve coeficiente de determinação mais baixo que os anteriores para a regressão entre a concentração e o transporte ( $r^2$  de 0,7797), enquanto a regressão entre a descarga e o transporte não obteve relação significativa ( $r^2$  de 0,3190). Contudo, os valores do coeficiente de determinação entre a descarga e o transporte para o período 1993-1994 e para o ano de 1998 foram significativos e permitiram a utilização das respectivas equações para a avaliação do transporte médio destes três anos (Tabela 10).

Tabela 10 – Descarga média anual (Q), equações resultantes da análise de regressão linear entre a descarga e o transporte, coeficiente de determinação ( $r^2$ ), erro padrão e transporte médio, mínimo e máximo anuais em 1993, 1994 e 1998 (ANA)

Ano	Q (m <sup>3</sup> /s)	Equação	$r^2$	Erro padrão	Transporte em suspensão (kg/s)		
					Médio	Mínimo	Máximo
1993	9523	$T_s=210,8723-0,0187.Q$	0,7871	7,58	32,792	25,212	40,372
1994	8708				48,033	40,453	55,613
1998	9450	$T_s=-139,1284+0,0225.Q$	0,7525	24,63	73,497	48,867	98,127
<b>Média</b>					<b>51,44</b>	<b>38,18</b>	<b>64,70</b>

Os dados de Montanher & Souza Filho (2010 e 2011) que abrangem o período de construção da barragem apresentaram resultados significativos para a análise de regressão entre a descarga e o transporte ( $r^2$  de 0,7039). A equação resultante da análise ( $T_s=-221,1345+0,0471.Q$ ) apresentou erro de 71,88 kg/s e sua aplicação resultou nos valores expostos na Tabela 11.

Tabela 11 – Descarga média anual (Q) e transporte em suspensão anual (médio, mínimo e máximo) na seção e Porto São José entre 1993 e 1998 (MONTANHER & SOUZA FILHO, 2010 e 2011)

Ano	Q (m <sup>3</sup> /s)	Transporte em suspensão (kg/s)		
		Médio	Mínimo	Máximo
1993	9523	227,40	155,52	299,28
1994	8708	189,01	117,13	260,89
1995	9175	211,01	139,13	282,89
1996	8112	160,94	89,06	232,82
1997	9980	248,92	177,04	320,80
1998	9450	223,96	152,08	295,84
<b>Média</b>	<b>9158</b>	<b>210,21</b>	<b>138,33</b>	<b>282,09</b>

A análise dos dados anuais obteve maiores valores do coeficiente de determinação para os anos de 1993 a 1995 e para 1997, o que permite a realização de uma estimativa mais segura para o transporte médio destes anos (Tabela 12).

A análise de regressão dos dados obtidos por Águas et al. (2013) para o período 1993-1997 apenas obteve valor significativo para o coeficiente de determinação para a concentração e trans-



porte ( $r^2$  de 0,9898) e o número de amostras em cada ano não permitiu, mais uma vez, a realização das análises anuais.

Tabela 12 – Equações resultantes da análise de regressão linear entre a descarga e o transporte, coeficiente de determinação ( $r^2$ ), erro padrão e transporte médio, mínimo e máximo anuais para o período entre 1993 e 1995 e para 1997. (MONTANHER & SOUZA FILHO, 2010 e 2011)

Ano	Equação	$r^2$	Erro padrão	Transporte em suspensão (kg/s)		
				Médio	Mínimo	Máximo
1993	$T_s = 12,425 + 0,0309.Q$	0,9073	56,83	306,69	249,86	363,52
1994	$T_s = -212,6656 + 0,0459.Q$	0,7576	78,86	187,03	108,17	265,89
1995	$T_s = -235,5431 + 0,0385.Q$	0,8368	12,46	117,69	105,23	130,15
1997	$T_s = -889,6977 + 0,1229.Q$	0,7534	70,67	336,84	266,17	407,51
<b>Média</b>				<b>237,06</b>	<b>182,36</b>	<b>291,77</b>

No período de construção da barragem, os dados obtidos em campo demonstram que o desvio do rio proporcionou significativa redução do transporte em suspensão, uma vez que o valor médio dos três anos foi de 51,44 kg/s enquanto o do período de 1986 a 1992 a média foi de 215,6 kg/s. Por outro lado, os dados de Montanher & Souza Filho (2010 e 2011) demonstram que o transporte da carga suspensa continuou equivalente ao que era, já que obteve média de superior a 200 kg/s.

#### O TRANSPORTE EM SUSPENSÃO DEPOIS DA BARRAGEM DE PORTO PRIMAVERA

A análise de regressão dos dados de campo obtidos pela ANA para o período 1999-2001 demonstrou que não foi possível estabelecer relações entre a descarga e a concentração de sedimentos ( $r^2$  de 0,0312) ou com o transporte em suspensão ( $r^2$  de 0,0910). Os dados de 1999 demonstraram relação razoável entre a vazão e o transporte uma vez que o coeficiente de determinação foi de 0,5471. A equação  $T_s = -101,8959 + 0,0174.Q$  permitiu calcular o transporte médio para esse ano, que foi de 53,24 kg/s, para uma descarga média de 8916 m<sup>3</sup>/s, com margem de erro de  $\pm 17,53$  kg/s.

A análise dos dados de Montanher & Souza Filho (2010 e 2011) do período entre 1999 e 2011 também não obteve relação confiável tanto entre a descarga e a concentração como entre ela e o transporte ( $r^2$  de 0,1389 e 0,3698, respectivamente). A análise dos dados anuais obteve coeficientes de determinação com valores significativos para os anos de 1999, 2001, 2007, 2008, 2010 e 2011. Além disso, foram obtidos valores significativos para os períodos 1999-2000, 2002-2005, 2004-2005, 2005-2006 e 2009-2010. O transporte médio anual para cada ano foi calculado a partir das equações com maior coeficiente de determinação e os resultados encontram-se na Tabela 13.

O transporte médio em 1999, calculado a partir dos dados de Montanher & Souza Filho (2010 e 2011), foi bastante superior ao estimado a partir dos dados de campo, mas o coeficiente de determinação dá maior segurança ao primeiro. Os dados de campo indicam que em 1999 o transporte continuou com a mesma ordem de grandeza daquele calculado para o período de construção (pouco mais de 50 kg/s). Por sua vez, os dados obtidos a partir das imagens mostram que em 1999 o transporte foi quase metade do valor que fora calculado para o período anterior e diminuiu ainda mais a partir do ano 2000.

Tabela 13 – Descarga média anual (Q), equações resultantes da análise de regressão linear entre a descarga e o transporte, coeficiente de determinação ( $r^2$ ), erro padrão e transporte médio, mínimo e máximo anuais no período entre 1999 e 2011 (MONTANHER & SOUZA FILHO, 2010 e 2011)

Ano	Q (m <sup>3</sup> /s)	Equação	$r^2$	Erro padrão	Transporte em suspensão (kg/s)		
					Médio	Mínimo	Máximo
1999	8916	$T_s = -703,6629 + 0,0935.Q$	0,7919	23,21	129,98	106,77	153,19
2000	7903	$T_s = -425,5525 + 0,0606.Q$	0,5908	38,47	53,37	14,90	91,84
2001	6115	$T_s = -33,334 + 0,0102.Q$	0,6105	17,89	29,04	11,15	46,93
2002	7351	$T_s = -56,3876 + 0,0126.Q$	0,7287	18,44	36,24	17,80	54,68
2003	7779				41,63	23,19	60,07
2004	7417	$T_s = -44,5021 + 0,012.Q$	0,9127	12,25	44,50	32,25	56,75
2005	8320				55,34	43,09	67,59
2006	8650	$T_s = -54,7631 + 0,0121.Q$	0,8455	24,99	49,90	24,91	74,89
2007	9313	$T_s = -40,7236 + 0,0098.Q$	0,7611	29,39	50,54	21,15	79,93
2008	8141	$T_s = -250,6975 + 0,0354.Q$	0,7925	26,82	37,49	10,67	64,31
2009	9042	$T_s = -88,6774 + 0,0156.Q$	0,7096	30,15	52,38	22,23	82,53
2010	9935	$T_s = -101,8127 + 0,0162.Q$	0,8162	33,10	59,13	26,03	92,23
2011	9363	$T_s = -141,9566 + 0,0252.Q$	0,6770	37,69	93,99	56,30	131,68
<b>Média</b>	<b>8327</b>				<b>56,43</b>	<b>31,57</b>	<b>81,28</b>

A análise dos dados de Águas et al. (2013) não obteve valores significativos para o período entre 1999 e 2011 e tampouco para as diversas combinações anuais que puderam ser feitas. Por sua vez, a análise dos dados destes autores com os outros dados de imagens obteve valor significativo em várias combinações, mas o coeficiente de determinação foi sempre inferior aos obtidos a partir das informações de Montanher & Souza Filho (2010 e 2011).

A análise dos dados obtidos em campo por Crispim (2001), no período 2000-2001, demonstrou que tanto a concentração de sedimentos como o transporte em suspensão não possuem relação com a descarga fluvial, uma vez que o coeficiente de determinação para ambas as regressões lineares foi inferior a 0,1.

## O TRANSPORTE DE FUNDO

A análise de regressão dos dados de Martins & Stevaux (2005) e de Martins et al. (2009) permitiu verificar que a descarga fluvial influencia fortemente o transporte de fundo, pois o coeficiente de determinação obtido foi de 0,9231. A equação resultante da análise é  $T_f = -20,7825 + 0,0072.Q$ , com erro padrão de 10,35 kg/s. A aplicação desta equação permitiu o cálculo do transporte de fundo anual no período posterior à barragem (Tabela 14). Os valores obtidos para o período entre 1999 e 2002 serão discutidos à frente.

O cálculo do transporte do período entre 1993 e 1998 foi baseado na equação obtida pela análise de regressão entre o produto da altura das dunas (H) pela sua velocidade de deslocamento (Vd) e o transporte de sedimentos. Tal análise teve o maior coeficiente de determinação entre todas as combinações ( $r^2$  de 0,9851), com erro de 0,21 kg/s. A equação resultante foi:  $T_f = -12,8445 + 21,9417.(H.Vd)$ .



Tabela 14 – Descarga média anual (Q) e transporte de fundo anual (médio, mínimo e máximo) na seção e Porto São José entre 1999 e 2011 (dados de MARTINS &amp; STEVAUX, 2005 e de MARTINS et al., 2009).

Ano	Q (m³/s)	Transporte de fundo (kg/s)		
		Médio	Mínimo	Máximo
1999	8916	43,41	33,06	53,76
2000	7903	36,12	25,77	46,47
2001	6115	23,25	12,90	33,60
2002	7351	32,14	21,79	42,49
2003	7779	35,23	24,88	45,58
2004	7417	32,62	22,27	42,97
2005	8320	39,12	28,77	49,47
2006	8650	41,50	31,15	51,85
2007	9313	46,27	35,92	56,62
2008	8141	37,83	27,48	48,18
2009	9042	44,32	33,97	54,67
2010	9935	50,75	40,40	61,10
2011	9363	46,63	36,28	56,98
<b>Média</b>	<b>8327</b>	<b>39,17</b>	<b>28,82</b>	<b>49,52</b>

A velocidade de deslocamento média anual das dunas foi calculada a partir da equação  $Vd = -29,3034 + 0,0108 \cdot Q$  (SOUZA FILHO & RIGON, 2012) e foi considerada a margem de erro de 3,9 m/mês. Os resultados com as unidades corrigidas para valores diários encontram-se na Tabela 15.

Tabela 15 – Descarga média anual (Q) e velocidade de deslocamento média, mínima e máxima das dunas subaquosas no período entre 1993 e 2001

Ano	Q (m³/s)	Velocidade de deslocamento (m/dia)		
		média	mínima	máxima
1993	9523	2,45	2,32	2,58
1994	8708	2,16	2,03	2,29
1995	9175	2,33	2,20	2,46
1996	8112	1,94	1,81	2,07
1997	9980	2,62	2,49	2,75
1998	9450	2,43	2,30	2,56
1999	8916	2,23	2,10	2,36
2000	7903	1,87	1,74	1,20
2001	6115	1,23	1,10	1,36

Para a obtenção do produto entre a velocidade de deslocamento das dunas e a sua altura média foi utilizado o valor de 2,21 m para o período entre 1993 e 1998 (STEVAUX & TAKEDA, 2002) e o valor de 2,20 m (CRISPIM, 2001) para o período entre 1999 e 2001. Os valores obtidos foram utilizados para a estimativa do transporte de fundo e os resultados encontram-se na Tabela 16. A margem de erro não foi considerada, pois ela é muito baixa.

Tabela 16 – Valores do produto entre a altura das dunas subaquosas (H) e a velocidade de deslocamento delas (Vd) e transporte de fundo médio, mínimo e máximo anual no período entre 1993 e 2001

Ano	H.Vdmd	H.Vdmin	H.Vdmax	Transporte de fundo (kg/s)		
				médio	mínimo	máximo
1993	5,42	5,13	5,71	106,03	99,73	112,34
1994	4,77	4,48	5,06	91,80	85,50	98,11
1995	5,14	4,85	5,43	99,96	93,65	106,26
1996	4,30	4,01	4,58	81,40	75,10	87,70
1997	5,78	5,49	6,07	114,01	107,71	120,31
1998	5,36	5,07	5,65	104,76	98,45	111,06
1999	4,91	4,63	5,20	94,95	88,67	101,22
2000	4,11	3,82	4,40	77,34	71,07	83,62
2001	2,69	2,41	2,98	46,27	39,99	52,55
<b>Média</b>				<b>90,72</b>	<b>84,43</b>	<b>97,02</b>

A utilização da altura das dunas obtida por Crispim (2001) demonstra que é provável que o transporte no período 1999 e 2001 tenha sido maior do que o apresentado na Tabela 14. A opção pelos resultados da Tabela 16 está baseada no fato das formas de leito terem começado a perder volume apenas a partir de 2002, conforme discutido por Martins & Stevaux, (2005).

## AS MODIFICAÇÕES TEMPORAIS DO TRANSPORTE DETRÍTICO

Os resultados apresentados demonstram que o transporte em suspensão era muito maior em 1979 do em qualquer ano do período entre 1986 e 2011. O valor médio em 1979 (676,57 kg/s) é quase quatro vezes maior do que o estimado para 1986 (175,66 kg/s). Esta redução não está relacionada com a barragem de Porto Primavera e também não pode ser associada às usinas hidrelétricas situadas à montante, pois a UHE Jupiá, situada logo acima do remanso do reservatório de Porto Primavera, foi concluída em 1974 e a de Rosana, situada próxima à foz do rio Paranapanema, foi terminada em 1987.

O transporte em suspensão médio no período entre 1986 e 1992 foi de 214,10 ( $\pm 85,45$ ) kg/s, tendo aumentado para 222,19 ( $\pm 60,43$ ) kg/s no período entre 1993 e 1998 e reduzido para 56,43 ( $\pm 24,86$ ) kg/s no período entre 1999 e 2011. Apesar das variações anuais (Figura 3), o transporte de sedimentos em suspensão aparentemente não foi afetado pela construção da barragem, embora as variações anuais tenham sido maiores durante este período. O mesmo não pode ser dito com relação à formação do lago artificial, porque após ele, a redução da descarga de sólidos em suspensão foi de 74,6 %.

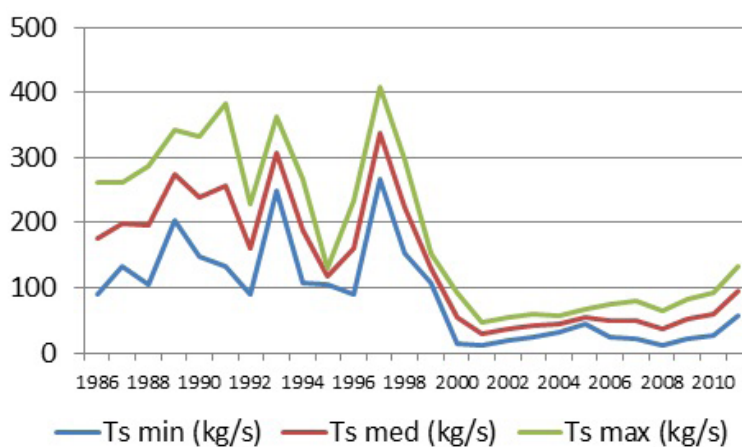


Figura 3 – Variação anual do transporte de sedimentos em suspensão na seção de Porto São José no período entre 1986 e 2011.



O transporte de fundo também foi reduzido pela formação do reservatório. O transporte médio estimado para o período entre 1993 e 1998 foi de 99,66 ( $\pm 6,3$ ) kg/s, enquanto o valor médio do período 1999-2011 foi de 48,08 ( $\pm 11,42$ ) kg/s, ou seja, o transporte foi reduzido em 52%.

Contudo, a resposta fluvial ao corte de suprimentos detríticos promovida pela UHE Porto Primavera demorou a atingir a seção de Porto São José. Em 1999 o transporte de fundo (94,95 kg/s) ainda era equivalente ao do período anterior, enquanto o do ano 2000 foi um pouco inferior (77,34 kg/s), mas ainda dentro da variação anual daquele período (Figura 4). Se for considerado o intervalo entre 1993 e o ano 2000, o transporte de fundo médio foi de 96,28 ( $\pm 6,3$ ) kg/s e no período entre 2001 e 2011 ele foi de 41,15 ( $\pm 9,98$ ) kg/s. Ou seja, a redução é ainda maior, chegando a 58,7% do que era antes do reservatório. A diminuição do transporte pode ser ainda maior, caso as dunas subaquosas tenham perdido mais altura, mas infelizmente não há dados mais recentes do que os de Martins et al. (2009).

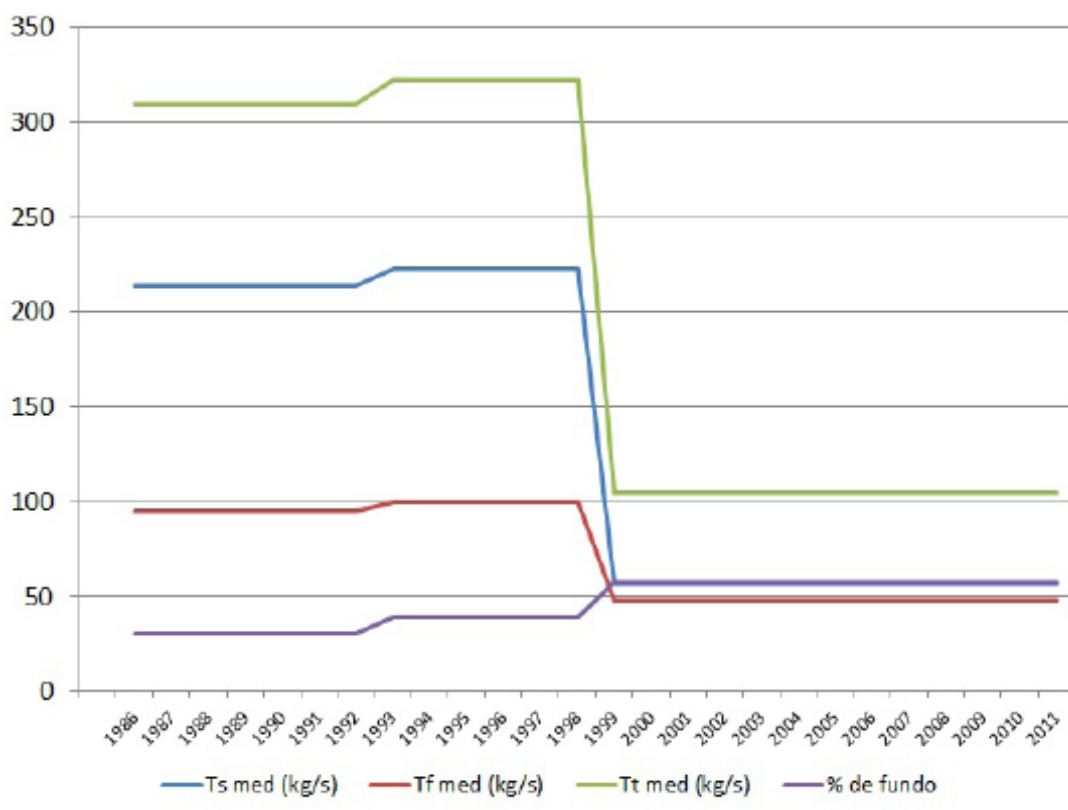


Figura 4 – Variação anual do transporte de sedimentos de fundo na seção de Porto São José no período entre 1993 e 2011

Uma vez que a barragem reduziu o transporte em suspensão e o transporte de fundo, o transporte detrítico também foi diminuído (Figura 5). A descarga sólida detrítica média entre 1993 e 1998 foi de pelo menos 321,85 ( $\pm 66,73$ ) kg/s, de 224,93 ( $\pm 29,49$ ) kg/s em 1999, de 130,71 ( $\pm 45,03$ ) kg/s em 2000 e diminuiu para 91,17 kg/s no período entre 2001 e 2011, ou seja, a redução foi de pelo menos 71,7%.

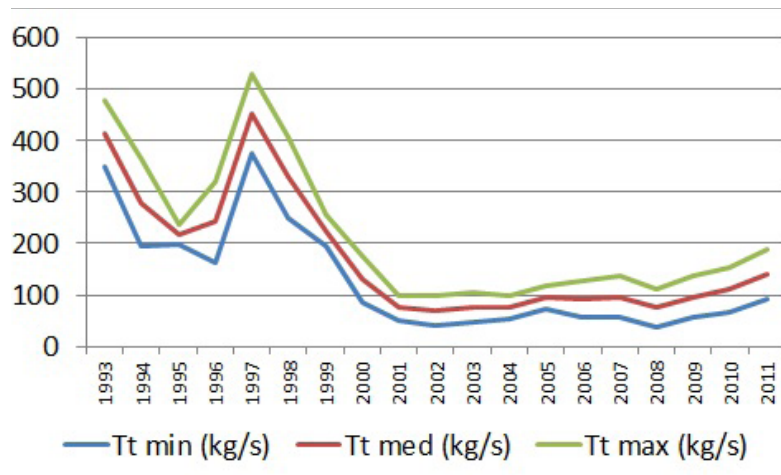


Figura 5 – Variação anual do transporte total de sedimentos detríticos na seção de Porto São José no período entre 1993 e 2011.

A avaliação dos dois tipos de transporte permitiu estabelecer a relação entre a carga de fundo e a carga em suspensão, manifesta por meio da proporção entre a descarga de fundo e a descarga sólida detrítica total (Figura 6). Pelo exposto, a partir de 1993, o canal do rio Paraná sempre teve mais de 25% de carga de fundo e a formação do reservatório aumentou ainda mais tal proporção.

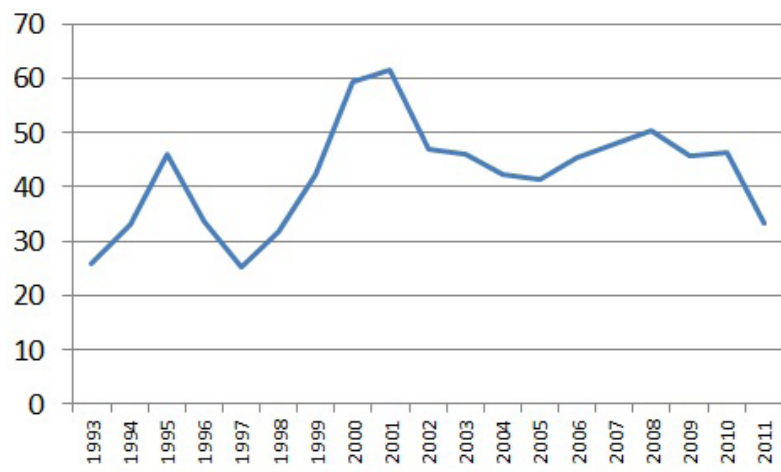


Figura 6 – Variação temporal da proporção entre a carga de fundo e a carga detrítica total na seção de Porto São José, entre 1993 e 2011.

No período entre 1993 e 1998, a carga de fundo representava 33,9% da carga total, tendo aumentado para 60,3% em 1999 e 2000, graças à redução quase imediata da carga em suspensão. A partir de 2001 ela passou a representar 44,5% do transporte total de sedimentos detríticos. Ou seja, o canal já possuía alta carga de fundo e após a barragem a proporção aumentou ainda mais porque a redução da carga suspensa foi maior do que a da carga de fundo. Contudo deve ser ressaltado que caso a diminuição das formas de leito tenha persistido, sobrarão apenas formas residuais e o canal poderá vir a ter o transporte dominado pelos sedimentos em suspensão.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A avaliação do transporte de sedimentos em suspensão permitiu estimar o transporte médio anual da carga suspensa no ano de 1979 e no período entre 1986 e 2011. Em 1979 o transporte médio foi de 673,57 ( $\pm 164,29$ ) kg/s, no intervalo entre 1986 e 1992 ele foi de 214,10 ( $\pm 85,45$ ) kg/s, no período entre 1993 e 1998 ele foi de 222,19 ( $\pm 60,43$ ) kg/s e de 56,43 ( $\pm 24,86$ ) kg/s entre



os anos de 1999 e 2011. A construção da barragem não afetou o transporte em suspensão, mas a sua conclusão reduziu a carga em suspensão em 74,6 %.

Os dados disponíveis permitiram estimar o transporte de fundo no período entre os anos de 1993 e 2011. No período de construção o transporte foi de 99,66 ( $\pm 6,3$ ) kg/s, em 1999 e 2000 foi de 86,15 ( $\pm 6,3$ ) kg/s e de 41,15 ( $\pm 9,98$ ) kg/s entre 2001 e 2011, ou seja, a conclusão da barragem reduziu o transporte de fundo em 58,7%.

O transporte total de sedimentos detríticos durante a construção da barragem foi de 321, 85 ( $\pm 66,73$ ) kg/s, tendo sido reduzido para 177,82 ( $\pm 37,11$ ) kg/s em 1999 e 2000 e para 91,17 ( $\pm 37,11$ ) kg/s a partir de 2001. Portanto, a formação do reservatório diminuiu o transporte total em 57,5%.

A barragem também afetou a proporção entre a carga suspensa e a de fundo porque a primeira teve maior redução do que a segunda. Dessa forma, o transporte de fundo representava 33,9% da carga total no período de construção, tendo passado a 60,3% entre 1999 e 2000 e diminuído para 44,5% a partir de 2001.

## AGRADECIMENTOS

Este artigo teve suporte dos projetos: “A Planície Alagável do Rio Paraná: Estrutura e Processo Ambiental” (PELD) e “Diagnóstico Ambiental da Planície do rio Paraná: As Transformações da Calha Fluvial” (processo 307676/2009-9 CNPq).

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ÁGUAS, T.A.; SOUZA FILHO, E.E.; GONCALVES JUNIOR, F.A. Estimativa da concentração de sedimentos suspensos do rio Paraná, em Porto São José, a partir de imagens LANDSAT5/TM. In: Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, XV. 2013, Vitória-ES. **Anais...** Vitória: Departamento de Geografia UFES, 2013. p. 538-545. Disponível em <http://www.xvsgfa2013.com.br/anais/trabalhos/Eixo03.pdf#page=538>. Acesso em 12 de dezembro de 2013.

CHIEN, N. 1985 Changes in river regime after the construction of upstream reservoirs. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 10, 143-159. 1985.

CRISPIM, Jefferson. Queiroz. **Alterações na hidrologia do canal após construção de reservatório a montante: o caso da Usina Hidrelétrica de Porto Primavera, Rio Paraná**. 2001. 25 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Maringá, Pós-Graduação em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais, Maringá, PR. 2001.

GRIMSHAW, D.L. & LEWIN, J. Reservoir effects on sediment yield. **Journal of Hydrology**, v. 47, 163–171. 1980.

ITAIPU BINACIONAL. **Estudo sobre a carga suspensa na bacia do rio Paraná no período de 1986-1988**. Relatório interno s/n. s/vol. Foz do Iguaçu, 1990.

ITAIPU BINACIONAL. **Efeitos sedimentológicos no reservatório da UHE Itaipu**. Relatório referente à reunião do Board de Consultores Civis, 37 pp. Foz do Iguaçu, 1996.

MARTINS, D.P. & STEVAUX, J.C. Formas de leito e transporte de carga de fundo do Alto Rio Paraná. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 6, p. 43-50, 2006.

MARTINS, D. P.; BRAVARD, J.P. & STEVAUX, J.C. Dynamics of water flow and sediments in the Upper Paraná River between Porto Primavera and Itaipu dams, Brazil. **Latin American Journal of Sedimentology and Basin Analysis**, v. 16, n° 2, 111-118. 2009.

MONTANHER, O.C. & SOUZA FILHO, E.E. Avaliação da Alteração da concentração de sedimentos em suspensão em eventos de cheia do Rio Paraná: O uso de imagens orbitais para avaliação de impactos provocados pela barragem de Porto Primavera **Revista de Geografia (Recife)**, v. espec., p. 164-176. 2010.

MONTANHER, O.C.; SOUZA FILHO, E.E. Geração de algoritmos para predição de carga em suspensão em corpos hídricos da bacia hidrográfica do Rio Paraná com uso de imagens Landsat TM5. In: Simpósio





- Brasileiro de Sensoriamento Remoto, XV, 2011, Curitiba. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2011. v. 1, p. 5340-5347.
- PETTS, G.E. Complex Response of River Channel Morphology Subsequent to Reservoir Construction. **Progress in Physical Geography**, v 3, 329-362. 1979.
- PETTS, G.E. **Impounded rivers: perspectives for ecological management**. Chichester: John Wiley. 326 pp. 1984.
- PETTS, G.E., GURNELL, A.M. Dams and geomorphology: Research progress and future directions. **Geomorphology**, v. 71, 27-47. 2005.
- RAUBER, T.; LUCHESE, E.B.; LENZI, E.; OLIVEIRA, M.A. & PALÁCIO, S.M. 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**, vol. IV, 239-245. 1992.
- ROCHA, J.A. & SOUZA FILHO, E.E. Características geomorfológicas do canal do Rio Paraná à jusante da barragem de Porto Primavera: variação temporal e espacial dos sedimentos suspensos, de fundo e de algumas variáveis limnológicas. In: Dalva Helena de Medeiros. (Org.). **Relação Homem/Natureza sob a Ótica da Interdisciplinaridade**. Campo Mourão: Editora Fecilcam, v. 1, p. 225-249. 2008.
- SOUZA FILHO, E.E. Diagnóstico do meio físico e condições emergentes da planície do rio Paraná em Porto Rico. **Geonotas** (UEM), Maringá, v. 03, n. 03, p. 1-10, 1999.
- SOUZA FILHO, E.E. & RIGON, B.T.C. Avaliação da velocidade de deslocamento de barras fluviais do rio Paraná por meio de imagens CBERS/CCD. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 13, p. 57-64, 2012.
- SOUZA FILHO, E.E.; ZANETTI, K.; PINESE, J.P.P. & FRANÇA, V. A hidroquímica do Rio Paraná após a barragem de Porto Primavera. **Boletim de Geografia**, v. 28, p. 101-112, 2010.

Trabalho enviado em 23 de junho de 2016

Trabalho aceito em 31 de agosto de 2016

