



## **APORTE FLUVIAL E DISPERSÃO DE MATÉRIA PARTICULADA EM SUSPENSÃO NA ZONA COSTEIRA DO RIO SÃO FRANCISCO (SE/AL)**

P. R. P. Medeiros<sup>1,\*</sup>, B. A. Knoppers<sup>2,\*\*</sup>, R. C. dos Santos Júnior<sup>3,\*\*\*</sup>,  
W.F.L. de Souza<sup>4,\*\*\*\*</sup>

<sup>1</sup>IGEDMA/LABMAR, Universidade Federal de Alagoas, Maceió (AL)

<sup>2</sup>Departamento de Geoquímica, Universidade Federal Fluminense, Niterói (RJ)

<sup>3</sup>Programa de Pós-graduação em Geociências CTG, Universidade Federal de Pernambuco, Recife (PE),

<sup>4</sup>LABAI, Instituto Nacional de Tecnologia, Rio de Janeiro (RJ),

E-mail: \*prpm@fapeal.br, \*\*geoknop@geoq.uff.br, \*\*\*rivaldocoutojr@yahoo.com.br,  
\*\*\*\*wflsouza@int.gov.br

Recebido em novembro de 2006, aprovado para publicação em junho de 2007

### **ABSTRACT**

The São Francisco (SF) river (AB = 634.000 km<sup>2</sup>, L= 2863 km) and its coastal zone (Lat. 10°36' S Long. 36° 23' W, NE-Brazil) have been subject to the impact by a dam cascade constructed between the seventies and the nineties in the middle-lower sector of the basin. This study addresses today's conditions of the river load and behavior of suspended matter in the coastal zone, after river flow was ultimately regulated by the dams in 1995. The study was conducted from 11/2000 to 03/2002 and comprehended monthly measurements of river discharge (Q<sub>r</sub>) and suspended particulate matter (SPM) loads at the Propriá gauging station downstream of the dams (80 km from the coast), and 11 surface water sampling transects of SPM along the estuarine mixing zone (EMZ) and the turbidity plume on the continental shelf. Information on the pre-dam conditions was obtained from national hydrological data banks. River discharge (Q<sub>r</sub>) during the annual cycle was estimated at 50,3 km<sup>3</sup>/yr (1595 m<sup>3</sup>/s), being similar to the annual average of 55,5 ± 7,4 km<sup>3</sup>/yr (1760 ± 235 m<sup>3</sup>/s) of the post-dam period (1995-2001) and 44% lower than the annual average of 94,9 ± 26,9 km<sup>3</sup>/yr (3010 ± 850 m<sup>3</sup>/s) of the pre-dam period (1938-1973). The SPM load amounted to 2,28 x 10<sup>5</sup> t/yr and the yield 0,3 t/km<sup>2</sup>/yr, corresponding to a reduction of 94% to pre-dam conditions. The river evolved from a turbid to a transparent system due to material retainance by the dam reservoirs and the basin's SPM yield is now the lowest in comparison to other Brazilian coastal rivers impacted by dams. The lower mesohaline portion (S > 5 to < 15) of the EMZ is now generally set at the river's mouth and over the pro-delta shoals, being more turbid (SPM ~ 10 to 40 mg/L) than the river itself (SM ~ 5 mg/L). The impoverishment of riverine SPM in conjunction with the gain of SM (non-conservative behavior) over the pro-delta shoals indicates, that the coastal turbid plume of today is being fed and maintained by resuspended matter from shallow relict muddy sediments, deposited in earlier times, as well as, from adjacent coastal erosion.

### **RESUMO**

O Rio São Francisco (AB = 634.000 km<sup>2</sup>, L= 2863 km) e a sua zona costeira (Lat. 10°36' S e Long. 36° 23' W, SE/AL) vêm sendo impactado por uma cascata de barragens construídas entre as décadas de setenta e noventa no setor médio-baixo da bacia. Este estudo aborda as condições

atuais do aporte fluvial e do comportamento da matéria em suspensão na zona costeira, após a regularização definitiva da vazão pelas barragens a partir de 1995. O estudo foi realizado durante o período de 11/2000 a 03/2002, compreendendo medições mensais dos fluxos de água (Qr) e a carga de material particulado em suspensão (MPS) na estação fluviométrica de Própria jusante às barragens (80 km da costa), e 11 campanhas de amostragens de águas superficiais ao longo da zona de mistura estuarina (ZME) e da pluma de turbidez na plataforma continental. Informações de dados pretéritos para a interpretação dos resultados foram obtidas através da análise de dados hidrológicos disponíveis em bancos de dados nacionais. Durante o ciclo hidrológico estudado, estimou-se uma vazão (Qr) de 50,3 km<sup>3</sup>/ano (1595 m<sup>3</sup>/s), semelhante à média anual de 55,5 ± 7,4 km<sup>3</sup>/ano (1760 ± 235 m<sup>3</sup>/s) do período pós-barragens (1995-2001) regularizado e 44% abaixo da média anual de 94,9 ± 26,9 km<sup>3</sup>/ano (3010 ± 850 m<sup>3</sup>/s), do período pré-barragens (1938-1973). A carga fluvial atual de MPS foi 2,28 x 10<sup>5</sup> t/ano e a descarga específica 0,2 t/km<sup>2</sup>/ano, representando uma redução de 94% em comparação a 1970. O rio transformou-se de um sistema de alta turbidez à transparente, devido à retenção de matéria nos reservatórios ao longo da cascata. A porção mesohalina da ZME oscila atualmente sobre o pro-delta e possui maior turbidez (MPS ~ 20 - 40 mg/L) que o próprio rio (MPS ~ 5 mg/L). O empobrecimento de MPS do rio junto com o ganho de MPS (comportamento não-conservativo) sobre o pró-delta indica, que a pluma de turbidez esta atualmente sendo sustentada por processos de re-suspensão de matéria dos sedimentos depositados anterior à construção das barragens e da erosão costeira adjacente.

## INTRODUÇÃO

O transporte de sedimentos dos continentes para os oceanos através dos rios é uma característica fundamental da geologia e biogeoquímica de nosso planeta. Segundo Milliman (1991), os rios contribuem com aproximadamente 70% do aporte total mundial de sedimentos para o oceano. Estimativas dos fluxos globais de sedimentos são da ordem de 18 x 10<sup>9</sup> t/ano. Englobam a contribuição através dos grandes rios mundiais mais estudados, como também, de extrapolações das descargas específicas de água e sedimento de modelos regionais para a maioria dos 20.000 rios de médio e pequeno porte (Milliman & Syvitsky, 1992; Vörösmarty *et al.*, 1997; Hay, 1998). No entanto, a estimativa da magnitude da contribuição desse transporte global através dos rios de médio e pequeno porte é matéria controversa, devido à falta de estudos de monitoramento locais e regionais mais consistentes e sobre a natureza dos impactos antrópicos que afetam a descarga específica de sedimentos, tal como o desmatamento, a erosão, a agricultura e a construção de barragens (Vörösmarty *et al.*, 1997; Meybeck, 2001).

A discussão sobre o impacto de barragens é de preocupação internacional (WCD, 2000; Vörösmarty *et al.*, 2003) e nacional (Tundisi *et al.*, 1998; Straskaba e Tundisi, 2000; Medeiros, 2003; Souza e Knoppers, 2003; Souza *et al.* 2003; <http://www.ana.gov.br>). Barragens e seus reservatórios alteram a carga anual e a pulsação natural do aporte fluvial de água e matéria à zona costeira. Os impactos destas alterações à zona costeira dependem da interação entre inúmeros fatores, tal como o gerenciamento operacional das barragens em função da demanda dos seus serviços à sociedade (energia, irrigação, controle de cheias), do potencial de retenção e transformação de matéria em função da idade e do tempo de residência das águas dos reservatórios, como também da recarga de água e matéria entre o trecho jusante das barragens à costa (Vörösmarty *et al.*, 2003).

Este estudo aborda o impacto de barragens construídas no setor médio-baixo e semi-árido da bacia hidrográfica do rio São Francisco sobre a carga fluvial e o comportamento de material particulado em suspensão na sua zona costeira. Representa um estudo de caso de um rio de médio a grande

porte com relevância regional ecológica, econômica e social, sendo utilizado para geração de energia hidroelétrica, irrigação, navegação, suprimento de água, pesca e aquicultura (Marques *et al.* 2004; <http://www.ana.gov.br>). Apresenta um cenário específico, cujo impacto antrópico principal é gerado por barragens sem potencial natural e cultural relevante de recarga de água e matéria no trecho jusante das barragens até a costa. Além disso, este tipo de sistema tem recebido pouca atenção quanto a estimativas de seu aporte fluvial de material particulado em suspensão à zona costeira. Embora existam registros de vazão ao longo de seu percurso desde 1936, monitorados pelas entidades nacionais DNAEE, ANEEL e ANA (veja Programa HydroWeb, <http://www.ana.gov.br>), as medidas do material particulado em suspensão (MPS) no baixo São Francisco são escassas (Milliman, 1975; Santos, 1993; Lima *et al.*, 2001).

## ÁREA DE ESTUDO

O rio São Francisco nasce no estado de Minas Gerais em 1.800 m de altitude, sua extensão é 2.863 km, e possui uma área de 639.219 km<sup>2</sup>, correspondendo a 7,5% do território nacional. Desemboca no Oceano Atlântico Sul na região Nordeste, na divisa dos Estados de Sergipe e Alagoas (Lat. 10°36' S e Long. 36° 23' W, Figura 1).

Divide-se fisiograficamente nos setores do Alto, Médio, Sub-médio e Baixo São Francisco (SF, Figura 2) e atravessa vários domínios climáticos, com clima tropical úmido do tipo Köppen Aw no Alto SF, do tipo Aw a BShw no Médio SF, do tipo semi-árido BShw no Sub-Médio SF, onde se localiza a cascata de barragens, e do tipo AS', quente e úmido, no Baixo-SF ou seja a zona costeira (Bernardes, 1951).

A zona costeira e o delta do Rio São Francisco (A = 800 km<sup>2</sup>) são formados pelo Cretáceo, Terciário (Formação Barreiras) e Quaternário (aluviões e dunas). A Formação Barreiras integra a maior parte dos sedimentos

da parte sul da região, constituindo-se de tabuleiros. No delta e na base dos tabuleiros, encontram-se terraços marinhos Pleistocênicos, e para o norte e nordeste tabuleiros terciários da Formação Barreiras. A planície fluvio-marinha ocorre desde Penedo (AL) até o litoral, é constituída de superfícies planas, praticamente sem desníveis acentuados, formados por sedimentos recentes, aluvionares, eólicos e praias. Dunas eólicas caracterizam grande parte do litoral ((Braz filho, 1980; Dominguez, 1996; Figura 3).

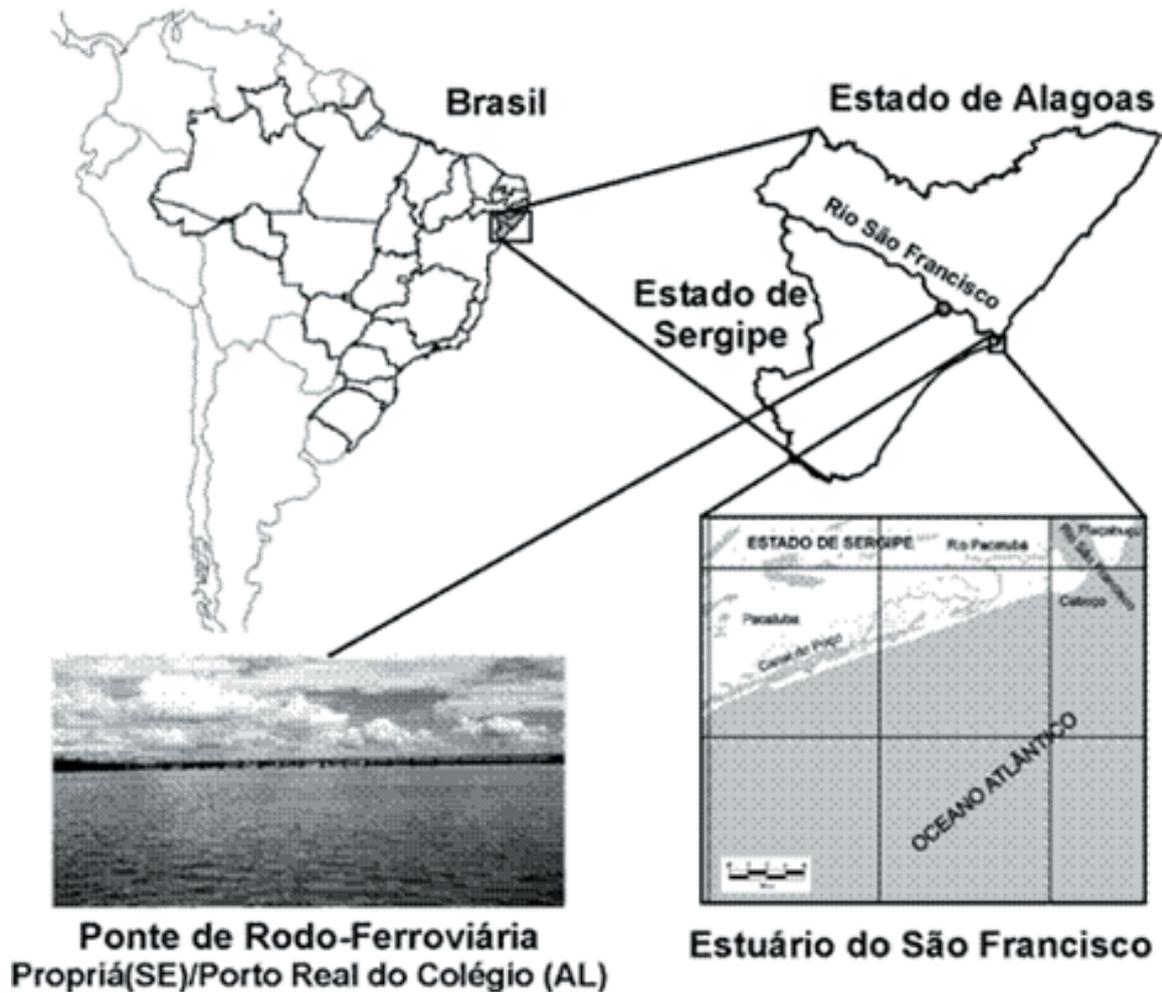
A Plataforma Continental do Rio São Francisco é bastante estreita, variando entre 20 km a 50 km de largura, e a quebra da plataforma ocorre em profundidades de 40 a 80 m (Knoppers *et al.*, 1999). A região costeira é dominada por mesomares do tipo semi-diurno com marés de sizígia atingindo 2,6 m. O regime de ondas é de alta energia, predominando do NE e E em janeiro a maio (verão-outono) e setembro a novembro (primavera), e ondas de SE ocorrem de março a agosto (Dominguez, 1996). Águas Tropicais de Superfície (ATS) da Corrente Sul Equatorial (CSE) predominam sobre a plataforma continental (Peterson & Stramma, 1991) e influenciam diretamente as águas costeiras (Medeiros, 2003).

A profundidade da região estuarina do rio São Francisco é variável, chegando a atingir aproximadamente 14 m próximos à foz. O pró-delta do rio São Francisco é localizado entre 0,5 a 2,5 km da foz, caracterizado por uma forte zona de arrebentação, com ondas altas e bancos de areia submersos, parte dos quais ficam expostos em baixa-mar (Figura 4).

## MATERIAIS E MÉTODOS

### AMBIENTE FLUVIAL

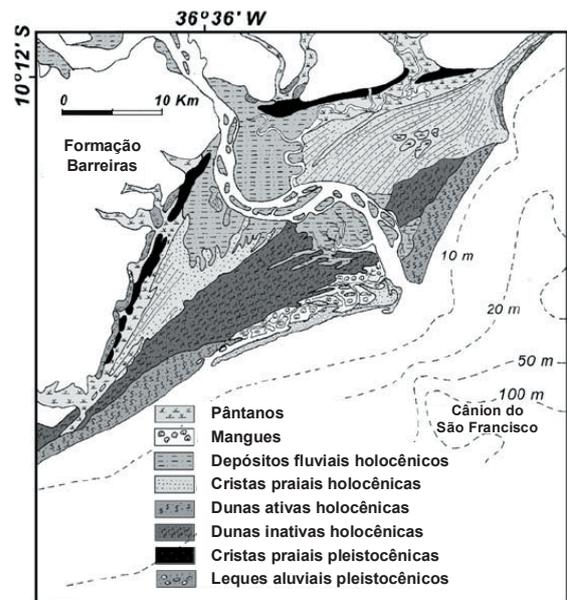
Os estudos para medição de fluxo de água e material particulado em suspensão (MPS) foram concentrados no trecho próximo a uma ponte rodo-ferroviária entre as cidades de Propriá (SE) e Porto Real do Colégio



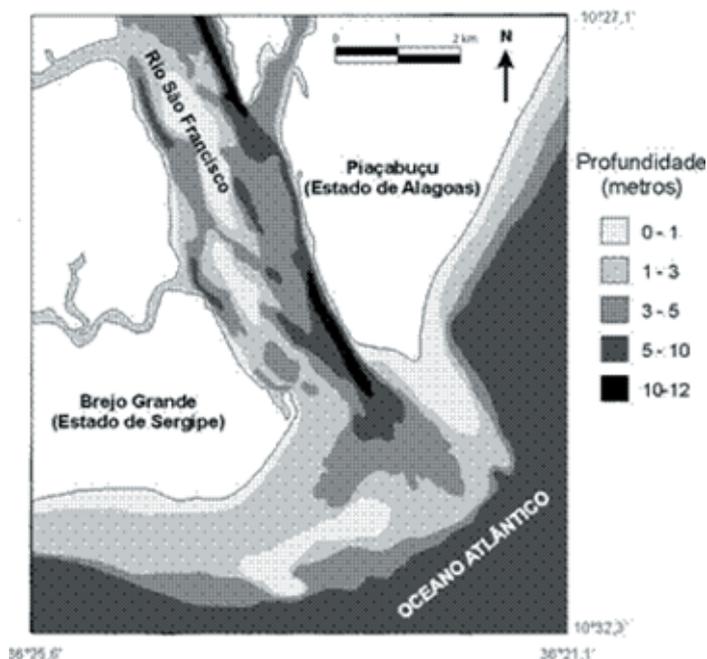
**Figura 1:** Localização da Bacia do Rio São Francisco no Brasil, trecho do rio na estação fluviométrica em Propriá (80 km da costa) e a sua Zona Costeira.



**Figura 2:** A Bacia hidrográfica do São Francisco e suas subdivisões fisiográficas (<http://www.ana.gov.br>).



**Figura 3:** Mapa geomorfológico: sedimentológico da foz do rio São Francisco. Fonte: Dominguez (1996) modificado.



**Figura 4:** Batimetria da foz do rio São Francisco e do pró-delta. Fonte: Dominguez (1996) modificado.

(AL) (Figura 1). Antes e durante as coletas do monitoramento mensal, foram realizadas três campanhas de calibração no local. Estas calibrações tiveram como objetivo comparar as vazões momentâneas medidas com as fornecidas pela CHESF (Companhia Hidrelétrica do São Francisco) e a ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica), além de identificar a contribuição das diferentes seções transversais do rio, na composição total da vazão e carga de MPS.

Os perfis verticais de correntes foram realizados com correntômetro do tipo DIGCARTRAN com hélice de SAVAN, acoplado a um guincho. Executaram-se medições de velocidade na superfície, 20%, 40%, 60%, 80% da profundidade total e 1 m acima do fundo. As profundidades ao longo da seção transversal do rio foram determinadas por um ecobatímetro do tipo EAGLE SUPRAPRO I. D. (Massman-Oliveira, 2002).

De uma forma genérica, a vazão foi calculada através da seguinte equação:

$$Q = A \times F \quad \text{Eq. 1}$$

onde, Q corresponde a vazão do rio em m<sup>3</sup>/s, A a área da seção transversal do rio e F o fluxo do rio em m/s, medido por meio de correntômetria.

A área foi calculada com medições da largura e profundidade de um trecho do rio com seção transversal mais homogênea possível. Para o espaçamento das verticais (profundidades e fluxos medidos) adotou-se o posicionamento dos pilares/vãos da ponte, para uma melhor reprodutibilidade entre as campanhas de calibração. As medições foram efetuadas em verticais escolhidas em função da forma da seção e da distribuição das velocidades (Garcez, 1967; Lind, 1985). As medições verticais foram executadas em 19 pontos ao longo do eixo transversal da

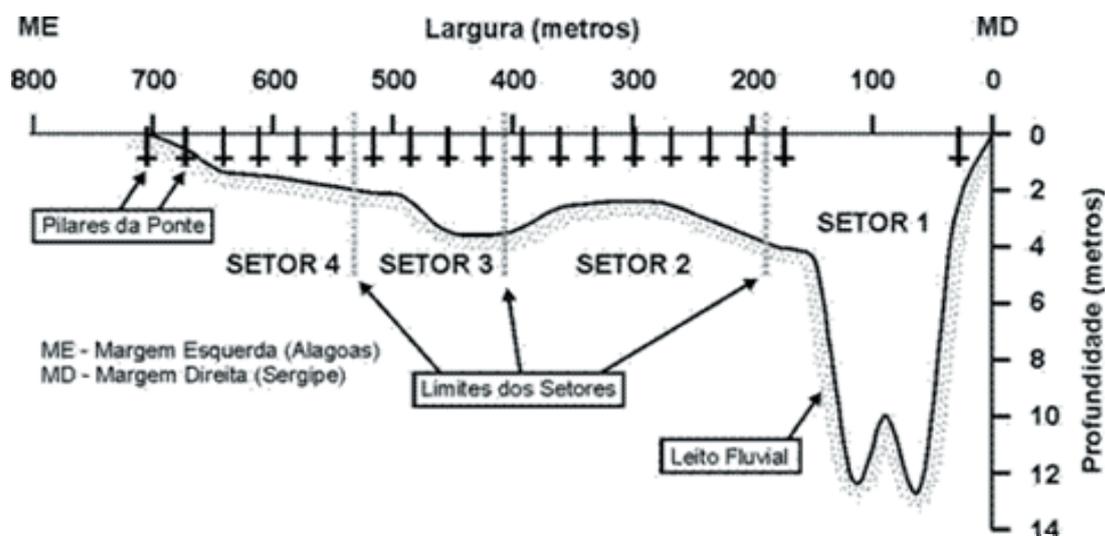
**Tabela 1:** Coeficientes da vazão da contribuição à vazão total nos quatro setores do perfil transversal do rio São Francisco obtidos nas três calibrações. VG = Vão Grande do rio correspondente ao setor do canal principal e VP = Vão Pequeno dos demais setores. Maiores informações em Medeiros (2003).

Data	Setores			
	I*	II**	III***	IV****
24/03/02	0,51	0,25	0,17	0,06
29/06/00	0,44	0,31	0,20	0,06
21/04/00	0,50	0,31	0,15	0,05

\*VG à ½ VP 1, \*\*½ VP 1 à ½ VP7 7, \*\*\*½ VP 7 à ½ VP11 e \*\*\*\*½ VP11 à ½ VP 18

ponte. Após análise dos fluxos momentâneos e integração vertical de cada ponto, foram identificados 4 setores principais com diferentes contribuições na vazão total, os resultados das calibrações com os coeficientes da vazão da contribuição à vazão total de cada setor estão apresentados na Tabela 1.

Os coeficientes da vazão, que descrevem a fração da contribuição de cada setor na vazão total (Figura 5), demonstram que o setor I responde por aproximadamente 50% da vazão total e os setores II, III e IV em torno de 30%, 15% e 5% da vazão total.



**Figura 5:** Setores individualizados a partir das 3 calibrações realizadas, adotados para as medições mensais do fluxo de água e a carga de material particulado em suspensão (MPS).

O monitoramento mensal do ciclo anual deste estudo foi executado perante medições em 4 pontos posicionados nos setores estabelecidos.

Quando comparadas às vazões da Usina Hidroelétrica (UHE) Xingó, da estação fluviométrica de Propriá (ANEEL), com os valores de vazões obtidas nas calibrações, observa-se nas três calibrações executadas diferenças da ordem de 5 a 10% (Tabela 2). As diferenças existentes se mantêm dentro da margem de erro assumido na determinação da vazão (15%) em função da variabilidade horária e diurna das vazões defluentes da UHE Xingó com desvio padrão na ordem de 200 a 300 m<sup>3</sup>/s (Tabela 2). Ressalta-se a

impossibilidade de uma comparação mais precisa destas vazões da ANEEL e da CHESF pelas diferentes metodologias relacionadas ao número e o horário de leituras durante o dia de cada entidade. As medições do monitoramento mensal foram executadas entre 09:00 e 12:00 h do dia.

A grande aproximação entre as medições de vazão da CHESF e da ANEEL é evidenciada através da análise de correlação entre as estações. A Figura 6 apresenta regressão linear pelo método estatístico de Pearson, utilizando as médias mensais das vazões do período de Janeiro de 1999 a Dezembro de 2001, que atinge um coeficiente de correlação de  $R^2 = 0,9885$  ( $n = 36$ ), com

**Tabela 2:** Comparação das vazões obtidas pela calibração, da estação fluviométrica de Propriá (ANEEL) e da UHE Xingó (CHESF).

Data	Propriá		CHESF	
	Calibração	Estação ANEEL	Vazão Diária	
	Vazão (m <sup>3</sup> /s)		Data	Vazão (m <sup>3</sup> /s)
21/04/2000	1807	1965	20/04/2000	1978 ± 275
			21/04/2000	1635 ± 222
29/06/2000	1759	1856	28/06/2000	1937 ± 340
			29/06/2000	1960 ± 229
24/03/2002	1658	1303	17-18/03/2002	1292 ± 121

relação altamente significativa ( $p < 0.001$ ). Essa relação indica que as vazões medidas pela CHESF podem ser utilizadas para a estação fluviométrica de Propriá, quando não foram disponíveis as vazões da ANEEL.

O fluxo de material em suspensão foi determinado usando-se vazões fornecidas pela CHESF e os coeficientes de vazão estimados nas calibrações, conforme o descrito pela expressão abaixo.

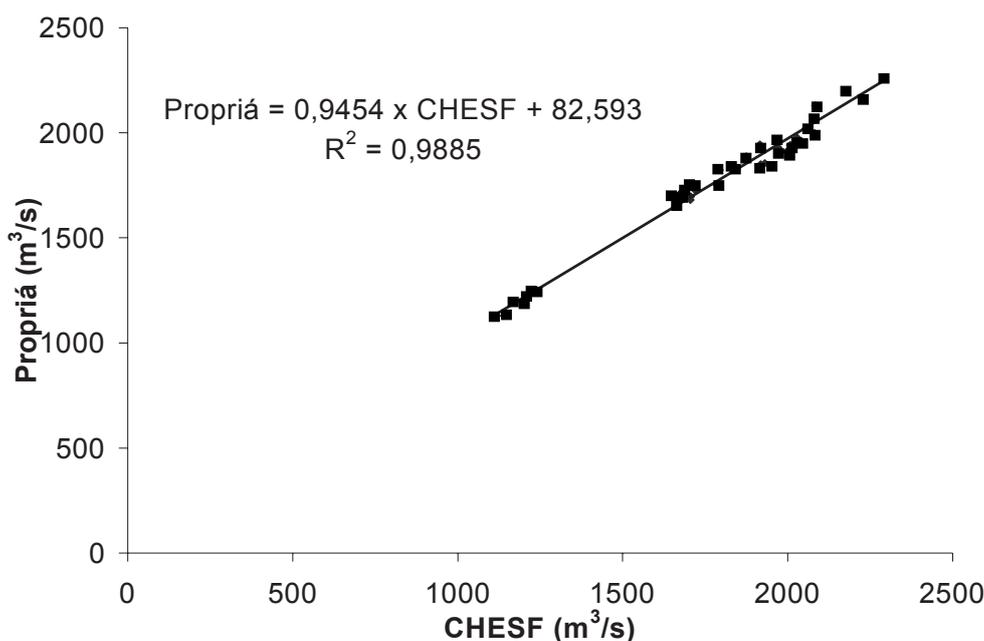
$$F_m = Q \sum_{i=1}^N a_i C_i \quad \text{Eq. 2}$$

onde,  $F_m$  é o fluxo momentâneo do material em suspensão,  $Q$  é a vazão  $m^3/s$ , e  $a_i$  e  $C_i$  representam o coeficiente da vazão nos setores  $i$  de 1 até  $N$  (ou seja I a IV), e  $C_i$  a concentração do material particulado em suspensão  $m$  nos setores  $i$  de 1 a  $N$  (ou seja I a IV).

As calibrações serviram para a redução do número de amostras transversais coletadas durante o monitoramento mensal. Devido às diferenças das contribuições anteriormente determinadas de cada setor na vazão e, conseqüentemente, no fluxo, a vazão foi ponderada entre os 4 setores. Após a obtenção do fluxo ponderado de cada setor, realizou-se

o somatório dos 4 setores, chegando-se dessa forma no fluxo total da transversal. Uma vez determinado o fluxo momentâneo do material particulado em suspensão  $m$ , estimaram-se as cargas diárias do MPS, segundo  $Q_m = 0,0864 F_m$ , aonde  $Q_m$  é a carga diária expressa em toneladas. A carga total mensal foi obtida pela multiplicação da carga diária  $Q_m$  pelo número de dias do mês em questão entre as amostragens.

O monitoramento mensal compreendeu o período entre 11/2000 a 03/2002. As amostras foram coletadas com garrafa de coleta tipo Van Dorn de acrílico, em sub-superfície, em torno de 20 cm abaixo da linha de água. Após a coleta, as amostras foram armazenadas em frascos plásticos com volume de 5L, acondicionadas em caixa isopor e transportadas refrigeradas sob gelo. A matéria em suspensão foi filtrada através de filtros tipo Whatman GF/F com diâmetro de 47 mm e porosidade ao redor de 0,7  $\mu m$ . O peso do material em suspensão foi determinado no Laboratório de Hidroquímica do LABMAR/ UFAL segundo Strickland & Parsons (1972), com balança Sartorius (0,1 mg). Antes da pesagem inicial, os filtros vazios foram pré-lavados com água



**Figura 6:** Correlação entre as vazões da estação fluviométrica de Propriá e da UHE Xingó (CHESF). Janeiro de 1999 a dezembro de 2001.

destilada, secos em estufa à 60°C por 6 horas e armazenados dentro de placas de Petri em dessecador com sílica gel. Antes da pesagem inicial, quatro filtros foram escolhidos como brancos. A pesagem dos filtros vazios iniciais e os finais correspondentes com MPS, foi executada em etapas com baterias de dez filtros, iniciando e terminando cada etapa com a pesagem dos brancos. Este procedimento foi adotado para correção de eventuais mudanças de umidade dos filtros que possam ocorrer durante a pesagem. A variabilidade do peso dos brancos entre as baterias foi < 3%.

Dados pretéritos da vazão foram obtidas do banco de dados da ANEEL e processados através do programa HydroWeb da ANA (<http://www.ana.gov.br>), que permite o cálculo instantâneo, diário, mensal, anual e interanual das vazões. Neste trabalho foram acessadas as informações das estações fluviométricas de Traipú (ANEEL código 49660000), localizada 120 km a montante da foz, e de Propriá (ANEEL código 49705000), localizada 80 km da foz, sendo a última, a estação do monitoramento mensal deste estudo. A estação Traipú possui registros contínuos da vazão desde 1936, permitindo uma análise das condições antes da construção das barragens até o atual, e a de Própria desde 1977, que incorpora os estágios iniciais, intermediários e atuais da operação das barragens (<http://www.ana.gov.br>). Ambas as estações são compatíveis quanto às vazões a partir de 1977 até o atual.

#### AMBIENTE ESTUARINO

As coletas das amostras no ambiente estuarino e na pluma costeira de turbidez foram realizadas em diversos pontos ao longo de perfis horizontais incorporaram o trecho desde 15 km a montante da desembocadura do rio até no máximo 30 km a jusante sobre a plataforma continental. Os perfis foram posicionados oblíquos em relação à costa, no sentido norte-sul, correspondendo à direção predominante de deslocamento da pluma de turbidez. As amostras foram coletadas com garrafa tipo Van Dorn de acrílico 5 L, em sub-superfície, em torno de 20 centímetros

abaixo da linha de água. Os procedimentos de transporte e preservação das amostras foram os mesmos utilizados no ambiente fluvial. O período amostrado foi de novembro de 2000 a janeiro de 2002, totalizando 11 campanhas nas datas de 12/11 e 19/11/2000, 10/02, 21/03, 24/04, 25/05, 17/06, 22/08, 19/09 e 10/11/2001, e 25/01/2002, e 143 estações amostradas (Figura 7).

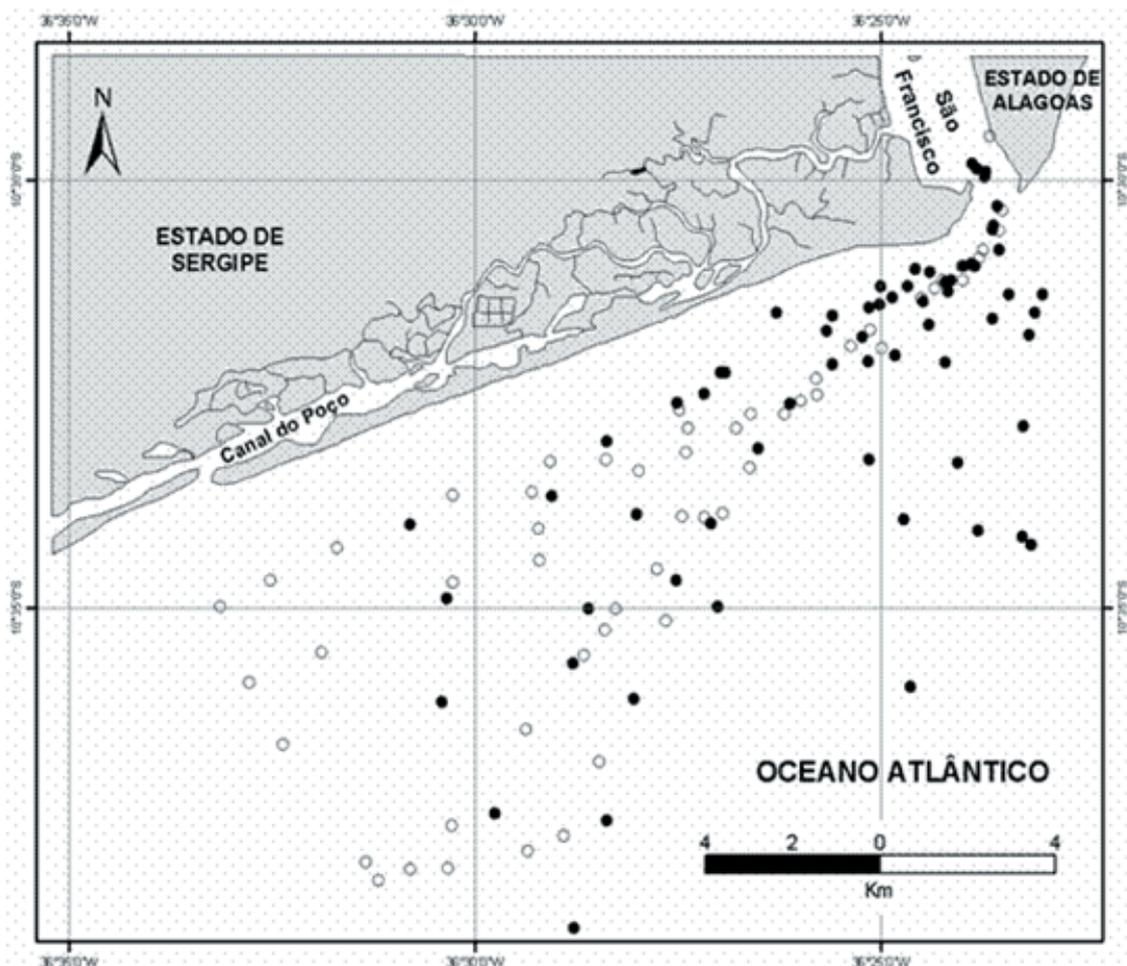
O comportamento do material particulado em suspensão durante a mistura estuarina foi determinado a partir da análise de diagramas de mistura plotando as concentrações de MPS contra a salinidade, como também, das concentrações contra a distância da foz, com o intuito de detectar as regiões de ganho e perda do MPS ao longo do eixo principal do estuário e da dispersão da pluma de turbidez, conforme a abordagem descrita em Burton & Liss (1976). Mudanças das concentrações que ocorrem proporcionalmente à linha de diluição ideal entre as águas fluviais e marinhas representam comportamento conservador e que ocorrem desproporcionalmente a linha ideal de diluição, com um ganho ou uma perda de MPS, respectivamente, representam comportamento não-conservador.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### AMBIENTE FLUVIAL

#### *Vazões*

Segundo Hopkinson & Valino (1995), as atividades antropogênicas nos rios e bacias hidrográficas alteram a duração, a magnitude e a natureza dos materiais transportados. Dentre as atividades que têm efeitos pronunciados em ambientes fluviais destaca-se a construção de barragens (Halim, 1991). Uma das modificações mais notáveis da construção de barragens em rios é a modulação ou regularização total da vazão, objetivando um suprimento de água relativamente constante, necessário à geração da energia hidroelétrica conforme a demanda. Essa regularização provoca grande redução na variabilidade da vazão natural, causando severos efeitos sobre a pulsação natural dos



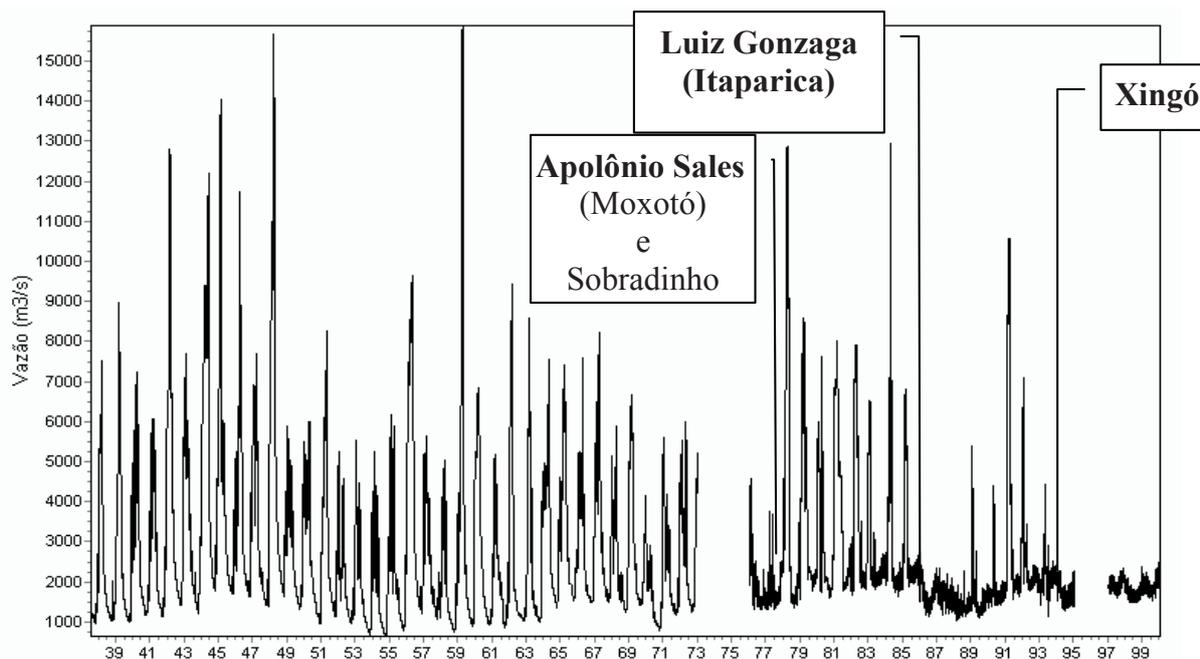
**Figura 7:** Estações amostradas (n = 143) nas onze pernadas realizadas a partir do rio 15 km a montante da foz e na área principal de dispersão da pluma de turbidez até aproximadamente 20 km a jusante da foz. Pontos pretos: Estações coletadas entre Novembro de 2000 a Junho de 2001; Pontos claros: Estações coletadas entre Agosto de 2001 a Janeiro de 2002.

forçantes físicos do ecossistema. De uma maneira geral, direta ou indiretamente, a regularização da vazão é a maior responsável pela alteração do balanço hídrico e sedimentar do ecossistema. A redução na hidrodinâmica induz maior sedimentação do MPS dentro do rio, erosão das suas margens e assoreamento, como também a erosão costeira, graças à perda do equilíbrio de energia entre o rio e o mar e a perda de reposição de sedimentos fluviais na costa.

As diversas barragens em cascata construídas ao longo do tempo desde a década de setenta, provocaram grandes modificações da pulsação natural e nas vazões interanuais do médio-baixo e baixo Rio São Francisco. A Figura 8 apresenta uma série de vazões de 1938 a 2001, registradas na estação

fluviométrica de Traipú (AL), localizada em torno de 40 km acima de Propriá (SE). Após a conclusão da construção da Usina hidroelétrica do Xingo em 1994, a vazão foi definitivamente regularizada, suavizando a variabilidade sazonal e interanual das vazões do rio a costa.

A variabilidade hidrológica, associada ao período de implementação dessas usinas hidroelétricas, permitiu a decomposição da série temporal da vazão interanual em quatro estágios em função da implementação e do impacto de diversas barragens: a) o primeiro estágio entre 1938-1973, abrangeu a construção da UHE de Três Marias na região do Alto SF, que essencialmente não afetou de forma significativa à variabilidade temporal e a magnitude da vazão do Médio-Baixo SF,



**Figura 8:** Vazões médias diárias da estação de Traipú (AL), no período 1938 a 2000.

onde se localiza a cascata de barragens. O potencial de recarga de água e matéria entre o Alto e o Médio-Baixo SF é alto, compensando o impacto de Três Marias e eventuais perdas de MPS associadas à retenção pela barragem (Werneck *et al.*, 2001). b) o segundo estágio definido entre 1977-1985, incorporou o término das barragens de Apolônio Sales e Sobradinho, sendo a última localizada a montante da cascata com grande potencial de retenção de sedimentos no seu reservatório. c) o terceiro estágio de 1986-1994, incorporou a implementação das barragens de Itaparica e Xingó, última entrou em operação no final de 1994. d) o quarto estágio de 1995 a atual, corresponde às condições “pós-barragens” com vazão regularizada. Cabe ressaltar, que Sobradinho corresponde a principal barragem responsável pela modulação e/ou regularização da vazão do rio ao longo da cascata desde 1980 até o atual. Nestes estágios é possível observar o decréscimo da variabilidade interanual, assim como da magnitude da vazão média ao longo do tempo, essa tendência é mostrada na Tabela 3.

Além da redução da variabilidade inter-anual e da magnitude da vazão, o Rio São Francisco sofreu drástico decréscimo na variabilidade sazonal da vazão (Figura 9). Os

picos de enchentes com vazões altas de 8000 a 15.000 m<sup>3</sup>/s, que ocorriam naturalmente nos primeiros meses do ano (janeiro a março) foram notavelmente suavizados, com exceções esporádicas de vazões que ultrapassaram a capacidade limite de controle das barragens, tal como em 1985 e 1992.

Durante o período de estudo ocorreu uma grande estiagem no Alto São Francisco (Figura 10). Na análise do gráfico de precipitação de São Romão (Alto São Francisco), verifica-se que os índices pluviométricos do ano de 2001, nos meses de recarga fluvial (janeiro, fevereiro e março), ficaram abaixo da média climatológica.

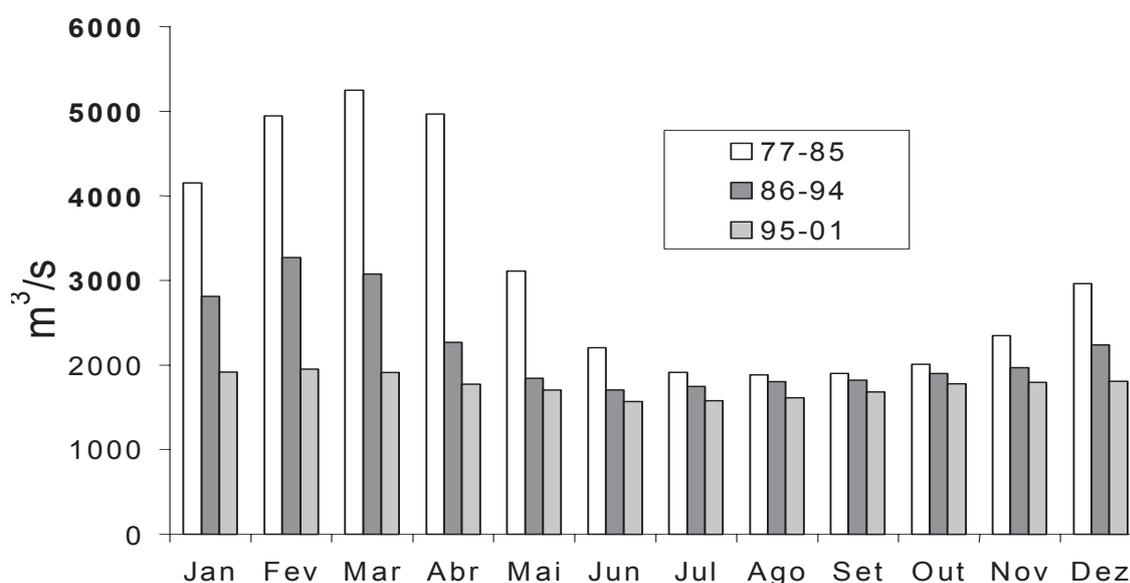
Esta redução da precipitação provocou redução da vazão do rio São Francisco (Figura 11). A vazão média mensal atingiu valores abaixo dos valores normais regularizados, fazendo com que o período de estudo abrange-se um período atípico de vazões. A redução da vazão ocasionou uma crise de energia elétrica, que se intensificou no ano de 2001.

#### *Fluxos de material particulado em suspensão*

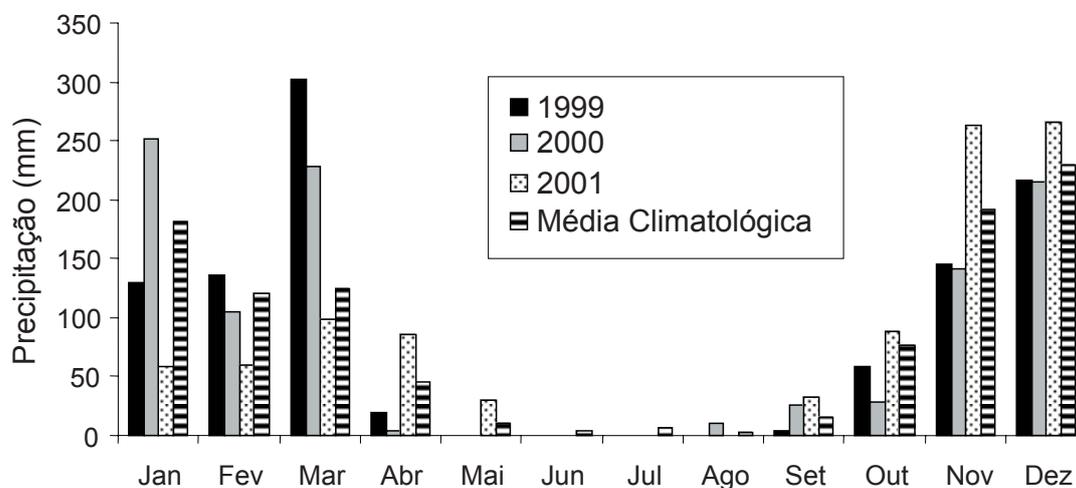
Em condições naturais, as concentrações e fluxos de material em suspensão de rios,

**Tabela 3:** Média anual, desvio padrão, mínimos e máximos da vazão da estação fluviométrica de Traipú dos quatro estágios hidrológicos identificados através da análise de dados pretéritos da ANEEL.

Estágio	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
	(m <sup>3</sup> /s)			
1938 -1973	3008	852	1768	5244
1977 -1985	3136	824	1916	4019
1986 -1994	2204	749	1498	3779
1995 - 2001	1758	235	1405	1980



**Figura 9:** Variação das médias mensais da vazão da estação fluviométrica de Propriá referentes aos estágios hidrológicos identificados.



**Figura 10:** Comparação da precipitação média mensal em São Romão, para os anos de 1999, 2000 e 2001, com a média climatológica.

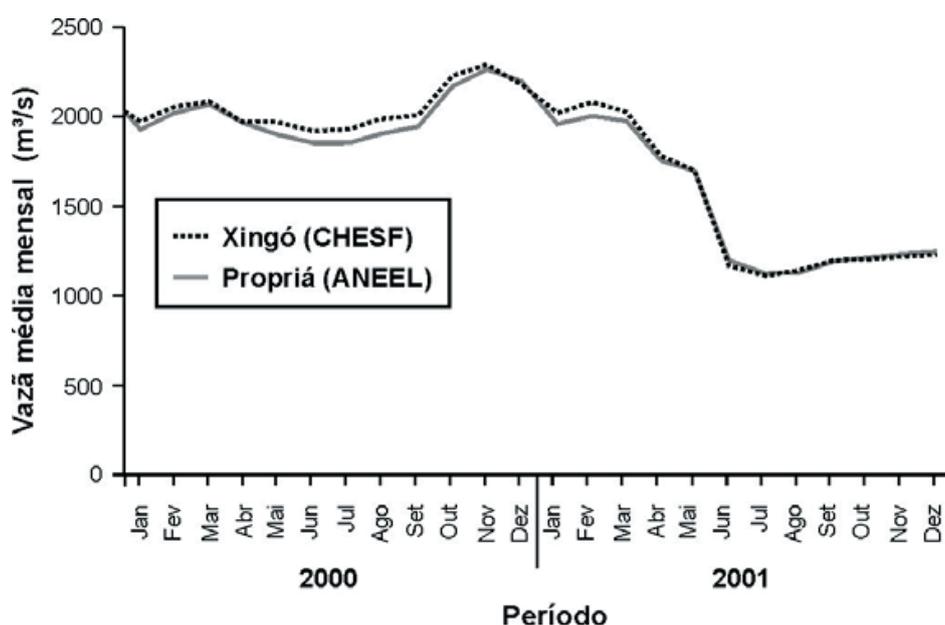
possuem relação com a vazão (Restrepo & Kjerfve, 2001). O aumento da vazão intensifica a velocidade do escoamento fluvial, a capacidade de transporte do rio e a lavagem das margens, incrementando o material particulado e dissolvido transportado.

A relação da vazão com o material em suspensão no Rio São Francisco foi praticamente inexistente durante o período de estudo. O valor do coeficiente de determinação encontrado indica ausência de correlação significativa ( $p < 0,05$ ), quando se compara vazão e o fluxo de MPS ( $R^2=0,1596$ ). O desacoplamento da relação entre a concentração de MPS e vazão, também pode ser evidenciado pela dispersão entre as variáveis expressos na Figura 12.

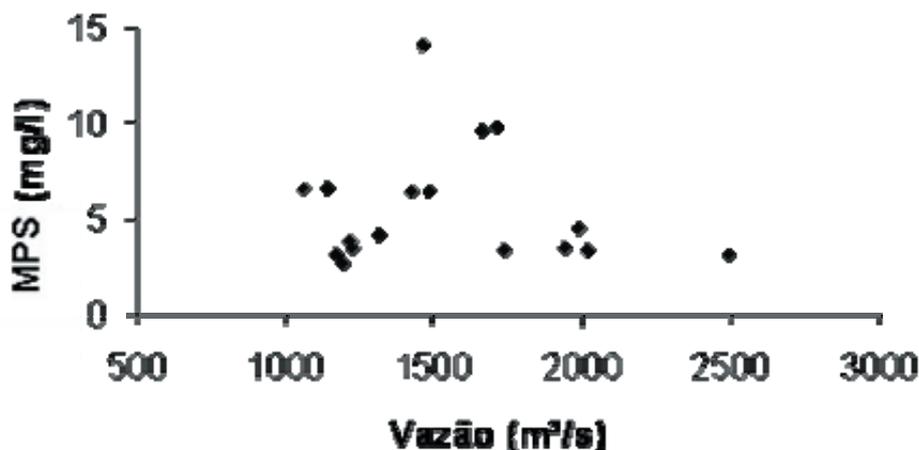
Os fluxos de MPS do período de monitoramento apresentaram um comportamento que reflete a operação da UHE Xingó, nos estágios pré-crise de energia elétrica, crise de energia elétrica e recuperação da crise do nível de água dos reservatórios. Esse manejo da vazão impediu uma clara relação entre a vazão e MPS, impossibilitando a criação de uma curva chave com estas duas componentes.

Devido à abordagem utilizada neste trabalho, e principalmente ao período atípico que ocorreu durante o estudo, não foi possível diferenciar quantitativamente os mecanismos que atuaram na dinâmica do MPS, pela ausência de informações sobre o potencial da recarga de MPS ao longo da cascata e as mudanças ocorridas na dinâmica e retenção de MPS nos reservatórios. É de conhecimento geral, que a produção de sedimentos por uma bacia hidrográfica é influenciada, por diversos fatores, tanto naturais, quanto antropogênicos. Dentre os fatores naturais destacam-se clima, geologia, relevo e área da bacia. Diversas ações antropogênicas alteram o padrão natural da produção de sedimentos, algumas incrementam a produção de sedimentos, tal como o desmatamento, intensificando a erosão, e outras provocam sua redução, tal como a construção de barragens, que retém e diminuem a capacidade de transporte de sedimentos pelos rios (Holeman, 1965; Halim, 1991; WCD, 2000; Straskraba & Tundisi, 2000; Vorosmarty *et al.*, 2003).

Os fluxos médios anuais do MPS (Figura 13) tiveram valores em torno de 22.000 t/mês. O valor mínimo de fluxo ocorreu no mês de outubro (período de crise) de 2001, ficando em torno de 8000



**Figura 11:** Comparação das vazões médias mensais da estação de Propriá para o período de estudo, fornecidas pela ANEEL.

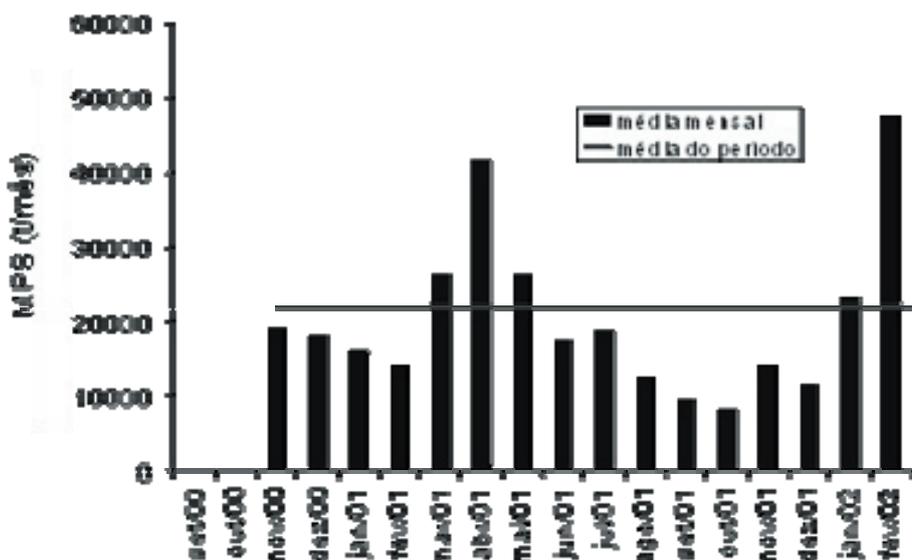


**Figura 12:** Dispersão da concentração de material particulado em suspensão (MPS) em relação à vazão momentânea.

t/ mês. Os fluxos de MPS apresentaram, ao longo do período de amostragem, um comportamento que reflete a operação da UHE Xingó, nos estágios de pré-crise de energia elétrica, crise de energia elétrica e recuperação dos reservatórios. No estágio de pré-crise de energia elétrica, os fluxos de MPS apresentam um comportamento crescente, com um máximo em abril de 2001 (41.460 t/mês), devido as maiores vazões necessárias a geração de energia. A partir de maio de 2001 (26.381 t/mês), quando os reservatórios começaram a apresentar níveis críticos, a crise de energia

elétrica se estabeleceu, criando um novo estágio de baixos fluxos e vazões, até dezembro de 2001.

No período de recuperação, janeiro a março de 2002, os fluxos de MPS elevam-se a níveis superiores ao período de pré-crise. Esse comportamento deve-se, provavelmente, a uma combinação de fatores, tal como a diminuição do tempo de residência das águas e re-suspensão do MPS nos reservatórios, e a lavagem e/ou erosão da calha do rio a jusante da UHE Xingó devido ao aumento da vazão.



**Figura 13:** Cargas mensais de material particulado em suspensão (MPS) e média do período estudado na estação fluviométrica de Própria.

Com relação à carga anual de MPS (Tabela 4), esta sofreu forte redução ao longo do tempo, desde as medições de Milliman (1975), Santos (1985) e da ANEEL (Werneck *et al.*, 2001). Quando se compara o resultado encontrado de  $228 \times 10^3$  t/ano de MPS do ano hidrológico de 11/2000 a 10/2001 com os resultados de 1970 e 1984-1985 (Tabela 4), obtêm-se uma redução total de 94% da carga de MPS entre as condições pré- e pós-barragens. Mesmo quando se analisa a carga de MPS de todo o período de estudo (17 meses), em torno de  $371 \times 10^3$  t, incluindo desta forma o período de recuperação da crise energética, o valor ainda permanece bastante abaixo dos dados pretéritos.

Os fluxos expressam muito mais as variações da vazão do que a distribuição da determinada MPS. No entanto, quando se utiliza a descarga específica, obtida através do quociente da carga anual total de sedimentos normalizada pela área de drenagem, torna-se possível a comparação do rendimento com outros rios de pequeno e médio porte, conforme as informações compiladas na Tabela 5. O Rio São Francisco apresenta descarga específica de sedimentos abaixo aos demais rios listados na Tabela 5, embora apresente uma das maiores bacias dos rios de médio porte e elevada descarga anual de água, mesmo no ano atípico estudado. Bastante significativo foi que no período estudado a vazão reduziu-se em torno de 44% quando comparado ao período pré-barragens, enquanto que a descarga específica de sedimentos reduziu-se para ~94%. A baixa carga sedimentar medida no baixo São Francisco a jusante das barragens, deve-se pela retenção de MPS nos reservatórios ao longo da cascata e pelo baixo potencial de recarga de água e MPS dos rios afluentes intermitentes, que atinge na média anual em torno de 5% (Medeiros, 2003).

#### AMBIENTE ESTUARINO E MARINHO

##### *Comportamento do material particulado em suspensão*

O transporte do MPS, ao longo do gradiente estuarino e sobre a plataforma

**Tabela 4:** Comparação das cargas atuais e pretéritas de material particulado em suspensão (MPS) à zona costeira do Rio São Francisco de estudos publicados.

Ciclo Anual	Carga de	Fonte
	MPS (t/ano)	
2000-2001	$2,28 \times 10^5$	Estudo atual
1984-1985	$21 \times 10^5$	Santos (1993)
1970	$69 \times 10^5$	Milliman (1975)

continental, sofre diversas etapas de transformação, dispersão e deposição (Wright e Nittrouer, 1995). Dentre os fatores que controlam a distribuição do MPS em águas estuarinas, destaca-se a concentração na fonte fluvial e marinha e a interação entre as massas de água destas fontes (Head, 1985). De uma maneira geral, ocorre uma concentração mais elevada de material em suspensão na fonte fluvial em relação à fonte marinha, uma vez que os rios são a principal via de transporte do material intemperizado dos continentes em direção ao oceano (Milliman e Meade, 1983).

Entretanto, a retenção de MPS nos reservatórios das barragens, transformou o Baixo São Francisco e o seu estuário de um sistema de alta turbidez à transparente, com características que se assemelham as águas da margem externa da sua pluma costeira e fonte marinha (Medeiros, 2003). Neste estudo, as concentrações de MPS da fonte fluvial variaram de 3 a 10 mg/L e na margem da pluma de turbidez e fonte marinha de 0,7 a 4 mg/L. Estas pequenas diferenças corroboram as condições atuais de empobrecimento de MPS da fonte fluvial, quando comparados aos gradientes fluviais-marinhos de outros rios da costa Leste do Brasil (Carneiro, 1988; Souza e Knoppers, 2003).

Embora as concentrações e a carga fluvial de MPS do Rio São Francisco diminuíssem, observa-se ainda uma pluma de turbidez expressiva, que se dispersa oblíquo à costa em direção Sudoeste e Sul sobre a plataforma continental (Medeiros, 2003). Este fato implica, que a pluma de turbidez

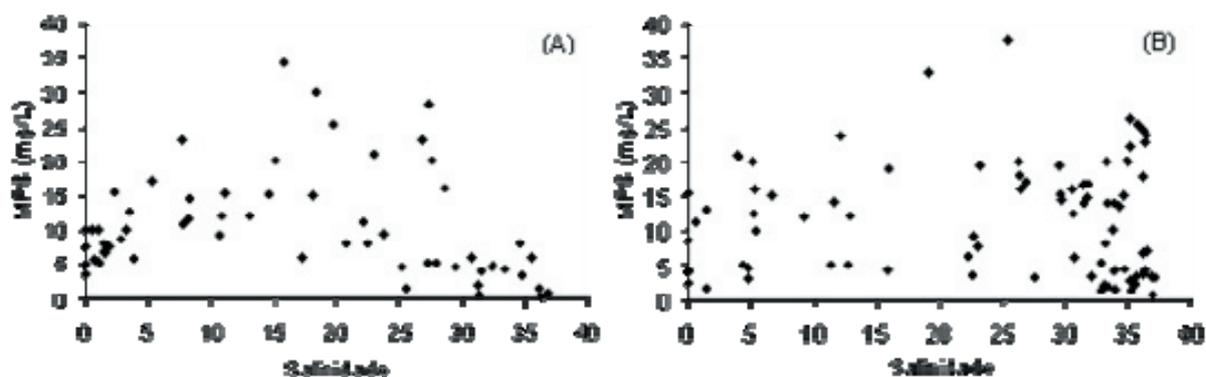
**Tabela 5:** Área de drenagem, descarga de água, descarga de sedimento e descarga específica para diversos rios tropicais e sub-tropicais do mundo (Milliman & Meade, 1983) e do Brasil (Carneiro, 1998; Souza e Knoppers, 2003). (1) Referente ao ano hidrológico estudado (2) Referente a Milliman (1975).

Rios	Área Drenagem (10 <sup>3</sup> km <sup>2</sup> )	Descarga Água (km <sup>3</sup> a <sup>-1</sup> )	Descarga Sedimento (10 <sup>6</sup> t a <sup>-1</sup> )	Descarga específica (t km <sup>2</sup> a <sup>-1</sup> )
Rio São Francisco (1)	640	50	0,23	0,36
Rio São Francisco (2)	640	97	6,0	9,0
Paraíba do Sul (Brasil)	55	28	0,6	11
Rio Doce (Brasil)	90	20	4	44
Chira (Peru)	20	5	75	3750
Daling (China)	20	1	36	1800
Purari (N. Guiné)	31	77	80	2580
Haiho (China)	50	2	81	1620
Fly (N. Guiné)	61	77	30	61
Mehandi (Índia)	130	67	2	15
Liaohe (China)	170	6	41	241
Rufuji (Tanzânia)	180	9	17	94
Yana (Eurasia)	220	29	3	14
Godavari (Índia)	310	84	96	310
Indigirka (Eurásia)	360	55	14	39
Limpopo (Moçambique)	410	5	33	80
Kolyma (Eurasia)	640	71	6	9
Chiang-Jiang (China)	770	49	1080	1400
Orange (África do Sul)	1020	11	17	17
Murray (Austrália)	1060	22	30	28

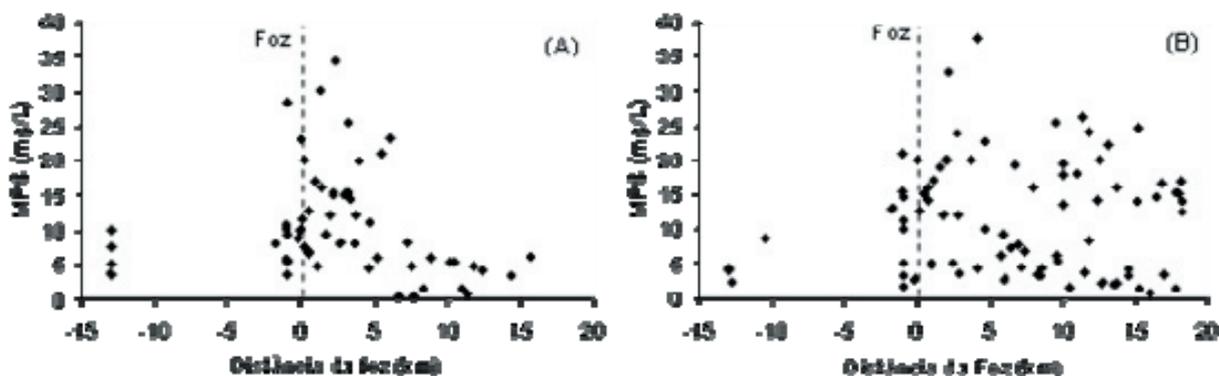
atual esta sendo sustentada por outras fontes de matéria, além do aporte fluvial. Uma destas fontes é a erosão e resuspensão de matéria oriunda dos depósitos de sedimentos finos do pró-delta, localizados próximos e afora da zona de arrebentação. Indícios destes processos podem ser observados na Figura 14, que apresenta as relações entre as concentrações de MPS e a salinidade (Figuras 14A e 14B) e a distância (Figura 15A e 15B), para as campanhas dos períodos de novembro 2000 a junho 2001 (período de pré-crise até crise de energia elétrica) e agosto 2001 a janeiro 2002 (período da crise até a recuperação da vazão), respectivamente. Em todas as ocasiões do estudo, a MPS exibiu um comportamento não- conservador com ganho expressivo em relação à salinidade na porção da zona de mistura estuarina mesohalina de  $S > 5$  e  $< 20$ , localizada entre a foz até 8 km afora. Nesta faixa estreita do pró-delta, detectou-se um incremento de MPS de 10 a 40 mg/L aos teores das fontes fluvial. O

regime de alta energia de ondas e a pulsação da mesomare semi-diurna representam os principais processos que promovem a erosão costeira (Dominguez, 1996) e processos de resuspensão do fundo em áreas rasas da região (Knoppers *et al.*, 1999).

Após a região de ganho de MPS, as concentrações diminuem claramente de forma exponencial em direção Sudoeste-Sul. Neste setor intermediário da pluma de turbidez, entre aproximadamente 8 e 20 km da foz, predominam os processos de dispersão e sedimentação gradativa da MPS ao fundo e na margem da pluma a diluição pelas águas tropicais de superfície (ATS) da Corrente Sul Equatorial (CSE) (Figura 15). Embora a maioria das campanhas de amostragem evidenciam o padrão unimodal de distribuição de MPS ao longo da pluma, foram observadas diversas anomalias no período de agosto 2001 a janeiro 2002, caracterizadas por uma maior extensão de



**Figura 14:** Relação entre a concentração de material particulado em suspensão (MPS) de superfície e a salinidade (S) do estuário e da pluma costeira do Rio São Francisco nos períodos de 11/2000 à 06/2001 (A) e 08/2001 à 01/2002 (B), respectivamente.



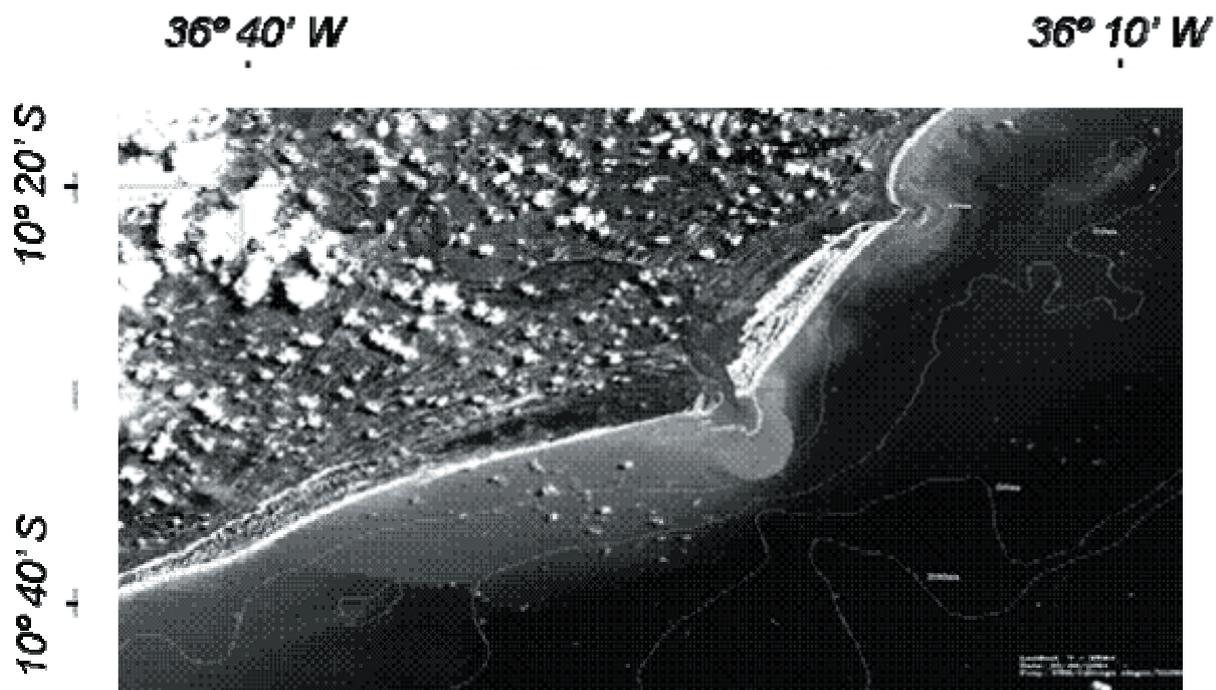
**Figura 15:** Relação entre a concentração de material particulado e suspensão (MPS) de superfície e a distância (km) da foz do estuário e da pluma costeira do Rio São Francisco nos períodos de 11/2000 à 06/2001 (A) e 08/2001 à 01/2002 (B), respectivamente.

concentrações elevadas de MPS na zona costeira. Quanto ao mês de setembro 2001, as maiores concentrações corresponderam às estações de coleta localizadas próximas e paralelamente à costa, enquanto o mês de janeiro 2002 já representou o período de recuperação da vazão após a crise de energia elétrica, que acarretou um aumento da carga fluvial de MPS.

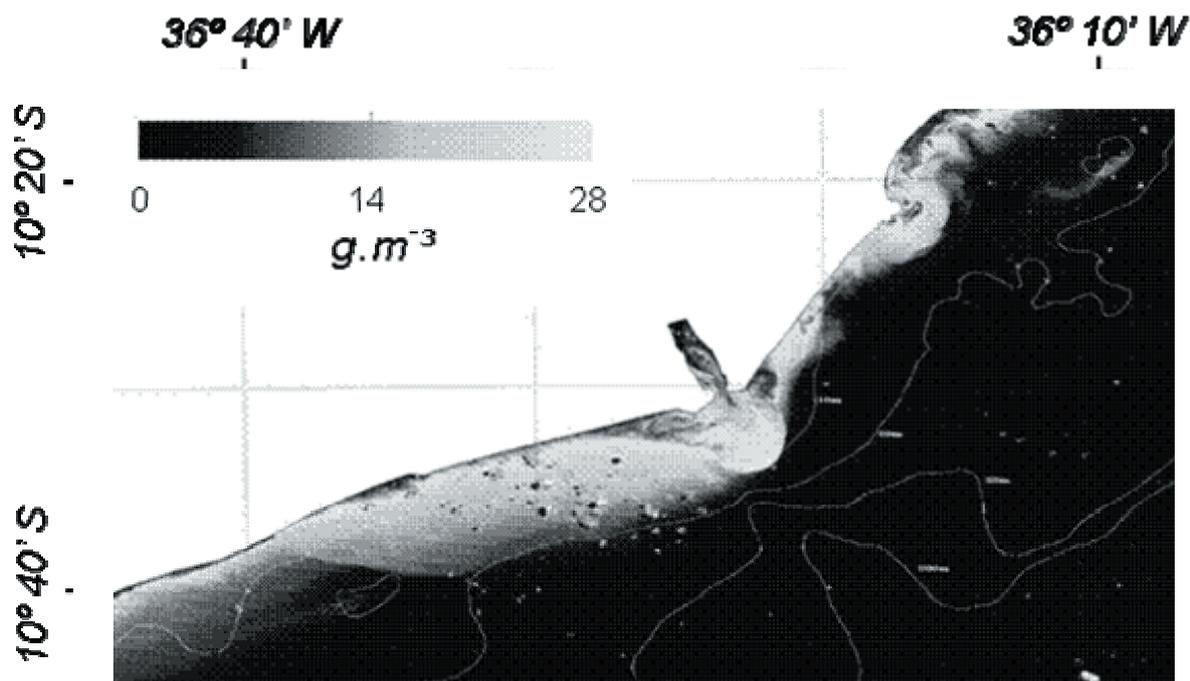
A Figura 16 apresenta um exemplo de uma imagem LANDSAT 7 TM e a Figura 17 a distribuição de MPS desta imagem através de calibração In Situ, conforme procedimentos descritos em Lorenzetti *et al.* (2003). As imagens corroboram os resultados obtidos sobre o comportamento da MPS, apresentando menores concentrações no estuário interno,

o incremento de MPS ao redor da zona de arrebanção e a dispersão e diminuição de MPS até a margem da pluma de turbidez. Dessa forma, ficam evidentes os processos turbulentos que ocasionam a re-suspensão de material do fundo, devido à interação entre o regime de ondas e a baixa profundidade da zona costeira.

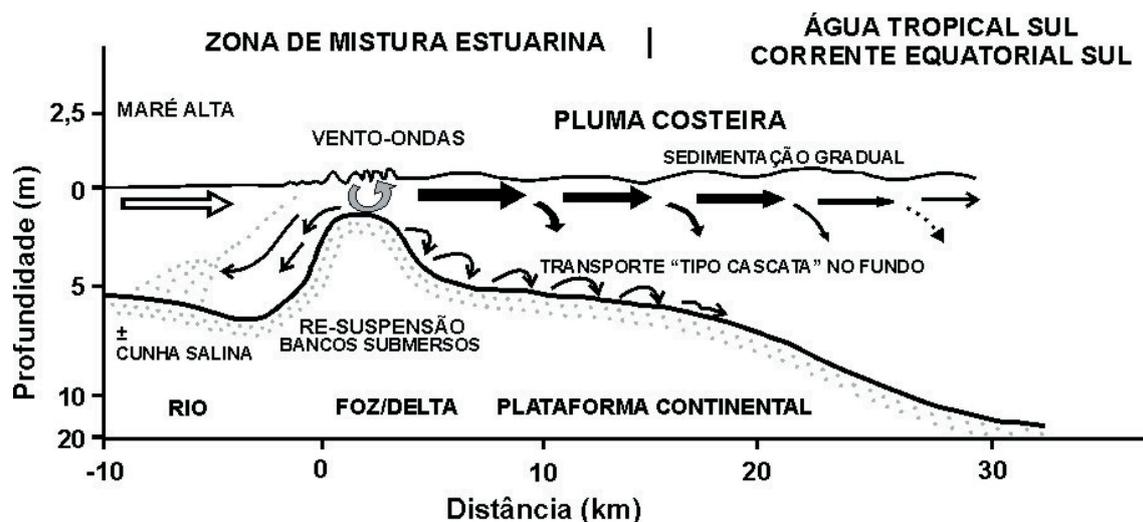
A análise dos diagramas de mistura e imagens de satélite, possibilitaram a construção de um modelo conceitual (Figura 18), que integra e sintetiza os principais processos responsáveis pela concentração de material na região estuarina. Destacam-se os processos de processos de resuspensão como também a erosão costeira adjacente que adicionam material em suspensão ao aporte fluvial do Rio São Francisco.



**Figura 16:** Imagem LANDSAT / TM do estuário do RIO São Francisco, obtida em 5 de setembro de 2001 (Lorenzetti *et al.*, 2003).



**Figura 17:** Concentração de material particulado em suspensão (g/m<sup>3</sup>) estimada pelos valores de reflectância da imagem LANDSAT 7 TM obtida em 5 de setembro de 2001 (Knoppers *et al.*, 2005).



**Figura 18:** Modelo conceitual dos processos físicos determinantes no comportamento de material particulado em suspensão (MPS) na região estuarina do Rio São Francisco.

### CONCLUSÕES

O Rio São Francisco sofreu grande redução da variabilidade interanual da vazão ao longo do tempo, apresentando também redução da variabilidade sazonal e diminuição da magnitude da vazão. Concomitantemente a alterações dos padrões naturais de vazão, ocorreu grande diminuição do aporte do material em suspensão do rio São Francisco, evidenciado pela comparação dos dados atuais com estudos anteriores. Essas alterações na vazão e no material particulado em suspensão foram associadas a construções de barragens em cascata no médio-baixo Rio São Francisco. O Rio São Francisco apresenta atualmente pequena descarga líquida de sedimentos devido à retenção de matéria em suspensão nos reservatórios das barragens, como também do baixo potencial de recarga de água e matéria em função das condições semi-áridas no setor médio-baixo e baixo São Francisco.

O material em suspensão comportou-se de maneira predominante não conservativo,

ocorrendo um ganho durante a mistura estuarina. Isso ocorreu em razão da forte turbulência graças à elevada hidrodinâmica e o regime de alta energia de ondas desta região. Dessa forma, a pluma de sedimentos na foz do rio São Francisco não é uma pluma fluvial típica, constitui-se de uma pluma de re-suspensão de sedimentos de fundo do pro-delta e da erosão costeira.

### AGRADECIMENTOS

O trabalho recebeu auxílio financeiros dos projetos GEF São Francisco (ANA/GEF/PNUMA/OEA) e Instituto do Milênio- Estuários (CNPq Proc. No. 420.050/2005-1), como também da Bolsa de Produtividade de B. Knoppers (CNPq Proc. No. 300772/2004-1). Ao Prof. Dr. Arno Massman-Oliveira pela realização conjunta das calibrações da vazão e demais discussões durante o estudo, e aos colegas Manoel Messias dos Santos e Geórgenes Hilário Cavalcante pelo apoio no laboratório e nos trabalhos de campo.

### REFERÊNCIAS

- BERNARDES, L.M.C. (1951) Notas sobre o clima da bacia do Rio São Francisco. *Revista Brasileira de Geografia* 13 (3): 473-489.
- BRAZ FILHO, P.A. (1980) Prospecto turfa (Baixo rio São Francisco). Salvador, CPRM/SUREG. (Relatório C.C. 2606/010), 27p.

- BURTON, J.D. & LISS, P.S. (1976) *Estuarine Chemistry*. New York, Academic Press, 228 p.
- DOMINGUEZ, J.M.L. (1996) The São Francisco strandplain: a paradigm for wave-dominated deltas. In: *Geology of Siliciclastic Shelf Seas*. Eds. Geological Society Special Publication 117, p. 217-231.
- GARCEZ, L. N. (1967) *Hidrologia*. São Paulo: Editora Edgard Blücher, 249 p.
- HALIM, Y. (1991) The impact of human alterations of the hydrological cycle on ocean margins. In: *Ocean Margin Processes in Global Change*. New York, John Wiley & Sons, p.301-328.
- HAY, W.W. (1998) Detrital sediment fluxes from continents to oceans. *Chemical geology*, 145:287-323.
- HEAD, P.C. (1985) *Practical Estuarine Chemistry: A handbook*. New York: Cambridge University Press, 377 P.
- HOLEMAN, J.N. (1968) The Sediment Yield of Major Rivers of the World. *Water Resources Research*, vol. 4, n. 4, p. 737-747.
- HOPKINSON, C.S.Jr. & VALLINO, J.J. (1995) The relationships among man's activities in watersheds and estuaries: a model of runoff effects on patterns of estuarine community metabolism. *Estuaries*, 18:598-621.
- KNOPPERS, B.; EKAU, W. E FIGUEIREDO, A.G.. (1999) The coast and shelf of east and northeast Brazil and material transport. *Geo-Marine Letters*, 19 (3): 171-178.
- KNOPPERS, B.; MEDEIROS, P.R.P.; SOUZA, W.F.L.; JENNERJAHN, T. (2005) The São Francisco Estuary, Brazil. In: WANGERSKY, P. (ed.) *The Handbook of Environmental Chemistry*, Vol. 5- Water Pollution: estuaries. Springer Verlag, Berlin.
- LIND, O. T. (1985) *Handbook of Common Methods in Limnology*. 2nd. ed. Kendall/ Hunt Publishing Company, New York, 199 p.
- MEDEIROS, P. R. P. (2003) Aporte fluvial, transformação e dispersão da matéria em suspensão e nutrientes no estuário do Rio São Francisco, após a construção da Usina Hidroelétrica do Xingó (AL/SE). Tese de Doutorado. Departamento de Geoquímica, Universidade Federal Fluminense, 184 p.
- MILLIMAN, J. D. & MEADE, R.H. (1983). World-Wide delivery of river sediment to the Oceans. *Journal of Geology*, v. 91, p.1-21.
- MILLIMAN, J. D. (1975) A Synthesis. In: *Upper continental Sedimentology*, Stuttgart, v. 4, p. 151-175.
- MILLIMAN, J.D. & SYVITSKI, J.P.M. (1992) Geomorphic/tectonic control of sediment discharge to the ocean: the importance of small mountainous rivers. *Journal of Geology* 164.
- MILLIMAN, J.D. (1991) Flux and fate of fluvial sediment and water in coastal seas. In: R.F.C. MANTOURA.; J.-M. MARTIN & R. WOLLAST. (Eds) *Ocean Margin Processes in Global Change*. John Wiley & Sons, p.60-90.
- PETERSON, R. & STRAMMA, L. (1991). Upper-level circulation in the South Atlantic Ocean. *Prog. Oceanog.*, 26:1-73.
- RESTREPO, D.J. & KJERFE (2001). Water discharge and sediment loads from the western slopes of the Colombian Andes with focus on rio San Juan. *Journal of Geology* 108: 17-33.

- SANTOS, C. M. M. (1993) Geoquímica do carbono e nitrogênio orgânico particulado transportados durante um ano hidrológico (1984-1985) pelo rio São Francisco, Brasil, e transferidos ao seu estuário. Dissertação Mestrado. Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, 70 p.
- SOUZA, W.L.F & KNOPPERS, B. (2003) Fluxos de água e sedimentos a costa leste do Brasil: relações entre a tipologia e as pressões antrópicas. *Geochim. Brasil.*, 17(1)057-074.
- STRICKLAND, J. D. H. & PARSONS, T. R. (1972) A practical handbook of seawater analysis. *Bulletin Fisheries Research Board of Canada*, 167p.
- VÖRÖSMARTY, C.J.; MEYBECK, M.; FEKETE, B. E SHARMA, K. (1997). In: *Human Impact on Erosion and Sedimentation. Proc. Of the Rabat Symposium. IAHS Publ. 245*, p.261-273.
- WCD (WORLD COMISSION ON DAMPS) (2000). *Damps and Development: a new framework for decision-making*. Thanet Press, USA, 399 p.
- WRIGHT,L.D. & NITTROUER,C.A. (1996) Dispersal of river sediments in coastal seas: six contrasting cases. *Estuaries*, 18:494-508.

(Footnotes)

<sup>1</sup>To whom the correspondence should be sent: [prpm@fapeal.br](mailto:prpm@fapeal.br)