



Revista Brasileira de Ciências Agrárias

ISSN: 1981-1160

editorgeral@agraria.pro.br

Universidade Federal Rural de Pernambuco

Brasil

de Lima, Antony E.; Severi, William  
Estado trófico na cascata de reservatórios de um rio no semiárido brasileiro  
Revista Brasileira de Ciências Agrárias, vol. 9, núm. 1, 2014, pp. 124-133  
Universidade Federal Rural de Pernambuco  
Pernambuco, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=119030125021>

- Como citar este artigo
- Número completo
- Mais artigos
- Home da revista no Redalyc

redalyc.org

Sistema de Informação Científica

Rede de Revistas Científicas da América Latina, Caribe, Espanha e Portugal  
Projeto acadêmico sem fins lucrativos desenvolvido no âmbito da iniciativa Acesso Aberto

## Estado trófico na cascata de reservatórios de um rio no semiárido brasileiro

Antony E. de Lima<sup>1</sup> & William Severi<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Instituto de Ensino Superior do Acre, Faculdade Barão do Rio Branco, Faculdade do Acre, BR 364 km 02 - Alameda Hungria, 200, Jardim Europa II, CEP 69915-497, Rio Branco-AC, Brasil. E-mail: [antonyelima@yahoo.com.br](mailto:antonyelima@yahoo.com.br)

<sup>2</sup> Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Pesca e Aquicultura, Rua Dom Manoel de Medeiros, s/n, Dois Irmãos, CEP 52171-900, Recife-PE. E-mail: [wseveri@depaq.ufrpe.br](mailto:wseveri@depaq.ufrpe.br)

### RESUMO

O presente trabalho avaliou o estado trófico da água na cascata de reservatórios entre o médio e o baixo rio São Francisco e a influência das vazões afluente e defluente em cada reservatório, através de coletas trimestrais realizadas entre dezembro de 2007 e setembro de 2008, nos reservatórios de Sobradinho, Itaparica, Moxotó, Paulo Afonso-I, II, III, Paulo Afonso-IV e Xingó. As variáveis utilizadas foram transparência da água, clorofila-a, fósforo total e fósforo solúvel reativo, determinados para o cálculo dos índices de estado trófico. O reservatório de Sobradinho diferiu dos demais para todas as variáveis e índices estudados, sendo classificado como mesotrófico-eutrófico. Itaparica, Moxotó, Paulo Afonso-I, II, III e Paulo Afonso-IV mostraram uma variação sazonal semelhante entre si e o estado trófico entre oligotrófico e mesotrófico. Foi observada uma oligotrofização da água ao longo da cascata cujo efeito foi atenuado; entretanto, pelo aporte de tributários (rios Pajeú e Motoxó) e efluentes das cidades no entorno do sistema, principalmente em Paulo Afonso, Bahia. O reservatório de Sobradinho apresentou condição trófica mais elevada, característica de armazenador do sistema, e aqueles intermediários entre Itaparica e PA-IV estão sujeitos a modificações associadas diretamente à presença de tributários e cidades em seu entorno enquanto Xingó apresenta caráter predominantemente oligotrófico. Apenas Sobradinho apresentou diferença sazonal do estado trófico enquanto os demais reservatórios apresentaram comportamento semelhante entre si e pequena variação do estado trófico entre os meses. Os reservatórios do médio e submédio São Francisco apresentam tendência de oligotrofização descendente no sistema, com condição trófica dependente de sua posição na cascata, sujeita a um padrão de variação sazonal associada à afluência e defluência do reservatório de Sobradinho e da operação das diferentes usinas para a geração de energia.

**Palavras-chave:** estado trófico, oligotrofização, rio São Francisco

*Trophic state of reservoirs in the cascade of a river in the Brazilian semiarid*

### ABSTRACT

The present study evaluated the influence of the river flow on the trophic state of the reservoir cascade located between the medium and lower São Francisco River, through quarterly samplings between December 2007 and September 2008, at the reservoirs of Sobradinho, Itaparica, Moxotó, Paulo Afonso-I, II, III, Paulo Afonso-IV and Xingó. The variables analysed were inflow and outflow, and water transparency, chlorophyll-a, total phosphorous and reactive soluble phosphorous used to calculate the trophic state indexes. Sobradinho differed from the other reservoirs for all variables and indexes analysed, and was regarded as eutrophic and mesotrophic. Itaparica, Moxotó, Paulo Afonso-I, II, III and Paulo Afonso-IV reservoirs presented a similar seasonal variation and trophic state varying from mesotrophic to oligotrophic. A water oligotrophication along the reservoir cascade was detected, whose effect was attenuated by river contributions (Pajeú and Moxotó rivers), and effluents from the cities located along the system, mainly Paulo Afonso, in the state of Bahia. Sobradinho reservoir presented the typical trophic condition of a system charger (eutrophic - mesotrophic), while those between Itaparica and PA-IV are subject to the modifications associated with the presence of tributaries and bordering cities, whereas Xingó presents a prevailing oligotrophic condition. Seasonally, only the trophic state of Sobradinho differed during the study period, and the other reservoirs presented a similar pattern between them, and little trophic variation between months. The reservoirs located on the medium and submedium stretches showed a downstream tendency of oligotrophication, depending on their relative position along the cascade, being subject to a seasonal variation of their trophic status according to Sobradinho reservoir outflow, and the operational use of water for energy generation at each power plant along the cascade.

**Key words:** trophic state, oligotrophication, São Francisco River

## Introdução

A partir de 1950 os governos ou o setor privado intensificaram, em alguns países, a construção de barragens à medida que suas populações e a demanda energética aumentavam e as economias nacionais se fortaleciam. Atualmente, quase metade dos rios do mundo tem pelo menos uma grande barragem. Esses reservatórios têm sido utilizados como polos de desenvolvimento econômico regional, estimulando novas oportunidades e alternativas de desenvolvimento, tornando esses ecossistemas artificiais mais expressivos para a regionalização ecológica que os próprios rios (Margalef, 2002).

Reservatórios são um dos componentes de três subsistemas ecológicos fundamentais: a) a bacia hidrográfica e sua rede hídrica; b) o reservatório propriamente dito e suas descargas, e c) o sistema a jusante. Esses subsistemas são interativos e operam em conjunto sendo os reservatórios dependentes dessas interações (Tundisi et al., 2008). A distribuição de reservatórios em ordem sucessiva em um mesmo percurso de rio, formando uma “cascata”, ensejou o estabelecimento do Conceito de Contínuo de reservatórios em cascata (Barbosa et al., 1999). Este conceito ecológico define que represas dispostas numa sequência longitudinal apresentam significativa dependência entre si, a despeito da interrupção do curso do rio, com implicações na estrutura e no funcionamento das comunidades aquáticas (Barbosa et al., 1999; Ferreira et al., 2005).

Considerações teóricas sobre os efeitos nos reservatórios a jusante num sistema de cascata, foram agrupadas por Straskraba (1990), dentre as quais se destacam: alterações físicas e químicas no reservatório a jusante (diminuição da turbidez, cor da água e carga de sólidos suspensos e nutrientes; aumento da transparência) e efeitos indiretos nos processos químicos e biológicos (redução do nível trófico e da produção primária, devido à queda na concentração de fósforo e diminuição da concentração de oxigênio nas camadas de águas mais profundas).

Índices de estado trófico têm sido empregados tradicionalmente na classificação de lagos e reservatórios, em três categorias principais: oligotrófico, mesotrófico e eutrófico (Carlson, 1977). Esses índices funcionam como referência e permitem avaliar alterações quantitativas sofridas pelos lagos em virtude da descarga de nutrientes (Stednick & Hall, 2003; Tundisi et al., 2008). Contudo, a análise comparativa do estado trófico de reservatórios em cascata é restrita a poucas bacias hidrográficas no Brasil (Barbosa et al., 1999; Nogueira et al., 2005), não havendo registro desse tipo de análise para os reservatórios da bacia do São Francisco.

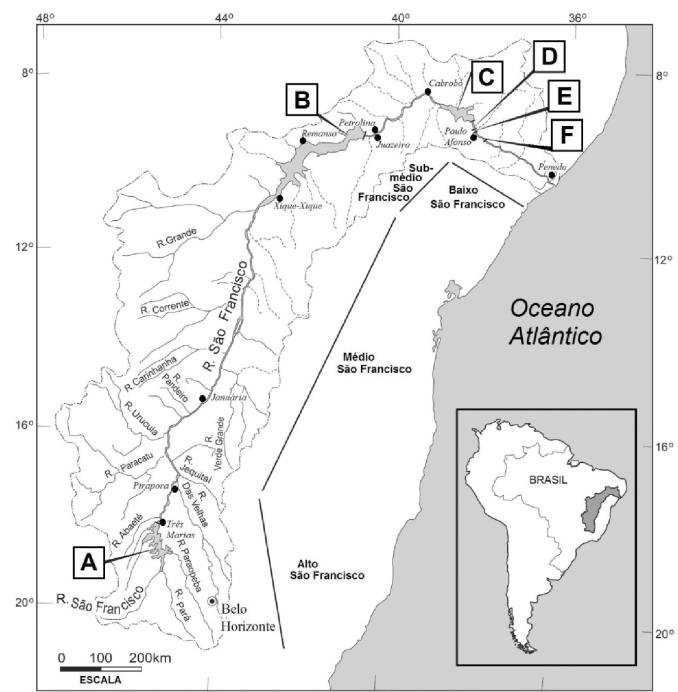
Reservatórios localizados em regiões áridas e semiáridas são sujeitos a um marcante deplecionamento sazonal de seu nível (Arfi, 2003; Naselli-Flores, 2003; Naselli-Flores & Barone, 2005), nos quais a regulação das vazões controla o fluxo de nutrientes e a produtividade de cada reservatório (Poff & Zimmerman, 2010). Neste contexto, o presente trabalho pretende responder a duas questões: 1) a distribuição espacial dos reservatórios em cascata do rio São Francisco e 2) as modificações nas vazões na escala temporal, influenciam no estado trófico da água do sistema?

## Material e Métodos

## Área de estudo

A bacia hidrográfica do São Francisco (Figura 1), a mais extensa do semiárido brasileiro, abrange 639.219 km<sup>2</sup> de área de drenagem (7,5% da superfície do Brasil) e seu rio principal possui uma vazão média de 2.850 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup> (2% do total do país). O rio São Francisco tem 2.700 km de extensão e nasce na Serra da Canastra, em Minas Gerais, escoando no sentido sul-norte pelos estados de Bahia e Pernambuco, quando altera seu curso para leste, chegando ao Oceano Atlântico através da divisa entre Alagoas e Sergipe (CBHSF, 2009).

Suas principais usinas hidrelétricas, em área alagada ou potência instalada, se encontram na calha principal do rio. Apenas Três Marias está situada na porção superior da bacia, enquanto Sobradinho, Itaparica, Moxotó, Complexo de Paulo Afonso (PA) e Xingó se mantêm nas porções média e inferior (Figura 1). Em conjunto, elas têm capacidade de geração de 7.902 MW, tendo inundado uma área com cerca de 6.250 km<sup>2</sup>, em sua maioria representada por terras férteis (Godinho & Godinho, 2003; Callisto et al., 2005).

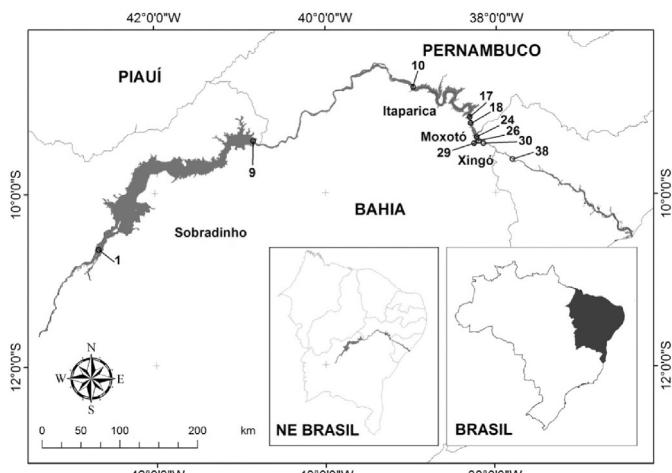


**Figura 1.** Bacia hidrográfica do rio São Francisco com suas subdivisões: alto, médio, submédio e baixo. Reservatórios: Três Marias (A), Sobradinho (B), Itaparica (C), Complexo de Paulo Afonso (D e E) e Xingó (F). Fonte: Sato & Godinho (2003) modificado.

## Análise das variáveis físicas, químicas, biológicas e hidrológicas

As coletas foram realizadas trimestralmente, entre dezembro de 2007 e setembro de 2008, em 38 estações amostrais no reservatório de Sobradinho (01 a 09), Itaparica (10 a 17), Complexo de Paulo Afonso (18 a 24 em Moxotó, 25 e 26 em Paulo Afonso-I, II, III e 27 a 29 em Paulo Afonso-IV) e Xingó (30 a 38), constantes da Figura 2.

A transparência da água (DS, m) foi estimada através da profundidade média de desaparecimento visual do disco



**Figura 2.** Mapa dos trechos médio inferior, submédio e baixo rio São Francisco, com a localização aproximada de estações de amostragem em cada reservatório. A sequência numérica das estações consta do texto

de Secchi. As demais variáveis limnológicas de superfície utilizadas no cálculo dos índices de estado trófico, foram fósforo solúvel reativo (FSR,  $\mu\text{g L}^{-1}$ ) e fósforo total (FT,  $\mu\text{g L}^{-1}$ ), determinadas segundo Strickland & Parsons (1960) e clorofila-a (CLO,  $\mu\text{g L}^{-1}$ ), segundo Nusch (1980) e recomendações de Wetzel & Likens (2000).

Dados de vazão afluente (VAFL) e defluente (VDFL) de cada reservatório foram cedidos pela Divisão de Meio Ambiente e Geração - DEMG da Companhia Hidro Elétrica do São Francisco - CHESF, responsável pela operação de todas as usinas.

### Índice de Estado Trófico

A avaliação do estado trófico dos reservatórios foi baseada nos valores dos Índices de Estado Trófico de Carlson (1977) modificados (IETM), propostos por Toledo-Junior et al. (1983), considerando-se os valores de DS, CLO, FT e FSR, assim como a ponderação resultante dos quatro índices, representada por IETM Médio. Os limites de classificação para os estados tróficos utilizados foram: Oligotrófico ( $\leq 44$ ), Mesotrófico ( $44 < \text{IETM} < 54$ ) e Eutrófico ( $\geq 54$ ) (Toledo-Júnior et al., 1983).

### Análise dos dados

Realizou-se a avaliação da normalidade (Teste de Kolmogorov-Smirnov e Lilliefors) e da homocedasticidade (Teste de Levene) para os dados utilizados. Para verificar possíveis diferenças significativas ( $p \leq 0,05$ ) entre reservatórios e meses de coleta, utilizou-se a análise não paramétrica de Kruskal-Wallis, complementada pelo Teste de Dunn.

Uma análise de correlação de Spearman foi realizada para eventuais colinearidades entre as vazões (afluente e defluente) e os índices de estado trófico utilizando-se o aplicativo Statistica 8.0 (Statsoft, 2008).

## Resultados

### Variação espacial

A vazão afluente apresentou aumento ao longo da cascata de Sobradinho (valor mediano de  $1416 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ) a Xingó (1618

$\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$ ), com valores menores e semelhantes em PA-I, II, III e PA-IV (Figura 3A) e diferenças significativas entre esses dois reservatórios intermediários e os dois extremos da cascata ( $p < 0,0001$ ). A vazão defluente apresentou variação espacial semelhante à vazão afluente, tendo diferido entre os reservatórios ( $p < 0,0001$ ), com valores significativamente menores em Moxotó e PA-I,II,III (Figura 3A). Esta diferença decorre do fato do reservatório de Moxotó estar associado aos reservatórios de PA-I, II, III e PA-IV, formando o Complexo Hidrelétrico de Paulo Afonso. A afluência de Moxotó depende da defluência de Itaparica, sendo a mesma repartida entre PA-I, II, III e PA-IV. A maior defluência da cascata ( $1734 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ) foi registrada em Xingó e a menor em PA-I,II,III ( $540 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ).

Dentre as variáveis utilizadas para o cálculo do IETM, a transparência apresentou maior diferença entre os reservatórios avaliados ( $p < 0,0001$ ), com aumento ao longo da cascata (Figura 3B). Sobradinho apresentou os menores valores (0,7 m) e diferiu de Xingó, com os mais elevados (3,0 m). Os demais reservatórios apresentaram valores intermediários e semelhantes entre eles.

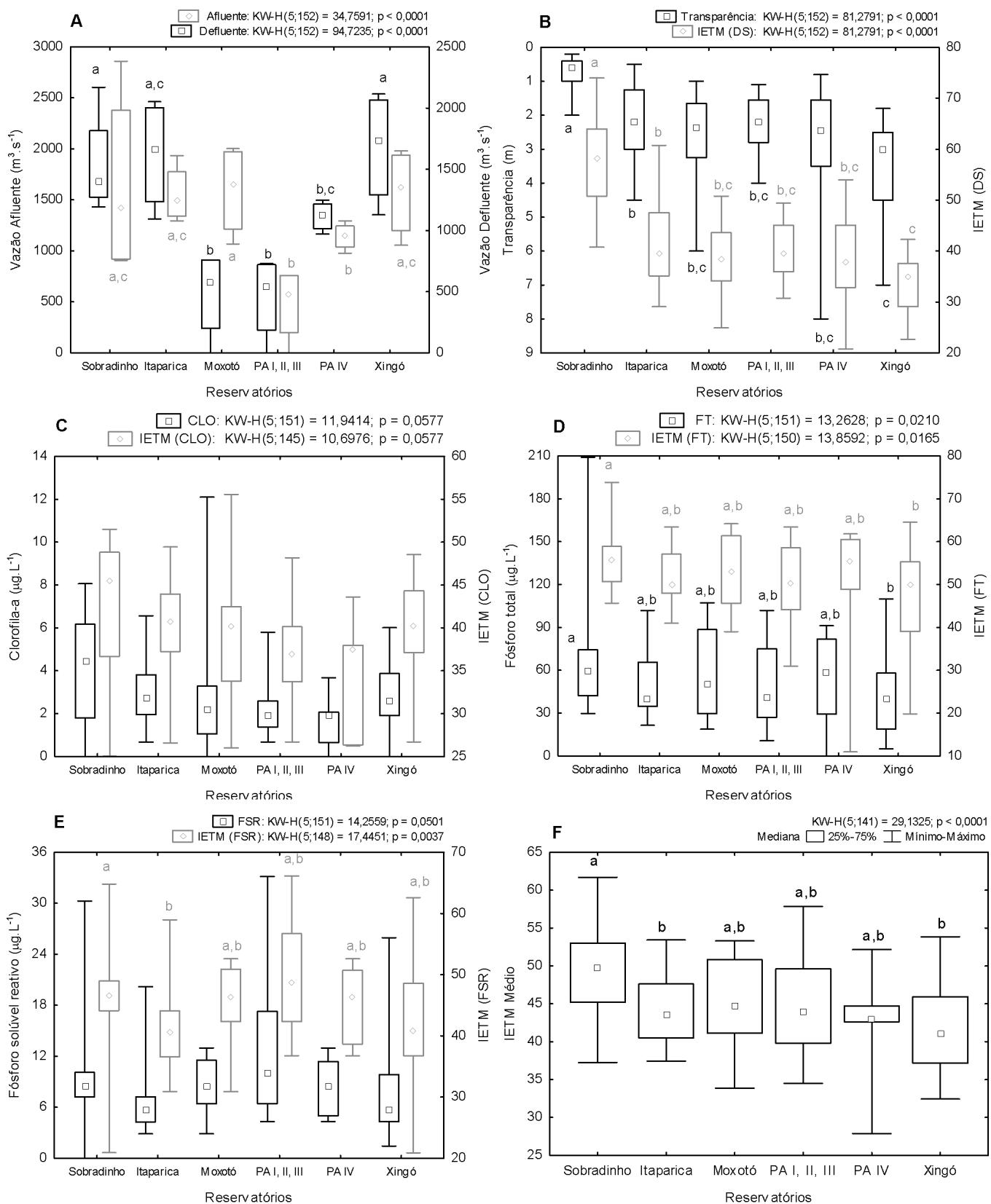
A concentração de clorofila-a apresentou diminuição ao longo da cascata (Figura 3C), embora não diferindo entre os reservatórios ( $p = 0,0577$ ). A despeito de um pico isolado em Moxotó ( $12,1 \mu\text{g L}^{-1}$ ) e ligeira elevação em Xingó, as maiores concentrações foram registradas em Sobradinho e as menores em PA-I, II, III e PA-IV (respectivamente 1,9 e  $2,0 \mu\text{g L}^{-1}$ ).

O fósforo total apresentou tendência de queda nas concentrações, ao longo dos reservatórios ( $p = 0,0210$ ), tendo Sobradinho ( $59,5 \mu\text{g L}^{-1}$ ) e Xingó ( $40,2 \mu\text{g L}^{-1}$ ) apresentado a maior diferença na cascata (Figura 3D). A redução de fósforo total entre os reservatórios extremos da cascata foi modificada por uma elevação em Moxotó e PA-IV ( $52,0$  e  $57,6 \mu\text{g L}^{-1}$ , respectivamente), cujos valores não diferiram entre si e daqueles registrados em Itaparica e PA-I, II, III.

A concentração de fósforo solúvel reativo apresentou uma variação semelhante àquela de fósforo total (Figura 3E), não tendo diferido entre os reservatórios ( $p = 0,0501$ ), com valores medianos mais elevados em Sobradinho, Moxotó, PA-IV e PA-I,II,III e menores em Itaparica e Xingó. As maiores amplitudes de variação foram registradas em Sobradinho e PA-I, II, III ( $29 \mu\text{g L}^{-1}$ ). A região do Complexo de Paulo Afonso apresentou uma elevação nas concentrações de fósforo solúvel reativo alterando o comportamento de decréscimo ao longo da cascata, até o reservatório de Xingó ( $6 \mu\text{g L}^{-1}$ ).

No tocante à avaliação do estado trófico, o reservatório de Sobradinho foi enquadrado como eutrófico para transparência e fósforo total (58 e 56, respectivamente) e mesotrófico para clorofila-a, fósforo solúvel reativo e IET Médio, com valores respectivos de 46, 47 e 50 (Figuras 3B-E). Os demais reservatórios se apresentaram oligotróficos e mesotróficos, com exceção de PA-IV considerado eutrófico (55) para fósforo total (Figura 3D).

O IETM (DS) mostrou uma diminuição ao longo da cascata no sentido Sobradinho-Xingó ( $p < 0,0001$ , Figura 3B), sendo o trecho entre Itaparica e Xingó classificado como oligotrófico. Para o IETM (CLO), observou-se a menor variação das medianas entre os índices utilizados e reservatórios avaliados ( $p = 0,0577$ ), variando de 37 (PA-I,II,III) a 46 (Sobradinho).



**Figura 3.** Amplitudes de variação e valores medianos entre reservatórios para vazão afluente e defluente (A), transparência e IETM (DS) (B), clorofila-a e IETM (CLO) (C), fósforo total e IETM (FT) (D), fósforo solúvel reativo e IETM (FSR) (E) e IETM médio (F) na cascata de reservatórios do médio, submédio e baixo rio São Francisco. Letras diferentes entre medianas indicam diferença significativa entre reservatórios ( $p \leq 0,05$ )

Assim como para IETM (DS), houve uma diminuição do IETM (CLO) a partir de PA-I, II, III, com elevação em PA-IV (38) e Xingó (40) (Figura 3C).

O IETM (FT) apresentou os maiores valores medianos (entre mesotróficos e eutróficos), tendo os reservatórios de Sobradinho e Xingó diferido entre si ( $p=0,0165$ ) e se

assemelhado aos demais (Figura 3D). Os maiores valores medianos foram registrados em Sobradinho (56), seguidos por PA-IV (55) e Moxotó (54), com os menores ocorrendo em Itaparica, PA-I, II, III e Xingó (50).

Sobradinho e Itaparica se mostraram diferentes entre si e semelhantes aos outros reservatórios para IETM (FSR) ( $p=0,0037$ , Figura 3E). Este índice teve comportamento diferente dos demais, com diminuição dos valores de Sobradinho (47) a Itaparica (40), elevação de Itaparica para PA-I,II,III (49) e posterior queda em PA-IV (46) e Xingó (41). Ainda diferindo dos demais índices, o IETM (FSR) mostrou, no reservatório de PA-I,II,III, os maiores valor (66), mediana (49) e amplitude (29), características registradas para outros índices no reservatório de Sobradinho.

Na avaliação do IETM Médio, os reservatórios diferiram entre si ( $p<0,0001$ , Figura 3F), sendo Sobradinho (50) e Moxotó (45) mesotróficos e Itaparica (44), PA-I,II,III (44), PA-IV (43) e Xingó (41) oligotróficos. Houve uma redução no IETM médio entre Sobradinho e Xingó e uma separação particular entre os reservatórios, com Sobradinho diferindo dos demais, por sua condição trófica mais elevada. Ainda Itaparica e Xingó não diferiram entre si, tendo Moxotó, PA-I,

II, III e PA-IV apresentado valores semelhantes entre eles. Os reservatórios foram agrupados em três grupos tróficos distintos ao longo da cascata: Sobradinho (meso-eutrófico), Itaparica-Xingó (oligotrófico) e Complexo de Paulo Afonso (meso-oligotrófico).

### Variação sazonal

Na escala temporal a vazão afluente apresentou diferença estatística entre meses para todos os reservatórios, exceto PA-I,II,III ( $p = 0,0719$ ) (Tabela 1). Dentre os reservatórios estudados Sobradinho esteve sujeito à maior variação da vazão afluente, com amplitude de  $1953 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  (diferença março/08-junho/08) e os maiores valores registrados em dezembro/07 ( $1902 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ) e março/2008 ( $2859 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ). Nos demais reservatórios da cascata os meses de maior afluência foram dezembro/07 e setembro/08. O reservatório de PA-I, II, III apresentou as menores afluências do período estudado, com 1,1 e  $397 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , respectivamente em março e junho de 2008.

A vazão defluente também diferiu entre os meses em cada reservatório, exceto em PA-I,II,III ( $p=0,0719$ ). Seus maiores valores na escala temporal foram registrados em Sobradinho ( $2170 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  - setembro/2008) e Xingó ( $2115 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  - dezembro/2007).

**Tabela 1.** Valores medianos para as variáveis utilizadas entre meses de amostragem na cascata de reservatórios do rio São Francisco. Vazão afluente (VAFL); Vazão defluente (VDFL); Fósforo solúvel reativo (FSR); Fósforo total (FT); Clorofila-a (CLO); Transparência (DS). Letras diferentes entre medianas indicam diferença significativa entre meses ( $p\le0,05$ )

Variáveis	Reservatórios	Meses				p
		dezembro/07	março/08	julho/08	setembro/08	
VAFL	Sobradinho	1902 <sup>a,c</sup>	2859 <sup>a</sup>	906 <sup>b</sup>	931 <sup>b,c</sup>	< 0,0001
	Itaparica	1616 <sup>b,c</sup>	1293 <sup>a</sup>	1384 <sup>a,c</sup>	1934 <sup>b</sup>	< 0,0001
	Moxotó	2002 <sup>a</sup>	1068 <sup>b</sup>	1361 <sup>b,c</sup>	1944 <sup>a,c</sup>	< 0,0001
	PA-I,II,III	758	1,1	397	758	0,0719
	PA-IV	1294 <sup>a</sup>	1092 <sup>a,b</sup>	978 <sup>b</sup>	1195 <sup>a,b</sup>	0,0117
	Xingó	1979 <sup>a</sup>	1055 <sup>b</sup>	1339 <sup>b,c</sup>	1897 <sup>a,c</sup>	< 0,0001
VDFL	Sobradinho	1352 <sup>a,b</sup>	1192 <sup>a</sup>	1460 <sup>b,c</sup>	2170 <sup>c</sup>	< 0,0001
	Itaparica	2052 <sup>a</sup>	1094 <sup>b</sup>	1375 <sup>b,c</sup>	1953 <sup>a,c</sup>	< 0,0001
	Moxotó	758 <sup>a</sup>	1,1 <sup>b</sup>	397 <sup>a,b</sup>	758 <sup>a</sup>	< 0,0001
	PA-I,II,III	730	0	367	712	0,0719
	PA-IV	1248 <sup>a</sup>	1055 <sup>a,b</sup>	972 <sup>b</sup>	1185 <sup>a,b</sup>	0,0117
	Xingó	2115 <sup>a</sup>	1128 <sup>b</sup>	1453 <sup>b,c</sup>	2016 <sup>a,c</sup>	< 0,0001
DS	Sobradinho	0,4 <sup>a</sup>	0,6 <sup>a,b</sup>	0,6 <sup>a,b</sup>	1,0 <sup>b</sup>	0,0496
	Itaparica	3,0 <sup>a</sup>	3,0 <sup>a</sup>	1,0 <sup>a,c</sup>	2,3 <sup>a,c</sup>	0,0014
	Moxotó	4,5 <sup>a</sup>	2,3 <sup>a,b</sup>	1,0 <sup>b</sup>	2,4 <sup>a,b</sup>	< 0,0001
	PA-I,II,III	3,3	2,5	1,1	2,2	0,1435
	PA-IV	6,5 <sup>a</sup>	2,5 <sup>a,b</sup>	1,1 <sup>b</sup>	2,4 <sup>a,b</sup>	0,0245
	Xingó	6,0 <sup>a</sup>	4,0 <sup>a,c</sup>	2,3 <sup>b</sup>	2,70 <sup>b,c</sup>	0,0001
CLO	Sobradinho	5,6 <sup>a,c</sup>	6,2 <sup>a</sup>	3,4 <sup>b,c</sup>	1,2 <sup>b</sup>	0,0001
	Itaparica	1,6 <sup>a</sup>	2,9 <sup>a,b</sup>	4,0 <sup>b</sup>	3,2 <sup>a,b</sup>	0,0022
	Moxotó	2,1	1,3	3,3	2,7	0,0555
	PA-I,II,III	1,6	2,6	3,6	1,3	0,3666
	PA-IV	2,0	0,6	3,3	1,9	0,5144
	Xingó	2,0	2,6	2,7	3,1	0,5946
FT	Sobradinho	64,4	67,0	41,6	54,5	0,0575
	Itaparica	37,5 <sup>b,c</sup>	72,4 <sup>a</sup>	64,4 <sup>a,c</sup>	34,7 <sup>b</sup>	0,0004
	Moxotó	29,5 <sup>a</sup>	48,3 <sup>a,b</sup>	96,5 <sup>b</sup>	52,0 <sup>a,b</sup>	0,0013
	PA-I,II,III	33,5	36,2	97,9	32,2	0,2615
	PA-IV	2,7 <sup>a</sup>	61,7 <sup>a,b</sup>	83,1 <sup>b</sup>	47,1 <sup>a,b</sup>	0,0216
	Xingó	18,8 <sup>a,c</sup>	50,9 <sup>a,c</sup>	61,7 <sup>b</sup>	27,3 <sup>a,c</sup>	0,0026
FSR	Sobradinho	7,2 <sup>a,b</sup>	10,1 <sup>a</sup>	4,3 <sup>b</sup>	8,4 <sup>a,b</sup>	0,0004
	Itaparica	4,3 <sup>a,b</sup>	4,3 <sup>a,b</sup>	10,8 <sup>a</sup>	4,9 <sup>b</sup>	0,0173
	Moxotó	5,8 <sup>a</sup>	10,1 <sup>a,c</sup>	13,0 <sup>b,c</sup>	7,0 <sup>a,c</sup>	0,0026
	PA-I,II,III	7,9	11,5	24,5	8,4	0,4180
	PA-IV	4,3 <sup>a</sup>	7,2 <sup>a,b</sup>	13,0 <sup>b</sup>	9,8 <sup>a,b</sup>	0,0227
	Xingó	5,8 <sup>a,b</sup>	4,3 <sup>a</sup>	13,0 <sup>b</sup>	7,0 <sup>a,b</sup>	0,0020

$s^{-1}$  - dezembro/2007), e os menores em Moxotó e PA-I, II, III (1 e 0  $m^3 s^{-1}$  respectivamente - ambos em março/2008). A vazão diferencial (VAFL-VDFL) caracterizou o período de dezembro/07 (550  $m^3 s^{-1}$ ) a março/08 (1667  $m^3 s^{-1}$ ) como de enchimento de Sobradinho e de junho/08 (-554  $m^3 s^{-1}$ ) a setembro/08 (-1239  $m^3 s^{-1}$ ) como de esvaziamento (Tabela 1).

Para Itaparica, os meses com maiores diferenças entre as vazões foram dezembro/07 e março/08, tendo a vazão defluente superado a afluente em 436 e 199  $m^3 s^{-1}$  respectivamente, enquanto nos demais meses as diferenças foram de 9  $m^3 s^{-1}$  (junho/08) e 19  $m^3 s^{-1}$  (setembro/08). PA-I, II, III e PA-IV apresentaram vazões semelhantes com valores de vazão diferencial inferiores a 50  $m^3 s^{-1}$  dentre os meses.

O reservatório de Moxotó apresentou vazão diferencial superior a 1000  $m^3 s^{-1}$  ao longo do ano, devido ao fato dessa vazão positiva ser liberada através de um canal que liga este reservatório ao de PA-IV.

A transparência apresentou uma variação sazonalmente inversa entre os reservatórios, com maiores valores em junho e setembro/2008 em Sobradinho e em dezembro/07 e março/08 no restante da cascata, diferindo entre os meses nos reservatórios, exceto em PA-I, II, III ( $p=0,1435$ ). Os maiores valores de transparência no período ocorreram em dezembro/2007, em PA-IV (6,5 m) e Xingó (6,0 m), enquanto os menores (1,0 m - Moxotó e 1,1 m - PA-I, II, III e PA-IV) ocorreram em junho/08, exceto em Sobradinho, cujo maior valor (0,4 m) foi registrado em dezembro/07 (Tabela 1).

A despeito da amplitude de variação da clorofila-a entre os reservatórios (0,6  $\mu\text{g L}^{-1}$  em PA-IV e 6,2  $\mu\text{g L}^{-1}$  em Sobradinho, em março/08), esta variável diferiu sazonalmente apenas em Sobradinho e Itaparica. Sobradinho diferiu dos demais reservatórios da cascata, com maiores concentrações nos meses de dezembro/07 (5,6  $\mu\text{g L}^{-1}$ ) e março/08 (6,2  $\mu\text{g L}^{-1}$ ), enquanto nos demais reservatórios foram registradas em junho e setembro/08.

Para fósforo total os maiores valores foram registrados em PA-I, II, III (98  $\mu\text{g L}^{-1}$ ) e Moxotó (96  $\mu\text{g L}^{-1}$ ). Em Sobradinho ocorreu variação sazonal mesmo sem diferir significativamente ( $p=0,0575$ ), com valores mais elevados em dezembro/07 (64  $\mu\text{g L}^{-1}$ ) e março/08 (67  $\mu\text{g L}^{-1}$ ), e menores em junho/08 (42  $\mu\text{g L}^{-1}$ ) e setembro/08 (54  $\mu\text{g L}^{-1}$ ). Os outros reservatórios do sistema apresentaram concentrações semelhantes entre si, com valores mais elevados em março/08 e junho/08, exceto Moxotó, com concentrações elevadas em março/08 (48  $\mu\text{g L}^{-1}$ ) e setembro/08 (52  $\mu\text{g L}^{-1}$ ) e pico em junho/08 (96  $\mu\text{g L}^{-1}$ , Tabela 1).

O fósforo solúvel reativo apresentou as maiores concentrações em junho/08, com máximo em PA-I, II, III (24  $\mu\text{g L}^{-1}$ ), seguido por PA-IV e Xingó (13  $\mu\text{g L}^{-1}$  - ambos). Os menores valores (4  $\mu\text{g L}^{-1}$ ) ocorreram em março/08 e dezembro/07, em Itaparica, PA-IV e Xingó, tendo todos os reservatórios apresentado diferença sazonal significativa para esta variável, exceto PA-I, II, III ( $p=0,4180$ ).

O IETM (DS) foi considerado eutrófico no reservatório de Sobradinho em dezembro/07 (64), março/08 e junho/08 (58 para ambos), sendo setembro/08 (51) classificado como mesotrófico. Os reservatórios compreendidos entre Itaparica (51) e Xingó (50) apresentaram valores enquadrados como mesotróficos apenas em junho/08, sendo oligotróficos nos demais meses, com valores entre 24 (dezembro/07 - PA-

IV) e 39 (setembro/08 - PA-I, II, III). Xingó foi classificado com oligotrófico ao longo dos meses, com valores de 25 (dezembro/07) a 39 (junho/08). No tocante ao IETM (CLO), ocorreram apenas três valores mesotróficos em Sobradinho, nos meses de dezembro/07 (48) e março/08 (49), e em Itaparica em junho/08 (44, Tabela 2).

O índice de estado trófico modificado do fósforo total mostrou variação de eutrófico (dezembro/07, março/08 e setembro/08) a mesotrófico (junho/08) para Sobradinho. Seus maiores valores ocorreram nos reservatórios do Complexo de Paulo Afonso em junho/08, sendo eutróficos em Moxotó (63), PA-I, II, III (63) e PA-IV (60). Para o reservatório de Xingó também ocorreu valor eutrófico (56) em junho/08.

O IETM (FSR) apresentou valores significativamente diferentes entre os meses para todos os reservatórios, exceto PA-I, II, III, em que foi registrado o maior valor (61 - junho/08 - eutrófico). Nos demais meses e reservatórios do sistema os valores foram mais estáveis, variando de oligotróficos a mesotróficos. Para Sobradinho, os maiores valores de IETM (FSR) ocorreram em março/08 e setembro/08 enquanto nos outros reservatórios esses foram verificados em março e junho/08.

O IETM Médio apresentou os maiores valores em dezembro/07 e março/08 em Sobradinho e em março/08 e junho/08 nos demais reservatórios, não tendo diferido apenas em PA-I, II, III ( $p=0,2440$ ) semelhante ao que foi observado para os demais índices nesse reservatório.

O reservatório de Sobradinho foi classificado como mesotrófico nos meses de dezembro/07, março/08 e setembro/08 e oligotrófico em junho/08, enquanto Itaparica, Complexo de Paulo Afonso e Xingó apresentaram suas maiores medianas neste mês. Esses reservatórios foram classificados como oligotróficos, principalmente Xingó, exceto para junho/08. Uma diferença sazonal no estado trófico ficou evidente ao longo da cascata mas ocorreu principalmente no primeiro reservatório do sistema (Sobradinho); nos demais, o efeito sazonal foi atenuado ou ocorreu apenas em junho/2008.

## Discussão

O regime hidrológico dos reservatórios da cascata do São Francisco apresentou uma sazonalidade marcante, com diferenciação espacial decorrente da operação de cada barramento no sistema. Sobradinho, primeiro reservatório do sistema e com maior variação nas vazões ao longo do ano, apresenta uma variação de nível, associada a eventos pluviométricos na região superior da bacia e à operação da usina, de modo que sua elevação não coincide com o período de maior precipitação na área de influência direta do reservatório (Rocha et al., 2011). Tal fato está diretamente relacionado às características do clima semiárido na região de Sobradinho uma vez que precipitações locais não são suficientes para provocar extensa variação do nível hidrológico do rio São Francisco nos trechos médio inferior e submédio (Luz et al., 2012).

Reservatórios destinados à regularização da vazão de rios geralmente apresentam elevada variação do nível hidrológico controlada pelo ciclo hidrológico do rio que os origina (Tundisi et al., 2008), conforme evidenciado em Sobradinho, em que as maiores afluências ocorreram em dezembro/2007 e

**Tabela 2.** Valores medianos para os índices de estado trófico estimados entre os meses de amostragem na cascata de reservatórios do rio São Francisco. Índice de Estado Trófico Modificado (IETM); transparéncia (DS); clorofila-a (CLO); fósforo total (FT) e fósforo solúvel reativo (FSR). Letras diferentes entre medianas indicam diferença significativa entre meses ( $p \leq 0,05$ )

Variáveis	Reservatórios	Meses				p
		dezembro/07	março/08	junho/08	setembro/08	
IETM (DS)	Sobradinho	64,0 <sup>a</sup>	58,1 <sup>a,b</sup>	58,1 <sup>a,b</sup>	50,8 <sup>b</sup>	0,0496
	Itaparica	35,1 <sup>a</sup>	35,1 <sup>a</sup>	50,8 <sup>b,c</sup>	38,8 <sup>a,c</sup>	0,0014
	Moxotó	29,1 <sup>a</sup>	38,8 <sup>a,b</sup>	50,8 <sup>b</sup>	38,1 <sup>a,b</sup>	< 0,0001
	PA-I,II,III	33,9	37,8	49,4	39,4	0,1435
	PA-IV	23,8 <sup>a</sup>	37,5 <sup>a,b</sup>	49,4 <sup>b</sup>	38,1 <sup>a,b</sup>	0,0245
	Xingó	24,9 <sup>a</sup>	30,8 <sup>a,c</sup>	38,8 <sup>b</sup>	36,4 <sup>b,c</sup>	0,0001
IETM (CLO)	Sobradinho	48,1 <sup>a,c</sup>	49,0 <sup>a</sup>	42,9 <sup>b,c</sup>	32,6 <sup>b</sup>	< 0,0001
	Itaparica	35,3 <sup>a</sup>	41,2 <sup>a</sup>	44,5 <sup>b,c</sup>	42,2 <sup>a,c</sup>	0,0022
	Moxotó	38,0	33,5	42,5	41,4	0,1048
	PA-I,II,III	35,2	40,1	41,0	31,9	0,3666
	PA-IV	37,6	26,2	43,0	37,0	0,0934
	Xingó	37,5	40,1	41,8	41,8	0,3986
IETM (FT)	Sobradinho	56,8	57,4	50,5	54,4	0,0575
	Itaparica	49,0 <sup>b,c</sup>	58,3 <sup>a</sup>	56,8 <sup>a,c</sup>	47,9 <sup>b</sup>	0,0004
	Moxotó	45,1 <sup>a</sup>	52,6 <sup>a,b</sup>	62,6 <sup>b</sup>	53,7 <sup>a,b</sup>	0,0013
	PA-I,II,III	42,9	47,6	62,8	46,8	0,2615
	PA-IV	26,0 <sup>a</sup>	56,2 <sup>b,b</sup>	60,5 <sup>b</sup>	52,3 <sup>a,b</sup>	0,0216
	Xingó	39,0 <sup>a,c</sup>	53,4 <sup>a,c</sup>	56,2 <sup>b</sup>	44,4 <sup>a,c</sup>	0,0026
IETM (FSR)	Sobradinho	44,1 <sup>a</sup>	49,0 <sup>b</sup>	44,1 <sup>a</sup>	46,4 <sup>a,b</sup>	0,0032
	Itaparica	36,8 <sup>a,b</sup>	36,8 <sup>a,b</sup>	49,9 <sup>a</sup>	38,5 <sup>b</sup>	0,0171
	Moxotó	40,9 <sup>a</sup>	49,0 <sup>b,c</sup>	52,6 <sup>b,c</sup>	43,8 <sup>a,c</sup>	0,0032
	PA-I,II,III	44,9	47,3	60,8	46,2	0,4180
	PA-IV	36,8 <sup>a</sup>	44,1 <sup>a,b</sup>	52,6 <sup>b</sup>	48,6 <sup>a,b</sup>	0,0227
	Xingó	40,9 <sup>a,b</sup>	36,8 <sup>a</sup>	52,6 <sup>b</sup>	43,8 <sup>a,b</sup>	0,0020
IETM Médio	Sobradinho	50,9 <sup>a</sup>	53,0 <sup>a</sup>	43,9 <sup>b</sup>	45,2 <sup>b</sup>	0,0002
	Itaparica	40,5 <sup>a</sup>	44,6 <sup>a,c</sup>	50,8 <sup>b,c</sup>	43,0 <sup>a</sup>	0,0002
	Moxotó	38,5 <sup>a</sup>	44,1 <sup>a,b</sup>	51,9 <sup>b</sup>	45,0 <sup>a,b</sup>	0,0002
	PA-I,II,III	40,0	44,0	54,1	41,3	0,2440
	PA-IV	32,6 <sup>a</sup>	43,2 <sup>b,b</sup>	51,9 <sup>b</sup>	42,9 <sup>a,b</sup>	0,0499
	Xingó	37,8 <sup>a</sup>	40,6 <sup>a</sup>	46,2 <sup>b</sup>	41,0 <sup>a</sup>	0,0002

março/2008. Sobradinho mantém uma vazão regularizada de  $2.060 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  nos períodos de estiagem permitindo a operação de todas as usinas a jusante (Costa et al., 2008). A manutenção desta vazão regular, a despeito da marcante sazonalidade da precipitação pluviométrica e do déficit hídrico na região, tal como outros usos consuntivos de água, sobretudo para irrigação agrícola, impõe uma ampla variação de nível da água do reservatório ao longo do ano.

Sobradinho está sujeito a um deplecionamento anual de seu nível cuja amplitude depende das condições hidrológicas do rio São Francisco, das variações meteorológicas na bacia de captação e do manejo de cota pela operação da Usina Hidrelétrica, podendo ultrapassar 12 m (Rocha et al., 2011). Com base nos dados das vazões (afluente e defluente), é possível classificar Sobradinho como armazenador de água do sistema. Reservatórios deste tipo usualmente têm moderada a grande capacidade de armazenamento, localização no trecho médio do rio e amplas áreas de inundação e variação de nível ao longo do ano (Kennedy, 1999; Nogueira et al., 2005).

Com base na vazão diferencial dos reservatórios, Itaparica, Moxotó, PA-I, II, III, PA-IV e Xingó podem ser classificados como reservatórios de fio d'água cuja flutuação de nível é determinada pela operação do sistema na barragem, assim como a equivalência entre as vazões afluente e defluente (Kennedy, 1999; Nogueira et al., 2005). As particularidades observadas em Itaparica, cujas vazões defluentes foram superiores às afluentes em dezembro/07, decorreram do seu deplecionamento programado para receber o aporte de água

acumulada em Sobradinho no mesmo período, que começou a ser liberada em março/08, para a manutenção da cascata. As vazões diferenciais de Xingó sempre foram negativas e próximas a  $100 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , pois o mesmo é responsável pela manutenção da vazão do trecho do rio a jusante da barragem (até a foz do São Francisco), carecendo manter uma vazão defluente mais acentuada ao longo do ano.

O complexo de Paulo Afonso teve suas vazões sempre próximas a zero. As vazões diferenciais positivas e elevadas que o reservatório de Moxotó apresentou, não configuraram acumulação de água. Por sua vez, a vazão diferencial para Moxotó é dada pela diferença entre sua afluência e defluência, por sua vez correspondente às afluências de PA-I, II, III e PA-IV. Ambos os reservatórios defluem diretamente no reservatório de Xingó, localizado no cânion do São Francisco.

Reservatórios em cascata apresentam diminuição de sólidos suspensos e nutrientes ao longo de sua sequência espacial, pois o reservatório a montante retém parte do sedimento e poluentes, melhorando a qualidade da água cascata abaixo (Straskraba, 1994; Barbosa et al., 1999; Tundisi et al., 1999). Nesse contexto, a classificação do estado trófico ao longo da cascata do São Francisco evidenciou que o reservatório de Sobradinho apresenta a condição trófica mais elevada (mesotrófico-eutrófico) dentre os demais da cascata e em todos os meses de estudo. Tal fato decorre do aporte da porção superior da bacia, que corresponde àquela mais densamente povoadas e com maior contribuição para a carga orgânica transportada pelo rio em toda a sua extensão, além da concentração de

sólidos suspensos carreados para este reservatório (Lima et al., 2001). Assim, a transparência e seu respectivo índice de estado trófico foram variáveis mais adequadas para a visualização dos efeitos da cascata de reservatórios, propostos por Straskraba (1990). Dentre eles, a gradativa retenção de sólidos ao longo dos reservatórios, a exemplo do observado no reservatório de Xingó, último barramento da cascata do São Francisco, que apresentou os menores valores de transparência e IETM (DS), além de características oligotróficas.

As modificações dos cursos naturais dos rios pela construção de barragens, resultam em grandes alterações no transporte de partículas em suspensão e substâncias dissolvidas, com retenção significativa de sedimentos e nutrientes numa cascata de reservatórios. A liberação e a retenção de nutrientes e substâncias tóxicas provenientes dos sedimentos dependem de processos internos e externos, regulados pelos regimes hidrológico e pluviométrico (Jorcin & Nogueira, 2005). Segundo Nogueira et al. (2005), a transparência da água mostrou ser uma variável apropriada para indicar a influência da exploração agrícola na cascata de reservatórios do rio Paranapanema. Para o São Francisco, seus valores evidenciaram a retenção de sólidos que ocorre ao longo do sistema, fato também observado por Barbosa et al. (1999) para a bacia do rio Tietê. A concentração de clorofila e seu respectivo índice trófico também evidenciaram uma tendência de oligotrofização ao longo do sistema, com diminuição de seus valores; porém os reservatórios do Complexo de Paulo Afonso sofrem influência das cidades em seu entorno, com despejo de resíduos domésticos, assim como das atividades de piscicultura em tanque-rede que ocorrem em Moxotó e do cultivo hiperintensivo em tanques de alta circulação de água nas margens de PA-I, II, III. Deste modo, a elevação dos valores de clorofila-a e IETM (CLO) no reservatório de Xingó pode estar associada ao aporte de nutrientes provenientes dos reservatórios a montante, ainda favorecida pelos maiores valores de transparência e sua elevada profundidade (acima de 100 m), que reduz a capacidade de ressuspensão e limita a ciclagem interna de nutrientes.

Em um sistema de cascata de reservatórios geralmente os maiores valores de nutrientes ocorrem no primeiro reservatório do sistema - Sobradinho, no caso do São Francisco -, o qual possui um trecho de 1.100 km livre de represas, até a barragem de Três Marias (Rocha et al., 2011). Os grandes reservatórios do início da cascata no rio Paranapanema (Jurumirim e Chavantes) exibiram tendência de aumento nas concentrações de nutrientes, associada ao processo de sedimentação de material particulado da coluna d'água em função do elevado tempo de retenção (Nogueira et al., 2005). No São Francisco, Sobradinho se caracterizou com um ambiente mesotrófico a eutrófico diferindo porém da tendência de reservatórios acumuladores de água apresentarem as condições tróficas mais elevadas numa cascata; os maiores valores medianos de IETM de fósforo solúvel reativo e fósforo total na bacia foram encontrados nos reservatórios intermediários (PA-I, II, III e PA-IV). Além das influências antrópicas locais já mencionadas, existe o incremento da carga de nutrientes oriundos de tributários.

A presença de tributários num sistema de reservatórios em cascata, aliada às características hidrológicas, geológicas e

antrópicas de cada sub-bacia, interfere no processo longitudinal característico desse tipo de sistema. Os reservatórios de Itaparica e Moxotó têm tributários intermitentes - rios Pajeú e Moxotó, respectivamente, que apresentam características limnológicas distintas das porções dos reservatórios nos quais desaguam, como maiores valores de condutividade elétrica, sólidos suspensos, turbidez e nutrientes (Fadurpe, 2011a, b), elevando, deste modo, o estado trófico da água nesses reservatórios intermediários do sistema do São Francisco.

Os reservatórios em cascata do rio São Francisco apresentam o comportamento teórico descrito por Straskraba (1990) e Barbosa et al. (1999), com diminuição de nutrientes e aumento da transparência, em virtude da retenção de sólidos. O reservatório de Sobradinho mostrou a condição trófica de armazeador do sistema (eutrófico - mesotrófico) e aqueles entre Itaparica e PA-IV estão sujeitos a modificações associadas diretamente à presença de tributários e cidades em seu entorno enquanto Xingó apresenta caráter predominantemente oligotrófico. Do ponto de vista sazonal, apenas Sobradinho apresentou diferença durante o período estudado enquanto os demais reservatórios apresentaram comportamento semelhante entre si e pequena variação do estado trófico entre os meses. Uma ligeira defasagem sazonal na elevação do estado trófico entre os reservatórios ao longo do sistema foi influenciada pela diferença na redução da vazão entre os meses em cada reservatório, de acordo com a demanda de geração de energia.

## Conclusões

A condição trófica dos reservatórios do São Francisco varia conforme a posição espacial de cada reservatório na cascata, com tendência de oligotrofização descendente no sistema, a despeito de influências locais no trecho intermediário. O sistema apresenta um padrão de variação sazonal do estado trófico na maioria dos reservatórios, dependente da afluência e defluência do reservatório de Sobradinho e da operação das diferentes usinas para a geração de energia.

## Literatura Citada

- Arfi, R. The effects of climate and hydrology on the trophic status of Sélingué Reservoir, Mali, West Africa. *Lakes & Reservoirs: Research and Management*, v.8, n.3-4, p.247-257, 2003. <<http://dx.doi.org/10.1111/j.1440-1770.2003.00223.x>>.
- Barbosa, F. A. R.; Padisák, J.; Espindola, E. L. G.; Borics, G.; Rocha, O. The cascading Reservoir Continuum Concept (CRCC) and its application to the river Tietê basin, São Paulo State, Brazil. In: Tundisi, J. G.; Straskraba, M. (Eds.). *Theoretical reservoir ecology and its applications*. São Carlos: International Institute of Ecology, Brazilian Academy of Sciences and Backhuys Publishers, 1999. p.425-437.
- Callisto, M.; Goulart, M.; Barbosa, F. A. R.; Rocha, O. Biodiversity assessment of benthic macroinvertebrates along a reservoir cascade in the lower São Francisco river (Northeastern Brazil). *Brazilian Journal of Biology*, v.65, n.2, p.229-240, 2005. <<http://dx.doi.org/10.1590/S1519-69842005000200006>>.

- Carlson, R. E. A trophic state index for lakes. *Limnology and Oceanography*, v.22, n.2, p.361-369, 1977. <<http://dx.doi.org/10.4319/lo.1977.22.2.0361>>.
- Comitê da Bacia Hidrográfica do São Francisco - CBHSF. A bacia hidrográfica do São Francisco. <<http://www.saofrancisco.cbh.gov.br>>. 17 Nov. 2009.
- Costa, B. D. F.; Pessoa, M. N. C.; Lima, A. E.; Prado, M. D. C.; Santos, T. C. P.; Antonello, M.M.B.; Antonello, A.; Severi, W. Influência do ciclo hidrológico do reservatório de Sobradinho sobre a carga de fósforo total. *Revista Brasileira de Engenharia de Pesca*, v.3, n.3, p.32-35, 2008. <<http://ppg.revistas.uema.br/index.php/REPESCA/article/viewFile/85/92>>. 28 Jul. 2013.
- Fundação Apolônio Salles de Desenvolvimento Educacional - Fadurpe. Inventário dos ecossistemas aquáticos do baixo São Francisco. Reservatório de Itaparica. Relatório Trianual - Dezembro/2007 a Novembro/2010. Recife: Fadurpe/CHESF, 2011a. 393p.
- Fundação Apolônio Salles de Desenvolvimento Educacional - Fadurpe. Inventário dos ecossistemas aquáticos do baixo São Francisco. Reservatórios do Complexo Hidrelétrico de Paulo Afonso (Moxotó, PA I, II, III e IV). Relatório Trianual - Dezembro/2007 a Novembro/2010. Recife: Fadurpe/CHESF, 2011b. 497p.
- Ferreira, R. A. R.; Santos, C. M.; Henry, R. Estudo qualitativo da comunidade perifítica no complexo Canoas (Rio Paranapanema, SP/PR) durante as fases de pré e pós-enchimento. In: Nogueira, M. G.; Henry, R.; Jorcín, A. (Orgs.). *Ecologia de reservatórios: impactos potenciais, ações de manejo e sistemas em cascata*. São Carlos: Rima, 2005. p.205-234.
- Godinho, A. L.; Godinho, H. P. Breve visão do rio São Francisco. In: Godinho, A. L.; Godinho, H. P. (Orgs.) *Águas, peixes e pescadores do São Francisco das Minas Gerais*. Belo Horizonte: PUC Minas, 2003. p.15-24.
- Jorcín, A.; Nogueira, M. G. Temporal and spatial patterns based on sediment and sediment-water interface characteristics along a cascade of reservoirs (Paranapanema River, south-east Brazil). *Lakes & Reservoirs: Research and Management*, v.10, n.1, p.1-12, 2005. <<http://dx.doi.org/10.1111/j.1440-1770.2005.00254.x>>.
- Kennedy, R. H. Reservoir design and operation: limnological implications and management opportunities. In: Tundisi, J. G.; Straškraba, M. (Eds.). *Theoretical reservoir ecology and its applications*. São Carlos: International Institute of Ecology; Brazilian Academy of Sciences & Backhuys Publishers, 1999. p.1-28.
- Lima, J. E. F. W.; Santos, P. M. C.; Chaves, A. G. M.; Scilewski, L. R. Diagnóstico do fluxo de sedimentos em suspensão na Bacia do Rio São Francisco. Planaltina: Embrapa Cerrados; Brasília: ANEEL, 2001. 108p.
- Luz, S. C.; Lima, H. C.; Severi, W. Composição da ictiofauna em ambientes marginais e tributários do médio-submédio rio São Francisco. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v.7, n.2, p.358-366, 2012. <<http://dx.doi.org/10.5039/agraria.v7i2a1436>>.
- Margalef, R. La superficie del planeta y la organización de la Biosfera: reacción a los nuevos mecanismos añadidos por el poder creciente de los humanos. *Munibe (Ciencias Naturales - Natur Zientziak)*, n.53, p.7-14, 2002. <<http://www.aranzadi-zientziak.org/fileadmin/docs/Munibe/2002007013CN.pdf>>. 28 Jul. 2013.
- Naselli-Flores, L. Man-made lakes in Mediterranean semi-arid climate: the strange case of Dr Deep Lake and Mr Shallow Lake. *Hydrobiologia*, v.506-509, n.1-3, p.13-21, 2003. <<http://dx.doi.org/10.1023/B:HYDR.0000008550.34409.06>>.
- Naselli-Flores, L.; Barone, R. Water-level fluctuations in Mediterranean reservoirs: setting a dewatering threshold as a management tool to improve water quality. *Hydrobiologia*, v.548, p.85-99, 2005. <<http://dx.doi.org/10.1007/s10750-005-1149-6>>.
- Nogueira, M. G.; Jorcín, A.; Vianna, N. C.; Britto, Y. C. T. Reservatórios em cascata e os efeitos na limnologia e organização das comunidades bióticas (Fitoplâncton, zooplâncton e zoobentos):um estudo de caso no Rio Paranapanema (SP/PR). In: Nogueira, M. G.; Henry, R.; Jorcín, A. (Orgs.). *Ecologia de reservatórios: impactos potenciais, ações de manejo e sistemas em cascata*. São Carlos: Rima, 2005. p.83-125.
- Nusch, E. A. Comparation of different methods for chlorophyll and phaeopigment determination. *Archiv für Hydrobiologie - Beiheft Ergebnisse der Limnologie*, v.14, n.1, p.14-36, 1980.
- Poff, N. L.; Zimmerman, J. K. H. Ecological responses to altered flow regimes: a literature review to inform the science and management of environmental flows. *Freshwater Biology*, v.55, n.1, p.194-205, 2010. <<http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2427.2009.02272.x>>.
- Rocha, A. A. F.; Santos, N. C. L.; Pinto, G. A.; Medeiros, T. N.; Severi, W. Diet composition and food overlap of *Acestrorhynchusbritskii* and *A. lacustris* (Characiformes: Acestrorhynchidae) from Sobradinho reservoir, São Francisco river, Bahia State. *Acta Scientiarum Biological Sciences*, v.33, n.4, p.407-415, 2011. <<http://dx.doi.org/10.4025/actascibiolsci.v33i4.7240>>.
- Sato, Y.; Godinho, H. P. Migratory Fishes of the São Francisco river. In: Carolsfeld, J.; Harvey, B.; Ross, C.; Baer, A. (Eds.). *Migratory Fishes of South America: Biology, Fisheries and Conservation Status*. Victoria: The World Bank, International Development Research Centre, 2003. p.195-232.
- Statsoft. *Statistica* (data analysis software system), version 8. Tulsa: Statsoft. 2008.
- Stednick, J. D.; Hall, E. B. Applicability of trophic status indicators to Colorado plains reservoirs. Colorado: Colorado State University, 2003. 104p. (Completion Report, 195).
- Straskraba, M. Limnological particularities of multiple reservoir series. *Archiv für Hydrobiologie - Beiheft Ergebnisse der Limnologie*, v.33, p.677-678, 1990.
- Straskraba, M. Vltava cascade as teaching grounds for reservoir limnology. *Water Science and Technology*, v.30, n.10, p.289-297, 1994. <<http://www.iwaponline.com/wst/03010/wst030100289.htm>>. 10 Jul. 2013.

- Strickland, J. D.; Parsons, T. R. A manual of seawater analysis. Ottawa: Fisheries Research Board of Canada, 1960. 185p. (Bulletin of the Fisheries Research Board of Canada, 125). <<http://www.dfo-mpo.gc.ca/Library/10025.pdf>>. 15 Jul. 2013.
- Toledo-Júnior, A. P.; Talarico, M.; Chinez, S. J.; Agudo, E. G. A aplicação de modelos simplificados para a avaliação do processo de eutrofização em lagos e reservatórios tropicais. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária, 12., 1983, Camboriú. Anais... Camboriú: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária, 1983. <<http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/saneab/brasil/iv-022.pdf>>. 10 Jul. 2013.
- Tundisi, J. G.; Matsumura-Tundisi, T.; Abe, D. S. The ecological dynamics of Barra Bonita (Tietê River, SP, Brazil) reservoir: implications for its biodiversity. *Brazilian Journal of Biology*, v.68, n.4, p.1078-1098, 2008. <<http://dx.doi.org/10.1590/S1519-69842008000500015>>.
- Tundisi, J. G.; Matsumura-Tundisi, T.; Rocha, O. Limnologia de águas interiores. Impactos, conservação e recuperação de ecossistemas aquáticos. In: Rebouças, A. C.; Tundisi, J. G. (Eds.). Águas Doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação. São Paulo: Escrituras Editora, 1999. p.195-223.
- Wetzel, R. G., Likens, G. E. Limnological analyses. New York: Springer-Verlag, 2000. 429p.