



## Impactos da construção da usina hidrelétrica de Sobradinho no regime de vazões no Baixo São Francisco

**Dhiego de M. F. Martins<sup>1</sup>, Rogério M. Chagas<sup>2</sup>,  
José de O. Melo Neto<sup>3</sup> & Arisvaldo V. Mélo Júnior<sup>4</sup>**

### RESUMO

A regularização das vazões no baixo Rio São Francisco é atribuída às barragens construídas ao longo do seu curso. Neste artigo é avaliada a magnitude das alterações no regime de vazões do rio, provocadas pela construção do reservatório de Sobradinho utilizando-se curvas de permanência de cotas e vazões como ferramenta de análise. O trecho estudado tem extensão de 197 km, desde a estação de Piranhas, AL, até a foz do rio no Oceano Atlântico. Foram utilizadas séries históricas de cotas e vazões de quatro estações fluviométricas que tiveram suas curvas-chave corrigidas com referência de nível IBGE. A construção de sobradinho causou uma redução percentual média de 6 a 12% nas cotas maiores ( $C_5$ ) e uma elevação de 20 a 32% nas cotas menores ( $C_{95}$ ). Houve redução de 9% na vazão máxima ( $Q_5$ ) e aumento de 27% na vazão mínima ( $Q_{95}$ ). As vazões  $Q_5$  e  $Q_{95}$  foram de 5.652 e de 1.231 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup> na estação de Pão de Açúcar para o período após Sobradinho. Os resultados mostram que a regularização do regime de vazões após a construção de Sobradinho minimizou os efeitos das grandes cheias nas regiões à jusante mas também vêm afetando negativamente atividades tradicionais das populações ribeirinhas, como a pesca, navegação e agricultura.

**Palavras-chave:** Curva de permanência, regularização de vazões, barragem

## Impacts of construction of hydroelectric plant of Sobradinho in the flow on lower São Francisco river

### ABSTRACT

The regularization of flow on low São Francisco River is related with the dams built in its course. This paper evaluates the magnitude of flow changes caused by building of Sobradinho reservoir. It was used permanence curves to level and discharge as tool of analysis. The distance studied was 197 km from the gage station Piranhas, AL, to the mouth of the river in the Atlantic Ocean. It was used series of level and discharge of four stations wherein rating curves were corrected through Reference Levels of the IBGE. The building of Sobradinho caused a decrease percentual average of 6 to 12% in the greatest water levels ( $C_5$ ) and an increase of 20 to 32% in the smallest water levels ( $C_{95}$ ). There was a decrease of 9% in the maximum discharge ( $Q_5$ ) and an increase of 27% in the minimum discharge ( $Q_{95}$ ). The discharges  $Q_5$  and  $Q_{95}$  were respectively 5,652 and 1,231 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup> at Pão de Açúcar station for the period after Sobradinho. The results show that the regularization of the flow regime after the building of Sobradinho minimized the effects of greatest floods in the downstream areas, but the traditional activities of the riverine populations such as fishing, navigation and agriculture has been gradually affected.

**Key words:** Permanence curves, regularization of flow, dam

<sup>1</sup> Eng. Agrônomo, Rua Urquiza Leal 461, Sala 09, Salgado Filho, CEP 49020-490, Aracaju, SE. Fone: (79) 9975-6039. E-mail: dh\_001@hotmail.com

<sup>2</sup> MSc em Agroecossistemas, (LANS/UFES), Rua Urquiza Leal 461, Sala 09, Salgado Filho, CEP 49020-490, Aracaju, SE. Fone: (79) 3221-5227. E-mail: rmoreirachagas@yahoo.com.br

<sup>3</sup> Graduando em Eng. Florestal, Laboratório de Análise de Sistemas de Recursos Hídricos e Meio Ambiente (LANS/UFES), Rua Urquiza Leal 461, Sala 09, Salgado Filho, CEP 49020-490, Aracaju, SE. Fone: (79) 8808-9065. E-mail: joseneto\_86@yahoo.com.br

<sup>4</sup> Poli/USP, Av. Prof. Almeida Prado, 83, Travessa 2, CEP 05508-900, São Paulo, SP. Fone: (11) 3091-5549, E-mail: arimellojr@gmail.com

## INTRODUÇÃO

Os processos hidrológicos que determinam as vazões dos rios são estocásticos no tempo e no espaço. Assim, a disponibilidade hídrica em um trecho de rio será sempre uma estimativa de vazão associada a determinado risco de falha (Asfora & Cirilo, 2009).

Com relação à utilização da água, os conflitos existentes estão relacionados principalmente com a multiplicidade dos usos e no aumento da demanda. A situação é mais grave nos grandes centros urbanos e nas regiões com déficit hídrico, onde a escassez de água está relacionada a condicionantes naturais e antrópicos: contaminação, desperdício, aumento de demanda e redução do potencial natural de fornecimento. Em períodos de estiagem a situação se torna mais crítica e os conflitos se tornam mais notórios, em face da redução da oferta e do concomitante aumento de demanda (Collischonn et al., 2006; Garcia et al., 2007).

Peixoto & Mauad (2003) reforçam que em função de haver uma variabilidade temporal, espacial, quantitativa e qualitativa, tanto na demanda quanto na disponibilidade de água, há uma necessidade crescente em estudos que visem o uso sustentável dos recursos hídricos nas bacias hidrográficas.

A grande variabilidade das condições físicas e climáticas das bacias hidrográficas que, aliada à escassez de informações da rede hidrométrica torna a previsão de variáveis hidrológicas uma tarefa particularmente difícil de ser realizada, colocando em evidência os estudos de regionalização de vazões que, através de metodologias específicas, otimizam as informações fluviométricas existentes, extrapolando-as por semelhanças das dinâmicas ambientais para os locais que possuem dados insuficientes ou inexistentes (Tucci, 2002; Ribeiro et al., 2005; Lima et al., 2007).

Os métodos utilizados para caracterizar o regime hidrológico dos rios não analisam o aspecto ambiental; apenas presumem que a manutenção de um valor de referência calculado com base em alguma estatística da série histórica, possa acarretar benefício ao ecossistema. A principal vantagem desses métodos está na pequena quantidade de informações necessárias para sua aplicação, em geral apenas a série histórica de vazões (Collischonn et al., 2006).

Segundo Tucci (2002), o ajuste de uma função matemática a uma curva de permanência empírica permite uma sintetização maior de informações, facilitando os estudos sobre regionalização da mesma. Castellarin et al. (2004) e Castellarin et al. (2007) destacam a regionalização da curva de permanência como ferramenta operativa indispensável quando se trata de bacias hidrográficas sem registro de vazões ou com séries históricas de curto período de registro.

De acordo com Vogel & Fennessey (1994) tem-se utilizado curvas de permanência para análise de regimes de vazões como alternativa eficiente, aplicadas a uma variedade de problemas em recursos hídricos, por serem de fácil uso, explicar e entender e, como dispositivos gráficos, expressam uma riqueza de informações hidrológicas. Esta técnica visa principalmente ao estudo da disponibilidade e potencialidades hídricas em bacias hidrográficas como descrito nos trabalhos de Córdova (2000); Garcia et al. (2007); Santos & Silva (2007); Cruz & Tucci (2008) e Rianna et al. (2011).

A utilização de ferramentas que permitem a análise da disponibilidade hídrica ao longo do tempo em rios que apresentam modificações no regime de vazões em decorrência da intervenção antrópicas, como é caso do Rio São Francisco, torna-se essencial para a garantia de exploração duradoura do recurso.

As modificações mais significativas no regime de vazões do Rio São Francisco ocorreram mediante o início da operação dos complexos de Três Marias (1952) e Sobradinho (1979), localizados nos Estados de Minas Gerais e Bahia, que têm as funções de geração de energia e controle de cheias. Atualmente, o regime de vazões determinado pela regularização do rio para fins de geração de energia, constitui fonte potencial de conflito entre abastecimento público, irrigação e vazão ambiental.

Os problemas na região do Baixo São Francisco, entre Sergipe e Alagoas, em virtude das diversas intervenções feitas ao longo do curso do rio, têm causado modificações, tais como: diminuição do volume de água no canal principal, interrupção do ciclo natural das cheias nas lagoas marginais que atuam como berçário natural de várias espécies de peixes, erosão das margens, perda de áreas agricultáveis, rompimento de diques de contenção e comprometimento dos processos de captação e drenagem dos perímetros de irrigação (Casado et al., 2002; Holanda et al., 2005; Holanda et al., 2008).

Syvitski et al. (2005), Song et al. (2007), Stevaux et al. (2008) e Zahar et al. (2008) destacam que os impactos da construção de barragens em um rio provocam alterações na quantidade e qualidade da água, assim como na sazonalidade dos eventos de cheia. Os efeitos diretos à jusante dos reservatórios são: redução do número de espécies de peixes e invertebrados, redução dos níveis de deposição de sedimentos e nutrientes na planície de inundação, impedimentos à navegação, alterações nos processos biofísicos dos estuários, redução da recarga subterrânea e comprometimento da disponibilidade hídrica para os múltiplos usos.

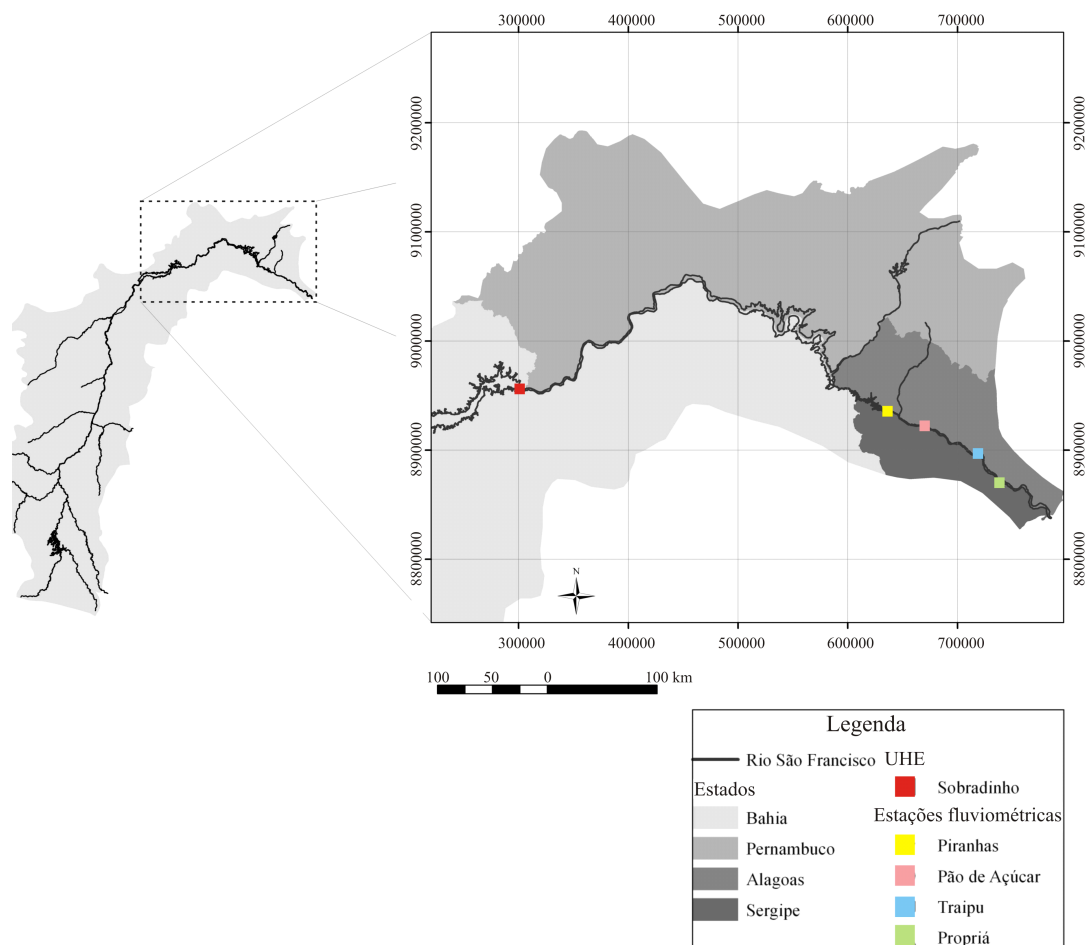
Este trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar as alterações no regime de vazões do baixo curso do Rio São Francisco, provocadas pela construção do reservatório de Sobradinho, utilizando-se curvas de permanência de cotas e vazões, como ferramenta de análise.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Caracterização da área de estudo

A região do Baixo São Francisco ocupa uma área de 32.013 km<sup>2</sup>, o rio apresenta uma extensão de 247 km e abrange área de quatro estados: Bahia, Pernambuco, Sergipe e Alagoas. Na Figura 1 estão em destaque a UHE de Sobradinho e o trecho do rio estudado, desde a estação de Piranhas, AL, até a foz no Oceano Atlântico, com 197 km de extensão.

De acordo com a classificação climática de Köppen-Geiger, os tipos climáticos predominantes na região do Baixo São Francisco, no trecho entre Piranhas, AL, e a foz, são: semiárido quente (BSh), de Piranhas, AL, a Traipu, AL, com temperatura média anual de 26 °C, precipitação média anual de aproximadamente 600 mm e período chuvoso de março a agosto e o tropical semiúmido (As), de Propriá, SE, à foz, com



**Figura 1.** Bacia do Rio São Francisco, destaque para trecho estudado (ANA, 2008)

**Tabela 1.** Características das barragens localizadas no Rio São Francisco (Lerner, 2006; ANA, 2009)

Complexo	Inauguração	Região fisiográfica	Potência instalada (MW)	Volume reservatório (m <sup>3</sup> )	
				Total	Útil
Três Marias	1952	Alto	396	19 bilhões	15 bilhões
Sobradinho	1979	Médio	1050	34 bilhões	28 bilhões
Luiz Gonzaga	1988	Sub-Médio	1500	10 bilhões	3 bilhões
Moxotó	1977	Sub-Médio	400	1,2 bilhões	180 milhões
Paulo Afonso I	1954	Sub-Médio	180	26 milhões	9,8 milhões
Paulo Afonso II	1961	Sub-Médio	445		
Paulo Afonso III	1971	Sub-Médio	864		
Paulo Afonso IV	1979	Sub-Médio	2460	127,5 milhões	29,5 milhões
Xingó	1994	Baixo	3000	3,8 bilhões	41 milhões

temperatura média anual de 26 °C, precipitação média anual de aproximadamente 1200 mm e período chuvoso de março a agosto (SEPLANTEC, 2000).

O regime de vazões no trecho está regularizado pela operação de vários complexos hidrelétricos instalados em série, ao longo do seu curso, conforme se observa na Tabela 1. O complexo de Sobradinho está posicionado a 748 km da foz; é o quarto colocado em potência instalada e o primeiro no quesito capacidade de acúmulo de água.

#### Métodos

No baixo curso do Rio São Francisco, no trecho compreendido entre os municípios de Piranhas, no Estado de Alagoas, e Brejo Grande, no Estado de Sergipe, a Agência

Nacional de Águas (ANA) possui seis estações fluviométricas em operação, Dentre as quais apenas quatro possuem curva-chave, sendo que não estão amarradas à referência de nível (RN) padronizada e servem apenas para determinar a vazão em função da cota medida em cada estação.

Foram utilizadas séries históricas de vazões e cotas de quatro estações fluviométricas da ANA instaladas no Baixo São Francisco, conforme Tabela 2. Realizou-se um nivelamento geométrico para as quatro estações fluviométricas a fim de ajustar os níveis mensurados nos postos arbitrariamente com níveis padronizados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

Para verificar a consistência e a correlação dos níveis arbitrados com os níveis padronizados e os valores de vazão,

**Tabela 2.** Localização das estações fluviométricas e das referências de nível no Baixo São Francisco

Estação	Código	Localização	Coordenadas* (UTM)	RN IBGE	Coordenadas RN* (UTM)	Período analisado (Mês/Ano)
Piranhas	49330000	Piranhas, AL	(N) 8935760 (E) 636623	2523H	(N) 8935670 (E) 636468	01/1979 – 10/2007
Pão de Açúcar	49370000	Pão de Açúcar, AL	(N) 8921826 (E) 670355	362F	(N) 8922019 (E) 671940	02/1959 – 10/2007
Traipu	49660000	Traipu, AL	(N) 8897023 (E) 719014	2540D	(N) 8897885 (E) 719204	01/1977 – 10/2007
Própria	49705000	Própria, SE	(N) 8870132 (E) 738389	2541U	(N) 8870010 (E) 738206	01/1977 – 05/2007

\* N - norte; E - leste

foram empregadas curvas-chave por meio da utilização de equações matemáticas (Eq. 1). Pela definição de curva-chave, quando se considera unívoca e estável a relação entre cota e vazão, pode-se assumir o comportamento hidráulico do rio como escoamento uniforme, tendo como fundamento a equação de Manning. Esta simplificação é válida quando: a variação da linha d'água da enchente para a vazante for desprezível quando comparada com a precisão de método de medição de vazão; quando houver controle definido e se a seção for regular e estável durante o período considerado.

$$Q = a(H - H_0)^b \quad (1)$$

em que:

Q - vazão, m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>  
H - cota referente a uma vazão Q, m  
H<sub>0</sub> - cota quando a vazão é nula, m  
a e b - parâmetros adimensionais de ajuste para cada curva-chave

Os parâmetros das curvas-chave foram determinados utilizando-se um modelo de otimização não-linear cuja função objetivo foi minimizar a diferença quadrada das vazões observadas e as calculadas, considerando-se valores iniciais dos parâmetros a, b e H<sub>0</sub>, consideradas variáveis, conforme a Eq. 2. A variável H<sub>0</sub> é restrita a um valor menor ou igual ao valor mínimo do nível da água (H<sub>min</sub>) da série histórica dos dados utilizados, conforme Eq. 3. A ferramenta Solver do MS Excel foi utilizada para resolver o problema não linear.

$$\min \sum (Q_{cal} - Q_{obs})^2 \quad (2)$$

$$H_0 \leq H_{min} \quad (3)$$

em que:

Q<sub>cal</sub> - vazão calculada para o posto analisado  
Q<sub>obs</sub> - vazão observada no posto analisado

Com as séries históricas de cotas e vazões das estações já padronizadas, foram construídas as curvas de permanência segundo a metodologia empírica proposta por Tucci (2000), que consiste em estabelecer "n" intervalos de classe de vazões, de acordo com a magnitude das vazões e ordenados de forma decrescente para, em seguida, se obter as respectivas frequências, a partir da contagem do número de vazões da série contido em cada intervalo (Eq. 4).

$$P = \left( \frac{m}{N} \right) \times 100 \quad (4)$$

em que:

P - probabilidade de ocorrência do valor de cota ou vazão  
m - ordem de classificação do valor em relação à série histórica  
N - número total de valores da série

As curvas de probabilidade foram calculadas pelo aplicativo SisDCP (Melo Neto et al., 2009) utilizando-se valores diários de cota e vazão. Os valores de referência de probabilidade associados às cotas e às vazões foram de 5, 10, 20, 30%, 40, 50, 60, 70, 80, 90 e 95% de permanência. Ao final do processo foram avaliados os valores do regime de vazões e cota, antes e depois da operação do reservatório de Sobradinho.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

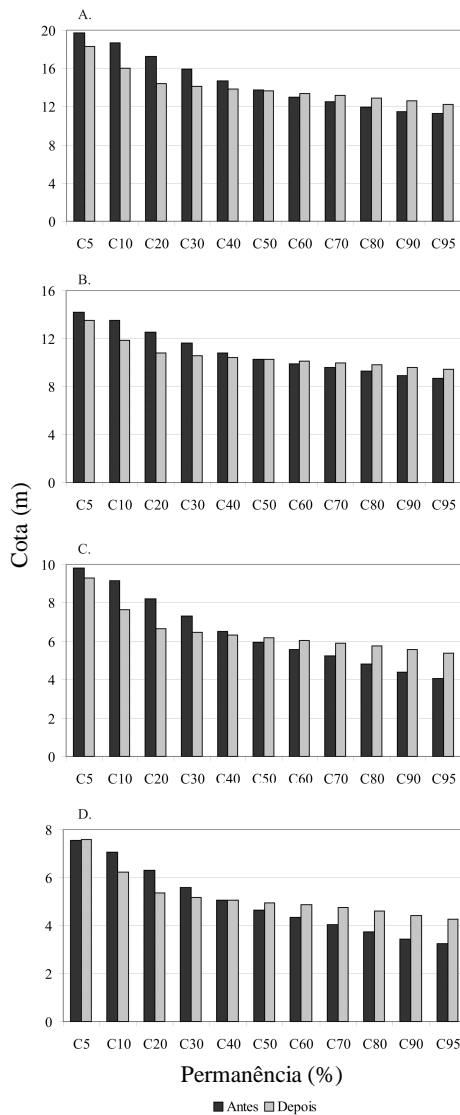
Na Tabela 3 se encontram os valores dos parâmetros das curvas-chave calculados para as quatro estações fluviométricas para níveis arbitrários e níveis amarrados às referências de nível IBGE. Pode-se observar que as vazões máximas e mínimas ficaram muito próximas nas duas condições de calibração (nível arbitrário e nível amarrado ao RN), com exceção da vazão máxima na estação de Traipu, em que o valor foi subestimado. Essa aproximação reflete a boa aproximação do cálculo da curva-chave relacionada aos níveis referenciados. A vantagem desta curva-chave é possibilitar estudos hidrodinâmicos no rio que permitam conhecer a evolução espacial e temporal da linha d'água ao longo do rio.

As cotas diminuem de montante (Piranhas) para jusante (Própria) mostrando coerência no nivelamento realizado. Os níveis máximos da água nas estações fornecem uma boa idéia da altitude alcançada pela enchente nas localidades próximas às estações fluviométricas e serviriam de subsídios para orientar a população e os gestores públicos no planejamento da ocupação das áreas da várzea. Os níveis mínimos também podem orientar a escolha da localização de captações por bombas e tomadas d'água por gravidade.

Na Figura 2 estão as curvas de permanência de cotas amarradas à RN IBGE, para os períodos anterior e posterior ao início da operação do complexo hidrelétrico de Sobradinho, para as estações de Piranhas (Figura 2A), Pão de Açúcar (Figura 2B), Traipu (Figura 2C) e Propriá (Figura 2D). As estações de

**Tabela 3.** Parâmetros das curvas-chaves calculados para as estações fluviométricas no Baixo São Francisco

Variável	Piranhas	Pão de Açúcar	Traipu	Propriá
Período de validade	22/12/2005 31/12/2006	13/7/2006 31/12/2006	13/5/2006 31/12/2006	29/10/2005 31/12/2006
Nível arbitrário				
A	87,0650	19,463	6111,724	35,1600
B	1,8220	2,494	0,164	2,5110
H <sub>0</sub>	-2,6420	-4,343	0,50	-3,1530
R <sup>2</sup> (Q <sub>cal</sub> x Q <sub>obs</sub> )	0,9998	1,0	0,6305	0,9997
H máximo (m)	10,20	10,20	9,30	7,80
H mínimo (m)	0,0	0,0	0,50	0,60
Q <sub>cal</sub> máxima (m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> )	9111,50	15450,40	8730,20	14343,80
Q <sub>cal</sub> mínima (m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> )	511,20	758,20	691,40	973,80
Nível amarrado a RN				
A	86,9180	24,524	184,4190	35,3490
B	1,8220	2,425	1,8010	2,5100
H <sub>0</sub>	8,4460	4,082	2,3310	-0,1040
R <sup>2</sup> (Q <sub>cal</sub> x Q <sub>obs</sub> )	0,9998	1,0	0,9999	0,9997
H RN máximo (m)	21,290	18,340	13,1070	10,8430
H RN mínimo (m)	11,090	8,140	4,3070	3,6430
Q <sub>cal</sub> máxima (m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> )	9112,10	15422,50	13344,40	14343,20
Q <sub>cal</sub> mínima (m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> )	511,30	732,40	628,60	973,30



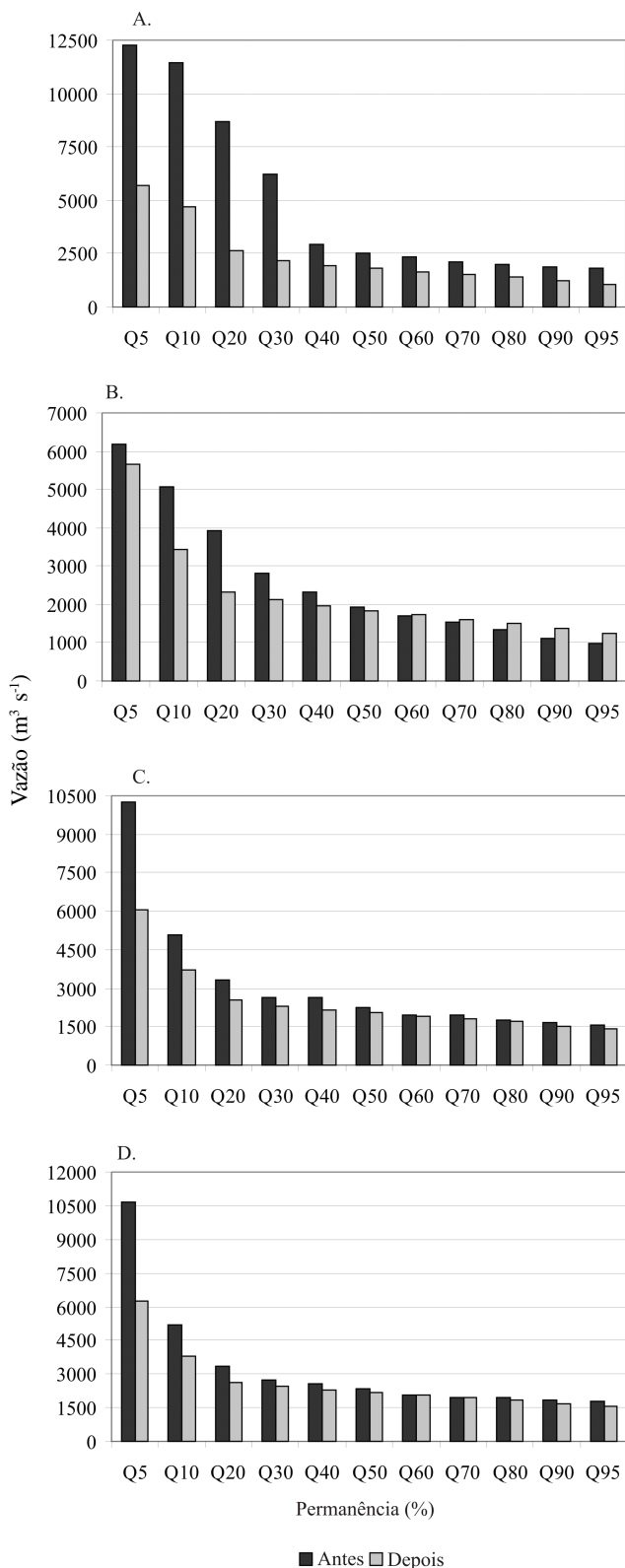
**Figura 2.** Permanência de cotas para as estações de Piranhas (A), Pão de Açúcar (B), Traipu (C) e Propriá (D)

Piranhas, Pão de Açúcar e Traipu apresentaram redução percentual média, nos valores de C<sub>5</sub>, C<sub>10</sub>, C<sub>20</sub>, C<sub>30</sub> e C<sub>40</sub>, de aproximadamente 6, 14, 16, 11 e 4%. Para as mesmas estações o percentual médio de elevação nos valores das cotas C<sub>60</sub>, C<sub>70</sub>, C<sub>80</sub>, C<sub>90</sub> e C<sub>95</sub> foi de aproximadamente 7, 10, 15, 18 e 20%, respectivamente.

Analisando os resultados para a estação de Propriá (Figura 2D) constatou-se, para as cotas C<sub>5</sub> e C<sub>40</sub>, que houve pequena elevação nos valores para o período posterior a Sobradinho; contudo, as cotas C<sub>10</sub>, C<sub>20</sub> e C<sub>30</sub> apresentaram comportamento semelhante ao das demais estações, com redução percentual média de aproximadamente 12, 15 e 7,5%; as cotas C<sub>60</sub>, C<sub>70</sub>, C<sub>80</sub>, C<sub>90</sub> e C<sub>95</sub> apresentaram percentual de elevação médio dos valores, de aproximadamente 12, 17, 24, 30 e 32%.

Na Figura 3 estão as curvas de permanência de vazões para os períodos anterior e posterior ao início da operação do complexo hidrelétrico de Sobradinho, para as estações de Piranhas (Figura 3A), Pão de Açúcar (Figura 3B), Traipu (Figura 3C) e Propriá (Figura 3D). Em um rio regularizado espera-se que as vazões máximas diminuam e as mínimas se elevem. Das quatro estações estudadas somente os valores de vazões da estação de Pão de Açúcar foram coerentes com este padrão. Houve redução dos valores de vazão entre 5% (Q<sub>5</sub>) e 50% (Q<sub>50</sub>) de probabilidade de ocorrência e elevação dos valores de vazão com probabilidade de ocorrência entre 60% (Q<sub>60</sub>) e 95% (Q<sub>95</sub>). As estações de Piranhas, Traipu e Propriá, apresentaram redução nos valores de vazões entre Q<sub>5</sub> e Q<sub>50</sub>, ficando evidente a incoerência no comportamento dos valores entre Q<sub>60</sub> e Q<sub>95</sub> que deveriam ter apresentado elevação e, no entanto, apresentam redução, conforme verificado nas Figuras 3A, 3C e 3D. Deferidos resultados podem estar associados às séries históricas muito curtas do período anterior à instalação do complexo de Sobradinho.

Observou-se que a construção do reservatório de Sobradinho teve papel determinante no regime de fluxo no baixo curso do Rio São Francisco, indicando forte influência na regularização da vazão do rio. A regularização implicou numa



**Figura 3.** Permanência de vazões para as estações de Piranhas (A), Pão de Açúcar (B), Traipu (C) e Propriá (D)

redução de 9% na vazão máxima associada a  $Q_5$  e num aumento de 27% na vazão mínima associada a  $Q_{95}$ . Os valores de vazão na estação fluviométrica de Pão de Açúcar depois da construção de Sobradinho associados a  $Q_5$  e a  $Q_{95}$ , foram de 5.652 e de 1.231  $m^3 s^{-1}$ , respectivamente.

Os efeitos decorrentes da regularização do regime de fluxo podem ser positivos e negativos. Os efeitos positivos estão relacionados à captação para abastecimento público e para projetos de irrigação, pois com a diminuição das vazões máximas e o aumento das mínimas ocorreu uma atenuação dos transtornos relacionados às inundações anteriormente freqüentes, tais como: alagamento de estações de bombeamento e áreas agrícolas e comprometimento dos sistemas de abastecimento e drenagem dos municípios ribeirinhos. Em março de 2007 a vazão do rio alcançou 7.162  $m^3 s^{-1}$ , na estação de Propriá. Esta vazão corresponde à cota de 8,19 m, e causou inundação da zona urbana de muitas sedes municipais localizadas nas margens do rio, ocasionando transtornos e prejuízos à população; as áreas dos perímetros irrigados e os produtores independentes também tiveram comprometidas as lavouras cultivadas nas várzeas.

Em março de 2008 foi registrada uma vazão de 1.137  $m^3 s^{-1}$  na mesma estação, correspondendo a uma cota de 3,9 m. Esta foi a menor vazão já registrada no rio, causando problema na captação para o perímetro irrigado de Propriá e para a estação de bombeamento da companhia de Saneamento de Sergipe que abastece 70% da região metropolitana de Aracaju.

Contudo, a regularização do regime de vazões também pode potencializar condições específicas de conflito de uso entre as demandas atualmente existentes como, por exemplo, em situações críticas de disponibilidade, nas quais há necessidade de armazenar água para geração de energia reduzindo, assim, a magnitude das vazões à jusante das barragens, elevando o risco do não atendimento das demandas, conforme comentado por Garcia et al. (2007) e Collischonn et al. (2006). Os maiores problemas verificados no Baixo São Francisco estão associados ao atendimento das demandas de abastecimento público, irrigação e vazão ambiental, na estação de vazões mínimas.

As lagoas marginais, Lagoa do Morro (Propriá, SE) e Lagoa Pindoba (Neópolis, SE), tiveram o ciclo de cheia anual interrompido comprometendo, desta forma, a reprodução de diversas espécies de peixes que necessitam de características específicas desses habitats (nutrientes, temperatura da água, vegetação, lâmina d'água, etc.) para procriação.

Milliman et al. (2008) avaliando valores de vazões médias anuais de alguns dos maiores rios do Continente Americano, constataram que o Rio São Francisco apresentou redução de aproximadamente 20% na sua vazão média anual entre 1951 e 2000, em função das mudanças no clima global e de atividades antrópicas desenvolvidas na bacia.

Segundo Holanda et al. (2009), os relatos da população ribeirinha do Baixo São Francisco sergipano mostram que a população foi extremamente prejudicada porque a construção dos complexos de Sobradinho, e mais recentemente, de Xingó, modificou características da água do rio, como nível de nutrientes no sedimento e turbidez, que atualmente apresentam padrões que não estimulam a reprodução dos peixes contribuindo para a diminuição e até mesmo a extinção de várias espécies de peixes.

Os solos de várzea, que eram aproveitados sazonalmente pelos ribeirinhos, principalmente para o cultivo do arroz, tiveram reduzidos os níveis de nutrientes em virtude da não ocorrência das grandes cheias. Atualmente, as grandes várzeas que

existiam no Baixo São Francisco foram substituídas pelos perímetros de irrigação, construídos como resposta compensatória à regularização do regime de vazões, entre os anos de 1975 e 1988.

### CONCLUSÕES

1. As curvas-chave, determinadas com base em referência de nível (RRNN IBGE) estão bem correlacionadas às curvas-chave ajustadas com nível arbitrário;

2. As vazões associadas aos níveis padronizados determinadas na região são úteis para orientar a ocupação da várzea do rio e informar sobre potenciais consequências relacionadas a eventos extremos de vazões máximas e mínimas;

3. As vazões com probabilidades de ocorrência de 5 e 95% para a estação de Pão de Açúcar foram de 5.652 e 1.231 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>, respectivamente e as cotas que eles são associadas, foram de 13,5 e 9,1 m.

4. As curvas de permanência, de cota e de vazão, mostram que a regularização do regime de vazões do Rio São Francisco com a construção do complexo de Sobradinho minimizou os efeitos das grandes cheias nas regiões à jusante mas também vem afetando negativamente atividades tradicionais das populações ribeirinhas, como a pesca, navegação e agricultura.

### LITERATURA CITADA

- ANA - Agência Nacional de Águas. Mapas da Bacia Hidrográfica do São Francisco. <http://www.hidroweb.ana.gov.br/>. 30 Abr. 2008.
- ANA - Agência Nacional de Águas. Boletim de Monitoramento dos Reservatórios do Rio São Francisco, v.4, p.1-15, 2009.
- Asfora, M. C.; Cirilo, J. A. Reservatórios de regularização: alocação de água para usos múltiplos com diferentes garantias. *Revista de Gestão de Água da América Latina*, v.2, p.27-38, 2005.
- Casado, A. P. B.; Holanda, F. S. R.; Araújo Filho, F. A. G.; Yagui, P. Bank erosion evolution in São Francisco River. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.26, p.231-239, 2002.
- Castellarin, A.; Galeati, G.; Brandimarte, L.; Montanari, A.; Brath, A. Regional flow-duration curves: reliability for ungauged basins. *Advances and Water Resources*, v.27, p.953-965, 2004.
- Castellarin, A.; Camorani, G.; Brath, A. Predicting annual and long-term flow-duration curves in ungauged basins. *Advances and Water Resources*, v.30, p.937-953, 2007.
- Collischonn, W.; Angra, S. G.; Freitas, G. K.; Priante, G. R. Da vazão ecológica ao hidrograma ecológico. In: Congresso da Água, 8, 2006, Figueira da Foz. Anais... Lisboa: APRH, 2006. CD-Rom.
- Córdoba, R. N.; Pinheiro, A.; Pinheiro, I. G. Regionalização da curva de permanência como base para o gerenciamento da Bacia do Itajaí. In: Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental, 27, 2000, Porto Alegre. Anais... Rio de Janeiro: ABES, 2000. CD-Rom.
- Cruz, J. C.; Tucci, C. E. M. Estimativa da Disponibilidade Hídrica através da curva de permanência. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, Porto Alegre, v.13, p.111-124, 2008.
- Garcia, A. V.; Oliveira, E. C. A. de; Silva, G. P.; Costa, P. P. da; Oliveira, L. A. de. Disponibilidade Hídrica e volume de água outorgado na micro-bacia do Ribeirão Abóbora, Município de Rio Verde, Estado de Goiás. *Caminhos de Geografia*, Uberlândia, v. 8, n.22, 2007.
- Holanda, F. S. R.; Santos, L. G. C.; Santos, C. M. dos; Casado, A. P. B.; Pedrotti, A.; Ribeiro, G. T. Riparian fragments affected by bank erosion in the Lower São Francisco River, Northeastern Brazil. *Revista Árvore*, v. 29, p.148-152, 2005.
- Holanda, F. S. R.; Rocha, I. P. da; Oliveira, V. S. Estabilização de taludes marginais com técnicas de bioengenharia de solos no Baixo São Francisco. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.12, p.570-575, 2008.
- Holanda, F. S. R.; Ismerim, S. S.; Rocha, I. P. da; Jesus, A. S. de; Araújo Filho, R. N. de; Mélo Júnior, A. V. de. Environmental Perception of the São Francisco Riverine Population in Regards to Flood Impact. *Journal of Human Ecology*, v. 28, p.37-46, 2009.
- Lerner, G. L. S. Estudo de impactos na geração hidroelétrica ao longo do Rio São Francisco devido a transposição de suas águas utilizando modelo matemático de fluxos em rede AcquaNet. Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2006. 117p. Dissertação Mestrado
- Lima, G. de; Boldrin, R. S.; Mendiondo, E. M.; Mauad, F. F. Análise de Incertezas de Observações Hidrológicas e sua Influência na Modelagem de Pequenas Bacias Urbanas. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, Porto Alegre, v.12, p.107-116, 2007.
- Melo Neto, J. O.; Schardong, A.; Mélo Júnior, A. V. de; Chagas, R. M.; Martins, D. M. F. SisDCP – Sistema para Determinação de Curvas de Permanência em planilha. Software, 2009.
- Milliman, J. D.; Farnsworth, K. L.; Jones, P. D.; Xu, K. H.; Smith, L. C. Climatic and anthropogenic factors affecting river discharge to the global ocean, 1951–2000. *Global and Planetary Change*, v.62, p.187–194, 2008.
- Peixoto, L. S.; Mauad, F. F. Estudo de conflitos de usos múltiplos da água utilizando simulação computacional. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, Porto Alegre, v.8, p.209-215, 2003.
- Rianna, M.; Russo, F.; Napolitano, F. Stochastic index model for intermittent regimes: from preliminary analysis to regionalization. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, v.11, p.1189-1203, 2011.
- Ribeiro, C. B. de M.; Marques, F. de A.; Silva, D. D. da. Estimativa e regionalização de vazões mínimas de referência para a bacia do Rio Doce. *Engenharia na Agricultura*, v.13, p.103-117, 2005.
- Santos, A. G. S.; Silva, R. M. Aplicação do modelo hidrológico AÇUMOD baseado em SIG para a gestão de recursos hídricos do Rio Pirapama. *Ambiente e Água – An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, v. 2, p.7-20, 2007.
- SEPLANTEC - Secretaria de Estado do Planejamento e da Ciência e Tecnologia do Estado de Sergipe. *Informes Municipais*, Aracaju: SEPLANTEC, 2000, 75p.

- Song, X. J.; Xu, X. Z.; Liu, M. C.; Li, E. H. Ecological and environmental instream flow requirements for the Wei River - the largest tributary of the Yellow River. *Hydrological Processes*, v.21, p.1066-1073, 2007.
- Stevaux, J. C.; Martins, D. P.; Meurer, M. Changes in a large regulated tropical river: The Paraná River downstream from the Porto Primavera Dam, Brazil. *Geomorphology*, v.113, p.230-238, 2009.
- Syvitski, J. P. M.; Vörösmarty, C. J.; Kettner, A. J.; Green, P. Impact of Humans on the Flux of Terrestrial Sediment to the Global Coastal Ocean. *Science*, v.308, p.376-380, 2005.
- Tucci, C. E. M. *Regionalização de vazões*. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2002. 256p.
- Vogel, R. M.; Fennessey, N. M. Flow-duration curves. I: New interpretation and confidence intervals. *Journal of Water Resources Planning and Management, ASCE*, v. 120, p.485-504, 1994.
- Zahar, Y.; Ghorbel, A.; Albergel, J. Impacts of large dams on downstream flow conditions of rivers: Aggradation and reduction of the Medjerda channel capacity ownstream of the Sidi Salem dam (Tunisia). *Journal of Hydrology*, v.351, p.318-330, 2008.