

Impactos das barragens na disponibilidade hídrica do Nordeste do Brasil

The impacts caused by dams on water availability in Brazilian northeast

Anderson Nascimento do Vasco¹, Antenor de Oliveira Aguiar Netto², Fernando Falco Pruski³

^{*1} Doutor em Desenvolvimento e Meio Ambiente, professor do Instituto Federal de Sergipe, Campus São Cristóvão, CEP: 49100-000, Brasil. e-mail: anderovasco@yahoo.com.br

² Pós-Doutor em Recursos Hídricos professor do departamento de Agronomia da Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, Brasil. e-mail: antenor.ufs@gmail.com

³ Pós-Doutor em Conservação de Solo e Água, professor do departamento de Engenharia Agrícola, da Universidade Federal de Viçosa, CEP: 36570-000, Viçosa, Brasil. e-mail: fpruski@ufv.br

* Autor para correspondência (e-mail): anderovasco@yahoo.com.br

RESUMO: A regularização do rio São Francisco está geralmente associada a impactos sobre as mudanças no comportamento hidrológico com significativas alterações na qualidade e quantidade da água. Neste artigo avaliou-se a magnitude das alterações no regime de vazões no baixo rio São Francisco, provocadas pela construção do reservatório de Sobradinho e Xingó, além das modificações na disponibilidade hídrica tomando-se como base a vazão de referência Q7,10 e curva de permanência Q90% e Q95%. O trecho estudado compreende a região do baixo rio São Francisco com extensão de 210km, desde a estação de Piranhas (AL), até a foz do rio no Oceano Atlântico. Os resultados revelam alterações das vazões de referência no baixo rio São Francisco, após a construção de barragens, ocasionando a diminuição na disponibilidade hídrica em 40%, 56%, 60% e 39% nos meses de janeiro, fevereiro, março e abril respectivamente na região em estudo.

Palavras-chave: Vazão de referência, escassez hídrica e regularização de rios

ABSTRACT: The regularization of the River São Francisco is generally associated with the impacts on changes in hydrological behavior with considerable changes in the water quantity and quality. In this paper was evaluated the magnitude of those changes in the flow regime from the lower stream of the River São Francisco, caused by the construction of Sobradinho's reservoir, besides these changes in water availability, considering as base the reference flow Q7,10 and Q90% ; Q95% the permanence curve. The studied stretch comprises the lower stream of the River São Francisco which has an extension of 210 kilometers from the station in Piranhas (AL) to the mouth of the river in the Atlantic Ocean. The results reveal alterations in the reference flow in the lower stream of the River São Francisco, after the construction of the dams, causing the reduction in water availability of 40%, 56%, 60% and 39% in the months January, February, March and April respectively in the studied region.

Keywords: Reference flow, hydro shortage and river regularization

1. INTRODUÇÃO

A regularização de um rio por barramento provoca impactos na quantidade e qualidade da água, assim como na sazonalidade dos eventos de vazões. 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 (Syvitski *et al.* 2005, Song *et al.* 2007, Stevaux *et al.* 2008 and Zahar *et al.* 2008).

As modificações mais significativas no regime de vazões do rio São Francisco ocorreram mediante o início da operação das hidroelétricas de Três Marias (1952) e Sobradinho (1979), 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 (Martins *et al.*, 2011).

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 diversas modificações, tais como: diminuição do volume de água no canal principal, interrupção do ciclo natural das cheias nas lagoas marginais, erosão das margens, perda de áreas agricultáveis, rompimento de diques de contenção, comprometimento dos processos de captação e drenagem dos perímetros de irrigação (Holanda *et al.*, 2008).

Considera-se fundamental o conhecimento da fração de água disponível para utilização no interior da bacia do São Francisco, haja vista que se trata de um recurso limitado e essencial para o desenvolvimento de múltiplas atividades. A aleatoriedade dos processos hidrológicos e a extensa área que abrange a bacia hidrográfica do rio São Francisco evidenciam a necessidade de tratamento estatístico e a utilização de ferramentas que possam traduzir o comportamento das variáveis que compõem o sistema hídrico (Silva Marques e Lemos, 2009).

A estimativa da disponibilidade hídrica em uma bacia hidrográfica é uma das informações mais importantes no que diz respeito ao gerenciamento de recursos hídricos. A oferta de água superficial é, normalmente, estimada por meio de vazões de referência, que representam as menores vazões das séries históricas (Baena *et al.*, 2004). Para que a implantação do instrumento da outorga possa ser realizada de maneira mais efetiva, é necessário o conhecimento do comportamento hidrológico das

bacias hidrográficas, especialmente na determinação das vazões de referência ao processo decisório (Fioreze e Oliveira, 2010).

No Brasil, critérios diferentes são adotados pelos estados, visando alocar as derivações para usos de seus respectivos cursos d'água. A variabilidade desses critérios está relacionada com as características individuais de cada bacia hidrográfica, podendo haver disparidade de uma bacia para outra (Silva *et al.*, 2006). Há predominância da utilização de dois métodos hidrológicos, para determinação das vazões de referência que são obtidas com base em análise estatística de séries históricas de vazão, são a $Q_{90\%}$, a $Q_{95\%}$ e a $Q_{7,10}$ (Santos, Oliveira e Fioreze, 2006; Pruski, Silva e Koez, 2006). Segundo Reis *et al.* (2008) as vazões $Q_{90\%}$ e $Q_{95\%}$ caracterizam uma situação de permanência de um estado recessivo de vazões, enquanto a $Q_{7,10}$ corresponde à vazão mínima com sete dias de duração e tempo de retorno de dez anos, ou seja, a cada dez anos, em média, há o risco de ocorrer sete dias seguidos com esta vazão mínima. Reflete uma situação crítica de escassez e, por isto, é normalmente adotada como referência em projetos de captação para abastecimento público e sua adoção praticamente eliminaria o risco de suspensão dos usos outorgados na bacia hidrográfica.

A principal justificativa da utilização de vazões mínimas anuais, tal como a $Q_{7,10}$, reside no fato destas serem as principais balizadoras no que se refere a licenças ambientais, avaliação de impacto ambiental de obras hidráulicas, além de ser um parâmetro de disponibilidade hídrica muito empregado em análises de concessão de outorga (Luiz, Fernandes e Reis Júnior, 2013).

É importante salientar que os métodos citados são utilizados para caracterizar o regime hidrológico dos rios isso quer dizer que não analisam o aspecto ambiental, apenas presumem que a manutenção de um valor de referência calculado com base em 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).

Este trabalho tem como objetivo avaliar as alterações no regime de vazões no rio São Francisco em seu baixo curso, provocadas pela construção do reservatório de Sobradinho e Xingó, assim procedeu-se à análise da variação do comportamento hidrológico da vazão mínima anual com sete dias de duração e vazão associada à permanência de 95% e 90%, durante o período de 1940 a 2013.

2. METODOLOGIA

2.1 Caracterização da área de estudo

A bacia hidrográfica do rio São Francisco (BHRSF) possui uma área de 634.000km² e está localizado entre as latitudes 7° e 21° S. Suas nascentes encontram-se na Serra da Canastra (em Minas Gerais), ao longo da qual o rio percorre aproximadamente 2800 km até sua foz no Oceano Atlântico.

Na área da bacia hidrográfica residem cerca de 13 milhões de habitantes distribuídos em 464 municípios (Genz e Luz, 2012). Normalmente sua área é dividida em quatro regiões hidrográficas: Alto São Francisco (100.060 km² - 16%), Médio São Francisco (398.716 km² - 63%), Submédio São Francisco (110.481 km² 17%) e Baixo São Francisco (25.524 km² - 4%) (ANA, 2004).

A região abordada neste estudo compreende o baixo rio São Francisco que possui uma extensão de 210km e abrange quatro estados: Bahia, Pernambuco, Sergipe e Alagoas. A área estende-se da hidroelétrica de Xingó (Canindé de São Francisco, SE) até a região da foz do rio São Francisco (Figura 1). De acordo com a classificação climática de Köppen-Geiger os tipos de clima predominante na região do baixo rio São Francisco, no trecho entre Piranhas e a foz são: quente semiárido (BSh), Piranhas e Traipu com uma temperatura média anual de 26° C, precipitação média anual de 600 mm, estação chuvosa de março a agosto e tropical semiúmido (as), em Propriá para a foz, a temperatura média anual de 26°C, a precipitação média anual de aproximadamente 1200 mm e a estação das chuvas de março a agosto (Cavalcante, 2011).

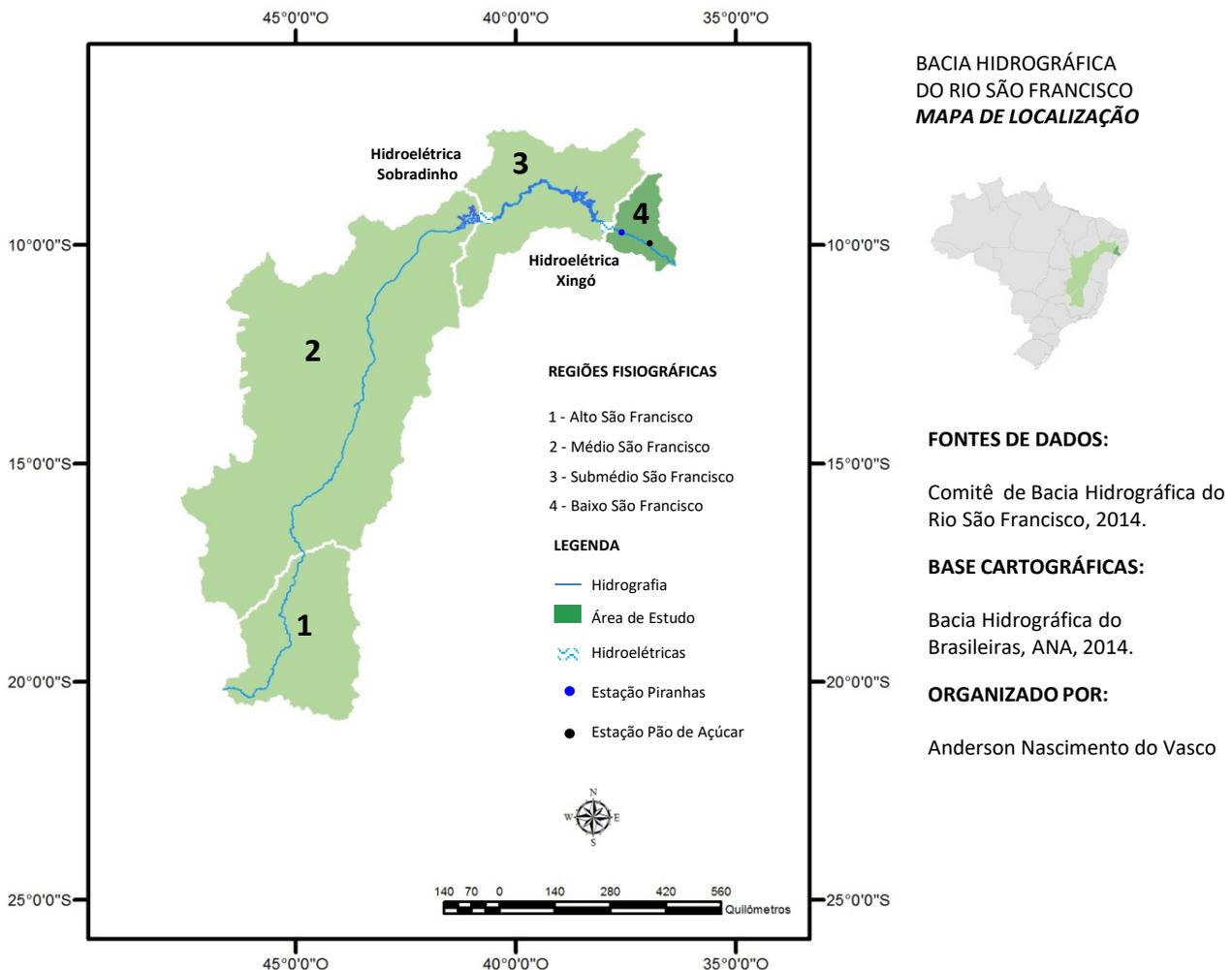


Figura 1. Bacia hidrográfica do rio São Francisco, destaque para trecho estudado (ANA, 2014).

Ao longo do curso principal, o rio São Francisco possui nove usinas hidrelétricas instaladas em série, que foi responsável pela regularização do regime de vazões (Tabela 1). Na região do Submédio do rio São Francisco, as usinas instaladas pela Companhia Hidrelétrica do São Francisco (CHESF) compreendem o maior complexo hidrelétrico no Brasil (potência total: 10,618 MW, volume acúmulo de $50 \times 10^9 \text{ m}^3$).

As construções das barragens tiveram grandes impactos no regime de vazões ao longo do rio São Francisco. Após a construção da barragem de Sobradinho a regularização do rio provocou um aumento nas vazões mínimas à jusante para mais de $2000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, fato que não foi observado em nenhum período anterior (Figura 2). De 1987 a 1994, quando a barragem de Xingó foi construída,

a barragem de Sobradinho passa a regularizar o rio de forma mais significativa, a partir deste período, ocorre uma redução nos picos de cheia na região do baixo rio São Francisco modificando drasticamente sua hidrodinâmica, as vazões médias são reduzidos a cerca de $1800 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (MANETA *et al.*, 2009).

2.2 Dados utilizados no estudo e estimativa das vazões

A Agência Nacional das Águas - ANA é responsável pelo monitoramento de 4.543 estações fluviométricas das 14.822 existentes no Brasil. Estas estações são operadas por institutos parceiros e contratados pela Agência Nacional de Águas (ANA, 2013). Um dos maiores problemas enfrentados na gestão de recursos hídricos do nordeste é a carência de dados, onde muitas estações em operação estão

Tabela 1. Principais usinas hidrelétricas do rio São Francisco e as características de seus reservatórios (Rebouças; Braga; Tundisi, 2006; ANA, 2009 and Martins *et al.*, 2011).

Usina hidrelétrica	Estado	Início de operação	Potência instalada (MW)	Vazão média* ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	Tempo de permanência	Volume reservatório (m^3)	
						Total	útil
Três Marias	MG	1962	396	687.63	-	19.53 bilhões	15 bilhões
Sobradinho	BA	1979	1050	2655.61	-	34.16 bilhões	28 bilhões
Itaparica	PE/BA	1988	1500	2738.96	2 a 4 meses	10 bilhões	3 bilhões
Moxotó	BA/AL	1977	400	2755.78	5 dias	1.2 bilhões	180 milhões
Paulo Afonso I	BA	1954	180	-	8 dias	-	-
Paulo Afonso II	BA	1961	443	-	8 dias	26 milhões	9.8 milhões
Paulo Afonso III	BA	1971	794	-	8 dias	-	-
Paulo Afonso IV	BA	1979	2462	-	5 dias	127 milhões	29 milhões
Xingó	AL/SE	1994	3000	2755.79	16 dias	3.8 bilhões	41 milhões

* vazão média de longa duração obtida com série histórica das vazões naturais 1930 a 2010.

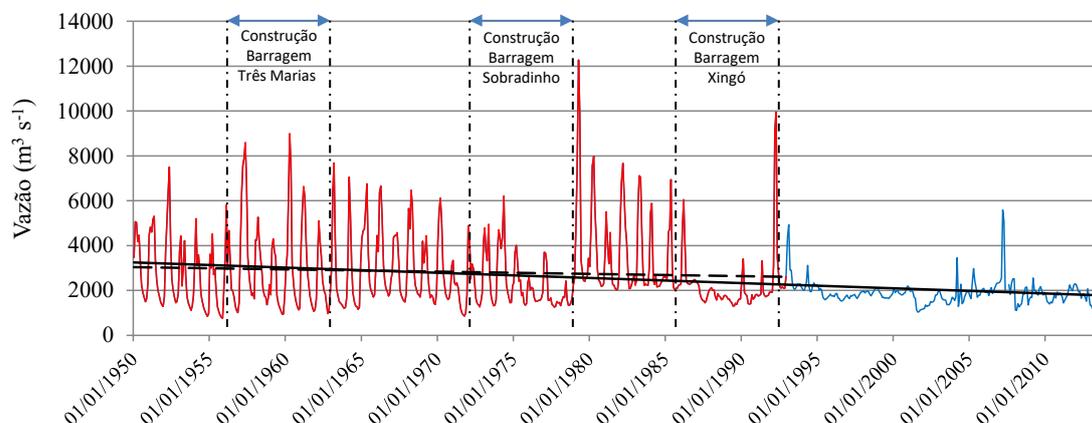


Figura 2. Vazões registadas a jusante da barragem de Sobradinho. A linha sólida indica a tendência de fluxo para todo o período 1950-2013. A linha pontilhada indica a tendência para o período 1950-1993, antes da construção de Xingó.

sem dados ou possuem muitas falhas, apesar da amplitude e importância do baixo rio São Francisco o mesmo só possui quatro estações fluviométricas com séries históricas com mais de 30 anos de dados. No estudo foram utilizadas as séries históricas das vazões diárias de doze estações fluviométricas (Tabela 2), sendo que as estações de Pão de açúcar e Piranhas foram consideradas para estudo da variação do comportamento hidrológico $Q_{7,10}$ e vazão de permanência de 95% e 90%, no baixo São Francisco por possuir série histórica anterior a construção da barragem de Sobradinho.

As estações são de responsabilidade da Agência Nacional de Águas (ANA) e operada pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), compreendendo o período de observações de 1940 a 2013. Os dados de vazões foram acessados por meio do HidroWeb, portal que oferece um banco de dados com todas as informações coletadas pela rede hidrometeorológica e reúne dados sobre cotas, vazões, chuvas, evaporação, perfil do rio, qualidade da água e sedimentos (ANA, 2013).

2.3 Cálculo da $Q_{7,10}$

Para estimar as vazões mínimas para diferentes períodos de retorno é necessário gerar funções de distribuição de densidade de probabilidade. Essas funções são geradas a partir de dados de eventos mínimos. Além da estimativa das vazões, utilizam-se intervalos de confiança para estabelecer a variação possível dos eventos estimados. Para estimar a menor vazão média durante um período

de 7 dias consecutivos, com um intervalo médio de recorrência de 10 anos ($Q_{7,10}$), foram utilizadas as funções de densidade de probabilidade: Log-Pearson 3, Pearson 3, normal, lognormal 2, e Weibull. Estas funções de probabilidade estimam a magnitude do evento com um intervalo de repetição, tal como definido pela Eq. 1.

$$M = \mu + k\sigma \quad (1)$$

Em que:

M: magnitude do evento para o período de retorno estabelecido ($m^3 s^{-1}$);

μ : média dos eventos;

k: fator de frequência;

σ : desvio padrão dos eventos ($m^3 s^{-1}$).

Para cada tipo de distribuição de densidade de probabilidade o fator de frequência foi calculado conforme Kite (1988). Utilizando as distribuições de probabilidade foram estimadas as $Q_{7,10}$ em cada série histórica. Para isso, os eventos utilizados da série histórica de vazão foram as menores médias de sete dias consecutivos (Q_7) observadas em cada ano. Adotando-se um período de retorno de 10 anos, foi possível estimar, utilizando os eventos de Q_7 de cada ano, a variável de interesse $Q_{7,10}$.

No caso da estimativa das $Q_{7,10}$ mensais, os eventos de Q_7 utilizados foram obtidos por uma restrição do conjunto de dados apenas ao mês de análise, ou seja, geraram-se séries anuais de eventos de Q_7 observados especificamente em cada mês, e com

Tabela 2. Localização e características das estações fluviométricas utilizadas no estudo do rio São Francisco.

Estação	Código	Cidade e Estado	Coordenadas (UTM)	Distância da nascente (km)	Período de estudo (anos)
V. Bonita	40025000	V. Bonita MG	23 K 7751716, 357384	60	1940 - 1973; 1980 - 2013
Iguatama	40050000	Iguatama MG	23 K 7769545, 425199	90	1940 - 1973; 1980 - 2013
P. Andorinhas	40100000	P. Andorinhas MG	23 K 7868319, 469966	141	1940 - 1973; 1980 - 2013
Três Marias	41020002	Três Marias MG	23 K 7989113, 473268	182	1940 - 1973; 1980 - 2013
São Francisco	44200000	São Francisco MG	23 L 8236652, 514150	800	1940 - 1973; 1980 - 2013
Carinhanha	45298000	Carinhanha BA	23 L 8418247, 633380	1600	1940 - 1973; 1980 - 2013
Gameleira	46035000	Gameleira BA	23 L 8576840, 675818	1800	1940 - 1973; 1980 - 2013
Juazeiro	48020000	Juazeiro BA	24 L 8959863, 334902	2120	1940 - 1973; 1980 - 2013
*Piranhas	49330000	Piranhas AL	24 L 8935760, 636623	2400	1940 - 1973; 1980 - 2013
*Pão de Açúcar	49370000	Pão de Açúcar AL	24 L 8921826, 670355	2460	1940 - 1973; 1980 - 2013
Traipu	49660000	Traipu AL	24 L 8897023, 719014	2500	1979 - 2013
Propriá	49705000	Propriá SE	24 L 8870132, 738389	2520	1979 - 2013

* As estações de Pão de açúcar e Piranhas foram consideradas para estudo no baixo São Francisco por possuir série histórica anterior a construção do reservatório de sobradinho.

estes eventos aplicou-se a análise das distribuições de densidade de probabilidade, obtendo-se uma $Q_{7,10}$ para cada mês (Bof *et al.*, 2012).

Como foram aplicados cinco tipos de distribuições de densidade de probabilidade, utilizou-se nas análises subsequentes a estimativa que apresentou uma menor amplitude do intervalo de confiança dentre as estimativas obtidas pelas distribuições. Esse procedimento foi realizado no SisCAH 1.0 que indica automaticamente a distribuição de probabilidade que apresenta o melhor ajuste estatístico associado ao período de retorno utilizado (SOUSA *et al.*, 2009). Para a escolha da distribuição mais adequada a cada série foi utilizado, com um nível de probabilidade de 95%, o valor dos intervalos de confiança superior e inferior de cada distribuição, calculados conforme Kite (1988) que considera a distribuição que resultou na menor variação entre esses intervalos como sendo a de melhor ajuste.

2.4 Curva de permanência (Q95 e Q90)

A curva de permanência descreve a relação entre a vazão de um curso d'água e a probabilidade de ocorrerem vazões maiores ou iguais ao valor da ordenada apresentado na curva (PRUSKI; SILVA; KOEZ, 2006). O procedimento escolhido para a obtenção da curva de permanência para cada estação fluviométrica é descrito a seguir:

- organização da série de dados de vazões em ordem decrescente;
- determinação da frequência (f_i) associada a cada valor de vazão pela equação 2.
- obtenção da curva de permanência plotando-se na ordenada os valores de vazão e na abscissa a frequência de ocorrência.

$$b_i = \frac{(1 - BFI_{max})^\alpha + b_{i-1} + (1 - \alpha)BFI_{max}Q_i}{1 - \alpha BFI_{max}} \quad (2)$$

em que:

N_{qi} = número de vazões de cada intervalo;
 NT = número total de vazões.

2.5 Taxa de alteração na vazão

A taxa de alteração para a vazão foi calculada para cada mês considerando o período anterior e posterior à construção da barragem de sobradinho. Um valor positivo indica que o volume passível de outorga está aumentando; um valor negativo indica que o mesmo diminuiu-o.

$$\text{Taxa de alteração \%} = \left(\frac{Q_{7,10\text{pos}} - Q_{7,10\text{pre}}}{Q_{7,10\text{pre}}} \right) \times 100 \quad (3)$$

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Pode-se notar que as vazões máximas foram reduzidas após a construção do reservatório de Sobradinho e as vazões mínimas foram elevadas. As inundações foram consideravelmente reduzidas em relação aos anos 80, quando Sobradinho começou a operar. Na Figura 3A e 3B, são apresentados os dados de vazões máximas, médias e mínimas registradas na estação fluviométrica de Piranhas, localizada a jusante da UHE Xingó. Mesmo depois da operação de Sobradinho as cheias continuavam a acontecer (1980, 1985, 1992 e 2004). A partir de 1994 quando Xingó entra em operação estas cheias são totalmente regularizadas e sua vazão reduzida consideravelmente. Provocando diversos impactos na região do baixo rio São Francisco dentre eles a redução das planícies de inundação, redução da fertilidade natural nas regiões marginais e diminuição da variabilidade de habitantes para espécies aquáticas. Nos anos de 1980, 1985, 1992, 2004, e 2013 a vazão máxima foram $8440,6\text{m}^3\text{ s}^{-1}$; $12601,9\text{m}^3\text{ s}^{-1}$; $10327\text{m}^3\text{ s}^{-1}$; $8216,4\text{m}^3\text{ s}^{-1}$ e $2.497\text{m}^3\text{ s}^{-1}$. Com uma diminuição gradual das vazões médias nos últimos anos.

Depois da Operação da UHE Xingó somente em 2004 a vazão apresentou um valor maior equivalente a $8089\text{m}^3\text{ s}^{-1}$. Os resultados mostrados na estação de Pão de Açúcar (Figuras 3C e 3D) revela que a partir de 1994 a vazão foi reduzida e vem se mantendo regularizada em média $1784\text{m}^3\text{ s}^{-1}$, com exceção do ano de 2004. Ao observar a análise das variações das vazões, observou-se que no período amostrado os picos de vazão máxima sofreram redução, logo após o início de operação da usina hidroelétrica de Xingó ano de 1993, só foi possível identificar picos de vazões em 2004 e 2007 com vazões máximas registradas de $8089\text{m}^3\text{ s}^{-1}$ e $6357\text{m}^3\text{ s}^{-1}$ respectivamente.

Normalmente as vazões a jusante do barramento, não é mais aquela que ocorreria caso a bacia contribuinte permanecesse em suas condições naturais. Esses reservatórios acumulam água nos períodos de maior disponibilidade e liberam o volume acumulado em períodos de menor disponibilidade hídrica, de forma a suavizar o hidrograma, reduzindo a vazão de pico sem alterar o volume total do hidrograma. Um dos principais objetivos é garantir uma capacidade de geração, ao longo de um período, necessária para atender

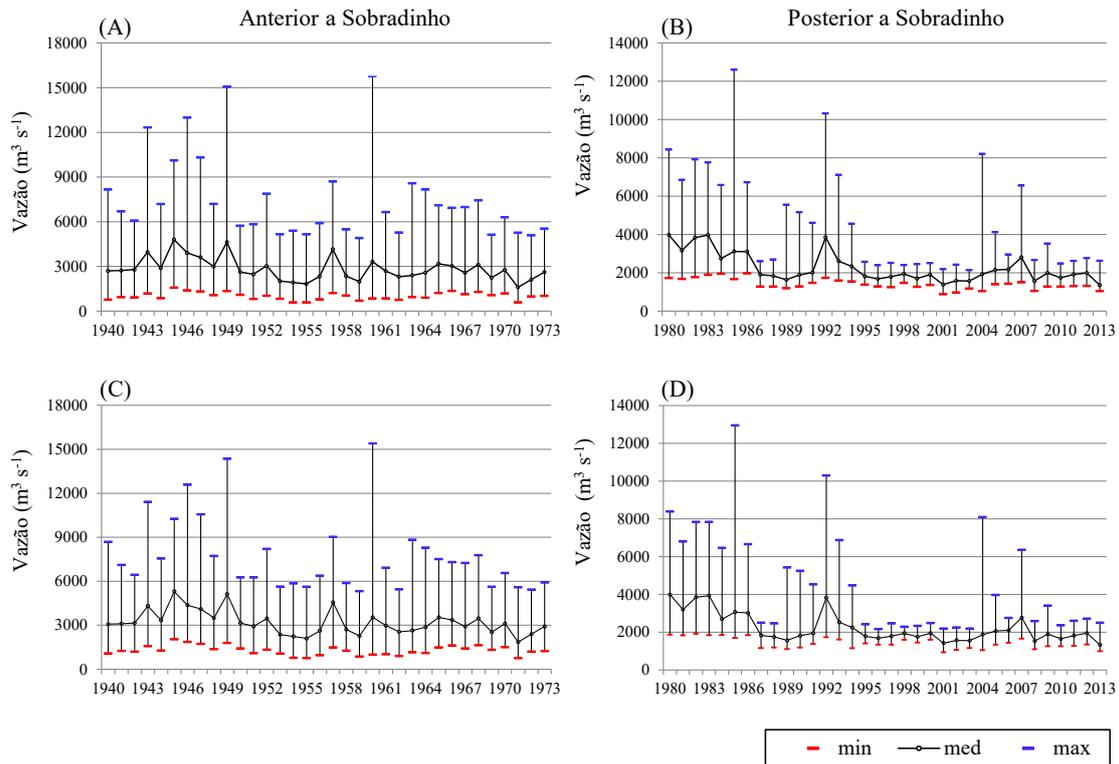


Figura 3. Vazão máxima, média e mínima no baixo rio São Francisco estação de Piranhas período anterior (A) e (B) posterior a construção de Sobradinho, estação de Pão de Açúcar período anterior (C) e (D) posterior a construção de Sobradinho.

à demanda de energia do sistema ao qual a usina está conectada (MARTINS *et al.*, 2011). A construção de barragens em cascata alterou a magnitude e pulsação natural das águas que chega ao baixo rio São Francisco e sua zona costeira (KNOPPERS *et al.*, 2005; MEDEIROS *et al.*, 2007).

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. Na Figura 4 pode ser observado os impactos causados após a construção do reservatório de Sobradinho, ocorreu uma inversão no hidrograma das vazões de referências $Q_{7,10}$, $Q_{90\%}$ e $Q_{95\%}$ nas estações de Piranhas e Pão de Açúcar. Os meses com maior disponibilidade hídrica (Janeiro, Fevereiro, Março e Abril, período anterior à construção do reservatório) passou a representar os menores valores de disponibilidade no período pós-reservatórios.

As estações de Piranhas e Pão de Açúcar, apresentaram redução nos valores de vazões de referência $Q_{7,10}$, $Q_{90\%}$ e $Q_{95\%}$, quando comparado os períodos anterior e posterior a construção das barragens ficando evidente os impactos da construção das barragens na

disponibilidade hídrica no baixo rio São Francisco. Houve uma redução na $Q_{7,10}$ de 40%, 56%, 60% e 39% nos meses de janeiro, fevereiro, março e abril respectivamente para a estação de Piranhas, o mesmo pode ser observado para estação de Pão de Açúcar com redução de 51%, 64%, 66%, 50%, 17% e 9% nos meses de janeiro, fevereiro, março, abril, maio e junho respectivamente (Figura 6).

Para os mesmos períodos analisados ocorreu um incremento na disponibilidade hídrica de 1,8%, 11%, 30%, 62% 92% 109 % e 92% para os meses de maio, junho, julho, agosto, setembro, outubro, novembro e dezembro ressaltasse que estes valores são menores quando comparamos o valor absoluto da vazão de referência com o valor incremental.

Os impactos causados pelas barragens são um assunto de preocupação internacional (Vorosmarty *et al.*, 1997; Syvitski *et al.*, 2005) e preocupação nacional (Tundisi *et al.*, 1998; Medeiros *et al.*, 2011.). Uma das modificações provocadas pela construção de barragens é a alteração no padrão de fluxo natural, que afeta vários processos biogeoquímicos. A implantação e operação de reservatórios são ações antrópicas que modificam as distribuições espacial e temporal das vazões naturais. Estudos

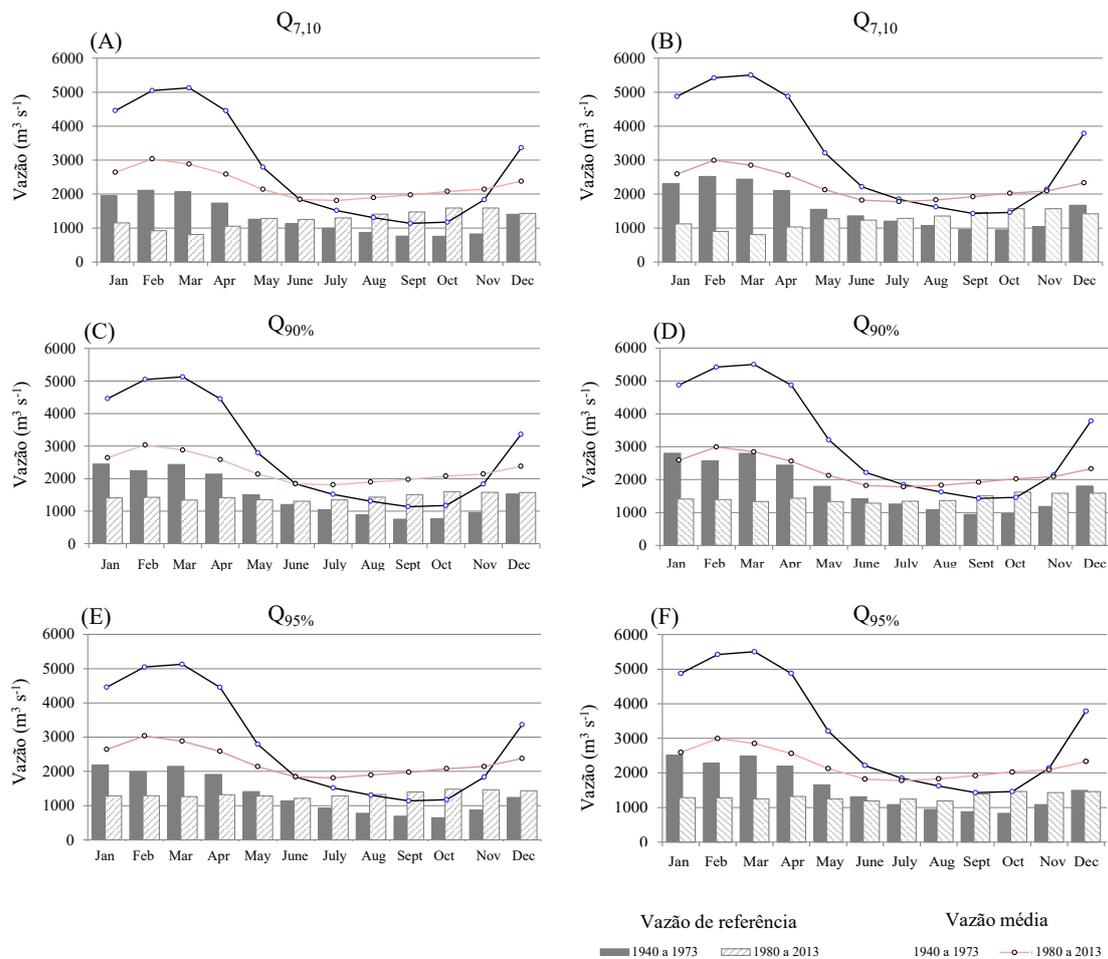


Figura 4. Vazão de referência no baixo rio São Francisco períodos antes e depois da construção do reservatório de Sobradinho $Q_{7,10}$ Piranhas (A), $Q_{7,10}$ Pão de Açúcar (B), $Q_{90\%}$ Piranhas (C), $Q_{90\%}$ Piranhas (D), $Q_{95\%}$ Piranhas (E), $Q_{90\%}$ Piranhas (F).

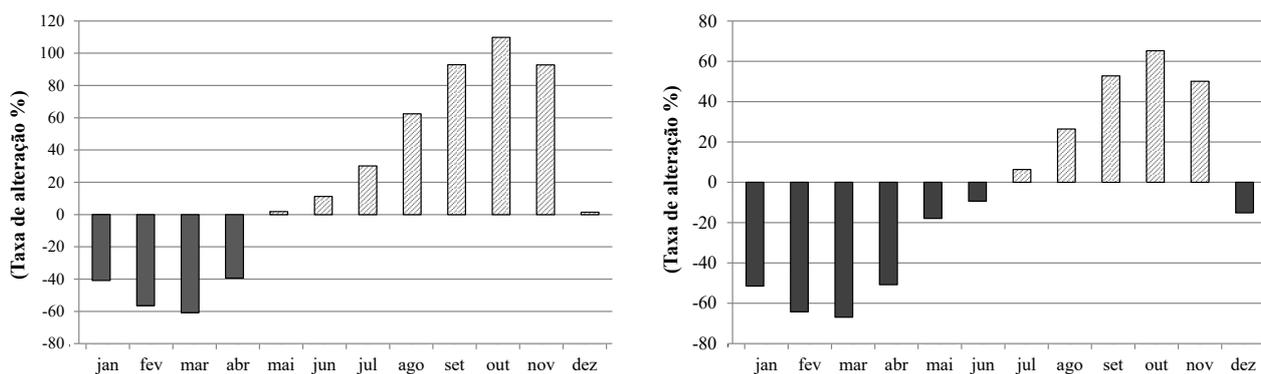


Figura 5. Impacto das construções das barragens na vazão de referência $Q_{7,10}$ no baixo rio São Francisco períodos antes e depois da construção do reservatório de Sobradinho, estação de Piranhas em (A) e Pão de Açúcar.

realizados por Yan *et al.*, (2010) avaliaram efeitos das barragens sobre o fluxo a jusante do rio Amarelo, na China e seus resultados mostram que o volume de fluxo foi reduzido e o fluxo de pico no hidrograma anual foi deslocado após as operações de grandes barragens no rio.

Milliman *et al.* (2008) avaliando valores de vazões médias anuais de alguns dos maiores rios das Américas, 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.

Com a implantação de um reservatório modificam-se as vazões nos rios, alterando a garantia do suprimento de água a jusante do mesmo. As vazões a montante e a jusante do reservatório passam, portanto, a apresentar comportamentos diferentes quanto à garantia das disponibilidades (MAGILLIGAN e NISLOW, 2006; ZAHAR, GHORBEL e ALBERGEL., 2008). A jusante ocorre um aumento do valor da vazão mínima disponível (vazão de maior garantia), com a tendência de se aproximar do valor da vazão média.

Na Figura 6 são apresentados dois gráficos com o perfil longitudinal do rio São Francisco, com as altitudes, vazões médias, vazão de referência $Q_{7,10}$ e vazão outorgável para 12 trechos do rio São Francisco. Pode-se perceber declividades maiores no submédio que, aliadas aos altos valores de vazões, tornaram este trecho preferencial para alocação de usinas hidrelétricas.

O trecho médio se caracteriza por declividades baixas, enquanto o alto São Francisco apresenta altas declividades nas cabeceiras que decrescem ao longo do percurso. Comparando os dois perfis longitudinais das vazões nos períodos estudados é possível observar uma redução no valor passível de outorga caracterizando uma diminuição na disponibilidade hídrica no baixo São Francisco de $2275\text{m}^3\text{ s}^{-1}$ para $1086\text{m}^3\text{ s}^{-1}$ anterior e posterior a construção da barragem de Sobradinho. A vazão média também apresentou uma grande variação nos períodos analisados à redução da vazão no período de 1980 a 2013 quando comparado com o período de 1940 a 1973 pode ser explicada devido ao aumento da demanda por água principalmente nos perímetros irrigados instalados na região nos últimos anos associado ao aumento das perdas por evaporação devido à criação dos lagos artificiais pós-construção das barragens.

Segundo Pereira *et al.*, (2009) a construção do reservatório de Sobradinho, associada às demais

atividades desenvolvidas na bacia, causou redução da vazão média, da ordem de $163\text{ m}^3\text{ s}^{-1}$. Estudos realizados por Genz e Ligth (2012), analisaram as curvas de permanências no curso inferior do rio São Francisco após a implementação das usinas hidrelétricas mostram que a operação das barragens é responsável por 59% nas mudanças hidrológicas, enquanto que o clima (em condições mais secas) contribuiu com 41% do total.

4. CONCLUSÕES

A utilização das vazões de referência permitiu a verificação de uma ampla modificação na hidrologia do baixo rio São Francisco. Os resultados mostraram que as principais alterações, estão relacionadas à regulação das vazões estabelecida pela operação dos grandes reservatórios, implantados ao longo do tempo na bacia hidrográfica.

Ocorreu uma inversão no hidrograma quando são comparados os dois períodos estudados. Os vários impactos produzidos após as barragens causou uma redução na vazão média em $956\text{m}^3\text{ s}^{-1}$ nos últimos 33 anos.

As grandes mudanças hidrológicas ocorridas no baixo São Francisco estão afetando a disponibilidade hídrica, em todo o baixo São Francisco. Outro problema observado, a respeito da regularização é o aumento dos conflitos por uso da água em situação crítica de disponibilidade. Neste caso, o reservatório armazena água para geração de energia, de modo, a diminuir a magnitude das vazões a jusante da barragem, elevando o risco de suprimento de água para essas regiões

5. REFERÊNCIAS

- Agência Nacional de Águas. 2009. Boletim de Monitoramento dos Reservatórios do Rio São Francisco, v.4, p.1-15, 2009.
- Agencia Nacional de Águas. Sistema de Informações Hidrológicas. 2015. Available in: <<http://www2.ana.gov.br/Paginas/servicos/informacoeshidrologicas/redehidro.aspx>>. Acesso em 06^{de} março de 2015.
- Agência Nacional de Águas. 2004. Projeto de gerenciamento integrado das atividades desenvolvidas em terra na bacia do rio São Francisco: Programa de ações estratégicas para o gerenciamento integrado da bacia do rio São Francisco e da sua zona costeira – PAE: GEF São Francisco. In: ORGANIZAÇÃO DOS ESTADOS AMERICANOS *et al.* Relatório final. Brasília: TODA Desenho & Arte Ltda., 2004. 336 p.

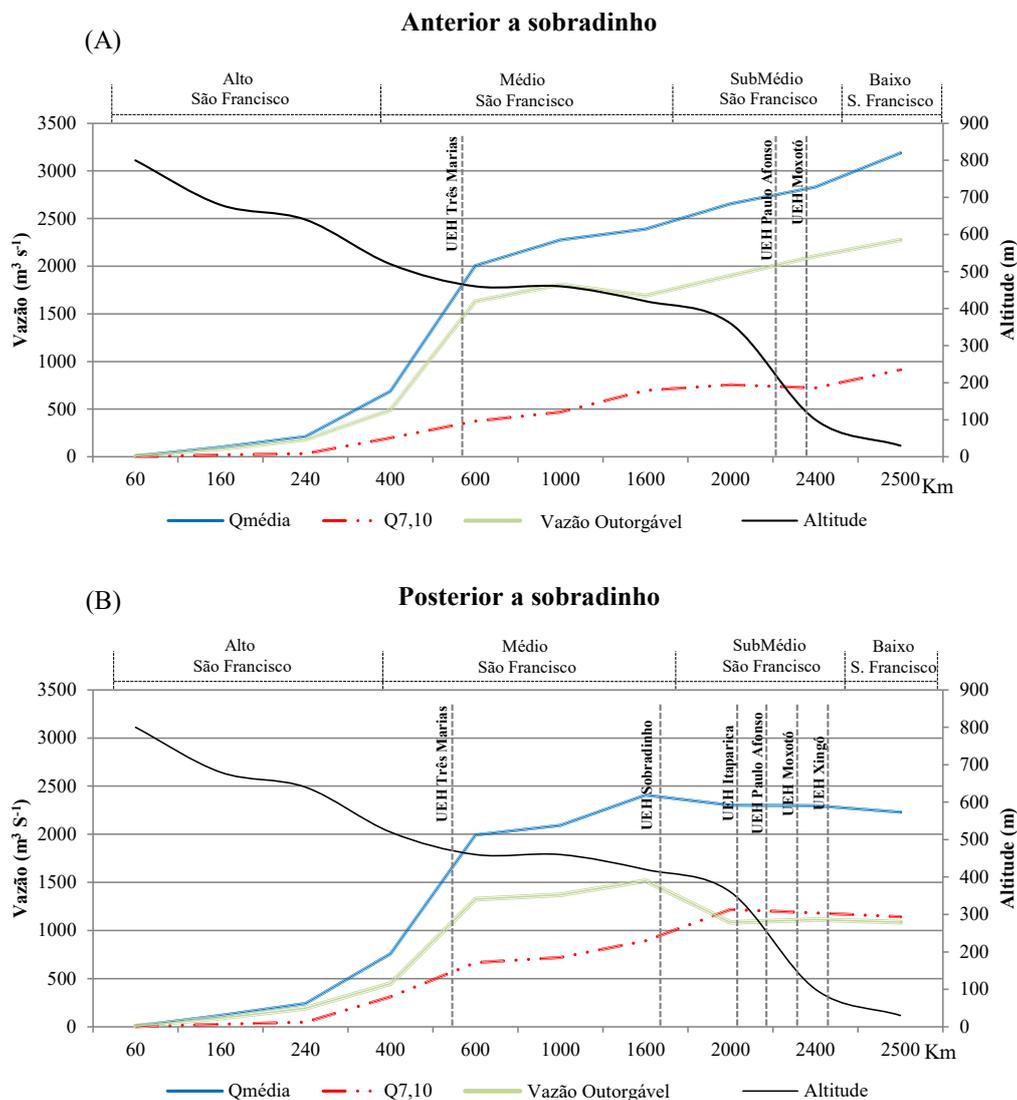


Figura 6. Perfil longitudinal do rio São Francisco período anterior a construção de sobradinho 1940 a 1978 (A) e posterior a construção de Sobradinho 1980 a 2013 (B). *observação: As distâncias demonstradas na figura não estão em escala.

Baena, L. G. N. *et al.* Espacialização da Q7,10, Q90% e Q95% visando a gestão dos recursos hídricos: estudo de caso para a bacia do rio Paraíba do Sul. *Engenharia na Agricultura.*, (12)1, 24-31, 2004.

Brasil. 2006. Caderno da Região Hidrográfica do São Francisco/Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Recursos Hídricos. – Brasília: MMA. 148 p.

Collischonn, W. *et al.*, 2006. Da vazão ecológica ao hidrograma ecológico. In: *Congresso da Água*, 8, Figueira da Foz. Anais... Lisboa: APRH. CD-Rom.

Fioreze, A. P e Oliveira, L. F. C. 2010. Usos dos recursos hídricos da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Santa Bárbara, Goiás, Brasil. *Pesquisa Agropecuária Tropical.*, 40(1), 28-35.

Genz, F e Luz, L. D. 2012. Distinguishing the effects of climate on discharge in a tropical river highly impacted by large dams. *Hydrological Sciences Journal.*, 57, 1020-1034.

Holanda, F. S. R.; Rocha, I. P. e Oliveira, V. S. 2008. Estabilização de taludes marginais com técnicas de bioengenharia de solos no Baixo São Francisco. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental.*, 12, 570-575.

Luiz, S. F., Fernandes, W.S. e Reis Júnior, D. S. 2013. Regionalização Hidrológica de Vazões Mínimas por meio dos Métodos OLS e WLS Aplicada à Bacia do Alto São Francisco. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos.*, 18(4), 231-241.

- Kite, G. W. (1988). Frequency and risk analyses in hydrology. 5. ed.: *Water Resources Publications Highlands Ranch - Colorado*, 257p.
- Medeiros, P. R. P. et al. 2011. Changes in Nutrient Loads (N, P and Si) in the São Francisco Estuary after the Construction of Dams. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 54, 387-397.
- Kroll, C. N. e Vogel, R. M. 2002. Probability distribution of low streamflow series in the United States. *Journal of Hydrologic Engineering*, 7, 137-146.
- Milliman, J. D. et al. 2008. Climatic and anthropogenic factors affecting river discharge to the global ocean, 1951–2000. *Global and Planetary Change*, 62, 187-194.
- Martins, D. M. F. et al. 2011. Impactos da construção da usina hidrelétrica de Sobradinho no regime de vazões no Baixo São Francisco. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 15, 1054-1061.
- Medeiros, P. R. P. et al. 2007. Aporte fluvial e dispersão de matéria particulada em suspensão na zona costeira do Rio São Francisco (SE/AL). *Geoch. Bras. Iliensis*, 21, 209-228.
- Pruski, F. F.; Silva, D. D e Koez, M. 2006. Estudo da Vazão em Cursos d'Água. Viçosa: Engenharia na Agricultura. Caderno didático:43. Associação de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa,. 151 p.
- Rebouças, A. C.; Braga, B. e Tundisi, J. G. "Hidreletricidade", In: Kelman, J.; Pereira, M. V. F., Araújo Neto, T. A.; et al., *Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação*, 3 ed., São Paulo, Escrituras Editora, 2006, p 748.
- Reis, J. A. T. et al. 2008. Indicadores regionais aplicáveis à avaliação do regime de vazão dos cursos d'água da Bacia Hidrográfica do Rio Itabapoana. *Geociências*, 21(4), 509-516.
- Santos, H. I.; Oliveira, L. G. e Fioreze, A. P. 2006. Avaliação das vazões alocáveis na bacia hidrográfica do Rio dos Bois e Sub-Bacia do Rio do Peixe, Estado de Goiás. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 11(2), 47-58.
- Silva, A. M. et al. 2006. Vazões mínimas e de referência para outorga na região do Alto Rio Grande, Minas Gerais. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 10(2), 374–380.
- Silva, D. D. ; Marques, F. de A. e Lemos, A. F. 2009. Avaliação de metodologias de regionalização de vazões mínimas de referência para bacia do rio São Francisco. *Engenharia na Agricultura*, 17, 392-403.
- Syvitski, J. P. M. et al. 2005. Impact of Humans on the Flux of Terrestrial Sediment to the Global Coastal Ocean. *Science*, 308, 376-380.
- Song, X. J. et al. 2007. Ecological and environmental instream flow requirements for the Wei River - the largest tributary of the Yellow River. *Hydrological Processes*, 21, 1066-1073.
- Sousa, H. T. et al. 2009. SisCAH 1.0: *Sistema computacional para análises hidrológicas*. Brasília: Agência Nacional de Águas, Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2009. 60p.
- Stevaux, J. C.; Martins, D. P. e Meurer, M. 2009. Changes in a large regulated tropical river: The Paraná River downstream from the Porto Primavera Dam, Brazil. *Geomorphology*, 113, 230-238.
- Tundisi, J. G.; Matsumura-Tundisi, T. e Braga, E. 1998. Reservoir management in South America. *World Water Dev*, 14, 141-145.
- Vörösmarty, C. J.; Meybeck, M.; Fekete, B. e Sharma, K. 1997, In: *Human Impact on Erosion and Sedimentation*. Proc. Of the Rabat Symposium. IAHS. 245, 261-273.
- Zahar, Y.; Ghorbel, A. e Albergel, J. 2008. Impacts of large dams on downstream flow conditions of rivers: Aggradation and reduction of the Medjerda channel capacity downstream of the Sidi Salem dam (Tunisia). *Journal of Hydrology*, 351, 318-330.