



I SIMPÓSIO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO FRANCISCO

Integrando conhecimentos científicos em defesa do Velho Chico.

ANÁLISE DAS PRECIPITAÇÕES TOTAIS ANUAIS NO ALTO E MÉDIO SÃO FRANCISCO E SUA CORRELAÇÃO COM A VAZÃO NATURAL

Thiago Franklin Santos de Almeida¹; Marcos Antonio Barbosa da Silva Junior²; Roberta de Melo Guedes Alcoforado³; José Roberto Gonçalves de Azevedo⁴

Resumo – O rio São Francisco proporciona uma das ofertas de água mais importantes na região do semiárido nordestino. Nos últimos anos, diversos estudos apontam que ocorreram mudanças climáticas na região a qual se encontra a bacia hidrográfica do respectivo rio. As Normais Climatológicas do Brasil 1961-1990 já apontaram uma redução de até 30% da precipitação nesta região, em comparação com os dados obtidos em 1931-1960. Diante deste problema, foram analisadas neste estudo as séries pluviométricas dos últimos 30 anos (1986-2015) nas sub-bacias 40 a 47, que integram as Regiões Hidrográficas do Alto e Médio São Francisco. Ao todo, foram utilizados 144 postos pluviométricos, onde se obteve os valores da precipitação total anual para cada sub-bacia, analisando também sua tendência linear ao longo dos anos. Por fim, foram utilizadas as séries das vazões naturais para a Usina Hidrelétrica de Sobradinho, reconstituídas pelo ONS, com a finalidade de encontrar uma possível correlação entre a redução da precipitação na parte de maior contribuição para a vazão do rio São Francisco. Os resultados apontaram uma significativa redução na precipitação em 7 das 8 sub-bacias e da vazão natural, da ordem de 20 m³/s por ano e de 560 m³/s para o período estudado.

Palavras-Chaves: Alto e Médio São Francisco - Redução da Precipitação - Vazões Naturais.

ANALYSIS OF ANNUAL PRECIPITATION IN UPPER AND MIDDLE SÃO FRANCISCO AND THE CORRELATION WITH NATURAL FLOW

Abstract - The São Francisco River provides one of the largest water deals in the northeastern semi-arid region. In recent years, several studies indicate that climate change occurred in the region which is the catchment area of this river. The Normais Climatológicas do Brasil 1961-1990 already showed a reduction of up to 30% of the precipitation in the region, compared with the data obtained in 1931-1960. Faced with this problem, this study analyzed the rainfall series for the last 30 years (1986-2015) in the sub-basins 40 to 47, comprising the Hydrographic Regions of Upper and Middle São Francisco. In all, were used 144 rainfall stations, where it obtained the values of the total annual rainfall for each sub-basin also analyzing its linear trend over the years. Finally, were used the series of natural flow to the Hydroelectric Power Plant Sobradinho, reconstituted by the ONS, in order to find a possible correlation between the reduction of precipitation on the greatest contribution to the flow of the San Francisco River. The results showed a significant reduction in rainfall in 7 of the 8 sub-basins and the natural flow of the order of 20 m³/s per year and 560 m³/s for the period studied.

Keywords: Upper and Middle São Francisco - Reduced rainfall - Natural Flows.

¹ Mestrando no PPGEC-UFPE na área de Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos. E-mail: thiagofsa7@gmail.com

² Mestre em Engenharia Civil pela Universidade de Pernambuco (UPE). E-mail: marcos15barbosa@hotmail.com

³ Professora do Departamento de Engenharia Civil da UPE. E-mail: ralcoforado@projetechnet.com.br

⁴ Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Civil da UFPE. E-mail: robdosport@hotmail.com

I SIMPÓSIO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO FRANCISCO

Integrando conhecimentos científicos em defesa do Velho Chico.

ÁREA DE ESTUDO

A Bacia do Rio São Francisco abrange uma área de drenagem da ordem de 645.000 km², correspondendo a cerca de 8% do território nacional. O Rio nasce no Chapadão da Zangaia, a 1.428 metros de altitude, no município de São Roque (MG), onde foi criado o Parque Nacional da Serra da Canastra, em 1972, para proteção de sua nascente. Nessa região não há mais vegetação, sendo uma planície varrida por fortes ventos, quase desértica. O Rio, com 2.658 km de extensão, corta cinco estados e sua bacia hidrográfica abrange seis estados da Federação: Minas Gerais, Bahia, Goiás, Pernambuco, Sergipe e Alagoas e o Distrito Federal. Percorrendo regiões com as mais diversas condições socioambientais, o rio se modifica em seu percurso quanto ao volume hídrico e aos usos diferenciados da água: energia, consumo, lazer, turismo e piscicultura, segundo relata Silva *et al.* (2010).

Segundo Ramos (2003), cerca de 85% da água do São Francisco tem origem nos cerrados e 72% de sua vazão advém do estado de Minas Gerais. Suas nascentes, bem como as de seus principais afluentes, estão situadas em regiões de chuvas regulares, de acordo com Godoy (2003).

Tradicionalmente, a Bacia do rio São Francisco é subdividida em quatro Regiões Hidrográficas: o Alto, o Médio, o Submédio e o Baixo São Francisco. O Alto São Francisco se estende das nascentes até a cidade de Pirapora-MG, o Médio segue de Pirapora-MG à cidade de Remanso-BA, às margens do reservatório de Sobradinho, o Submédio compreende o trecho entre Remanso-BA e Paulo Afonso-BA e o baixo, de Paulo Afonso-BA até a foz. A Tabela 1, a seguir, apresenta características regionais de cada região citada.

Tabela 1 - Características das Regiões Hidrográficas do rio São Francisco.

Características	Regiões Fisiográficas			
	Alto	Médio	Submédio	Baixo
Área (km ²)	99.387	401.559	115.987	19.987
Altitudes (m)	1.600 a 600	1.400 a 500	800 a 200	480 a 0
Trecho principal (km)	1.003	1.152	568	140
Declividade do rio principal (m/km)	0.70 a 0.20	0.1	0.10 a 3.10	0.1
Contribuição da vazão natural média (%)	41.7	55	1.9	1.8
Vazão média anual máxima (m ³ /s) - Mês	Pirapora - 1.303 (fevereiro)	Juazeiro - 4.393 (fevereiro)	Pão de Açúcar - 4.660 (fevereiro)	Foz - 4.680 (março)
Vazão média anual mínima (m ³ /s) - Mês	Pirapora - 637 (agosto)	Juazeiro - 1.419 (setembro)	Pão de Açúcar - 1.507 (setembro)	Foz - 1.536 (setembro)
Sedimentos (10 ⁶ t/ano) e área (km ²)	Pirapora - 8.3 (61.880)	Morpará - 21.5 (344.800)	Juazeiro - 12.9 (510.800)	Propriá 0.41 (620.170)
Clima predominante	Tropical úmido e temperado de altitude	Tropical semi-árido e subúmido seco	Semi-árido e árido	Subúmido
Faixa de precipitação anual (mm)	2.000 a 1.100	1.400 a 600	800 a 350	1.500 a 350
Precipitação média anual (mm)	1.372	1.052	693	957
Temperatura média (°C)	23	24	27	25
Insolação média anual (h)	2.400	2.600 a 3.300	2.801	2.800
Evapotranspiração média anual (mm)	1.000	1.300	1.550	1.500

Fonte: ANA/SPR e Programa de Ações Estratégicas (PAE)(ANA/GEF/PNUMA/OEA, 2003).

Conforme apresentado na tabela anterior, as regiões do Alto e Médio São Francisco são responsáveis em contribuir por quase 97% da vazão do rio, além apresentam as maiores precipitações médias, 1.372 mm e 1052 mm, respectivamente. E ainda, o Médio São Francisco é a

I SIMPÓSIO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO FRANCISCO

Integrando conhecimentos científicos em defesa do Velho Chico.

maior região hidrográfica, com cerca de 63% (401.559 km²) da área de toda a bacia.

Desta forma, foram escolhidas as sub-bacia 40 a 47 como área deste estudo. Estas contemplam as duas regiões mencionadas. Com a finalidade de facilitar a visualização dos componentes da bacia citados anteriormente, apresenta-se na Figura 1 o mapa da bacia hidrográfica do rio São Francisco com as divisões das regiões hidrográficas, bem como disposição das sub-bacias trabalhadas neste estudo.

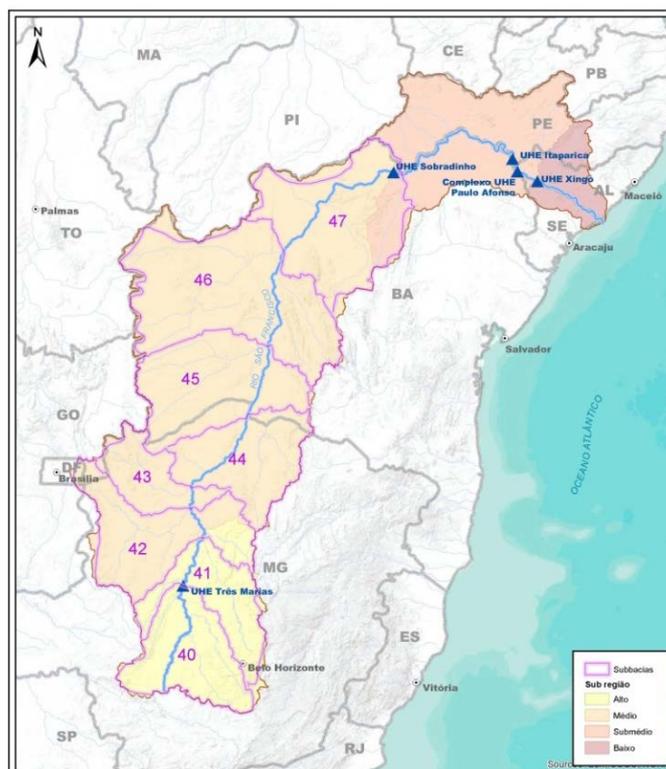


Figura 2 - Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco, Regiões Hidrográficas e Sub-bacias 40 a 47.

METODOLOGIA

Os métodos aplicados para o desenvolvimento deste trabalho se divide em duas etapas. A Primeira detalha as diretrizes que conduziram a análise pluviométrica das sub-bacias estudadas, e a segunda explicita como foram examinados os dados das vazões naturais reconstituídas para a USB.

Análise Pluviométrica

Foram analisadas as séries históricas dos totais anuais precipitados de 144 postos pluviométricos operados pela ANA, CPRM e INMET, situados nas sub-bacias 40 a 47 do rio São Francisco. Na seleção dos postos foram priorizados os que possuíam maior número de registros pluviométricos disponíveis. Foram utilizados dados brutos, sem nenhum trabalho de consistência, extraídos integralmente do Portal Hidroweb, cuja responsabilidade cabe a ANA.

De posse das séries diárias de pluviometria, foram obtidos os totais mensais e posteriormente os totais anuais para cada posto. As séries anuais obtidas foram agrupadas por sub-bacia, e em seguida, foi aplicada uma média aritmética a fim de estabelecer uma série única e representativa de pluviosidade para as respectivas sub-bacias.

I SIMPÓSIO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO FRANCISCO

Integrando conhecimentos científicos em defesa do Velho Chico.

Conforme a recomendação da Organização Meteorológica Mundial (OMM), os padrões climatológicos normais correspondem às médias de dados climatológicos calculadas para os períodos consecutivos de 30 anos. Desta forma, foi limitada a análise dos dados pluviométricos para o período entre os anos de 1986 a 2015 (30 anos), sendo este o mais recente disponível no banco de dados da ANA. A Tabela 2 apresenta uma síntese dos dados analisados, destacando a quantidade de postos pluviométricos e o período da série histórica agrupada por sub-bacia.

Tabela 2 - Síntese dos dados trabalhados.

Região Fisiográfica da Bacia	Sub-bacia	Afluentes	Nº de postos pluviométricos utilizados	Período da série de dados
Alto	40	Rios São Francisco, Paraopeba e outros.	18	1986-2015
	Reservatório da Usina Hidrelétrica de Três Marias.			
	41	Rios São Francisco, Velhas e outros.	15	1986-2015
Médio	42	Rios São Francisco, Paracatu e outros.	16	1986-2015
	43	Rios São Francisco, Urucuia e outros.	15	1986-2015
	44	Rios São Francisco, Verde Grande e outros.	24	1986-2015
	45	Rios São Francisco, Carinhanha e outros.	19	1986-2015
	46	Rios São Francisco, Grande e outros.	20	1986-2015
	47	Rios São Francisco, Jacaré e outros.	17	1986-2015
	Reservatório da Usina Hidrelétrica de Sobradinho.			

Análise das Vazões Naturais da Usina Hidrelétrica Sobradinho

O Operador Nacional do Sistema Elétrico – ONS, a partir de 2001, incorporou no seu Plano de Ação os estudos de reconstituição de séries de vazões naturais, necessários para se estabelecer uma base de dados hidrológicos qualificados e consistente para todos os locais de aproveitamentos hidrelétricos.

A vazão natural é obtida por meio de um processo de reconstituição, que considera a vazão observada no local e as informações relativas às ações antrópicas na bacia, tais como: regularizações de vazões realizadas por reservatórios, desvios de água, evaporações em reservatórios e usos consuntivos (irrigação, criação animal e abastecimentos urbano, rural e industrial). Atualmente, as séries de vazões naturais abrangem o horizonte de 1931 a 2014.

Diante disto, foram utilizados os dados mensais das vazões naturais da USB, e determinando-se os valores médios anuais. Posteriormente, foi feita a restrição para o período de análise ser compatível com os utilizados para a precipitação, sendo este entre os anos de 1986 e 2014. Por fim, foi gerado o gráfico temporal das vazões, adicionando-se a este uma linha de tendência linear. Esta linha tem por objetivo apenas indicar visualmente a propensão da vazão ao longo dos anos estudados.

Com tais instrumentos trabalhados, foi possível comparar a variação e tendência da precipitação nas sub-bacias 40 a 47 do rio São Francisco com as vazões naturais da USB, próximo ao ponto de exutório da área de drenagem estudada.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Análise pluviométrica das sub-bacias 40 a 47

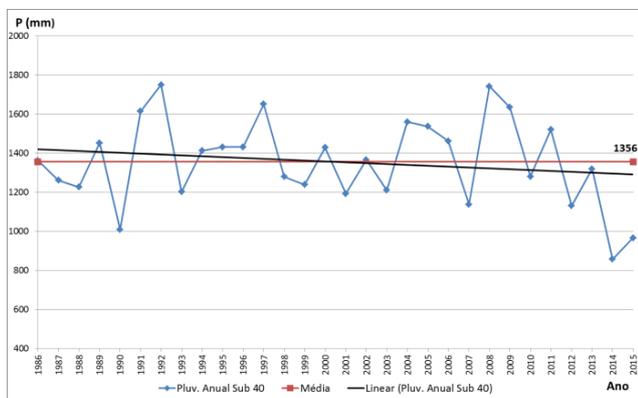
A seguir serão apresentadas as análises dos totais anuais precipitados nas regiões hidrográficas do Alto (sub-bacias 40 e 41) e Médio (sub-bacias 42 a 47) São Francisco, bem como a tendência linear da pluviometria ao longo do período estudado (1986-2015).

De uma maneira geral, os resultados apontam para um decréscimo nos totais pluviométricos anuais na região de estudo, com base nas séries históricas de dados de precipitação. A Figura 3 representa graficamente as séries obtidas para cada sub-bacia analisada, destacando a média histórica dos totais anuais precipitados.

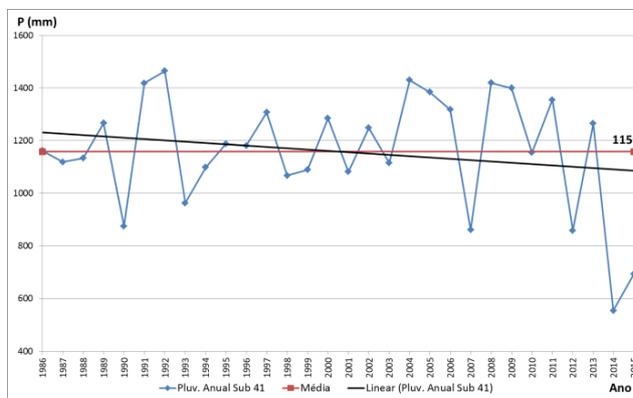
Para o Alto São Francisco (sub-bacias 40 e 41) ocorreu uma redução da pluviometria para o período analisado. Isso pode ser notado na Figura 3(a) e (b), através da tendência linear, e estas sub-bacias apresentaram valor médio de 1.356 mm e 1.159 mm, respectivamente.

Das seis sub-bacias que representa o Médio São Francisco, Figura 3(c) a (h), apenas uma (sub-bacia 43) indicou um leve acréscimo da precipitação nos anos analisados. As demais (sub-bacias 42, 44, 45, 46 e 47) demonstraram uma tendência de redução. Os valores médios variaram entre 1.356 mm (sub-bacia 40) e 529 mm (sub-bacia 47). Como eram esperados, os resultados mostram que a média da precipitação tende a cair de montante para jusante.

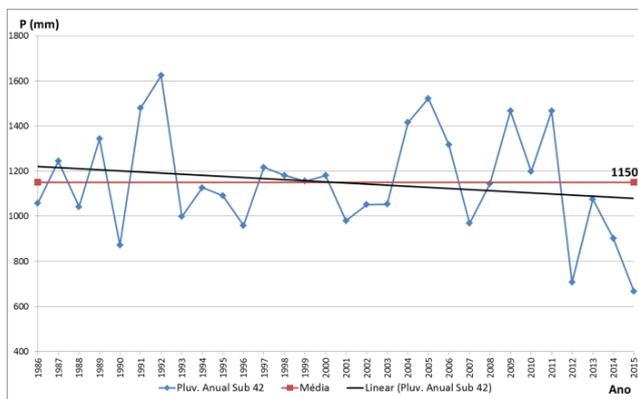
Diante destes resultados, pode-se afirmar que a precipitação no Alto e Médio São Francisco vem reduzindo ao longo dos últimos 30 anos, influenciando significativamente na oferta hídrica da região.



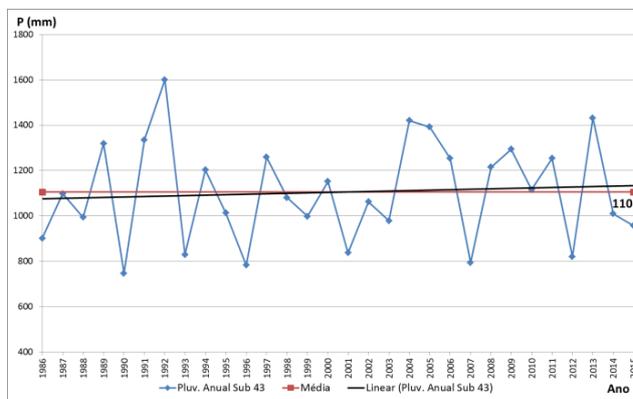
(a) Sub-bacia 40



(b) Sub-bacia 41



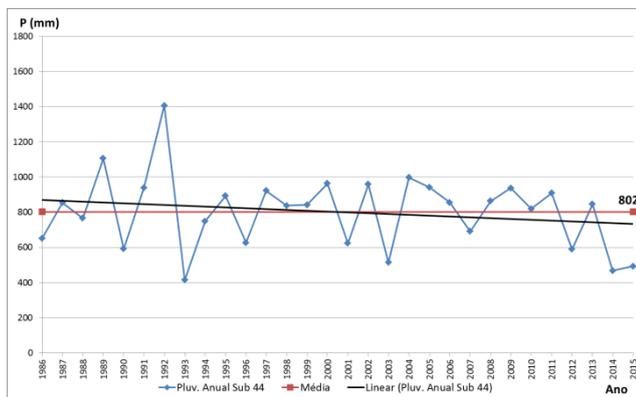
(c) Sub-bacia 42



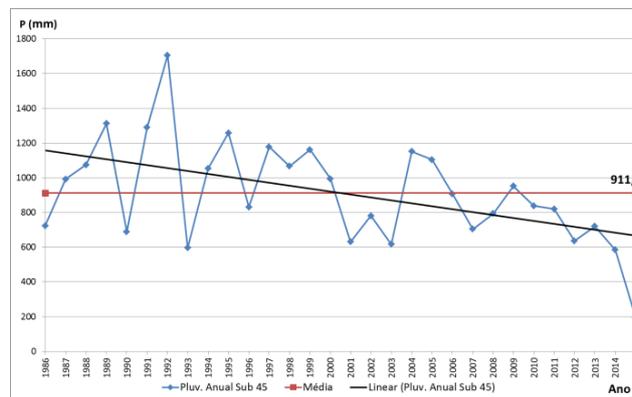
(d) Sub-bacia 43

I SIMPÓSIO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO FRANCISCO

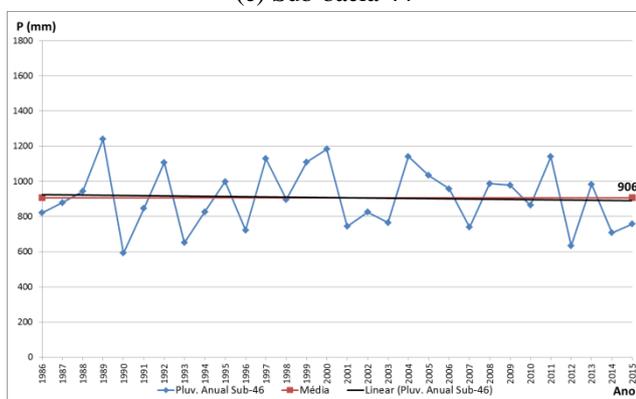
Integrando conhecimentos científicos em defesa do Velho Chico.



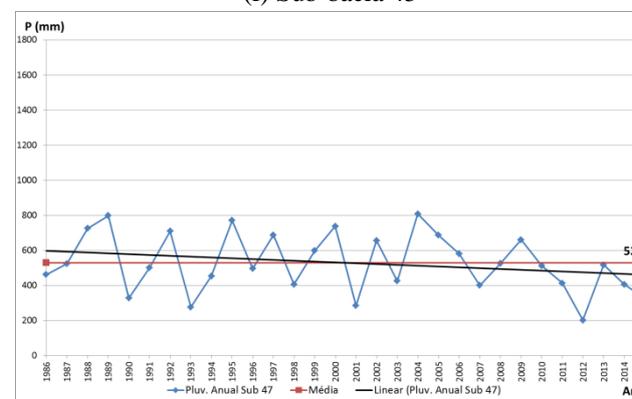
(e) Sub-bacia 44



(f) Sub-bacia 45



(g) Sub-bacia 46



(h) Sub-bacia 47

Figura 3 - Pluviometria total anual para as sub-bacias 40 a 47.

Análise da vazão natural na USB

As vazões naturais anuais para a USB estão exibidas na Figura 4. Nela é possível observar que ocorre uma tendência linear de redução da vazão ao longo dos anos. Ainda é possível observar que a vazão média para o período (1986-2014) foi de 2.205 m³/s. A redução da vazão foi em média de 20 m³/s por ano, chegando a um total de cerca de 560 m³/s ao fim dos 29 anos.

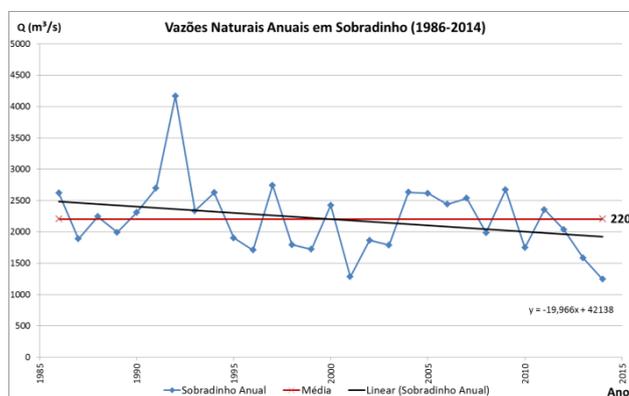


Figura 4 - Vazões Naturais Anuais na USB (1986-2014).

Desta forma, os diagnósticos da pluviometria da área de estudo e da vazão natural para a USB mostram certa correlação, uma vez que ambos tendem a uma redução ao longo dos últimos anos.



I SIMPÓSIO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO FRANCISCO

Integrando conhecimentos científicos em defesa do Velho Chico.

CONCLUSÕES

A oferta hídrica na bacia hidrográfica do rio São Francisco vem sendo afetada nos últimos anos devido à redução da pluviometria no Alto e Médio São Francisco. Tal afirmativa foi comprovada por este estudo, uma vez que os resultados encontrados indicam uma atenuação da precipitação de 7 (sete) das 8 (oito) sub-bacias, com os valores médios variando entre 1356 mm e 529 mm, examinadas entre os anos de 1986 e 2015.

As vazões naturais anuais da USB, próxima ao exutório da área de estudo, também apresentou uma tendência de redução ao longo do período averiguado, de 1986 a 2014. Tal redução das vazões naturais foi em média de 20 m³/s ao ano, somando 560 m³/s em toda a série. Tal valor é bastante significativo, uma vez que ao se analisar as séries naturais de vazão estão sendo subtraídos o consumo da água na bacia, seja para abastecimento, irrigação ou outro uso, e os efeitos de regularização que a Usina Hidrelétrica de Três Marias, localizada no Alto São Francisco, possa vir a realizar, como evaporação e amortização dos picos de cheias.

Estudos com a finalidade de verificar as mudanças climáticas que estão acontecendo nesta bacia hidrográfica seriam de extrema importância para se entender melhor as reduções de precipitação e vazão. Também, estudos que retratem que as atividades antrópicas realizadas na bacia, tais como usos consultivos (abastecimento, irrigação, pecuária, etc.), a alteração acelerada no uso e ocupação do solo e a construção de milhares de pequenos barramentos na área de drenagem, podem vir a fornecer conhecimentos fundamentais para a gestão dos recursos hídricos da bacia hidrográfica do rio São Francisco.

REFERÊNCIAS

ANA – Agência Nacional de Águas (2005). Caderno de Recursos Hídricos – Disponibilidade e Demandas de Recursos Hídricos no Brasil. Brasília-DF, 123p.

ANA – Agência Nacional de Águas (2016). Sistema de Informações Hidrológicas. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br/>>. Acesso em: 2 fev. 2016.

ANA/GEF/PNUMA/OEA (2004). Projeto de gerenciamento integrado das atividades desenvolvidas em terra na bacia do São Francisco. Brasília-DF, 128p.

GODOY, P. (2003). Subprojeto 1.1. C – Avaliação da Contribuição do Rio São Francisco ao Incremento da Competitividade da Agricultura na Bacia. 2003.

ONS – Operador Nacional do Sistema Elétrico (2015). Atualização de Séries Históricas de Vazões – Período 1931 a 2014. ONS, Rio de Janeiro-RJ, 38p.

RAMOS, M. M. (2003). Subprojeto 4.3 – Quantificação e Análise da Eficiência do Uso da Água Pelo Setor Agrícola na Bacia do São Francisco. Viçosa, MG.

SILVA, W.F.; MEDEIROS, P.R.P.; VIANA, F.G.B. (2010). Quantificação Preliminar do Aporte de Sedimentos no Baixo São Francisco e seus Principais Impactos. In *Anais do X Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste*, Fortaleza, Nov. 2010. p. 1-14.