

## **AS TENDÊNCIAS DE LONGO PRAZO DAS VAZÕES FLUVIAIS NO LITORAL DO ESTADO DA BAHIA**

Fernando Genz <sup>1</sup>; Guilherme C. Lessa <sup>2</sup>; Mauro Cirano<sup>2</sup>; Geraldo Marcelo P. Lima <sup>3</sup>.

<sup>1</sup> *Curso de Pós-Graduação em Geologia Costeira e Sedimentar, Instituto de Geociências, UFBA. [fgenz@uol.com.br](mailto:fgenz@uol.com.br)*

<sup>2</sup> *Instituto de Geociências, Campus Universitário da Ondina, Universidade Federal da Bahia, Salvador, Bahia, Brazil, 40170-115. [glessa@cpgg.ufba.br](mailto:glessa@cpgg.ufba.br)*

<sup>3</sup> *Curso de Pós-Graduação em Geologia Costeira e Sedimentar, Instituto de Geociências, UFBA. [gm@cpgg.ufba.br](mailto:gm@cpgg.ufba.br)*

### **RESUMO**

Análise de dados de vazões de 20 estações fluviométricas em rios que deságuam na costa brasileira, distribuídos entre o sul do Estado de Sergipe e o litoral extremo sul do Estado da Bahia. As análises mostram a existência de ciclos importantes com período de 3 a 5 anos, 10 anos e um ciclo com mais de 40 anos. Verifica-se a existência e uma tendência de redução nas vazões médias anuais nos últimos vinte anos do século XX, associada a uma fase do ciclo de longo prazo.

### **ABSTRACT**

The analysis of river discharge (1940 - 1999) data from 20 rivers between the southern State of Sergipe and the southern State of Bahia shows the existence of important cycles of 3-5, 10 years and cycle with more than 30 years. It is noted a flow reduction trend in the last twenty years of the 20<sup>th</sup> century, associated to a phase of the long time cycle.

Palavras-Chave: tendência, vazão.

### **INTRODUÇÃO**

A identificação dos períodos hídricos do ciclo hidrológico é importante para o gerenciamento de reservatórios e para a regulamentação da outorga de direito de uso da água. Na zona costeira, especialmente, a diminuição das vazões fluviais, resultantes de fatores climáticos e intervenções antrópicas que agem em cascata para jusante, podem repercutir na navegabilidade, na manutenção de áreas portuárias, nas atividades de maricultura, no grau de salubridade das águas e no zoneamento ecológico das áreas de transição.

A variação da vazão fluvial é decorrente da interação de vários fatores físicos, mas principalmente da precipitação que entra no sistema da bacia hidrográfica. A variação da precipitação obedecem a fenômenos que variam de escala regional a planetária. Frequências de flutuações da precipitação e vazão fluvial são relatadas como variando de seis meses (variação sazonal) a 32 anos. Segundo estudo de Pekárova et al (2003), a análise estatística de séries extensas de grandes rios do planeta mostraram ciclos de 3,6, 7, 13-14, 20-22 e 28-32 anos para os eventos de cheia extremos. A identificação destas diferentes frequências depende obviamente do tamanho da série temporal, sendo que ciclos de 28-32 anos só foram observados em locais com séries temporais superiores a 100 anos (Pekárova et al, 2003). No Brasil poucos artigos foram publicados avaliando os ciclos das vazões fluviais. Dignos de nota são os artigos de Carvalho 2001, sobre a produção de sedimentos condicionada à variabilidade climática na bacia do Alto Rio São Francisco, a montante da Barragem de Três Marias, e de Marengo e Tomasella (1998), sobre as tendências das vazões na região tropical da América do Sul. Carvalho (2001) identificou uma tendência de aumento das vazões médias anuais no posto Porto das Andorinhas (série de 1931 a 1999) e consequente aumento do transporte de sedimentos em suspensão. Marengo e Tomasella (1998), através de séries temporais nos três meses mais úmidos de

vazão nos rios São Francisco e Parnaíba (quatro estações) e de precipitação em 16 estações pluviométricas, sugerem uma pequena tendência de aumento da precipitação no Nordeste do Brasil. Em termos de vazões, apontam uma tendência de aumento para o Rio Parnaíba e diminuição no Rio São Francisco. Tendências opostas nestas duas bacias são explicadas pelos autores como decorrentes de limitados dados do Rio São Francisco que, proveniente de uma estação localizada a jusante da barragem de Sobradinho, estaria refletindo o impacto da barragem nas vazões. A tendência de aumento das vazões do Rio Parnaíba é explicada pela presença de anos com grandes anomalias positivas na década de 80. No geral, Marengo e Tomasella (1998) sugerem que não esteja ocorrendo nenhuma tendência de longo prazo na vazão dos dois rios.

O presente trabalho tem por objetivo estender a investigação das tendências na descarga fluvial para o litoral da região nordeste, avaliando as séries temporais de vazão de 20 estações fluviométricas entre o sul do Estado de Sergipe e o litoral extremo sul do Estado da Bahia.

### **METODOLOGIA**

Os principais rios afluentes ao oceano no litoral da Bahia foram selecionados para a análise das tendências de longo prazo, priorizando-se i) os postos fluviométricos mais próximos à costa, ii) a extensão da série de dados e iii) a representatividade para as bacias hidrográficas no entorno. A Tabela 1 apresenta detalhes dos postos utilizados nas análises.

Tabela 1. Postos fluviométricos selecionados.

	Cód SIH	Nome	Rio	Área [km <sup>2</sup> ]	Vazão média [m <sup>3</sup> /s]	Início	Fim	Extensão [anos]
1	50890000	Emboacica	Jacuipe	770	15,3	1956	1997	41
2	50795000	Tiririca	Pojuca	4860	28,1	1945	1999	54
3	50690000	Cambuís	Subauma	1040	5,2	1967	1999	32
4	50660000	Corte Grande	Inhambupe	4140	11,2	1967	1999	32
5	50595000	Altamira	Itapicuru	35150	33,0	1935	1999	64
6	50290000	Itanhi	Real	4320	14,2	1967	1999	32
7	51240000	Itaeté	Paraguaçu (1)	14575	64,4	1936	1999	63
8	51350000	Argoim	Paraguaçu (2)	37245	83,5	1946	1999	53
9	51685000	Jiquiriça	Jiquiriça	5970	15,9	1956	1999	43
10	51890000	Nilo Peçanha	Almas	2830	40,4	1958	1999	41
11	52790000	Pedrinhas	Gongogi	5048	38,5	1950	1999	49
12	53050000	Itajuípe	Almada	621	8,4	1935	1997	62
13	53170000	Ferradas	Cachoeira	3886	24,2	1966	1998	32
14	53950000	Mascote	Pardo	30373	68,7	1937	1998	61
15	54950000	Itapebi	Jequitinhonha	68446	354,4	1937	1998	61
16	55170000	Faz. Limoeiro	Buranhém	2556	22,3	1973	1999	26
17	55340000	Itamaraju	Jucuruçu B.N.	3048	26,6	1967	1999	32
18	55490000	Faz. Cascata	Itanhém	5084	31,3	1954	1999	45
19	55740000	Faz. Martinica	Mucuri	14560	203,1	1944	1999	55
20	45480000	Bom J. da Lapa	São Francisco	273750	2182,5	1945	1999	54

As séries de vazões originais foram obtidas no Sistema de Informações da Agência Nacional das Águas - ANA (<http://hidroweb.ana.gov.br/HidroWeb>). Elas passaram por um processo de tratamento, quando necessário, sendo preenchidas e estendidas ao máximo. Nos rios das bacias hidrográficas maiores foi possível realizar a extensão a partir de um posto fluviométrico a montante no mesmo curso d'água. Nos rios em que existiam somente um posto fluviométrico, ou mesmo um posto a montante sem acréscimo de informação, o preenchimento e extensão da série foi realizado com dados de uma bacia na vizinhança. Ainda assim, algumas séries contam com algumas falhas anuais. Nos postos dos rios Pardo, Jequitinhonha e Mucuri foi necessário revisar as curvas-chaves dos postos 53950000, 54950000 e 55740000.

Com exceção do Rio São Francisco, não há grandes barragens a montante dos postos fluviométricos selecionados, pelo menos até o ano de 1999.

A vazão média anual foi a variável hidrológica escolhida para a análise da tendência de longo prazo, pois as alterações no escoamento, quando não extremas, tendem a se equilibrar ao longo do ano. Determinou-se o valor médio considerando o período do ano hidrológico de cada bacia hidrográfica (outubro/novembro do ano anterior à setembro/outubro do ano de interesse). Para verificar o comportamento hidrológico dos rios, os dados anuais foram normalizados pela média de todos os dados disponíveis.

De maneira a detalhar a variabilidade da tendência ao longo da série, utilizou-se um filtro espectral para períodos de 3, 7, 14 e 28 anos, partindo dos ciclos próximos daqueles indicados por Pekárova et al (2003). Os filtros têm a propriedade de atenuar as flutuações resultantes de eventos de curto prazo (menores que o período aplicado) e destacar as variações climáticas de prazo maior que a média móvel (Pekárova et al, 2003). Operações de subtração entre duas séries filtradas acabam por destacar ciclos de período para o tempo intermediário das séries. A análise da

tendência foi realizada a partir da série resultante da média dos valores adimensionais de cada ano das três regiões.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

A elaboração de um gráfico com as séries do período comum de dados (1972 a 1999), sem falhas, possibilitou a separação em três regiões distintas, a saber:

- 1) Litoral Norte, que inclui a área de Salvador à divisa com Sergipe, englobando os rios Jacuipe, Pojuca, Subauma, Inhambupe, Itapicuru e Real;
- 2) Litoral Sul, que inclui a área de Salvador à foz do Rio Pardo, em Canasvieiras, englobando os rios Paraguaçu, Juagaripe, Jiquiriça, Almas, Almada, Cachoeira e Rio Pardo;
- 3) Litoral Extremo Sul, englobando os rios Jequitinhonha, Buranhém, Jucuruçu, Itanhém e o Médio Rio São Francisco.

As figuras 1 a 3 apresentam o comportamento em cada região.

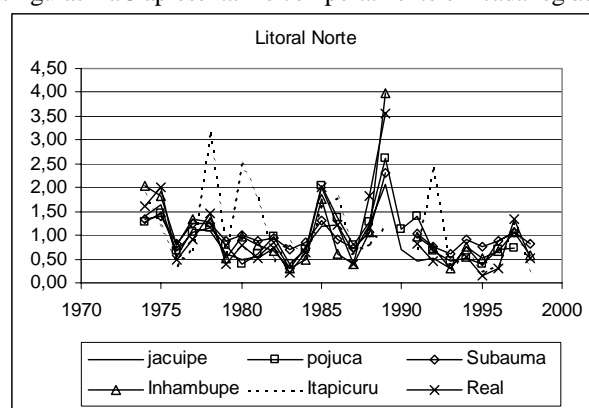


Figura 1. Variação das vazões fluviais (adimensional) das bacias do Litoral Norte

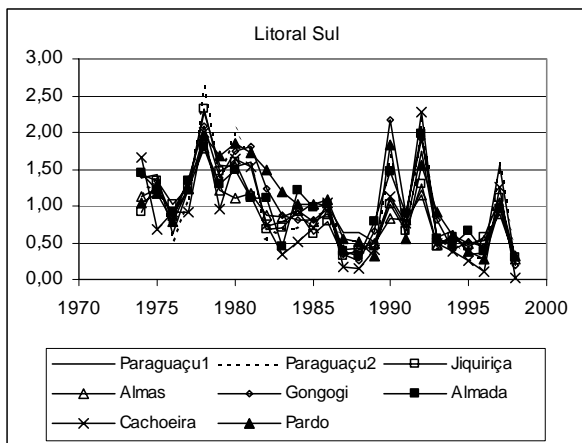


Figura 2. Variação das vazões fluviais (adimensional) das bacias do Litoral Sul

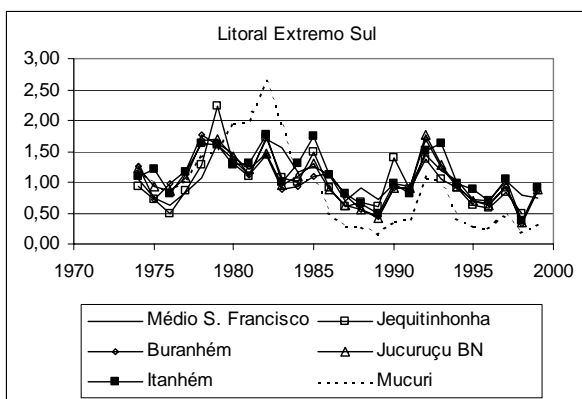


Figura 3. Variação das vazões fluviais (adimensional) das bacias do Litoral Extremo Sul

Na região Norte, destaca-se o comportamento do Rio Itapicuru. Ele tem uma bacia cerca de dez vezes maior que as demais e adentra o continente, com grande parte de sua área dentro da região semi-árida. Como consequência, tem uma vazão média pequena proporcionalmente às outras, mas com fortes oscilações nos anos úmidos.

Dentre as três regiões, o Litoral Sul apresenta um comportamento mais concordante entre os rios que a compõe, embora a magnitude de tamanho das bacias seja tão variável quanto à região Norte.

No Litoral Extremo Sul, o Rio Mucuri apresenta diferenças de comportamento para o período, apesar da revisão nos dados desse posto. Será considerado como não pertencente à região, ficando fora da análise das tendências. O Rio São Francisco, representado por um posto fluviométrico localizado no trecho Médio da bacia (início da Bahia), apesar de sua grande área de abrangência e da existência da Barragem de Três Marias, demonstrou um comportamento semelhante aos rios do Litoral Extremo Sul.

Uma definição de áreas homogêneas da precipitação no Estado da Bahia foi proposta por Chaves (1999), dividindo-o em sete zonas: duas regiões no litoral (de Sergipe até a Baía de Camamu e desta até o limite com o Espírito Santo), a região Oeste e mais quatro regiões no

interior que englobam o polígono das secas. As subdivisões propostas por Chaves (1999) coincidem apenas parcialmente com as regiões sugeridas pela fluviometria. Isso é explicado pelo fato da área das bacias hidrográficas abrangerem várias zonas climáticas, e pela propriedade de converter precipitação em vazão, integrando temporal e espacialmente os processos do ciclo hidrológico.

A análise da tendência realizada para a média dos valores adimensionais de cada ano nas três regiões para o período 1940 a 1999 (Figura 4) mostram uma tendência de redução das vazões médias. No entanto, se for escolhido o período de 1941 a 1997, onde os valores inicial e final da vazão normalizada são semelhantes (próximos a 1), a tendência para o Litoral Norte muda, passando a ser crescente (positivo). Essa alteração mostra como o critério adotado na definição dos extremos das séries temporais é importante para a investigação de tendências, podendo gerar avaliações distintas para uma mesma série de dados.

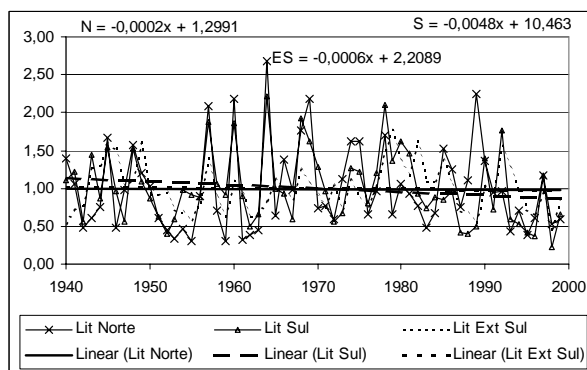


Figura 4. As tendências nas vazões - 1940 a 1999 (N=Lit. Norte, S=Lit. Sul e ES=Lit. Ext. Sul).

A ocorrência de ciclos hidrológicos mais curtos pode ser observada diretamente na série bruta (Figura 4). Em geral, a reincidência de anos secos (úmidos) ocorrem de 3 a 5 anos para o Litoral Norte e Litoral Sul. Na região Litoral Extremo Sul a situação se diferencia apenas por não estar em fase em alguns anos. Esses ciclos estão de acordo com aqueles menores identificados por Pekárova et al (2003), e estão relacionados ao fenômeno El-Niño (1941, 1951-N e S, 1953-N e ES, 1957-N e ES, 1969-N, 1982-N e S, 1983-N e S, 1987-S e ES, 1994 e 1995) e La Niña (1945-ES, 1947, 1948-N e ES, 1956, 1964-ES, 1973, 1985-N, 1989-N e S), onde N= Lit. Norte, S = Lit. Sul e ES = Lit. Ext. Sul). Quando a região não é mencionada significa que todas foram afetadas. Do total de 16 eventos de El Niño, vazões abaixo da média (< 90%) foram verificadas em 9 anos do Litoral Norte, 8 no Litoral Sul e 7 no Extremo Sul. No caso da La Niña, vazões acima da média (> 10%) coincidiram em 6 anos do Litoral Norte, 4 no Litoral Sul e 6 no Extremo Sul. Nos anos em que não há coincidência, outros fenômenos de circulação atmosférica associados ao Oceano Atlântico devem estar ocorrendo, conforme destaca Chaves (1999). Destaca-se os anos citados são aqueles segundo a definição

do El Niño/La Niña e correspondem ao ano seguinte das séries de vazões deste trabalho, segundo a convenção de ano hidrológico adotada. As fontes para definição dos eventos de El-Niño/ La Niña foram Amarasekera et al (1997), Chaves (1999) e Japan Meteorological Agency (2003).

Um ciclo com período em torno de 10 anos ficou evidente após a aplicação de um filtro para destacar períodos entre 7 e 14 anos (figura 5). Observa-se que no Litoral Extremo Sul o período é um pouco maior, cerca de 12 anos. A participação desse ciclo na explicação das variações da vazão chega a superar os 30% em alguns anos, conforme indica a escala vertical do gráfico. Esse ciclo deve corresponder àquele de 13-14 anos identificado por Pekárova et al (2003).

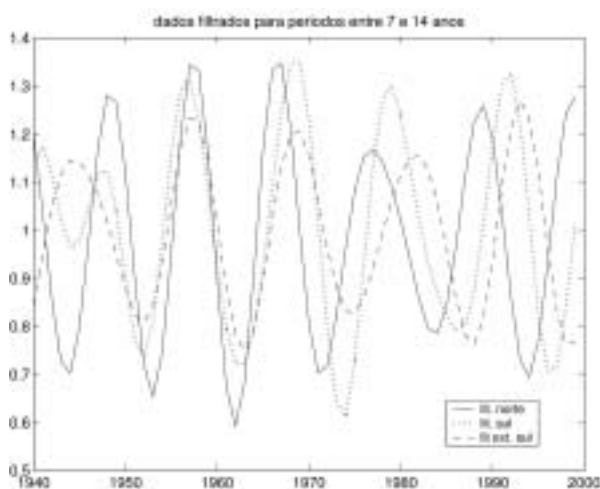


Figura 5. Filtro para incluir ciclos com período entre 7 e 14 anos.

As tendências de longo prazo serão analisadas a partir do maior período possível (30 anos) considerando a extensão da série de dados disponível (Figura 6).

A série do Litoral Norte, na década de 40, está no final de uma fase decrescente, que tem seu mínimo no início da década de 50. Passa para crescente, se mantendo até o final dos anos 60. A partir do seu ponto máximo (1970), entra novamente em uma fase recessiva até o final da série, porém com gradiente menos acentuado na década de 90.

No Litoral Sul, a tendência das vazões na década de 40 é positiva até meados dos anos 70, com um período de estabilização em torno da média na década de 50. Depois do ápice, segue a fase decrescente, com gradiente bem superior a fase anterior, até o ponto mínimo no ano de 1993. A parte final do ciclo para o Litoral Sul está no início de uma fase ascendente.



Figura 6. Tendência de longo prazo – ciclo de 30 anos.

O ciclo de longo prazo das vazões no Litoral Extremo Sul apresenta o comportamento mais periódico entre as regiões. Ele está inicialmente em uma fase de crescimento, cujo máximo ocorre no final da década de 40. A fase seguinte decresce e tem o mínimo em torno de 1963. O próximo ramo, ascendente, é de amplitude que o anterior. Após o ápice (1980), reverte para a fase decrescente, com gradiente similar a esta fase do ciclo anterior, atingindo o mínimo em meados da década de 90. A fase final apresenta tendência crescente.

De modo geral, os períodos de mesmo comportamento ocorreram na fase ascendente da década de 60/70 e a fase recessiva iniciada durante as décadas de 70/80. Com relação à fase final da década de 90, o Litoral Sul e Extremo Sul estão iniciando um período de crescimento, enquanto que o Litoral Norte ainda mantém uma tendência de redução, embora pequena.

É importante destacar que, segundo o ciclo de cerca de 10 anos (figura 5), o Litoral Norte estaria no ápice e, portanto, ainda sujeito a uma contribuição reduzida deste ciclo.

A bacia hidrográfica está sujeita a sofrer interferências do homem, tais como desmatamento, construção de barragens, etc., que podem alterar o comportamento hidrológico dos rios. De maneira a verificar a influência ou não das intervenções humanas nas tendências das vazões, foram escolhidos postos pluviométricos representativos das bacias hidrográficas selecionadas. A verificação, o preenchimento e a extensão das séries pluviométricas foram realizados com o apoio do posto mais próximo.

O valor anual da precipitação foi normalizado pela média da série de dados. As figuras 7 a 9 apresentam os gráficos comparativos de precipitação e vazão para rios de cada região.

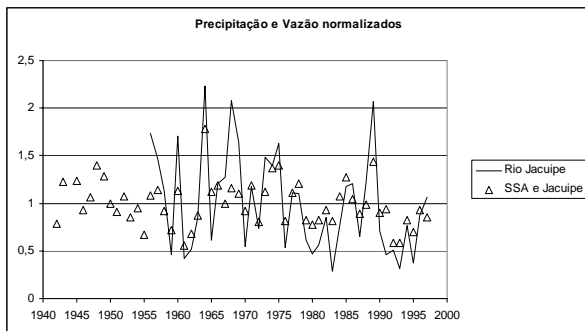


Figura 7. Precipitação e vazão normalizados - Rio Jacuípe - Litoral Norte

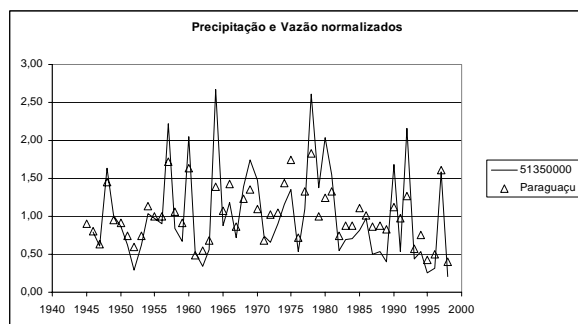


Figura 8. Precipitação e vazão normalizados - Rio Paraguaçu - Litoral Sul

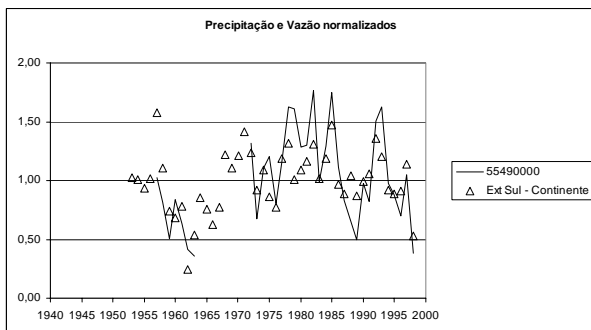


Figura 9. Precipitação e vazão normalizados - Rio Itanhém - Litoral Extremo Sul

As variações da precipitação e da vazão em torno da média, em geral, apresentam o mesmo comportamento, havendo concordância entre os anos secos, médios e úmidos. Podem ocorrer diferenças em anos específicos, conseqüentes da distribuição espacial não homogênea da precipitação na bacia hidrográfica, já que estamos representando-a através de somente um posto pluviométrico.

Assim, podemos aceitar que as tendências das vazões representam a tendência climática e hidrológica, assumindo que os efeitos de intervenções na bacia e uso da água para fins variados ainda não são notados em termos de vazões médias anuais.

Devido à limitação do tamanho das séries utilizadas, os ciclos superiores a 30 anos precisam receber mais atenção em futuros trabalhos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Amarasekera, K.N., Lee, R.F., Williams, E.R., Eltahir, E.A.B. 1997. ENSO and the natural variability in the flow of tropical rivers. *Journal of Hydrology*, 200, 24-39.
- Campos, E. M. 2001. O assoreamento do baixo curso do rio de Contas: uma abordagem hidráulico-sedimentar. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal da Bahia. p. 53.
- Carvalho, N.O. 2001. Produção de sedimentos em função da variabilidade climática: O estudo de caso da área contribuinte ao reservatório de Três Marias, Região do Alto São Francisco. Agência Nacional de Energia Elétrica. 48p.
- Chaves, R.R. 1999. Variabilidade da precipitação na região sul do nordeste e sua associação com padrões atmosféricos. Dissertação de Mestrado. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. 159 p.
- Japan Meteorological Agency. 2003. ENSO Index According to JMA SSTA (1868-present). [http://www.coaps.fsu.edu/~legler/jma\\_index.html](http://www.coaps.fsu.edu/~legler/jma_index.html). Acesso em 18/06/2003.
- Marengo, J. A., Tomasella, J. 1998. Trends in streamflow and rainfall in tropical South America: Amazonia, eastern Brazil and northwestern Peru. *Journal of Geophysical Research*, vol 103, n. D2, p. 1775-1783.
- Oliveira, M. Q. C. 1999. Impacto de mudanças no uso do solo nas características hidrossedimentológicas da bacia hidrográfica do rio Joanes e sua repercussão na zona costeira. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal da Bahia, 93 p.
- Pekárova, P., Miklánek, P., Pekár, J. 2003. Spatial and temporal runoff oscillation analysis of the main rivers of the world during the 19th–20th centuries. *Journal of Hydrology*, 274, 62-79.