

Relação Entre o Fenômeno El Niño e os Totais Mensais Precipitados na Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco

Josiclêda Domiciano Galvêncio

CCT/UFPB - josicle@dca.ufpb.br

Francisco de Assis Salviano de Sousa

DCA/UFPB - fassis@dca.ufpb.br

Recebido: 15/05/01 - revisão: 10/10/01 - aceito: 20/01/02

RESUMO

É sabido que os fenômenos El Niño e o anti-El Niño denominado La Niña influenciam o regime de chuva da bacia hidrográfica do rio São Francisco, em consequência, por ser a chuva a principal variável de entrada de uma bacia hidrográfica, a produção de água, superficial e subterrânea é também influenciada. Atualmente se discute, em nível nacional, a proposta secular de transposição das águas do rio São Francisco para as localidades mais setentrionais do Nordeste do Brasil, um projeto hidráulico e polêmico. Como se sabe o principal entrave, para o bom andamento desse projeto de transposição, é político, mas devidamente ancorado em argumentos técnicos questionáveis. Um desses defende que, em anos de ocorrência do fenômeno El Niño, a produção de água na bacia hidrográfica do rio São Francisco seria diminuída.

A partir da informação qualitativa de que em anos de ocorrência de El Niño há maior produção de água nessa bacia, o objetivo deste trabalho é o de verificar e quantificar os possíveis impactos do fenômeno El Niño nos totais mensais precipitados, no âmbito dessa bacia hidrográfica.

Com base nos valores dos índices de anomalias das Temperaturas da Superfície da água do Mar (TSM) e nos Totais Mensais Precipitados (TMP) sobre a bacia do Rio São Francisco efetuou-se correlações lineares múltiplas entre os valores dessas variáveis. Verificou-se que, ao contrário do que se dizia, o impacto do fenômeno El Niño na produção de água, no âmbito da bacia hidrográfica do rio São Francisco, é positivo. Ou seja, em anos de El Niño a bacia produz mais água do que em anos de La Niña. Portanto, a afirmação de que a retirada das águas do rio São Francisco, para abastecer os Estados setentrionais do Nordeste do Brasil, causa prejuízos às atividades de geração de energia elétrica, irrigação e abastecimento público, em anos de ocorrência do El Niño é, no mínimo, questionável.

Palavras-chave: El Niño; La Niña; São Francisco.

INTRODUÇÃO

Há aproximadamente um século atrás as investigações meteorológicas relacionadas aos fenômenos Oscilação Sul (OS) e El Niño ocorriam de formas independentes até o professor J. Bjerknes, da Universidade da Califórnia, na cidade de Los Angeles, afirmar que ambos os fenômenos tratavam de dois aspectos de um mesmo fenômeno: o El Niño-Oscilação Sul (ENOS). Em 1969 Bjerknes propôs a tese de que havia uma relação física entre as variações meteorológicas interanuais sobre o Pacífico Tropical. Dessa forma, segundo Philander (1990), ele introduziu na literatura meteorológica o termo hoje conhecido por circulação de Walker. Foi Schott (1931) quem primeiro descreveu extensivamente as características do fenômeno El Niño próximo ao mar, com base em observações das ocorrências desse fenômeno, no período entre os anos de 1925 a 1926. Bjerknes (1969), dando continuidade ao estudo de Schott (1931), descreveu e documentou o fenômeno El Niño. Em seu trabalho ele afirma que os ventos alísios, sobre o oceano Pacífico Tropical, abastecem de umidade o fenômeno El Niño, que por sua vez é dominado pelo gradiente de temperatura à superfície, frio no leste e aquecido no oeste. Esse aquecimento das águas superficiais do

oceano Pacífico Tropical interfere no regime de ventos e, em consequência, no deslocamento das nuvens e no regime das chuvas, gerando, portanto, alterações significativas no clima de todo o planeta.

O fenômeno El Niño ocupa grande espaço na literatura científica. Vários trabalhos foram, e estão atualmente sendo, desenvolvidos na tentativa de associar sua ocorrência à outras variáveis ambientais.

Alves e Repelli (1992) analisaram a influência do El Niño em algumas sub-regiões do Nordeste do Brasil (NEB). Na bacia do oceano Atlântico vários estudos, como por exemplo: Hastenrath e Heller (1977), Markham e McLain (1977), Ward e Folland (1991), Moura e Shukla (1981) e por último Souza (1995), mostraram a relação das características térmicas do El Niño com a qualidade da estação chuvosa da região semi árida do NEB.

Atualmente se discute, a nível nacional, a proposta secular de transposição das águas do rio São Francisco para as localidades mais setentrionais do Nordeste do Brasil, um projeto hidráulico polêmico. O principal entrave, para o bom andamento desse projeto é político, mas devidamente ancorado em falsas teses técnicas. Uma delas é a de que, em anos de ocorrência do fenômeno El Niño, a produção de água na bacia hidrográfica do rio São Francisco seria diminuída.

Baseado em correlação linear múltipla o objetivo deste trabalho é o de verificar e qualificar os possíveis impactos do fenômeno El Niño, no âmbito da bacia do rio São Francisco e desmistificar a tese de que o El Niño afeta de forma negativa a produção de água dessa bacia.

MATERIAL E MÉTODOS

Região de estudo

O rio São Francisco, conhecido como o rio de unidade nacional, é um dos mais extensos e importantes rios brasileiros. Esse rio banha os Estados de Minas Gerais, Bahia, Pernambuco, Sergipe e Alagoas e beneficia muitas regiões com suas águas. Fornece peixes, serve como via de navegação e, graças às suas cachoeiras, permite a produção de energia hidroelétrica.

A Figura 1 mostra a localização da bacia do rio São Francisco em relação ao espaço geográfico brasileiro.

Neste estudo foram utilizados os dados dos totais mensais precipitados, para o período de 12 anos, de 1970 a 1983, em 237 postos, distribuídos na área da bacia do rio São Francisco. Esses dados, gentilmente cedidos pela Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel), foram organizados segundo os critérios da concomitância observacional e o da menor ausência de falhas possível.

A Figura 2 mostra as áreas de ocorrência do evento El Niño e La Niña, em relação ao globo terrestre. Utilizando-se das séries de valores dos índices de anomalias da Temperatura da Superfície do Mar (TSM), coletadas no oceano Pacífico Tropical e fornecidas pelo National Centers for Environmental Prediction (NCEP) e a National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) dos Estados Unidos da América (EUA), calculou-se os coeficientes de correlação entre os índices de anomalias da TSM e os totais mensais precipitados sobre a bacia do rio São Francisco.

O esquema de cálculo foi o seguinte: formou-se matrizes mensais com os anos nas linhas e as precipitações e valores de anomalias da TSM nas colunas, como mostrado abaixo:

$$\begin{bmatrix} P_{1,1970} & P_{2,1970} & L & P_{236,1970} & TSM_{Niño1+2,1970} & TSM_{Niño3,1970} & TSM_{Niño4,1970} \\ P_{1,1972} & P_{2,1972} & L & P_{236,1972} & TSM_{Niño1+2,1972} & TSM_{Niño3,1972} & TSM_{Niño4,1972} \\ M & M & M & M & M & M & M \\ P_{1,1983} & P_{2,1983} & L & P_{236,1983} & TSM_{Niño1+2,1983} & TSM_{Niño3,1983} & TSM_{Niño4,1983} \end{bmatrix}$$

nesse esquema $P_{1,1970}$ é a precipitação para o posto um e o ano de 1970, $P_{2,1970}$ é a precipitação para o posto dois e o ano de 1970 e assim sucessivamente. $TSM_{Niño1+2,1970}$ é o índice de TSM para a área do Niño1+2, no ano de 1970, $TSM_{Niño3,1970}$ é o índice de TSM para a área do Niño3, no ano de 1970, $TSM_{Niño4,1970}$ é o índice de TSM para a área do Niño4, no ano de 1970. Foram formadas 12 matrizes com esse mesmo esquema para cada um dos 12 meses do ano.

Após os cálculos, os coeficientes de correlação foram plotados pelo método de Kriging do *software* Surfer 6.0,



Figura 1. Localização geográfica da bacia em estudo

para interpolar as isolinhas e possibilitar a análise por cada uma das três sub-regiões pluviometricamente homogêneas: Alto São Francisco (ASF), Médio São Francisco (MSF) e Baixo São Francisco (BSF). Para delimitar essas sub-regiões supracitadas foi usado o método hierárquico de agrupamento de Ward. Essa delimitação pode ser vista na Figura 15.

Definição do método

Segundo Spiegel (1972) a correlação entre duas variáveis X_j e X_k é dada pela taxa entre a covariância e o produto de seus desvios-padrão.

$$r_{j,k} = \frac{C_{j,k}}{S_j S_k} \quad (1)$$

em que, $C_{j,k}$ é a covariância, S_j e S_k são os desvios-padrão das séries j e k , respectivamente. O coeficiente de determinação é dado pelo quadrado do coeficiente de correlação ($r_{j,k}^2$), e estima a proporção de variação em comum entre duas variáveis. A adequabilidade dos coeficientes de correlação foi verificada pelo teste de hipóteses, para dois níveis de significância 0,05 e 0,10.

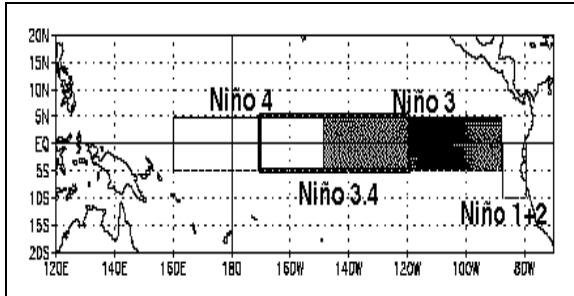


Figura 2. Áreas de ocorrência dos fenômenos El Niño e La Niña

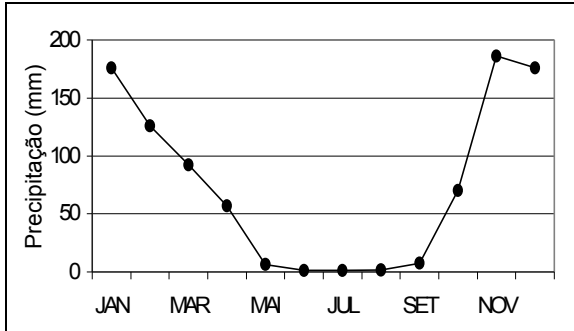


Figura 3. Curva da precipitação média mensal na sub-região do ASF.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os regimes de precipitação para as três sub-regiões apresentam-se da seguinte forma: para a sub-região do ASF, os seis meses mais chuvosos verificam-se de outubro a março, com precipitações máximas nos meses de dezembro e janeiro, como mostra a Figura 3. Para a sub-região do MSF, os seis meses mais chuvosos verificam-se, também, de outubro a março, com precipitações máximas nos meses de dezembro e janeiro, como mostra a Figura 4. Na sub-região do BSF, em geral, os seis meses mais chuvosos verificam-se entre dezembro e maio, com precipitações máximas entre os meses de março e abril, como mostra a Figura 5. Essa curva da Figura 5 agrupa os postos pluviométricos localizados mais à nordeste da sub-região do BSF. As chuvas neles verificadas sofrem influências da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT). Esse é o padrão de chuva dessa sub-região, embora alguns postos apresentem exceções, como pode ser visto nas Figuras 6 e 7. As precipitações nesses postos, localizados mais ao sul da sub-região do BSF, são influenciadas pelos distúrbios de leste.

Análise das correlações mensais para a área do Niño1+2

O trimestre mais chuvoso (janeiro, fevereiro e março) apresentou correlações positivas em toda a bacia, com destaque para as sub-regiões do ASF e MSF. Foi verificado

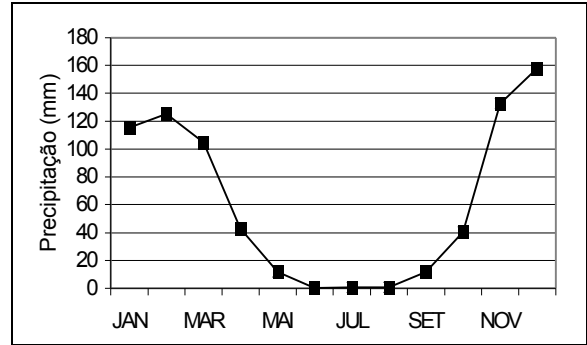


Figura 4. Curva da precipitação média mensal na sub-região do MSF.

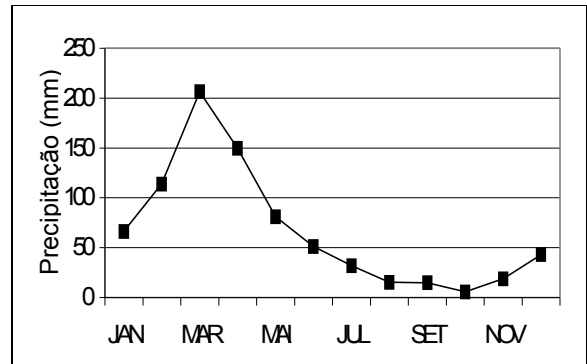


Figura 5. Curva da precipitação média mensal na sub-região do BSF.

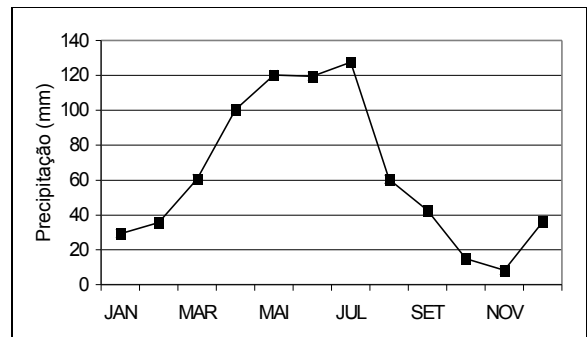


Figura 6. Curva da precipitação média mensal na sub-região do BSF.

que, quando ocorre o fenômeno El Niño na área do Niño1+2, as precipitações nas sub-regiões do ASF e MSF são incrementadas, como mostra a Figura 8.

Para os meses de abril a agosto, os valores das correlações indicam, de um modo geral, baixos índices pluviométricos em toda a bacia, com exceção dos índices de pequenos núcleos, nos meses de julho e agosto, que podem estar associados a fenômeno de pequena ou meso escalas. Ou seja, chuvas que podem ser causadas por efeitos locais ou regionais. Na sub-região do BSF, maio é o

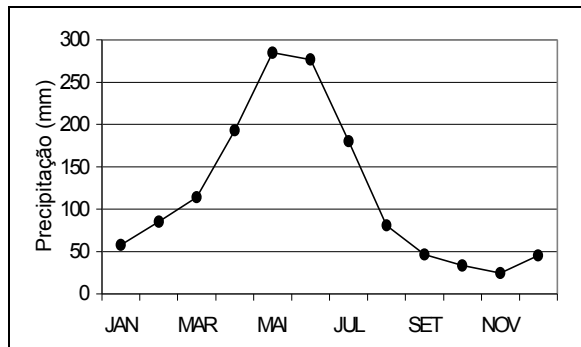


Figura 7. Curva da precipitação média mensal na sub-região do BSF.

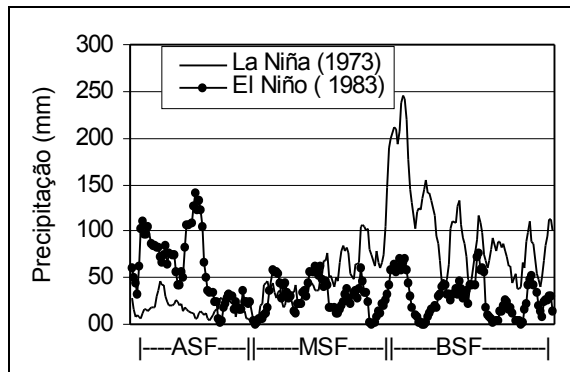


Figura 9. Totais precipitados nos meses de abril de 1973 e 1983.

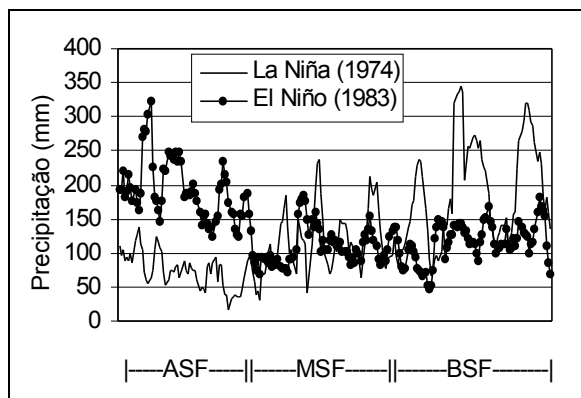


Figura 8. Totais precipitados nos meses de fevereiro de 1974 e 1983.

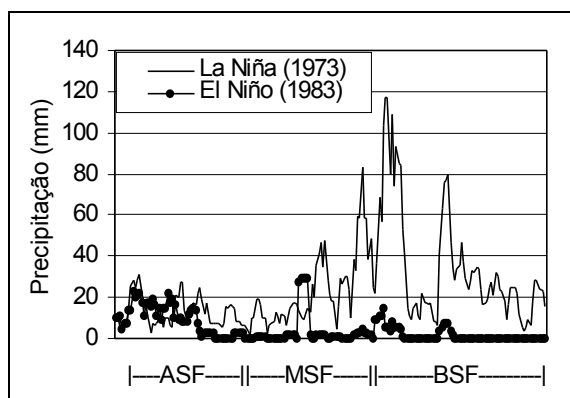


Figura 10. Totais precipitados nos meses de setembro de 1973 e 1983.

mês em que o fenômeno El Niño tem maior influência negativa, chove menos. Vale salientar que esse mês pertence a estação chuvosa dessa sub-região. Nota-se na Figura 9 que, em ano de El Niño e no mês de abril, ocorre um incremento nos índices pluviométricos da sub-região do ASF, apesar desse mês pertencer a estação seca da sub-região. Por outro lado, há um decremento nos índices de chuva na sub-região do BSF, época da estação chuvosa nessa sub-região. De modo contrário, em ano de La Niña, ocorrem altos índices pluviométricos na sub-região do BSF e baixos índices na sub-região do ASF.

Para os meses de setembro as correlações foram positivas sobre toda a bacia, mas mesmo assim as precipitações na sub-região do BSF, em ano de La Niña, são bem maiores do que nas sub-regiões do ASF e MSF, como mostra a Figura 10.

Para os meses de outubro e novembro, os coeficientes de correlação foram negativos em toda bacia. Isso significa baixos índices pluviométricos, para esses dois meses, em ano de El Niño. Esse resultado pode ser entendido como um previsor, visto que, em anos de El Niño, outubro e novembro teriam chuvas abaixo das normais climatológicas.

Finalmente, para o mês de dezembro, as correlações foram positivas em toda a bacia. Isso indica o retorno das chuvas e evidencia situação de ano úmido na sub-região do ASF, em anos de El Niño. Verifica-se umidade também, mas com menores índices, na sub-região do BSF, como pode ser visto na Figura 11.

Análise das correlações para a área do Niño3

Dos anos em estudo, para a área do Niño3, 1982 e 1983 foram os anos em que o fenômeno El Niño mais se destacou. No ano de 1982 os índices de anomalias de TSM apresentaram grandes intensidades, continuando assim até o ano de 1983. Já para os anos de La Niña, 1973 foi o destaque, como pode ser visto na Figura 12.

Os coeficientes de correlação entre a precipitação da bacia e os índices de anomalias de TSM da área do Niño3, para os meses de janeiro, apresentam-se positivos em toda a bacia, com destaque para as sub-regiões do ASF e MSF. Foi verificado que quando ocorre o fenômeno El Niño na área do Niño3, os índices de precipitação nas sub-regiões do ASF e MSF são incrementadas. Isto evidencia uma situação úmida sobre essas duas sub-regiões. De modo

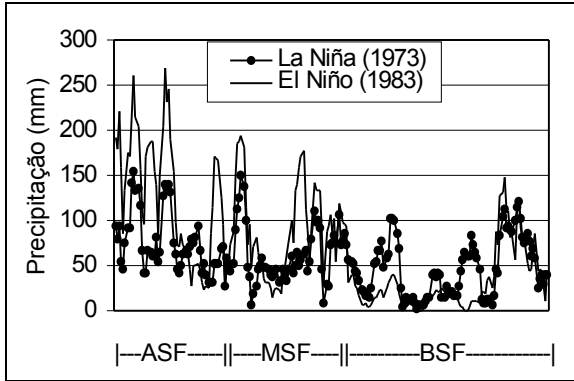


Figura 11. Totais precipitados nos meses de dezembro de 1973 e 1983.

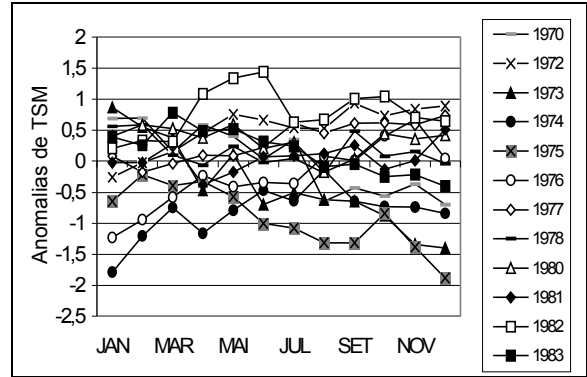


Figura 13. Evolução dos índices de TSM para a área do Niño4.

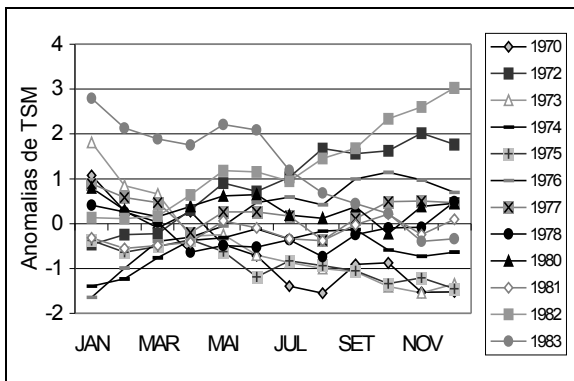


Figura 12. Evolução dos índices de TSM para a área do Niño3.

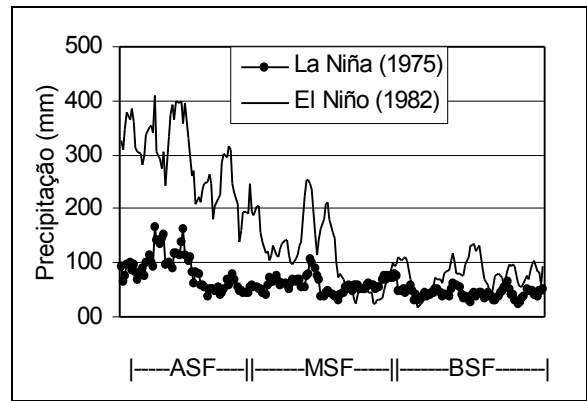


Figura 14. Totais precipitados nos meses de janeiro de 1975 e 1982.

diferente, para a sub-região do BSF, verifica-se indicativos de seca para o mês seguinte, ou seja fevereiro.

Para o mês de fevereiro, há uma diminuição dos valores dos coeficientes de correlação em todas as sub-regiões da bacia. Porém, a situação de umidade encontra-se semelhante a do mês anterior.

Para os meses de março a junho, os coeficientes de correlação são negativos em todas as sub-regiões. O significado físico desses valores indicam baixos índices de precipitação sobre a bacia. Ou seja, esses meses apresentam chuva abaixo da normal climatológica.

Para os meses de julho a setembro, os valores dos coeficientes de correlação indicam aumento dos índices pluviométricos nas sub-regiões do ASF e MSF e diminuição na sub-região do BSF, em anos de El Niño. Esse comportamento é similar aquele da área do Niño1+2.

Para os meses de outubro e novembro os coeficientes de correlação são negativos em todas as sub-regiões da bacia. Essa informação evidencia uma situação de seca sobre as sub-regiões do BSF, nos meses subsequentes, e pode ser utilizada como um predictor do evento El Niño.

Para o mês de dezembro os valores dos coeficientes de correlação indicam, de um modo geral, aumento nos índices pluviométricos em toda a bacia, em anos de El

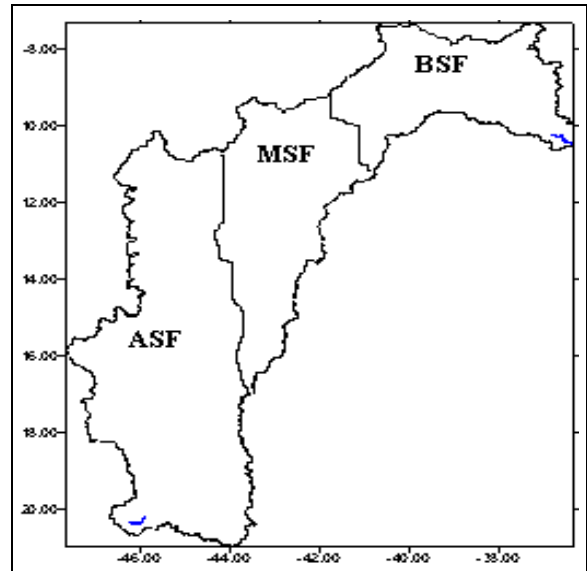


Figura 15. Delimitações das sub-regiões da bacia do rio São Francisco.

Tabela 1. Probabilidade percentual para ocorrência dos coeficientes de correlação.

		Nível de significância de 0.05			Nível de significância de 0.10		
		Niño 1+2	Niño 3	Niño 4	Niño 1+2	Niño 3	Niño 4
Janeiro	PA	8%	23%	16%	22%	37%	30%
	PR	92%	76%	84%	78%	63%	70%
Fevereiro	PA	8%	3%	11%	14%	13%	20%
	PR	92%	97%	89%	86%	87%	80%
Março	PA	1%	19%	11%	2%	28%	17%
	PR	99%	81%	89%	98%	72%	83%
Abril	PA	7%	25%	40%	22%	43%	51%
	PR	93%	75%	60%	78%	57%	49%
Maio	PA	11%	1%	6%	37%	19%	18%
	PR	89%	99%	94%	63%	81%	82%
Junho	PA	2%	7%	7%	6%	18%	12%
	PR	98%	93%	93%	94%	82%	88%
Julho	PA	5%	16%	41%	17%	34%	51%
	PR	95%	84%	59%	83%	66%	49%
Agosto	PA	5%	22%	11%	19%	28%	17%
	PR	95%	78%	89%	81%	72%	83%
Setembro	PA	20%	22%	14%	25%	31%	21%
	PR	80%	78%	86%	75%	69%	79%
Outubro	PA	4%	26%	35%	34%	41%	45%
	PR	96%	74%	65%	66%	59%	55%
Novembro	PA	11%	11%	2%	19%	20%	5%
	PA	11%	11%	2%	19%	20%	5%
	PR	89%	89%	98%	81%	80%	95%
Dezembro	PA	3%	8%	35%	9%	21%	55%
	PR	97%	92%	65%	91%	79%	45%

PA = Percentual de Aceitação e PR = Percentual Rejeição.

Niño. É importante ressaltar que o mês de dezembro é um dos meses do período chuvoso de todas as sub-regiões.

Análise das correlações para a área do Niño4

A Figura 13 mostra que 1972 e 1982 foram anos de destaque do fenômeno El Niño. Já 1975 foi o que mais se destacou dentre os anos de eventos La Niña.

Os valores dos coeficientes de correlação entre a precipitação da bacia e os índices de anomalias de TSM na área do Niño4, para os meses de janeiro a março, indicam altos índices pluviométricos nas sub-regiões do ASF e MSF e baixos índices para a sub-região do BSF. Nota-se na Figura

14 que em ano de El Niño houve aumento das chuvas sobre as sub-regiões do ASF e MSF e diminuição na BSF.

Para os meses de abril a julho, os valores dos coeficientes de correlação são negativos sobre todas as sub-regiões da bacia. Esses valores indicam, de modo geral, baixos índices pluviométricos sobre toda a bacia. Um detalhe importante nessa informação é que esse período supracitado é o período seco das sub-regiões do ASF e MSF.

Interpretação e confiabilidade estatística dos valores dos coeficientes de correlação

Os coeficientes de correlação mostraram-se muito úteis, para verificar as relações das precipitações em anos

de El Niño e La Niña sobre a bacia. Para verificar a significância desses coeficientes, utilizou-se o teste de hipóteses para dois níveis de significância. A Tabela 1 mostra os valores percentuais de ocorrência de correlações, aceitas e rejeitadas, para os níveis de significância (α) de 0,05 e 0,10. A probabilidade de ocorrer correlações acima de 0,49, e portanto aceitas pelo teste, para $\alpha = 0,05$, é em média 14%. Para $\alpha = 0,10$, a probabilidade de ocorrer correlações acima de 0,39 e portanto aceitas pelo teste, é em média 52%. Em resumo, em média 86% dos coeficientes de correlação deste estudo, para o nível de significância $\alpha = 0,05$, não têm significado estatístico. Já para o nível de significância $\alpha = 0,10$, esse percentual de rejeição, em média, cai para 48%. Vale salientar que neste estudo, o interesse nesses coeficientes concentra-se no significado físico deles.

CONCLUSÕES

Os resultados deste estudo indicam que existe uma relação direta entre a precipitação da bacia hidrográfica do rio São Francisco e os índices de anomalias de TSM das diferentes áreas de ocorrência do El Niño. Em anos de El Niño as chuvas apresentaram aumento significativo nas sub-regiões do ASF e MSF e diminuição na sub-região do BSF. Em ano de evento La Niña, ocorre exatamente o contrário. Esse é o padrão geral de comportamento dessa relação, apesar de algumas poucas contradições.

Considerando que a soma das sub-regiões do ASF e MSF corresponde a cerca de 80% da área da bacia, é bastante provável que em anos de El Niño (ocorre seca na região semi-árida do Nordeste do Brasil e na porção nordeste da bacia, ou seja na sub-região do BSF, e bastante umidade na porção sudeste da bacia, ou seja nas sub-regiões do ASF e MSF) a bacia do São Francisco produza mais água do que em anos de La Niña (ocorre chuva na região semi-árida do Nordeste do Brasil e na porção nordeste da bacia, ou seja na sub-região do BSF, e seca na porção sudeste da bacia, ou seja nas sub-regiões do ASF e MSF). Portanto, pode-se concluir que o impacto do fenômeno El Niño sobre a bacia em estudo é positivo e não afeta a produção de água da bacia hidrográfica do rio São Francisco.

Os autores deste trabalho sugerem para fins de conclusão cabal, a respeito da viabilidade da transposição de água da bacia do rio São Francisco para os Estados mais setentrionais do Nordeste do Brasil, que seja efetivada uma modelagem hidroclimática da bacia ora em estudo.

Em média, 86% dos valores dos coeficientes de correlação deste estudo, para o nível de significância $\alpha = 0,05$, não têm significado estatístico. Já para o nível de significância $\alpha = 0,10$, esse percentual de rejeição, em média, cai para 48%. Vale salientar que, neste estudo, o interesse nesses coeficientes concentra-se nos seus significados físicos.

REFERÊNCIAS

- ALVES, J. M. B.; REPELLI, C. A. (1992). A variabilidade pluviométrica no setor norte do nordeste do Brasil e os eventos El Niño/Oscilação Sul. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 7(2): 588-592.
- BJERKNES, J. (1969). Atmospheric teleconnections from the equatorial pacific. *Monthly Weather Review*. v.97, pp.163-172.
- HASTENRATH, S.; HELLER, L. (1977). Dynamics of climate hazards in Northeast Brasil - *Quarterly Journal Royal Meteorological Society*. v.103. pp.77-92.
- MARKHAM, C. G.; MCLAIN, D. (1977). Sea Surface Temperature related to rain in Ceará, Northeast Brazil. *Nature*, v.265. pp.320-323.
- MOURA, A. D.; SHUKLA, J. (1981). On the dynamics of in northeast Brazil: observations, theory and numerical experiments With a General Circulation Model. *Journal Atmospheric Science*, v.38, pp.2653-2675.
- PHILANDER, S. G. (1990). *El Niño, La Niña and The Southern Oscillation*. Academic Press, San Diego, Califórnia, p.292.
- SCHOTT, G. (1931). Der Peru Strom end Seine Nordlichen Nachbargebiete in Normalen end anomaler Ausbildung. *Annual Hydrology Mar. Meteorology*, 59(5):161-169(6): 200-213, (7): 240-253.
- SOUZA, E. B. (1995). *Um Estudo Observacional sobre o Padrão de Dipolo de Anomalias de TSM no Oceano Atlântico Tropical* - Dissertação de Mestrado em Meteorologia, INPE, São José dos Campos (SP).
- SPIEGEL, M. R. (1972). *Estatística*. McGraw-Hill, São Paulo-SP, p. 580.
- WARD, M. N.; FOLLAND, C. K. (1991). Prediction of seasonal rainfall in the North of Brazil using Eigenvectors of Sea-Surface Temperature. *International Journal of Climate*. v. 11, pp. 711-43.

Relationship Between the El Niño Phenomenon and the Monthly Rainfall Totals in the São Francisco River Basin

ABSTRACT

The phenomenon of El Niño is known to have a significant influence on the rainfall regime of the São Francisco river basin. A proposal to divert water from the São Francisco river to the semiarid regions of northeastern Brazil (NEB) is being considered by the Brazilian government. There are different opinions concerning the nature of the effect of El Niño on the water yield of São Francisco river basin. The objective of the present work is to investigate the impact of El Niño on the monthly rainfall totals within the river basin.

The relationship between the Sea Surface Temperature (SST) and the monthly rainfall totals in the basin is analysed by means of regression techniques. The results show that in El Niño years the water yield of the river basin is more than in La Niña years. The assumption that diversion of São Francisco river water to regions in NEB would have an adverse effect on power generation, irrigation and public water supply in years of El Niño is therefore questionable.

Key Words: El Niño; La Niña; São Francisco.