



## Avaliação da interferência do El Niño e La Niña no regime pluviométrico na região dos reservatórios de Três Marias e de Sobradinho

**Alan de Gois Barbosa<sup>1</sup>, Erwin Henrique Menezes Schneider<sup>2</sup>, Ludmilson Abritta Mendes<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Universidade Federal de Sergipe (alan.1995.barbosa@gmail.com)

<sup>2</sup> Universidade Federal de Sergipe (erwinhenrique@gmail.com)

<sup>3</sup> Universidade Federal de Sergipe (ludmilsonmendes@yahoo.com.br)

### Resumo

O comportamento da precipitação é influenciado, dentre outros fatores, pela circulação atmosférica, a qual está sujeita às condições oceânicas. Fenômenos como El Niño e La Niña, associados às alterações na intensidade dos ventos alísios sobre o Oceano Pacífico, ocasionam alterações no padrão das precipitações em diferentes regiões do planeta, inclusive no Brasil. Este trabalho avalia a interferência dos fenômenos El Niño e La Niña na precipitação registrada nas proximidades dos reservatórios de Três Marias e de Sobradinho, na bacia do rio São Francisco. Pela aplicação dos testes não paramétricos da mediana e de Kruskal-Wallis, com um intervalo de confiança de 95%, são comparadas a mediana e a média das amostras de precipitação acumulada em trimestres em que foram registrados os fenômenos estudados. Os resultados mostram que não apenas há diferença significativa entre as precipitações em períodos de El Niño e de La Niña, como também que tais fenômenos se manifestam de forma oposta em Três Marias, situado na região Sudeste, em relação a Sobradinho, situado na região Nordeste.

Palavras-chave: El Niño – Oscilação Sul. Rio São Francisco. Precipitação.

Área Temática: Recursos Hídricos.

## Evaluation of El Niño and La Niña interference in the rainfall regime in the region of Três Marias and Sobradinho reservoirs

### Abstract

*The behavior of precipitation is influenced, among other factors, by atmospheric circulation, which is subject to the oceanic conditions. Phenomena such as El Niño and La Niña, associated with changes in the intensity of trade winds over the Pacific Ocean, cause changes in rainfall pattern in different regions of the planet, including Brazil. This study evaluates the interference of El Niño and La Niña phenomena in the precipitation recorded in the region of Três Marias and Sobradinho reservoirs, located in the São Francisco river basin. The non-parametric Kruskal-Wallis and median tests are used with a confidence interval of 95% to compare the average and the median of the accumulated precipitation samples in quarters in which those phenomena occurred. The results show that not only a significant difference between rainfall in El Niño and La Niña periods, but also these phenomena occur in opposite ways in Três Marias, located in the Southeast region, and Sobradinho, located in the Northeast region.*

*Key words: El Niño–Southern Oscillation. São Francisco River. Precipitation*

*Theme Area: Water resources*



## 1 Introdução

Integrante fundamental do ciclo hidrológico, seja por promover o escoamento superficial ou mesmo pela recarga dos aquíferos, a ocorrência e distribuição dos eventos de precipitação influem diretamente no modo de vida da sociedade moderna. Sua ocorrência está ligada a diversos fatores, sejam eles topográficos, climatológicos ou antropogênicos e é difícil inferir qual fator se sobressai. Portanto, entender sua relação com fenômenos físicos é um passo fundamental para o Planejamento e Gestão dos Recursos Hídricos.

Além disso, diversos estudos evidenciam a relação entre a variação das condições oceânicas e a variabilidade interanual dos eventos de precipitação (ARAGÃO, 1986; HASTEMRATH e HELLER, 1977; NOBRE e SHUKLA, 1996). Uma das principais anomalias da circulação atmosférica no Pacífico Equatorial foi caracterizada por Bjerknes (1969): o El Niño-Oscilação Sul (ENOS).

O ENOS é descrito através de alterações nos padrões de intensidade dos ventos alísios sobre o Oceano Pacífico Equatorial que acabam influenciando o padrão de chuvas na região equatorial e de latitudes médias. Estas mudanças podem afetar os padrões de ocorrência de eventos de precipitação em escala global (BJERKNES, 1969).

Moura et al. (2000) evidencia a relação entre a ENOS e a precipitação na faixa leste do Nordeste Brasileiro (NEB) e Nóbrega e Santiago (2014) na região de Pernambuco. Galvâncio e Sousa (2002) o relacionam com a região da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco (BHSF) a nível do projeto de transposição para o Nordeste Setentrional e Britto, Barletta e Mendonça (2008) para a região do Rio Grande do Sul.

Como a BHSF está localizada em diferentes regiões do Brasil, o objetivo deste trabalho é verificar a influência do ENOS em diferentes sub-regiões da bacia, através de testes estatísticos. Em especial regiões dos lagos da Usinas Hidrelétricas de Sobradinho e Três Marias que representam os trechos a jusante das duas principais sub-regiões da região hidrográfica.

## 2 Revisão da Literatura

Um dos principais sistemas que governam o sistema climático terrestre é o mecanismo de trocas de energia (calor) e de precipitação entre os oceanos e as camadas atmosféricas adjacentes aos mesmos. Portanto alterações nos padrões destes mecanismos de troca podem afetar os sistemas climáticos em escala global (OLIVEIRA, 2001).

A célula de Walker é um exemplo destes mecanismos de circulação. Em condições normais, a orientação Oeste – Leste dos ventos alísios conseguem arrastar as águas aquecidas do Oceano Pacífico Equatorial Oriental (PEOr) e do Oceano Pacífico Equatorial Central (PEC) para a região do Oceano Pacífico Equatorial Ocidental (PEOc). Esta concentração de águas quentes favorecem a evaporação na região e, com a ascendência das massas de ar úmidas, há intensificação de eventos de precipitação. Em grandes altitudes, ocorre o contrário, as massas de ar sopram de Leste para Oeste, fechando a célula (OLIVEIRA, 2001).

Então, na região junto à costa oeste da América do Sul ocorre afloramento de águas oceânicas profundas, mais frias e que têm como característica os altos índices de Oxigênio dissolvido e de matéria orgânica. Este fenômeno é chamado de ressurgência e faz com que esta região seja uma das piscosas do continente (OLIVEIRA, 2001).

Bjerknes (1969) relatou intensidades diferentes nos ventos alísios, descrevendo-as como o ENOS, que provoca alterações na célula de Walker. Segundo Oliveira (2001) em anos que se evidencia o El Niño, ocorre redução da intensidade dos ventos Oeste – Leste. Esta redução favorece o aquecimento das águas do pacífico de maneira homogênea, fazendo com que a célula de Walker fique bipartida e que as precipitações se concentrem na região do PEOr e PEC. Além disso, o afloramento de águas profundas do oceano também é reduzido.



## 6º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente

Bento Gonçalves – RS, Brasil, 10 a 12 de Abril de 2018

Entretanto, há anos que ocorre o oposto. A intensidade dos ventos alísios é aumentada e a célula de Walker se prolonga até a região a nordeste do Oceano Índico. Com isso eventos de precipitação são observados no PEOc e a nordeste do Índico além da intensificação da ressurgência a costa da América do Sul. É importante salientar que nem em todas as regiões influenciadas pelo El Niño ocorrem efeitos inversos em anos de La Niña, já que outros fatores podem preponderar-se ao ENOS (OLIVEIRA, 2001).

Segundo Ferreira e Mello (2005) os padrões termodinâmicos observados nos oceanos Atlântico e Pacífico influenciam fortemente a circulação atmosférica da região entre tópicos. Ou seja, em anos que ocorrem perturbações nos padrões de temperatura superficial dos oceanos, são observados reflexos na célula de Walker e na célula de Hadley, esta atuante na região do Atlântico Equatorial.

Na região Nordeste do Brasil (NEB) o El Niño é um dos principais responsáveis por períodos com baixos índices pluviométricos, já que as massas ascendentes na costa do Pacífico geram uma célula que provoca zonas de alta pressão no NEB e na região Norte. Já em anos de La Niña, a célula formada tem sentido contrário, portanto normalmente verifica-se anos com totais pluviométricos normais, elevados ou até muito elevados já que o NEB pode apresentar-se como uma zona de baixa pressão (FERREIRA e MELO, 2005).

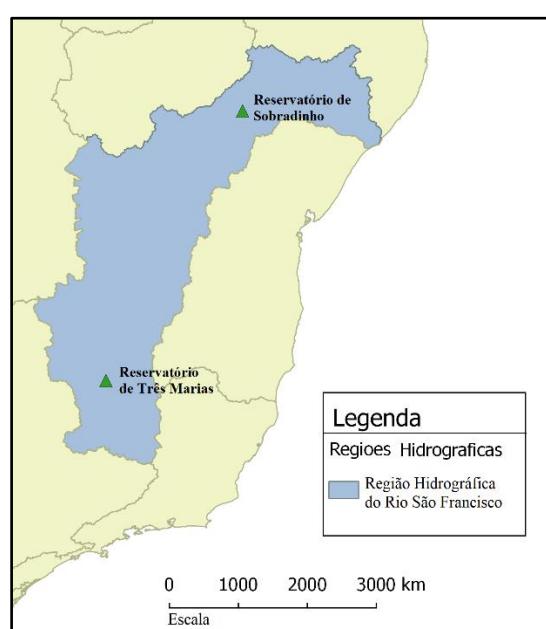
Já para as regiões do Alto, Médio e Submédio São Francisco, localizadas preponderantemente nas regiões Sudeste e Nordeste brasileiros, Galvâncio e Sousa (2002) afirmam que há intensificação dos eventos de chuva em episódios de El Niño e ocorre, com algumas contradições, o contrário em anos em que se observa o La Niña.

Por atravessar a região do “Polígono das Secas”, as águas da BHSF são de vital necessidade para o desenvolvimento da região. Principalmente para a atividade agrícola, seu maior consumidor de água (PRUSKI et al., 2004). Como a demanda de água pela agricultura depende da distribuição de precipitações na região, é interessante se conhecer a influência dos fenômenos climáticos sobre a distribuição de chuvas na região.

### 3 Material e Métodos

A Figura 1 apresenta a localização dos reservatórios de Três Marias e de Sobradinho.

Figura 1 – Representação da Localização dos Reservatórios Estudados



Fonte: Autores, 2018.



## 6º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente

Bento Gonçalves – RS, Brasil, 10 a 12 de Abril de 2018

Para os dados disponíveis no portal HidroWeb, foram selecionados 15 postos de medição pluviométrica para a região ao redor do lago da UHE de Sobradinho, apresentados pela Tabela 1 e localizados entre os estados da Bahia e Pernambuco e 17 postos para a região de Três Marias, localizado no estado de Minas Gerais e dispostos na Tabela 2.

Tabela 1- Relação de Postos para a região do Lago da UHE de Sobradinho

<b>Código</b>	<b>Nome</b>	<b>Município</b>	<b>Operadora</b>	<b>Operação Total (Anos)</b>
00940002	Bom Sossego	Petrolina	SUDENE	32
00940003	Pau D'Arco	Petrolina	SUDENE	28
00940008	Juazeiro	Juazeiro	ANA	37
00940013	Lagoa do Boi	Juazeiro	SUDENE	29
00940014	Riacho do Sobrado	Casa Nova	SUDENE	27
00940016	Juazeiro	Juazeiro	DNOCS	78
00940018	Campo dos Cavalos	Juazeiro	CPRM	70
00940019	Sobrado	Casa Nova	SUDENE	28
00940022	Manicoba	Juazeiro	SUDENE	29
00940024	Juazeiro	Juazeiro	CPRM	93
00940025	Lagoa do Boi	Juazeiro	CPRM	45
00940039	Baixa Grande	Casa Nova	CPRM	15
00941011	Casa Nova	Casa Nova	DNOCS	85
00942027	Remanso	Remanso	CPRM	15
00939020	Poço de Fora	Curaçá	CPRM	13

Fonte: HidroWeb/ANA, 2018.

Tabela 2 - Relação de Postos para a região da UHE de Três Marias

<b>Código</b>	<b>Nome</b>	<b>Município</b>	<b>Operadora</b>	<b>Operação Total (Anos)</b>
01844024	Felixlândia	Felixlândia	CPRM	13
01845000	Barra do Paraopeba	Morada Nova de Minas	ANA	18
01845008	Morava Nova Minas	Morada Nova de Minas	CEMIG	19
01845010	Vila Canastrão	Tiros	CEMIG	19
01845017	Porto Indáia	Biquinhas	CODEVASF	1
01845002	Fazenda São Félix	São Gonçalo do Abaeté	CPRM	49
01845013	São Gonçalo do Abaeté	São Gonçalo do Abaeté	CPRM	59
01845011	São Gonçalo do Abaeté	São Gonçalo do Abaeté	CEMIG	33
01845024	São Gonçalo do Abaeté	São Gonçalo do Abaeté	CODEVASF	9
01845014	Tiros	Tiros	CPRM	59
01745014	Fazenda Santana	João Pinheiro	CPRM	33
01845021	Canoeiros	São Gonçalo do Abaeté	CPRM	33
01845001	Barragem Três Marias	Três Marias	ANA	3
01845009	UHE Três Marias	Três Marias	TRÊS MARIAS	19
01845027	Barramento	Três Marias		
01845027	Barra do Rio de Janeiro	Três Marias	CPRM	33
01845026	Fazenda das Pedras	Três Marias	CEMIG	14
01845012	Andrequice	Três Marias	CEMIG	19

Fonte: HidroWeb/ANA, 2018.

Dentre os postos pré-selecionados, foram escolhidas as séries históricas daqueles tinham maior tamanho e ainda estavam ativos, portanto foram escolhidos os postos 00940016 – Juazeiro para Sobradinho e 01845013 – São Gonçalo do Abaeté para Três Marias. Entretanto, decidiu-se usar os dados dos outros postos para o preenchimento de falhas mensais. Para fazê-lo, foi usado o método da ponderação regional, apresentado por Tucci (2015) e apresentado pela Equação 1.



## 6º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente

Bento Gonçalves – RS, Brasil, 10 a 12 de Abril de 2018

$$y = \frac{1}{3} \left[ \frac{x_1}{x_{m1}} + \frac{x_2}{x_{m2}} + \frac{x_3}{x_{m3}} \right] y_m \quad (1)$$

onde  $y$  é o total mensal a ser determinado para a estação a ser preenchida,  $x_1, x_2$  e  $x_3$  são os totais mensais das estações 1, 2 e 3, mais próximas da estação  $y$  e os  $x_{m1}, x_{m2}, x_{m3}$  e  $y_m$  são as médias históricas mensais para o mês a ser preenchido. Preenchidos os dados, foram obtidas séries mensais para 59 anos, já que se decidiu que as séries deveriam ter o mesmo tamanho. Então as séries foram organizadas numa série de 12 totais trimestrais, ou seja, a soma dos meses de dezembro, janeiro e fevereiro como o primeiro trimestre; janeiro, fevereiro e março como segundo trimestre e sucessivamente.

Os dados relativos ao ENOS foram obtidos junto ao National Weather Service (2018), organizados em trimestres, o que justifica a prévia organização trimestral dos dados de precipitação mensal.

Uma maneira de verificar se dados de uma população obedecem a um critério de subdivisão é por meio de testes estatísticos não paramétricos. Portanto as amostras foram divididas em sub-amostras agrupadas em três diferentes grupos: trimestres com evidência de El Niño, trimestres com evidência de La Niña e trimestres sem evidência do ENOS. Para essas sub-amostras foram realizados os testes da Mediana e de Kruskal-Wallis cuja metodologia é apresentada por Martins (2008).

Segundo Martins (2008) o teste da Mediana pode ser usado para verificar se três amostras são pertencentes da mesma população, ou de populações com a mesma mediana. A Hipótese Inicial  $H_0$  é de que as amostras são provenientes da mesma população. Os dados então são classificados em dois grupos: número de valores acima da mediana e número de valores abaixo da mediana. Fazendo-se a diferença quadrática desses valores pelos valores de uma frequência teórica e dividindo-se o resultado pelo valor da frequência teórica, o valor da variável calculada é a soma dessa diferença para cada subgrupo. Se a variável calculada for menor que a variável da distribuição qui-quadrada  $\chi^2_{tab}$ , para probabilidade  $\alpha$ , a hipótese  $H_0$  é aceita, caso contrário, é refutada.

O teste de Kruskal-Wallis é realizado ordenando-se os valores da amostra com  $n$  valores em ordem crescente, separando-os de acordo com a divisão das sub-amostras em  $k$  grupos de tamanho  $n_i$  e fazendo a soma desse ordenamento ( $R_i$ ). A variável de teste é dada pela Equação 2.

$$H = \frac{12}{n(n+1)} \sum_{i=1}^k \frac{(R_i)^2}{n_i} - 3(n+1) \quad (2)$$

Caso o valor de  $H$  seja maior que  $\chi^2_{tab}$ , a hipótese  $H_0$  de que as amostras provém de populações com médias iguais é refutada.

Além dessa análise estatística, foram avaliadas as médias aritméticas para cada uma das sub-amostras.

## 4 Resultados e Discussão

Para a região de Sobradinho, com representatividade para as regiões do Médio e Submédio São Francisco os valores para o teste da Mediana e de Kruskal-Wallis são apresentados pela Tabela 3.

Tabela 3 – Resultado dos Testes Estatísticos para a Região da UHE de Sobradinho

Região	Teste	Erro ( $\alpha$ )	$\chi^2_{tab}$	$\chi^2_{cal}$	$H_0$
Sobradinho	Mediana	5,0%	5,9915	6,1575	Rejeitada
Sobradinho	Kruskal-Wallis	5,0%	5,9915	12,8722	Rejeitada

Fonte: Autores, 2018.



## 6º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente

Bento Gonçalves – RS, Brasil, 10 a 12 de Abril de 2018

Portanto percebe-se que tanto as médias quanto as medianas podem ser consideradas sub-amostras de populações distintas, comprovando estatisticamente, com 5% de probabilidade de erro, que os eventos chuvosos têm relação ao padrão de trimestres que se evidencia o ENOS.

As médias calculadas para cada período são apresentadas na

Tabela 4.

Tabela 4 – Médias para as Sub-Amostras referentes a Sobradinho

El Niño	La Niña	Normal
112,2	117,3	103,0

Fonte: Autores, 2018.

Ao se confrontar os dados, percebe-se que, em trimestres de ENOS ocorrem um maior total precipitado na região, com valores maiores para anos de La Niña, aproximando-se assim do comportamento da região mais a nordeste. Entretanto, se o clima obedecesse fielmente às características do NEB, os valores de chuva trimestral em anos de El Niño seriam mais baixo que a média em anos sem ocorrência do ENOS. Sugere-se então que há outro evento de circulação atmosférica preponderante sobre as chuvas da região.

Já para a região do lado da UHE de Três Marias, com representatividade para a região do Alto São Francisco os valores para o teste da Mediana e de Kruskal-Wallis são apresentados pela

Tabela 5.

Tabela 5 – Resultado dos Testes Estatísticos para a Região da UHE de Três Marias

Região	Teste	Erro ( $\alpha$ )	$\chi^2$ tab	$\chi^2$ cal	$H_0$
Três Marias	Mediana	5,0%	5,9915	16,0214	Rejeitada
	Kruskal-Wallis	5,0%	5,9915	7,3156	Rejeitada

Fonte: Autores, 2018

Ao se analisar os dados, percebe-se que tanto as médias quanto as medianas também podem ser consideradas sub-amostras de populações distintas, comprovando estatisticamente, com 5% de probabilidade de erro, que os eventos chuvosos têm relação com o padrão de trimestres que se evidencia o ENOS.

As médias calculadas para cada período são apresentadas na

Tabela 6.

Tabela 6 - Médias para as Sub-Amostras referentes à Três Marias

El Niño	La Niña	Normal
407,7	374,3	318,0

Fonte: Autores, 2018

De maneira análoga à região anterior, nos trimestres que se evidencia a ocorrência do ENOS há aumento do total precipitado, entretanto a região apresenta maiores valores em anos que ocorre o El Niño, aproximando-se mais com o comportamento da região Sudeste. Entretanto, como ocorre em Sobradinho, os valores do total trimestral precipitado deveriam



## 6º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente

Bento Gonçalves – RS, Brasil, 10 a 12 de Abril de 2018

ser menores que a média dos anos normais quando ocorresse a anomalia de forma oposta, o que também evidencia a atuação de outro evento climatológico na região.

### 5 Conclusão

A região do Alto, Médio e Submédio São Francisco sofrem interferência positiva em anos que se verifica a ocorrência do ENOS. A região de Sobradinho de modo mais semelhante à do Nordeste Brasileiro e a região de Três Marias aproximando-se do comportamento do Sudeste.

Infere-se ainda que deve existir um outro evento climatológico influenciando a região, fazendo com que ocorram os valores inesperados de total precipitado trimestral para anos normais menores que o total precipitado para anos que se evidencia a ocorrência da anomalia inversa. Comprovando assim, que nem em todas as regiões um efeito é contrário ao outro.

### Referências

- ARAGÃO, J. O. R. **A general circulation model investigation of the atmospheric response to El Niño.** 144 f. Tese. Colorado: NCAR/CT – 100, 1986.
- BJERKNES, J. Atmospheric Teleconnections From the Equatorial Pacific. **Monthly Weather Review**, v. 97, n. 3, mar. 1969.
- FERREIRA, A. G.; MELLO, N. G. S. Principais Sistemas Atmosféricos Atuantes Sobre a Região Nordeste do Brasil e a Influência dos Oceanos Pacífico e Atlântico no Clima da Região. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 1, n. 1, dez. 2005.
- GALVÍNCIO, J. D.; SOUSA, F. A. S. Relação Entre o Fenômeno El Niño e os Totais Mensais Precipitados na Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos (RBRH)**, v. 7, n. 4, out./dez. 2002.
- HASTENRATH, S.; HELLER, L. Dynamics of climatic hazards in northeast Brazil. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, Berkshire, v. 103, jan. 1977.
- Agência Nacional de Águas (ANA). **Portal HidroWeb.** Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br/>>. Acesso em 22 dez. 2017.
- MARTINS, Gilberto de Andrade. **Estatística Geral e Aplicada.** 3. ed. São Paulo: Atlas, 2008.
- MOURA, G. B. A.; ARAGÃO, J. O. R.; LACERDA, F.F.; PASSAVANTE, J. Z. O. Relação entre a precipitação no setor Nordeste do Brasil e a temperatura da superfície nos oceanos Atlântico e Pacífico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental.** Campina Grande, v. 4, n. 2, out. 2004.
- National Weather Service (NWS). **Cold & Warm Episodes by Season.** Disponível em: <[http://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/ensostuff/ONI\\_v5.php](http://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php)>. Acesso em 10 de jan. 2017.
- NOBRE, P.; SHUKLA, J. Variations of sea surface temperature, wind stress, and rainfall over the tropical Atlantic and South America. **Journal of Climate.** v. 9, mar. 1996.



## 6º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente

Bento Gonçalves – RS, Brasil, 10 a 12 de Abril de 2018

NOBREGA, R. S.; SANTIAGO, G. A. C. F. Tendência de Temperatura na Superfície do Mar nos Oceanos Atlântico e Pacífico e Variabilidade de Precipitação em Pernambuco. **Mercator**, Fortaleza, v. 13, n. 1, jan./abr. 2014.

OLIVEIRA, Gilvan Sampaio de. **O El Niño e Você**: O fenômeno climático. São José dos Campos: Editora Transtec, 2001.

PRUSKI, F. F.; PEREIRA, S. B.; NOVAES, L. F.; SILVA, D. D.; RAMOS, M. M. Precipitação média anual e vazão específica média de longa duração, na Bacia do São Francisco. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 8, n. 2-3, mai./dez. 2004.

TUCCI, C. E. M. (Org); SILVEIRA, A. L. L. (Org); et al. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. 4. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH, 2015.