

# Influência dos Eventos Climáticos Extremos sobre Hidrelétricas do Brasil

## Influence of Extreme Weather Events on Hydroelectrics Power Stations in Brazil

*Alexandre Kemenes<sup>1</sup>; Lucio Alberto Pereira<sup>2</sup>; Carlos Antonio Costa dos Santos<sup>3</sup>*

### Abstract

Approximately 80% of the energy consumed in Brazil is hydroelectricity. Any changes in rainfall will have an impact on the economy and urban population lifestyle. The influence of ENSO (El Niño-Southern Oscillation) on the generation of hydroelectric power plants in Amazon and Northeast of Brazil was studied. The power plants considered were Balbina, Tucuruí, Curuá-Una and Samuel, in the Amazon; Sobradinho and Boa Esperança, in the Northeast of Brazil. The mean monthly hydrological and oceanographic parameters considered were runoff and lake level upstream of the barrages, sea surface temperature anomalies in the Niño 1, Niño 1+2, Niño 3, Niño 3+4 (El Niño-Southern Oscillation); TNAI (North Atlantic Temperature Index) and TSAI (South Atlantic Temperature Index). Significant correlations between the hydrological parameters of hydroelectrics and the oceanic parameters were observed for Balbina and Curuá-Una, showing a negative influence of ENSO on the energy production. Tucuruí and Samuel plant parameters showed small or no correlation with the oceanic parameters. For the hydroelectric power stations studied in the Northeast of Brazil, few relationships were found. Apparently, there exists an additional environmental factor influencing this process. The response time between the SST anomalies studied and hydropower parameters suggest that the Amazon water travels a long way to reach the Northeast, and this could be masking the results. Additional analysis is needed to understand the dynamic climate-hydrological operation systems in the Brazilian Northeast region.

**Keywords:** ENSO, TNAI, TSAI, climatic changes, SST anomalies.

### Introdução

O represamento dos rios para a construção de usinas hidrelétricas tem aumentado a extensão de áreas alagáveis. Apesar da energia elétrica ser essencial para o desenvolvimento humano, ela não é limpa (KEMENES et al., 2012). Após o alagamento a vegetação morre, entra em decomposição e gera gases de efeito estufa (GEE's) liberados para a atmosfera durante anos (KEMENES et al., 2007, 2011).

A água que abastece as hidrelétricas do Norte e Nordeste tem sua origem no Oceano Atlântico. Este contribui com a maior parte da umidade amazônica, o restante vem da evapotranspiração da floresta. Entretanto, o que chove na Amazônia é somente metade da água que circula por ela, outra parte é exportada para outros ambientes, como o Nordeste do Brasil (KEMENES et al., 2008). Atualmente, têm ocorrido eventos climáticos extremos, afetando o abastecimento de água. Alguns pesquisadores os atribuem à variação interanual, ligada ao aquecimento nas águas superficiais dos mares. Outros interpretam como os primeiros indícios das mudanças climáticas (METZ et al., 2007). Hoje, num intervalo variável entre anos ou décadas é observado o El Niño, que é o aquecimento anômalo de águas superficiais do Pacífico ligado à Oscilação Sul, fenômeno conhecido como Enso (El Niño – Southern Oscillation). Outro

<sup>1</sup>Biólogo, D.Sc. em Biologia de Água Doce e Pesca Interior, pesquisador da Embrapa Meio-Norte, Teresina, PI, alexandre.kemenes@embrapa.br.

<sup>2</sup>Ecólogo, D.Sc. em Geociências e Meio Ambiente, pesquisador da Embrapa Semiárido, Petrolina, PE, lucio.pereira@embrapa.br.

<sup>3</sup>Físico, D.Sc. em Meteorologia, professor adjunto da Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, PB, carlostorm@gmail.com.

fenômeno extremo é o aquecimento das águas superficiais do Oceano Atlântico Sul e Norte (TSAI e TNAI). Associado a estes, ocorrem condições secas na Amazônia e no Nordeste do Brasil.

A perspectiva da recorrência continuada desses fenômenos exige uma previsão de longo prazo necessária para reduzir os riscos. Além disso, é importante avaliar que nossa principal fonte de energia elétrica é completamente dependente do clima. Atualmente, a pluviosidade tem se mostrado pouco previsível e sem a magnitude necessária para recuperar estoques perdidos. As anomalias de TSM (temperatura da superfície do mar) envolvem fenômenos extremos, estes influenciam as chuvas, os rios amazônicos e o regime de chuvas do Nordeste do Brasil (RONCHAIL et al., 2005).

O objetivo deste estudo foi realizar uma avaliação da influência dos eventos climáticos extremos sobre os parâmetros hidrológicos de hidrelétricas do Norte e Nordeste do Brasil.

## Material e Métodos

A área de estudo inclui a hidrelétrica de Boa Esperança, construída em 1970 no Rio Parnaíba, com área alagada de 240 km<sup>2</sup> e capacidade instalada de 240 MW. A Hidrelétrica de Sobradinho, que iniciou atividades em 1979 no Rio São Francisco, com área de 4.214 km<sup>2</sup> e capacidade de 1.050 MW. Balbina, que foi construída em 1987 no Rio Uatumã, apresenta uma área máxima de 2.600 km<sup>2</sup> e capacidade instalada de 250 MW. A Barragem de Tucuruí iniciou atividades em 1984 no Rio Tocantins, passou por um processo de expansão em 2002 que aumentou sua capacidade para 8.085 MW. Samuel, no Rio Jamari, tem reservatório de 550 km<sup>2</sup> e uma produtividade energética máxima de 220 MW. Curuá-Una fica acerca de 70 km Sudoeste de Santarém, ocupa uma área de 72 km<sup>2</sup> e tem 40 MW de capacidade máxima instalada.

No período de 1989 a 2011 foram obtidos dados diários de vazão total (turbinada + vertida) e nível de cota à montante das barragens de Boa Esperança e Sobradinho, cedidos pela Companhia Hidro Elétrica do São Francisco (Chesf). De 1993 a 2008, os dados das hidroelétricas: Balbina, Samuel, Tucuruí e Curuá-Una, cedidos pela Eletronorte. A partir destes, foram calculadas as médias mensais, utilizadas junto às médias mensais das anomalias de TSM das regiões de El Niño 1+2, 3, 3.4 e 4, no Oceano Pacífico Equatorial, e TNAI e TSAI no Oceano Atlântico Tropical, obtidas no site da National Oceanic & Atmospheric Administration (NOAA) (ESTADOS UNIDOS, 2014).

Os parâmetros supracitados foram correlacionados com os valores de TSM por meio de *Pearson* para quantificar a relação entre fenômenos de grande escala e o potencial de geração de energia elétrica. O coeficiente de correlação de *Pearson*,  $\rho$ , assume valores entre -1 e +1;  $\rho = 1$  e significa uma correlação perfeita positiva entre as duas variáveis e  $\rho = -1$  significa uma correlação negativa perfeita, ou seja, se uma aumenta, a outra diminui. Se  $\rho = 0$  ou muito pequeno, significa que as duas variáveis não dependem linearmente uma da outra (SNEATH; SOKAL, 1973) e pode ser calculado com a seguinte fórmula:

$$\rho = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} = \frac{\text{cov}(X, Y)}{\sqrt{\text{var}(X) \cdot \text{var}(Y)}} \quad (1)$$

Onde:  $x_1, x_2, \dots, x_n$  e  $y_1, y_2, \dots, y_n$  são os valores medidos de ambas as variáveis. Além disso:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n x_i ; \quad \bar{y} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n y_i \quad (2)$$

Sendo  $\bar{x}$  e  $\bar{y}$  médias aritméticas. Onde  $\rho > 0,7$  ou  $\rho < -0,7$  indica forte correlação. Para  $-0,7 < \rho < -0,3$  ou  $0,7 > \rho > 0,3$  a correlação é moderada e  $\rho < 0,3$  e  $\rho > -0,3$  a correlação é fraca ou nula (SNEATH; SOKAL, 1973).

## Resultados e Discussão

Na Tabela 1 são encontrados os resultados das análises estatísticas relacionando as médias mensais das anomalias de TSM das regiões de El Niño 1+2, 3, 3.4 e 4, no Oceano Pacífico Equatorial, e das regiões TNAI e TSAI, no Oceano Atlântico Tropical, com a vazão total (água turbinada + vertida) e o nível de cota à montante das barragens das hidrelétricas de Balbina, Samuel, Tucuruí, Curuá-Una, Sobradinho e Boa Esperança. Os valores negativos indicam que as águas quentes do Pacífico trazem uma menor vazão e/ou menor valor de cota. Isso mostra, também, que a precipitação diminui nas épocas de El Niño, com isso, o fluxo de água total e a cota da barragem são reduzidas. Uma vez que o fluxo de água e a cota à montante da barragem representam a precipitação integrada da bacia, estes dados são mais robustos que observações pluviométricas individuais. Assim, a relação negativa entre índices de TSM e fluxos de água e cota da barragem, para valores de correlação significativa, são confiáveis.

**Tabela 1.** Coeficiente de correlação de *Pearson* entre as anomalias de TSM e a vazão total (água turbinada + vertida) e cota à montante das hidrelétricas estudadas. Significância estatística ( $p < 0,05$ ) em negrito; – = sem informação.

	Vazão total	Cota montante
Balbina	coeficiente	coeficiente
Niño (1+2)	-0.080	<b>-0.640</b>
Niño (3)	-0.076	<b>-0.458</b>
Niño (4)	-0.181	-0.087
Niño (3.4)	-0.107	-0.282
TNAI	-0.124	-0.231
TSAI	-0.219	-0.184
Samuel		
Niño (1+2)	0.050	0.231
Niño (3)	-0.012	0.130
Niño (4)	-0.148	-0.077
Niño (3.4)	-0.099	0.025
TNAI	0.181	0.090
TSAI	0.074	-0.046
Tucuruí		
Niño (1+2)	0.007	0.064
Niño (3)	-0.057	0.090
Niño (4)	-0.072	0.037
Niño (3.4)	-0.068	0.101
TNAI	-0.141	-0.148
TSAI	-0.040	0.020

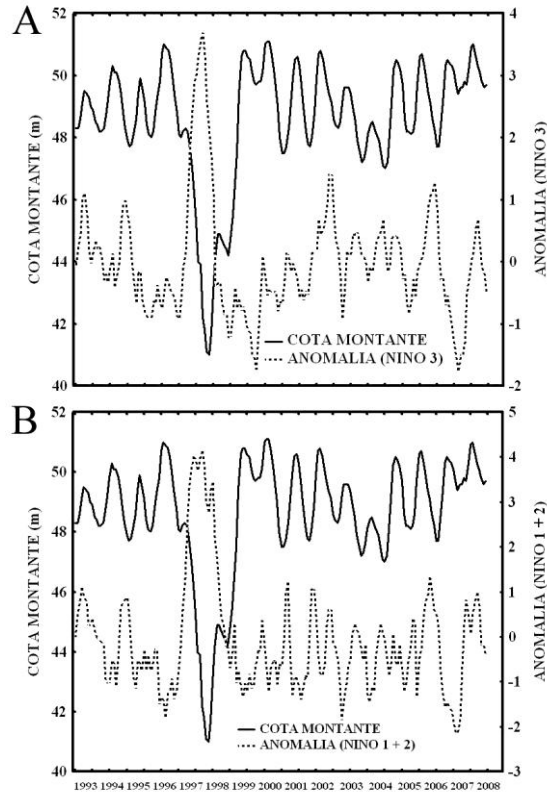
Continua...

Continuação.

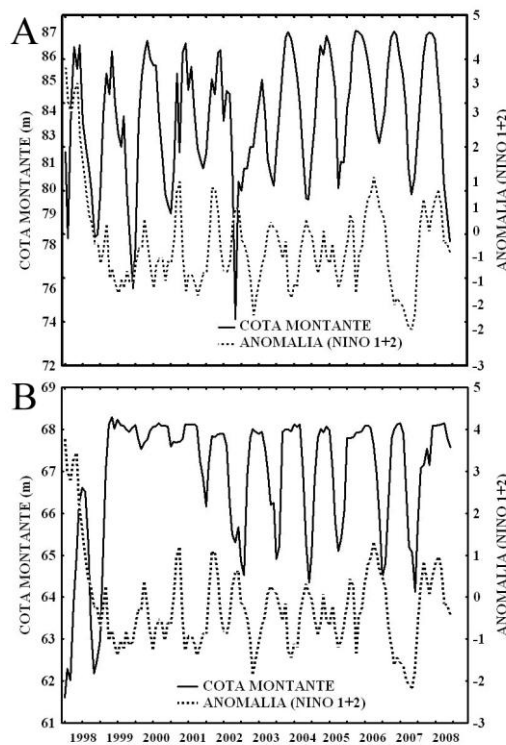
<b>Curuá-Una</b>		
Niño (1+2)	-0.025	<b>-0.408</b>
Niño (3)	-0.092	-0.290
Niño (4)	<b>-0.322</b>	-0.038
Niño (3.4)	-0.196	-0.161
TNAI	<b>-0.308</b>	-0.196
TSAI	0.135	-0.131
<b>Sobradinho</b>		
Niño (1+2)	0,0388	-
Niño (3)	0,0044	-
Niño (4)	0,0898	-
Niño (3.4)	0,0424	-
TNAI	-0,2445	-
TSAI	-0,0900	-
<b>Boa Esperança</b>		
Niño (1+2)	-0,0309	-0,0089
Niño (3)	-0,0246	-0,1053
Niño (4)	0,0538	0,0047
Niño (3.4)	-0,0002	0,0893
TNAI	-0,1676	-0,1477
TSAI	0,0219	0,0597

Para os resultados obtidos na Amazônia, o coeficiente que mostrou a melhor correlação estatística foi o El Niño 1+2 sobre a cota à montante de Balbina (Figura 1). Os índices de Niño 1+2 e Niño 3.4 afetam moderadamente o nível de cota de Curuá-Una. A cota à montante de Samuel é afetada de forma fraca pelo Niño 1+2 (Figura 2). Entretanto, Tucuruí não é afetada pelos índices. Na cota à montante é observado o comportamento de tendências opostas dos índices de TSM na região Niño 1+2 e Niño 3. Tucuruí, que é a maior hidrelétrica, totalmente brasileira, apresenta a sua operacionalidade normalizada e tem uma oferta constante de energia elétrica, trazendo tranquilidade. Entretanto, uma investigação mais aprofundada deverá esclarecer porque as sub-bacias das hidrelétricas da Balbina e Curuá-Una sentem mais fortemente as anomalias de TSM.

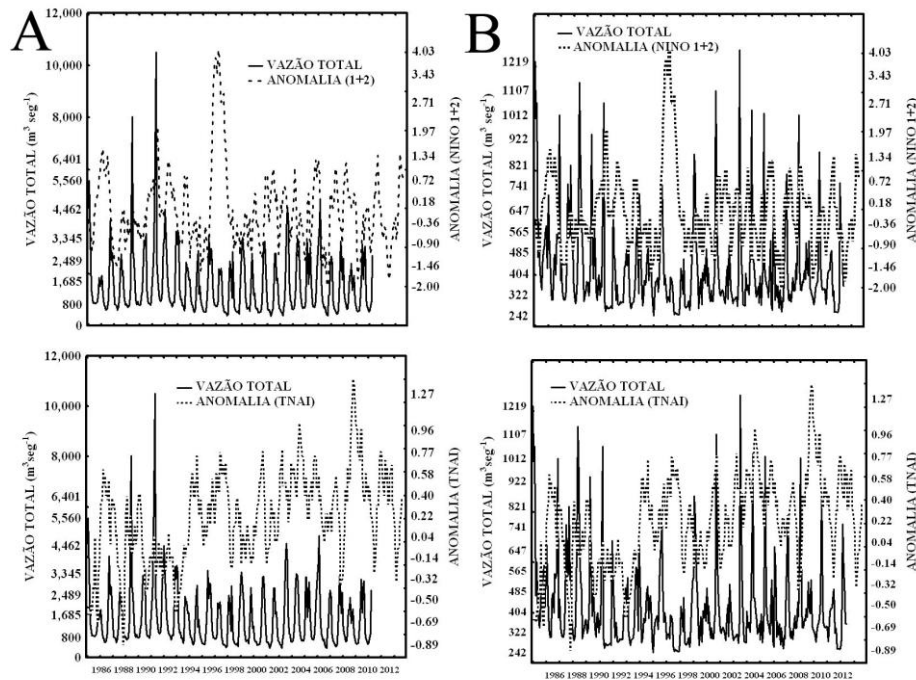
Para as duas hidrelétricas do Nordeste estudadas, Boa Esperança e Sobradinho, o coeficiente de correlação que mostrou a melhor relação estatística foi TNAI sobre a vazão total. Entretanto, na Figura 3, também é possível observar que os índices de El Niño apresentam uma relação fraca com os parâmetros hidrológicos dos reservatórios do Nordeste. Isso deve ocorrer devido à grande distância da Amazônia, a origem da água destes reservatórios, este fator pode estar mascarando as inter-relações estatísticas.



**Figura 1.** Variação temporal da cota à montante da Hidrelétrica de Balbina e as anomalias de temperatura da superfície do Oceano Pacífico (TSM) nas regiões de Niño 3 (a) e Niño 1+2 (b).



**Figura 2.** Variação temporal da cota à montante da Hidrelétrica de Samuel (a) e Curuá-Una (b), e das anomalias de TSM nas regiões de Niño 1+2.



**Figura 3.** Variação temporal da vazão total das hidrelétricas de Sobradinho (a) e Boa Esperança (b), e das anomalias de TSM nas regiões Niño 1+2 e TNAI.

## Conclusões

De todos os fenômenos TSM examinados neste estudo, o Niño 1+2 e Niño 3 demonstraram ter as maiores influências sobre os parâmetros hidrológicos nas hidrelétricas da Amazônia.

Quando o Atlântico Norte está mais aquecido (TNAI positivo) há uma tendência de inibição das chuvas no Nordeste e os níveis dos reservatórios tendem a diminuir.

A falta de relação estatística significativa entre os fenômenos extremos e os parâmetros ambientais das hidrelétricas do Nordeste podem ser o resultado da distância da Amazônia e, conseqüentemente, da demora para a chegada da água do período chuvoso. O que torna esta influência indireta e pode estar mascarando os resultados.

## Referências

- ESTADOS UNIDOS. Department of Commerce. National Oceanic and Atmosphere Administration. **Climate indices**: monthly atmospheric and ocean time series, [2014]. Disponível em: <<http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/climateindices/>>. Acesso em: 30 out. 2014.
- KEMENES, A.; FORSBERG, B.R.; MELACK, J. M. Methane release below a tropical hydroelectric dam. **Geophysical Research Letters**, Baltimore, v. 34, n. 12, p. 1-5, jun. 2007.
- KEMENES, A.; FORSBERG, B. R.; MELACK, J. M. Hidrelétricas e o aquecimento global. **Ciência Hoje**, Rio de Janeiro, v. 41, n. 245, p. 44-49, 2008.
- KEMENES, A.; FORSBERG, B. R.; MELACK, J. M. CO<sub>2</sub> emissions from a tropical hydroelectric reservoir (Balbina, Brazil). **Journal of Geophysical Research**, Baltimore, v. 116, p. 1-11, 2011. Disponível em: <<http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/896953/1/CO2emissions.Pdf>>. Acesso em: 13 ago. 2014.

KEMENES, A.; SANTOS, C. A. C. dos; SATYAMURTY, P. A influência de eventos climáticos extremos na atividade de hidrelétricas Amazônicas. **Ciência Hoje**, Rio de Janeiro, v. 50, p. 36-41, 2012.

METZ, B.; DAVIDSON, O. R.; BOSCH, P. R.; DAVE, R.; MEYER, L. A. (Ed.). **Climate Change 2007: mitigation of climate change**. Cambridge: Cambridge University Press: IPCC, 2007. 851 p. Disponível em: <[http://www.ipcc.ch/publications\\_and\\_data/publications\\_ipcc\\_fourth\\_assessment\\_report\\_wg3\\_report\\_mitigation\\_of\\_climate\\_change.htm](http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_ipcc_fourth_assessment_report_wg3_report_mitigation_of_climate_change.htm)>. Acesso em: 11 jul. 2014.

RONCHAIL, J.; LABAT, D.; CALLEDE, J.; COCHONNEAU, G.; GUYOT, J. L.; FILIZOLA, N.; OLIVEIRA, E. de. Discharge variability within the Amazon basin. In: SYMPOSIUM REGIONAL HYDROLOGICAL IMPACTS OF CLIMATIC CHANGE: HYDROCLIMATOLOGICAL VARIABILITY, 6., 2005, Foz do Iguaçu. **Proceedings...** Foz do Iguaçu: IAHS, 2005. p. 21-29. (IAHS. Publication, 296). Disponível em: <[http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins\\_textes/divers13-12/010036303.pdf](http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers13-12/010036303.pdf)>. Acesso em: 12 jul. 2014.

SNEATH, P. H. A.; SOKAL, R. R. **Numerical taxonomy**. San Francisco: W. H. Freeman, 1973. 573