



ARTIGO CIENTÍFICO

Variabilidade interanual da precipitação em cidades do semiárido brasileiro entre os anos de 1984 e 2015

Interannual variability of precipitation in brazilian semi-arid cities between 1984 and 2015

César Lincoln Oliveira de Souza¹, Virgínia de Fátima Bezerra Nogueira², Valner da Silva Nogueira³

Resumo: As variações pluviométricas influenciam diretamente na economia de uma região. Este cenário no semiárido brasileiro pode ser ainda mais impactante, afetando consideravelmente a agricultura e os recursos hídricos. O objetivo deste trabalho foi determinar a influência dos modos de variabilidade climática global na precipitação de cidades do semiárido localizadas nos estados de Pernambuco, Paraíba, Ceará e Rio Grande do Norte. Foi realizada a climatologia de 70 (setenta) postos pluviométricos alocados pelos quatro estados e a correlação do período chuvoso destas estações com os fenômenos El Niño-Oscilação Sul (ENOS) e o Dipolo de TSM do Atlântico (DTAT). Na maior parte das estações, o período chuvoso se restringiu a apenas cinco meses, se estendendo de janeiro a maio. O Ceará é o estado mais influenciado pelos modos de variabilidade interanual. Os resultados mostraram que os modos de variabilidade afetam de formas distintas os quatro estados analisados, em comum as maiores correlações, ou seja, a maior influência é das anomalias de TSM da Bacia Sul do Atlântico Tropical sob o período chuvoso dos postos analisados.

Palavras-chave: Modos de variabilidade climática; Correlação; Recursos hídricos; El Niño-Oscilação Sul.

Abstract: Rainfall variations affect the economy of a region directly. The semi-arid region in northeastern Brazil suffers drastic effects of such variability, which harms the agriculture and the availability of water resources. Were analyzed the influence of global climate variability modes in semiarid cities of rainfall in the states of Pernambuco, Paraíba, Ceará and Rio Grande do Norte. The climatology of 70 (seventy) locations throughout the four states and the correlation of the rainy season of these stations with El Niño–Southern Oscillation (ENSO) and the Atlantic Dipole were performed. Most stations showed five months of rainy season, from January to May. The Ceará region was the most affected by the interannual variability patterns. The variability of patterns affected the four studied states in different ways, however, the rainy seasons in the whole region suffered a large influence of the SST anomalies of the South Atlantic Tropical Basin.

Key words: Modes of climatic variability; Correlation; Water Resources; El Niño–Southern Oscillation.

*Autor para correspondência

Recebido para publicação em 17/05/2017; aprovado em 30/09/2017

¹Graduado em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Campina Grande, lincoln_ambiental@yahoo.com

²Doutora em Meteorologia, Professora da Universidade Federal de Campina Grande, virginia.fbnogueira@gmail.com

³Doutor em Meteorologia pela Universidade Federal de Campina Grande, nvalner@hotmail.com



INTRODUÇÃO

A precipitação pluvial tem sido amplamente estudada em várias regiões do globo, devido a sua grande contribuição para entender o ciclo hidrológico e a manutenção do meio ambiente e dos seres vivos. O desenvolvimento econômico do semiárido brasileiro está profundamente relacionado com os períodos prolongados das secas. Devido à irregularidade temporal, espacial e aos baixos índices pluviométricos, quase toda a região enfrenta problemas decorrentes da falta de água, o que é uma restrição para o desenvolvimento de atividades agrícolas.

O clima semiárido no interior da região Nordeste do Brasil (NEB) apresenta, em média, precipitação acumulada inferior a 600 mm ano⁻¹. No nordeste da região, área que abrange a maior parte do semiárido do país, o seu período chuvoso ocorre entre os meses de fevereiro a maio. Este setor se destaca em virtude de nele ocorrerem as maiores secas. A estação sem chuva ocorre, na maior parte da região, entre os meses de junho a meados de janeiro (MARENGO, 2011).

Este cenário de clima semiárido pode ser agravado ou atenuado diretamente pelos Modos de Variabilidade Climática Global definidos como o El Niño Oscilação do Sul (ENOS) e o Dipolo do Atlântico Tropical (DAT). O ENOS consiste de uma componente oceânica, o El Niño (EN) (aquecimento anômalo das águas superficiais do Pacífico Leste e central, próxima da costa do Peru e Equador) e de uma componente atmosférica, a OS (flutuação no campo de pressão entre as regiões da alta subtropical do Pacífico Sudeste e do sistema de baixa pressão Pacífico Oeste próximo ao norte da Austrália). O nome El Niño refere-se ao “Menino Jesus”, pois desde o século XVI, os pescadores do Peru/Equador denominaram o aquecimento das águas do mar com esse nome, já que acontecia próximo do Natal. O El Niño está relacionado com chuva abaixo da média no NEB. O fenômeno que causa anomalias opostas ao do El Niño é conhecido como La Niña (ARAGÃO, 1998). O DAT consiste em um dipolo meridional de anomalia da Temperatura da Superfície do Mar (TSM) no Atlântico Tropical, definido como sendo uma configuração espacial de anomalia de TSM apresentando sinais opostos ao sul e ao norte do Equador, definindo as fases características. A fase negativa (positiva) do DAT é associada com (sem) chuva.

No semiárido brasileiro, além disso, mesmo em períodos considerados de não estiagem, há uma alta ocorrência de veranicos, que são caracterizados como sucessivos dias sem chuvas, forte insolação, calor intenso, baixa umidade relativa e conseqüentemente uma maior taxa de evapotranspiração durante a estação chuvosa, o que compromete ainda mais a agricultura local (NOBRE et al., 2004).

Os Modos de Variabilidade Climática Global influenciam a variabilidade intrasazonal das chuvas sobre NEB o que resultam em maior ou menor aumento dos veranicos. As influências mais marcantes são diretamente sentidas na migração latitudinal da ZCIT (Zona de Convergência Intertropical) que está associada ao gradiente meridional de TSM sobre o Atlântico Tropical e o Pacífico Equatorial. Por sua vez, modificações anômalas ou naturais nas características da ZCIT refletem diretamente na distribuição temporal e espacial da pluviometria regional, onde proporciona ciclos de estiagem intercalados com eventos torrenciais de precipitação em escalas intrasazonal,

sazonal e interanual (MOURA e SHUKLA, 1981; MECHOSO et al., 1990).

Baseado nos estudos apontados anteriormente, pode-se afirmar que há evidências observacionais que o semiárido do NEB é influenciado pelas condições de grande escala dos Oceanos Pacífico Equatorial e Atlântico Tropical. Portanto, aprofundar o conhecimento em direção à determinação da variabilidade interanual da precipitação e períodos de veranicos em regiões do NEB é substancial para a definição de políticas públicas preocupadas com abastecimentos de água em anos anômalos.

O objetivo desse trabalho foi determinar a influência dos modos de variabilidade climática global, El Niño-Oscilação Sul (ENOS) sobre o Pacífico Equatorial e o gradiente meridional de anomalias de TSM sobre o Atlântico Tropical, sob a precipitação de cidades do semiárido brasileiro.

MATERIAL E MÉTODOS

A região estudada está situada na zona considerada semiárida pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2015), onde os estados considerados para o estudo foram: Ceará, Paraíba, Pernambuco e Rio Grande do Norte, que estão localizados entre os paralelos de 3° 05' 02" e 9° 28' 41" de latitude sul e entre os meridianos de 35° 17' 43" e 41° 21' 47" a oeste do meridiano de Greenwich.

Atualmente não há uma distribuição homogênea de estações com dados suficientes e de qualidade para os estudos das dinâmicas climáticas que se pretendeu realizar nesse trabalho. Portanto, para a seleção das estações pluviométricas foram consideradas as que possuíam no mínimo 28 anos de dados, dentre o período de 1984 a 2015.

Foram utilizados dados históricos de 70 estações pluviométricas, listadas na Tabela 1, disponibilizados pela plataforma *HidroWeb* da Agência Nacional das Águas.

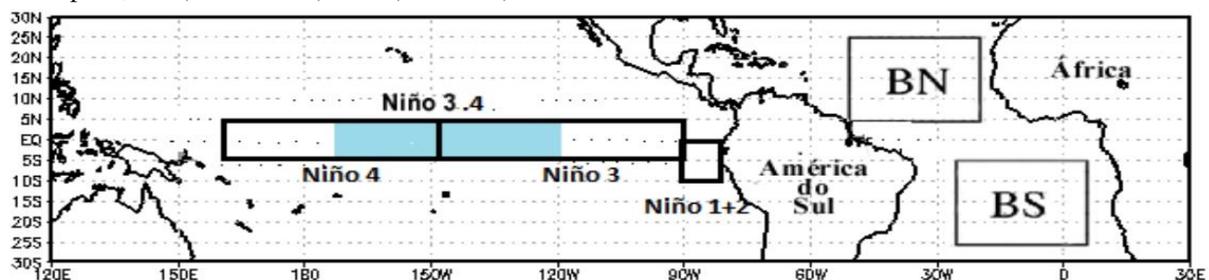
Tabela 1. Identificação e localização das estações estudadas.

ID	Município	UF	Código	Latitude	Longitude
1	Aiuaba	CE	640019	-06°34'00"	-40°07'00"
2	Alcântaras	CE	340066	-03°35'00"	-40°33'00"
3	Alto Santo	CE	538008	-05°28'01"	-38°24'27"
4	Aracati	CE	437000	-04°34'00"	-37°46'00"
5	Aracobaia	CE	438009	-04°22'00"	-38°48'00"
6	Araripe	CE	740008	-07°12'00"	-40°08'00"
7	Arneiroz	CE	640003	-06°19'35"	-40°09'32"
8	Aurora	CE	638010	-06°57'00"	-38°58'00"
9	Baturité	CE	438010	-04°20'00"	-38°52'00"
10	Boa Viagem	CE	539029	-05°08'00"	-39°43'00"
11	Brejo Santo	CE	738006	-07°29'28"	-38°59'00"
12	Caridade	CE	439006	-04°14'00"	-39°11'00"
13	Cariré	CE	340014	-03°57'00"	-40°28'00"
14	Caririaçu	CE	739011	-07°02'00"	-39°17'00"
15	Carús	CE	639030	-06°32'00"	-39°30'00"
16	Caucaia	CE	338009	-03°45'00"	-38°41'00"
17	Chorózinho	CE	438021	-04°18'08"	-38°29'49"
18	Crato	CE	739006	-07°14'00"	-39°24'00"
19	Farias Brito	CE	639029	-06°55'00"	-39°34'00"
20	Guaraciba do Norte	CE	440023	-04°11'00"	-40°45'00"
21	Ibiapina	CE	340018	-03°55'00"	-40°53'00"
22	Icó	CE	638014	-06°24'32"	-38°51'49"
23	Jaguaruana	CE	437006	-04°50'00"	-37°47'00"
24	Lavras da Mangabeira	CE	638007	-06°45'46"	-38°57'38"
25	Maranguape	CE	338016	-03°54'00"	-38°40'00"
26	Massapê	CE	340049	-03°32'00"	-40°20'00"
27	Milagres	CE	738008	-07°18'00"	-38°56'00"

28	Missão Velha	CE	739007	-07°15'00"	-39°08'00"
29	Pacoti	CE	438036	-04°13'00"	-38°55'00"
30	Saboeiro	CE	639033	-06°32'00"	-39°54'00"
31	Senador Pompeu	CE	539037	-05°34'48"	-39°22'05"
32	Tauá	CE	640002	-06°01'00"	-40°17'00"
33	Tianguá	CE	340030	-03°44'00"	-40°59'00"
34	Ubajara	CE	340031	-03°51'00"	-40°55'00"
35	Umari	CE	638008	-06°38'00"	-38°42'00"
36	Várzea Alegre	CE	639034	-06°48'00"	-39°18'00"
37	Boqueirão	PB	735124	-07°31'42"	-35°59'59"
38	Piancó	PB	737006	-07°12'51"	-37°55'33"
39	São João do Rio do Peixe	PB	638032	-06°44'07"	-38°26'53"
40	Taperoá	PB	736000	-07°13'03"	-36°49'44"
41	Afogados da Ingazeira	PE	737023	-07°44'20"	-37°38'54"
42	Belém de São Francisco	PE	838004	-08°45'54"	-38°57'38"
43	Caruaru	PE	835106	-08°18'10"	-36°00'39"
44	Cumaru	PE	835135	-08°00'43"	-35°41'46"
45	Flores	PE	737027	-07°52'40"	-37°58'21"
46	Floresta	PE	838021	-08°36'23"	-38°34'43"
47	Inajá	PE	837038	-08°55'15"	-37°49'50"
48	Jataúba	PE	736040	-07°59'11"	-36°30'02"
49	Mirandiba	PE	838002	-08°14'23"	-38°31'40"
50	Orocó	PE	839034	-08°31'13"	-39°38'27"
51	Parnamirim	PE	839009	-08°15'46"	-39°50'50"
52	Poção	PE	836093	-08°11'22"	-36°42'25"
53	Salgadinho	PE	735067	-07°56'34"	-35°38'03"
54	Sanharó	PE	836043	-08°21'56"	-36°33'37"
55	Santa Cruz do Capibaribe	PE	736041	-07°57'43"	-36°12'08"
56	Santa Maria da Boa Vista	PE	840010	-08°36'58"	-39°59'58"
57	Serra Talhada	PE	838031	-08°00'02"	-38°14'41"
58	Surubim	PE	735158	-07°51'17"	-35°45'52"
59	Taquaratinga do Norte	PE	736042	-07°54'14"	-36°02'49"
60	Vertentes	PE	735159	-07°54'36"	-35°59'19"
61	Augusto Severo	RN	537034	-05°52'02"	-37°18'53"
62	Caicó	RN	637039	-06°27'04"	-37°05'26"
63	Felipe Guerra Governador	RN	537008	-05°35'36"	-37°41'03"
64	Dix-Sept Rosado	RN	537036	-05°27'00"	-37°30'54"
65	Ielmo Marinho	RN	535038	-05°50'45"	-35°31'24"
66	Jardim de Piranhas	RN	637010	-06°27'44"	-37°18'09"
67	Mossoró	RN	537035	-05°17'20"	-37°17'20"
68	Pendências	RN	536036	-05°15'26"	-36°43'24"
69	São Miguel	RN	638044	-06°12'46"	-38°25'32"
70	Upanema	RN	537019	-05°38'37"	-37°15'19"

Fonte: Elaborada pelo autor com dados extraídos da Agência Nacional das Águas, ANA (2017).

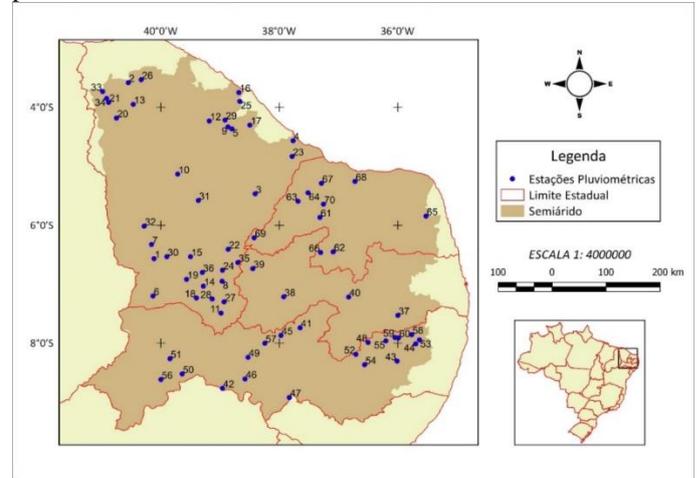
Figura 2. Localização das áreas do oceano Pacífico Equatorial, Niño 1+2, Niño 3, Niño 3.4 e Niño 4, e das áreas do oceano Atlântico Tropical, BN (Bacia Norte) e BS (Bacia Sul).



Fonte: Adaptada de IRI (2013).

Na Figura 1, podemos conferir a localização geográfica de cada estação pluviométrica estudada, representada por um ponto azul, seguido do seu respectivo ID, este que pode ser conferido na Tabela 1.

Figura 1. Mapa de localização e identificação das estações pluviométricas.



Fonte: Elaborada pelo autor com dados extraídos da ANA (2017) e IBGE (2017).

Determinação da climatologia

A partir da obtenção do conjunto de dados diários de precipitação foram calculadas médias e desvios-padrões mensais de precipitação das estações pluviométricas, onde foi considerado que meses com médias maiores que seu respectivo desvio padrão médio, serão os meses que fazem parte do período chuvoso daquele local.

O mapa de localização das estações pluviométricas foi confeccionado a partir do software "QGIS 2.8".

Determinação da variabilidade interanual da precipitação

A técnica usada para estudar a variabilidade interanual da precipitação foi o uso do coeficiente de correlação linear entre a precipitação e a TSM da região do Oceano Pacífico Equatorial referente às áreas do NINOS (4, 3, 3.4, 1+2) e a região do Oceano Atlântico Tropical referente às Bacias Norte (5° N – 25° N/50°W-20°W) e Sul (5°S-25°S/30°W-0°W), bacias estas onde ocorre o Padrão de Dipolo Clássico de TSM. As coletas das TSMs mensais das zonas em destaque na Figura 2, foram obtidas a partir do banco de dados expostos no sítio online da National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA).

As variáveis consideradas para determinar a variabilidade interanual da precipitação são as Anomalias Normalizadas de TSM (ANTSM) e as Anomalias Normalizadas de Precipitação (ANP), normalizadas pelo desvio padrão (σ), são calculadas pelas equações 1 e 3.

$$ANTSM_{ij} = \left(\frac{TSM_{ij} - \overline{TSM}_{ij}}{\sigma_i} \right) \quad (\text{Eq. 1})$$

Em que: $ANTSM_{ij}$ = anomalia normalizada de TSM do posto i no ano j ; TSM_{ij} = valor mensal de TSM do posto i no ano j ; \overline{TSM}_{ij} = valor médio de TSM do mês i ; i, j = subíndices representativos do posto pluviométrico e do ano, respectivamente; σ_i = desvio padrão de TSM no mês i , dada pela equação 2.

$$\sigma_i = \sqrt{\frac{\sum X^2}{n} - \left[\frac{\sum X}{n} \right]^2} \quad (\text{Eq. 2})$$

A anomalia de precipitação (AP) foi calculada de acordo com a Equação 1, expressa por:

$$ANP_{ij} = \left(\frac{VMP_{ij} - \overline{VMP}_{ij}}{\sigma_i} \right) \quad (\text{Eq. 3})$$

Em que: ANP_{ij} = anomalia normalizada de precipitação para o posto i no ano j ; VMP_{ij} = valor mensal de precipitação do posto i no ano j ; \overline{VMP}_{ij} = valor médio mensal de precipitação do posto i no ano j ; i, j = subíndices representativos ao posto pluviométrico e o ano, respectivamente; σ_i = desvio padrão de precipitação mensal do posto i .

Significância estatística

Os coeficientes de correlação linear serão calculados utilizando o teste t-Student para verificar a significância estatística da correlação. Nesse caso trata-se de uma distribuição normal bi-dimensional, onde o coeficiente de correlação linear r de uma amostra é uma estimativa do coeficiente de correlação da população correspondente. Assim, pode-se testar a hipótese $\rho=0$ contra uma alternativa, por exemplo, $\rho > 0$. Se a hipótese for verdadeira então t_0 corresponde a uma variável aleatória que tem distribuição t com $n-2$ graus de liberdade. Neste caso t_0 deveria ser pequeno, portanto se t_0 for muito grande, rejeita-se a hipótese.

A significância estatística dos valores de correlação pode ser conseguida através de um teste de hipótese simples. Testando a hipótese de que os valores do coeficiente de correlação de Pearson (r) são iguais à zero, o que significaria que não há correlação linear alguma entre os pares de variáveis, contra a hipótese de que eles são diferentes de zero, o que significa que a correlação, por mais tênue que seja, é significativa. Para tanto, calcula-se o valor pela equação 4.

$$t_0 = r \sqrt{\frac{n-2}{1-r^2}} \quad (\text{Eq. 4})$$

Em que, r é o valor do coeficiente de correlação de Pearson da amostra e n é o número de elementos na amostra (no presente caso é o número total de meses do período chuvoso nos anos considerados).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Climatologia

Os postos pluviométricos analisados apresentaram (5) cinco tipos de estações chuvosas diferentes. O período chuvoso em que mais se repetiu entre as estações inicia-se em janeiro e prolonga-se até o mês de maio (JFMAM), este período coincide a 29 (vinte e nove) estações pluviométricas. Além destas, mais 7 (sete) estações apresentaram período chuvoso de apenas 5 meses, de dezembro até abril (DJFMA). Estas estações de período chuvoso abreviado (5 meses) ocupam em geral a faixa central da região estudada, como pode ser observado na Figura 4, comportando um percentual de 51,42% dos postos estudados.

O Ceará comportou todas as estações com o período chuvoso de seis meses, estas divididas em dois períodos diferentes. No sul do estado encontram-se as estações com período chuvoso de dezembro a maio (DJFMAM). O centro Norte e Noroeste do estado, apresentam esse período de janeiro a junho (JFMAMJ).

Na Mesorregião do Agreste Pernambucano, observa-se um período chuvoso distinto das demais localidades estudadas, predominando uma estação chuvosa de 7 (sete) meses (FMAMJJA), porém o total anual de precipitação destas ainda as classifica como uma região de clima semiárido. Este cenário se dá porque o Agreste está inserida entre o Sertão e a Zona da Mata, todavia ainda considerada de clima semiárido devido do seu total pluviométrico anual. Apesar de um baixo índice pluviométrico, estas bem distribuídas no decorrer do ano beneficia a agricultura da mesorregião, conseqüentemente propiciando um melhor desenvolvimento econômico.

A Tabela 2 e Figura 3 comportam resultados do estudo da climatologia das 70 cidades que fazem parte desse estudo, estes itens comportam o período chuvoso de todos os municípios analisados neste trabalho, bem como a sua especialização.

Tabela 2. Período chuvoso de todas estações pluviométricas estudadas

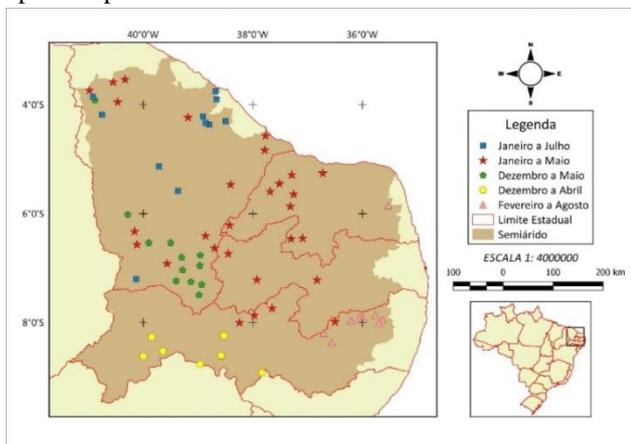
Município	UF	PC
Aiuaba	CE	JFMAM
Alcântaras	CE	JFMAM
Alto Santo	CE	JFMAM
Aracati	CE	JFMAM
Aracobaia	CE	JFMAMJ
Araripe	CE	JFMAMJ
Arneiroz	CE	JFMAM
Aurora	CE	DJFMA
Baturité	CE	JFMAMJ
Boa Viagem	CE	JFMAMJ
Brejo Santo	CE	DJFMA
Caridade	CE	JFMAM
Cariré	CE	JFMAM
Cariríacú	CE	DJFMA
Caríus	CE	DJFMA
Caucaia	CE	JFMAMJ
Chorozinho	CE	JFMAMJ
Crato	CE	DJFMA
Farias Brito	CE	JFMAM
Guaraciba do Norte	CE	JFMAMJ
Ibiapina	CE	DJFMA
Icó	CE	JFMAM
Jaguaruana	CE	JFMAM
Lavras da Mangabeira	CE	DJFMA

Maranguape	CE	JFMAMJ
Massapê	CE	JFMAM
Milagres	CE	DJFMA
Missão Velha	CE	DJFMA
Pacoti	CE	JFMAMJ
Saboeiro	CE	DJFMA
Senador Pompeu	CE	JFMAMJ
Tauá	CE	DJFMA
Tianguá	CE	JFMAM
Ubajara	CE	JFMAMJ
Umari	CE	JFMAM
Várzea Alegre	CE	DJFMA
Boqueirão	PB	FMAMJJ
Piancó	PB	JFMAM
S.J. do Rio do Peixe	PB	JFMAM
Taperoá	PB	JFMAM
Afogados da Ingazeira	PE	JFMAM
Belém de São Francisco	PE	DJFMA
Caruaru	PE	MAMJJA
Cumaru	PE	FMAMJJA
Flores	PE	JFMAM
Floresta	PE	DJFMA
Inajá	PE	DJFMA
Jatauba	PE	JFMAM
Mirandiba	PE	DJFMA
Orocó	PE	DJFMA
Parnamirim	PE	DJFMA
Poção	PE	FMAMJJA
Salgadinho	PE	FMAMJJA
Sanharó	PE	FMAMJJA
Sta. Cruz do Capibaribe	PE	FMAMJJA
Sta. Maria da Boa Vista	PE	DJFMA
Serra Talhada	PE	JFMAM
Surubim	PE	FMAMJJA
Taquaritinga do Norte	PE	FMAMJJA
Vertentes	PE	FMAMJJA
Augusto Severo	RN	JFMAM
Caicó	RN	JFMAM
Felipe Guerra	RN	JFMAM
Gov. Dix-Sept Rosado	RN	JFMAM
Ielmo Marinho	RN	FMAMJJA
Jardim de Piranhas	RN	JFMAM
Mossoró	RN	JFMAM
Pendências	RN	JFMAM
São Miguel	RN	JFMAM
Upanema	RN	JFMAM

PC: Período chuvoso; UF: Unidade Federativa; JFMAM: Janeiro a Maio; JFMAMJ: Janeiro a Julho; DJFMA: Dezembro a Abril; DJFMAM: Dezembro a Maio; FMAMJJA: Fevereiro a Agosto

Fonte: Elaborada pelo autor com dados da ANA (2017)

Figura 3. Localização das estações pluviométricas com seu respectivo período chuvoso.



Fonte: Elaborada pelo autor com dados da ANA (2017) e IBGE (2017).

Variabilidade Interanual da Precipitação

Na maioria das estações analisadas observou-se correlação positiva com as anomalias de precipitação e as ATSMs da Bacia do Atlântico Sul com 99% de significância estatística, como pode-se observar na Tabela 3. Destas a maior correlação registrada foi a da cidade de Ubajara, Ceará. A mesma apresentou um valor em que a TSM da Bacia do Atlântico Sul explica 34,99% ($r=0,59$) de sua variabilidade interanual. Isto indica que as anomalias positivas de TSM na Bacia Sul influenciam positivamente na precipitação da região em questão, ou seja, as águas anormalmente quentes na Bacia sul do Atlântico Tropical induzem o aumento da precipitação no semiárido do NEB. Este padrão apresentado pode estar associado à intensidade e localização da ZCIT que é estreitamente relacionada à configuração térmica das Bacias Norte e Sul do Atlântico Tropical (HASTENRATH; HELLER, 1977; MOURA; SHUKLA, 1981).

Na Bacia do Atlântico Norte, nota-se uma correlação negativa, atestando o fenômeno Dipolo do Atlântico, ou seja, o padrão de TSM é aproximadamente oposto ao da Bacia Sul, contudo, a BN apresentou uma forte relação com o estado do Ceará, sendo o segundo maior responsável pela variabilidade interanual do estado e também da cidade de Ubajara, relacionando 22,05% ($r= -0,47$) das suas variações em eventos de precipitação à BN. Isto indica que as anomalias positivas de TSM na Bacia Norte influenciam negativamente na precipitação do semiárido do NEB, ou seja, as águas anormalmente quentes na Bacia Norte do Atlântico Tropical induzem a diminuição da precipitação nesta mesma região. Naturalmente, como explicado anteriormente, isto pode estar também relacionado à intensidade e localização da ZCIT (HASTENRATH; HELLER, 1977; MOURA; SHUKLA, 1981).

Tabela 3. Amostra de correlações entre o período chuvoso dos municípios listados e as anomalias de TSM das Bacias Norte e Sul do Atlântico.

Município	Bacia Norte		Bacia Sul	
	CC	R2 (%)	CC	R2 (%)
Aracobaia	-0,23**	5,26**	0,45**	19,91**
Araripe	-0,28**	7,90**	0,48**	22,97**
Baturité	-0,23**	5,24**	0,41**	17,05**
Boa Viagem	-0,29**	8,70**	0,43**	18,88**
Caucaia	-0,34**	11,83**	0,54**	29,25**
Chorózinho	-0,31**	9,36**	0,54**	29,54**
Guaraciba do Norte	-0,45**	20,70**	0,53**	27,66**
Maranguape	-0,37**	13,99**	0,54**	29,02**
Pacoti	-0,25**	6,10**	0,40**	15,85**
Senador Pompeu	-0,30**	8,80**	0,44**	19,56**
Ubajara	-0,47**	22,05**	0,59**	34,99**

CC: Coeficiente de correlação; R2: Coeficiente de determinação; (**): Significativo a 99%; (*) significativo a 95%; (ns): Não significativo.

Fonte: Elaborada pelo autor com dados extraídos da ANA (2017).

As outras estações pluviométricas não apresentaram um resultado uniforme entre estados ou período chuvoso. Porém, maior parte destas não apresentaram uma correlação estatisticamente significativa, como esperado, já que uma interpretação bastante considerada e amplamente divulgada é que a variabilidade de TSM do oceano Atlântico Tropical (AT) é a força dominante das anomalias de precipitação em grande parte no NEB. Enquanto a influência do Oceano Pacífico em alguns casos pode intensificar essas anomalias, em outros pode proporcionar efeitos contrários fazendo com

que estas anomalias enfraqueçam (UVO et al., 1998; SOUZA et al., 2004, ANDREOLI; KAYANO, 2007).

Considerando uma significância estatística de 95%, o Niño 4 apresentou correlações negativas com um maior número de estações pluviométricas do Ceará, apresentando uma influência direta na estação chuvosa do estado. Isto indica uma resposta direta e negativa da dinâmica do Pacífico Equatorial no período mais chuvoso da região. O município de Aurora apresentou o maior valor percentual de 13,56% ($r = -0,37$) de coeficiente de determinação, como está apresentado na Tabela 4.

Tabela 4. Amostra de correlações entre o período chuvoso dos municípios e as anomalias de TSM da zona que corresponde ao Niño 4.

Município	Niño 4	
	CC	R2 (%)
Aiuaba	-0,13ns	1,66ns
Alcântaras	-0,25**	6,42**
Alto Santo	-0,21**	4,36**
Aracati	-0,19*	3,62*
Arneiroz	-0,17*	2,79*
Aurora	-0,37**	13,56**
Brejo Santo	-0,34**	11,53**
Caridade	-0,15ns	2,32ns
Cariré	-0,18*	3,13*
Caririçu	-0,32**	10,01**
Caríus	-0,23**	5,39**
Crato	-0,26**	6,72**
Farias Brito	-0,21**	4,33**
Ibiapina	-0,28**	8,11**
Icó	-0,23**	5,14**
Jaguaruana	-0,16*	2,59*
Lavras da Mangabeira	-0,27**	7,20**
Massapê	-0,24**	5,94**
Milagres	-0,29**	8,39**
Missão Velha	-0,30**	9,02**
Saboeiro	-0,25**	6,24**
Tauá	-0,24**	5,86**
Tianguá	-0,29**	8,43**
Umari	-0,25**	6,25**
Várzea Alegre	-0,28**	8,09**

CC: Coeficiente de correlação; R2: Coeficiente de determinação;
(**): Significativo a 99%; (*) significativo a 95%; (ns): Não significativo.
Fonte: Elaborada pelo autor com dados extraídos da ANA (2017).

Na região do Niño 1+2 observa-se valores de correlação positiva com 99% de significância estatística com as cidades do Ceará que têm em comum o período chuvoso de seis meses. A cidade de Milagres apresentou maior proporção, tendo 10,81% ($r = 0,33$) da variabilidade do seu período chuvoso associado ao Niño 1+2, como pode ser observado na Tabela 5.

As cidades de Cumaru, Salgadinho, Surubim e Taquaritinga do Norte, localizadas no agreste do Pernambuco, obtiveram um coeficiente de correlação negativo com o Niño 1+2 e conseqüentemente a maior correlação dentre o Oceano Pacífico, correlações proporcionalmente opostas às das cidades do Ceará de período chuvoso semestral, na qual registraram uma correlação positiva. A estação de Taquaritinga do Norte obteve a maior correlação dentre estas, explicando 8,59% ($r = 0,29$) da variabilidade das precipitações na sua estação chuvosa (Tabela 6).

Tabela 5. Amostra de correlações entre o período chuvoso dos municípios e as anomalias de TSM da zona que corresponde ao Niño 1+2.

Município	Niño 1+2	
	CC	R2 (%)
Aracobaia	-0,12ns	1,34ns
Araripe	0,19**	3,58**
Aurora	0,26**	6,76**
Baturité	0,05ns	0,21ns
Boa Viagem	0,18*	3,16*
Brejo Santo	0,24**	5,86**
Caririçu	0,29**	8,28**
Caríus	0,30**	8,96**
Caucaia	0,19**	3,78**
Chorózinho	0,20**	3,83**
Crato	0,25**	6,34**
Guaraciba do Norte	0,29**	8,21**
Ibiapina	0,30**	8,83**
Lavras da Mangabeira	0,26**	6,67**
Maranguape	0,20**	3,88**
Milagres	0,33**	10,81**
Missão Velha	0,33**	10,68**
Pacoti	0,07ns	0,43ns
Saboeiro	0,25**	6,34**
Senador Pompeu	0,17**	2,81**
Tauá	0,24**	5,59**
Ubajara	0,28**	7,82**
Várzea Alegre	0,28**	7,91**

CC: Coeficiente de correlação; R2: Coeficiente de determinação;
(**): Significativo a 99%; (*) significativo a 95%; (ns): Não significativo.
Fonte: Elaborada pelo autor com dados extraídos da ANA (2017).

Tabela 6. Correlações entre as anomalias de precipitação dos municípios do Agreste Pernambucano (com período chuvoso FMAMJJA) e as anomalias de TSM da zona que corresponde ao Niño 1+2.

Município	Niño 1+2	
	CC	R2 (%)
Cumaru	-0,20**	4,11**
Poção	-0,02ns	0,03ns
Salgadinho	-0,26**	7,01**
Sanharó	0,09ns	0,74ns
Santa Cruz do Capibaribe	0,00ns	0,00ns
Surubim	-0,19**	3,62**
Taquaritinga do Norte	-0,29**	8,59**
Vertentes	-0,07ns	0,56ns

CC: Coeficiente de correlação; R2: Coeficiente de determinação;
(**): Significativo a 99%; (*) significativo a 95%; (ns): Não significativo.
Fonte: Elaborada pelo autor com dados extraídos da ANA (2017).

O resfriamento das águas da zona do Niño 1+2 influenciam positivamente nos índices pluviométricos de 50% das estações estudadas na região agreste de Pernambuco, diferentemente das cidades do Ceará que apresentaram correlações contrárias à mesma zona. Resultados semelhantes foram encontrados por Nogueira (2015) onde foi observado que a região 1+2 obteve correlação positiva com a estação chuvosa da cidade de Chapadinha. Bezerra et. al. (2004), também observaram correlação positiva entre as TSMs da área do Niño 1+2 e o comportamento das precipitações médias anuais no Litoral da Amazônia, em 50% das estações.

As anomalias de TSM da região do Niño 3.4 apresentaram correlações negativas acima de 95% de significância estatística com as anomalias de precipitação 15 cidades da região. No meio destas, a que mais se destacou foi o município de Brejo Santo – CE, explicando 6,67% das anomalias de precipitação sujeitando-se ao comportamento da temperatura das águas superficiais do Niño 3.4 (Tabela 7).

Tabela 7. correlações entre o período chuvoso dos municípios listados e as anomalias de TSM da zona que corresponde ao Niño 3.4.

Município	Niño 3.4	
	CC	R2 (%)
Aiuaba	-0,16*	2,41*
Alcântaras	-0,18*	3,23*
Aurora	-0,23**	5,48**
Brejo Santo	-0,26**	6,67**
Caririaguá	-0,18*	3,33*
Crato	-0,19**	3,71**
Guaraciba do Norte	-0,17*	2,75*
Milagres	-0,15*	2,31*
Missão Velha	-0,19**	3,76**
Pendências	-0,16*	2,57*
Serra Talhada	-0,17*	2,76*
Tianguá	-0,19*	3,70*
Ubajara	-0,20**	3,89**
Umari	-0,18*	3,07*
Várzea Alegre	-0,15*	2,32*

CC: Coeficiente de correlação; R2: Coeficiente de determinação;

(**): Significativo a 99%; (*) significativo a 95%; (ns): Não significativo.

Fonte: Elaborada pelo autor com dados extraídos da ANA (2017).

O Niño 3 apresentou resultados relativamente baixos e pontuais, o sinal não ficou claro. Além disso, maior parte das estações não obteve significância estatística. Andreoli e Kayano (2004), observaram uma simultaneidade de máximas variâncias ocorrendo em escala interanual, concluindo que as conexões entre ATSM no Pacífico Leste e o índice pluviométrico no NEB na escala decadal podem ser uma resposta à variabilidade interanual das variações de temperatura superficial do mar na zona do Niño 3. Isto sugeriu que para o período de estudo não existiu um sinal forte das anomalias de TSM da região do Niño 3 com as anomalias de precipitação na região nordeste setentrional.

CONCLUSÕES

A região semiárida brasileira apresenta uma baixa pluviosidade anual, além disso, a climatologia resultante deste trabalho apresentou que maior parte das estações (51,42%) têm estação chuvosa de apenas 5 meses, estas chuvas concentradas em um curto período do ano faz com que a região apresente uma alta vulnerabilidade hídrica.

Na maioria das estações analisadas observou-se correlação positiva com as anomalias de TSM da Bacia do Atlântico Sul com 99% de significância estatística, destas a maior correlação registrada foi a da cidade de Ubajara, Ceará. A temperatura da superfície da Bacia do Atlântico Sul explica aproximadamente 35% ($r=0,59$) de sua variabilidade interanual. No salto do consensual ou resumidamente se for configurado simultaneamente águas anormalmente quentes no Atlântico Tropical e águas anormalmente frias no Atlântico Tropical Norte (fase negativa de dipolo de TSM) a qualidade da estação chuvosa do semiárido do NEB é afetada positivamente. Se for observado o padrão contrário, a qualidade da estação é afetada negativamente.

Na maioria das estações analisadas observou-se correlação positiva com as anomalias de TSM da Bacia do Atlântico Sul com 99% de significância estatística, destas a maior correlação registrada foi a da cidade de Ubajara, Ceará. A mesma apresentou um valor em que a temperatura da superfície da Bacia do Atlântico Sul explica 34,99% ($r=0,59$)

de sua variabilidade interanual. No salto do consensual ou resumidamente se for configurado simultaneamente águas anormalmente quentes no Atlântico Tropical e águas anormalmente frias no Atlântico Tropical Norte (fase negativa de dipolo de TSM) a qualidade da estação chuvosa do semiárido do NEB é afetada positivamente. Se for observado o padrão contrário, a qualidade da estação é afetada negativamente.

Recomenda-se para trabalhos futuros, investigar a atuação de eventos El Niño (La Niña) conjugados com a formação da fase positiva (negativa) do Padrão de Dipolo de TSM do Atlântico Tropical no ano seguinte. Ainda, realizar correlações defasadas e simultâneas dos três meses mais chuvosos dentro do período chuvoso. Assim, filtra-se o efeito local sobre a região.

REFERÊNCIAS

ANA, Agência Nacional de Aguas. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br/>>. Acesso em: 27/02/2017.

ANDREOLI, R. V.; KAYANO, M. T. A importância relativa do atlântico sul e pacífico leste na variabilidade de precipitação do nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Meteorologia*; v.22, n.1, 63-74, 2007.

ANDREOLI, R. V.; KAYANO, M. T. Multi-scale variability of sea surface temperature in the tropical Atlantic. *J. Geophys. Res.*, v.109, C05009, doi: 10.1029/2003JC002220, 2004.

ARAGÃO, J. O. R. O Impacto do ENSO e do Dipolo do Atlântico no Nordeste do Brasil. *Bull. Inst. fr. études andines*. 27 (3): 839-844, 1998.

CUNHA, G. R. da; DALMAGO, G. A.; ESTEFANEL, V.; PASINATO, A.; MOREIRA, M. B. El Niño – Oscilação e seus impactos sobre a cultura de cevada no Brasil. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v.9, n.1, p. 137-145, 2001

CUPOLILLO F.; ABREU, M. L.; VIANELLO R. L. Climatologia da bacia do rio Doce e sua relação com a topografia local. *Geografias* 4(1): 45-60, 2008.

Disponível em: <<http://mapas.mma.gov.br/i3geo/datadownload.htm?semiarido>>. Acesso em: 15/01/2017.

GALVÍNCIO, J. D.; SOUZA, F. A. S. Relação Entre o Fenômeno El Niño e os Totais Mensais Precipitados na Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco. *RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, vol. 7, n. 4, 113-119, Dez, 2002.

HASTENRATH, S; HELLER, L. Dynamics of climatic hazards in Northeast Brazil. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 103(435):77-92, 1977.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geografia/semiarido.shtm?c=4>>. Acesso em: 20 de Fevereiro de 2017.

- LUCENA, D. B.; GOMES FILHO, M; F.; SERVAIN, J. Avaliação do impacto de eventos climáticos extremos nos oceanos pacífico e atlântico sobre a estação chuvosa no nordeste do Brasil. *Revista Brasileira Meteorologia*. vol.26, n.2, pp. 297-312. 2011.
- MARENGO, J. A., ALVES, L. M., BESERRA, E., LACERDA, F. Variabilidade e mudanças climáticas no semiárido brasileiro, in: Medeiros, S. de S., Gheyi, H.R., Galvão, C. de O., Paz, V.P da S. (Orgs.). *Recursos Hídricos e Regiões Áridas e Semiáridas*. INSA, Campina Grande, pp. 383- 416, 2011.
- MARENGO, J. A.; LIEBMAN, B.; WAINER, L.; KOUSKY, V. E. On the characteristics of onset and demise of the rainy season in Amazonia. *Journal of Climate*, Jun, 2000.
- MECHOSO, C. R.; LYONS, S. W.; SPAHR, J. A. The impact of sea surface temperature anomalies on the rainfall over Northeast Brazil. *Journal of Climate*. Vol. 3, p. 812 – 826, 1990.
- MOURA, A. D.; SHUKLA, J. On the dynamics of droughts in northeast Brazil: observations, theory and numerical experiments with a general circulation model.. *J. Atmos. Sci.*, v.38, p.2653-2675, 1981.
- NOBRE, P. J. SHUKLA: Variations of sea surface temperature, wind stress, and rainfall over the tropical Atlantic and South America. *J. Climate*, in press, 1996.
- NOBRE, P.; LACERDA, F. F.; AZEVEDO, F. G. B.; SIMÕES, R. S., Um estudo da variabilidade interanual de veranicos sobre o sertão de Pernambuco e suas relações com temperatura da superfície do mar. XIII Congresso Brasileiro de Meteorologia, Fortaleza-CE. 2004.
- NOGUEIRA, V. F. B. Expansão da soja no cerrado maranhense: uma análise da influência antrópica no clima regional. 2015. 145 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Meteorologia, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2015.
- NOAA, National Oceanic and Atmospheric Administration. Disponível em: <<http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/sstoi.atl.indices>> . Acesso em: 10/05/2017.
- PHILANDER, G. H.; GU, D. Secular Changes of Annual and Interannual Variability in the Tropics during de Past Century. *J. Climate*, v.8, p.864-876, 1995.
- SOUZA, E. B.; AMBRIZZI, T.; COELHO, C. A. S. Two episodes with reversed impacts on the regional precipitation of the northeastern South America. *Meteorologica*, v.29, n. 1-2, p. 5-16, 2004.
- TRENBERTH, K. National Cente for Atmospheric Research Staff (NCAR). “The Climate Data Guide: Nino SST Indices (Nino 1+2, 3, 3.4, 4; ONI and TNI)”. Disponível em: <<https://climatedataguide.ucar.edu/climate-data/nino-sst-indices-nino-12-3-34-4-oni-and-tni>>. Acesso em: 13 de agosto de 2017.
- UVO, C. R. B.; REPELLI, C.; ZEBIAK, S. E.; KUSHNIR, Y. The relationships between Tropical Pacific and Atlantic SST and Northeast Brazil monthly precipitation. *Journal of Climate*, v.11, p. 551-562, 1998.
- WALKER, G. T. Famines and General Air Movement Ceará (Brazil). *Beitr. Phys. Atmos*. Vol 14: 88-93, 1928.
- XAVIER, T. de Ma. B. S.; XAVIER, A. F. S.; SILVA DIAS, P. L. da; SILVA DIAS, M. A. F. da. Interrelações entre Eventos ENOS (ENSO), a ZCIT (ITCZ) no Atlântico e a Chuva nas Bacias Hidrográficas do Ceará. *RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, vol.8, n.2, Abr/Jun: 111-126, 2003.