

VARIABILIDADE INTERANUAL DA PRECIPITAÇÃO NA MESORREGIÃO DO SUL DO CEARÁ

César Lincoln Oliveira de Souza¹; Viviane Araújo de Sousa², Renata Luana Gonçalves Lourenço³, Virgínia de Fátima Bezerra Nogueira⁴, Valner da Silva Nogueira⁵.

1 - *Bacharelado em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Campina Grande – email: lincoln_ambiental@yahoo.com*

2 - *Graduanda em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Campina Grande – email: araujoviviane1995@gmail.com*

3 - *Graduando em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Campina Grande - email:rlgl.goncalves@gmail.com*

4 - *Professora Adjunta do Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar da Universidade Federal de Campina Grande – CCTA/UFCG – email: virginia.fbnogueira@gmail.com*

5 – *Doutor em Meteorologia pela Universidade Federal de Campina Grande – email: nvalner@hotmail.com*

Resumo: A variabilidade interanual da precipitação pode influenciar diretamente na disponibilidade dos recursos hídricos de uma região, conseqüentemente afetando a sua economia. Sendo assim, objetivou-se neste estudo a análise do comportamento das chuvas em oito cidades localizadas na mesorregião do Sul Cearense, mediante as anomalias variações de Temperatura da Superfície do Mar (TSM) dos Oceanos Pacífico Equatorial e Atlântico Tropical. A obtenção dos dados de precipitação e TSM ocorreram por meio dos sítios *online* da Agência Nacional de Águas (ANA) e *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA), respectivamente. Para a determinação da climatologia foram calculadas as médias e os desvios-padrões mensais de precipitação das estações escolhidas, onde foi considerado que os meses com médias maiores que o desvio padrão médio, estes são tidos como os meses que fazem parte do período chuvoso daquele município. Já as correlações entre a TSM e precipitação foram calculadas considerando o período chuvoso resultante da etapa de climatologia. A técnica usada para este estudo foi o uso do coeficiente de correlação linear, onde as variáveis consideradas para determinar a variabilidade interanual da precipitação foram as Anomalias Normalizadas de TSM (ANTSM) e as Anomalias Normalizadas de Precipitação (ANP), normalizadas pelo desvio padrão (σ). Utilizou-se o teste t de Student (bicaudal) para verificar a significância estatística da correlação. Os resultados em geral mostraram-se significativos estatisticamente a 99%, onde os eventos de El Niño Oscilação do Sul (ENOS) e Dipolo do Atlântico (DAT) evidenciaram uma considerável influência nas chuvas da mesorregião do Sul Cearense, por conseguinte tendo expressiva relevância na economia regional.

Palavras-chave: Recursos Hídricos; Climatologia; Temperatura Superficial do Mar; El Niño; Dipolo do Atlântico.

INTRODUÇÃO

Em esfera global, a produção de culturas está diretamente relacionada a quantidade e distribuição das chuvas de uma região, influenciando diretamente nos processos fotossintéticos e na capacidade de absorção de nutrientes, conseqüentemente afetando a produção de alimentos (Pascale e Damario, 2005).

Neste sentido, estudos que investigam a interação entre os fenômenos oceano-atmosfera e a precipitação de uma região são sempre

bem-vindos. A inserir os Modos de Variabilidade Climática Global (MVCG) que exercem efeitos diretos e indiretamente sobre a precipitação da Região Nordeste do Brasil (NEB) (Hurtado et al., 2005). O El-Niño Oscilação do Sul (ENOS) é o fenômeno mais popularmente conhecido e estudado, se tratando de variabilidade de precipitação global. Em estudos pioneiros Walker (1928) notou uma relação entre o aquecimento superficial das águas do Pacífico e a ocorrência de chuvas no NEB. Estudos posteriores dedicados ao NEB convergem ao que diz respeito à maiores chances de ocorrência de seca em anos de El-Niño (EN), enquanto chuvas acima do normal são esperadas em eventos de La-Niña (LN).

Todavia, não necessariamente o surgimento de eventos de EN acarretará em secas, segundo Aragão, (1998) ele associa os impactos do ENOS a um outro fenômeno, o Dipolo do Atlântico (DAT), historicamente ainda pouco estudado este podendo maximizar, minimizar ou atenuar os impactos causados pelo ENOS.

O DAT é um evento oceano-atmosférico que pode favorecer ou não o índice pluviométrico da região Nordeste Setentrional, local foco deste estudo. O mesmo é caracterizado pela diferença anômala entre a TSM entre da Bacia Norte (BN) e a TSM da Bacia Sul (BS) do Atlântico Tropical, ou seja, quando a TSM das águas da BS está anormalmente negativa (positiva) enquanto que a TSM das águas da BN está anormalmente positiva (negativa), este fenômeno é identificado como fase positiva (negativa) do Dipolo do Atlântico Tropical. Conseqüentemente, na fase negativa do DAT temos a ação de movimentos descendentes que deslocam a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) para o Nordeste Setentrional, favorecendo a formação de nuvens nesta região, analogamente o oposto ocorre na fase positiva (Aragão, 1998).

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2011), a região Sul do Ceará é responsável por grande parte da safra anual de feijão e milho do estado, o primeiro chegando a 53 mil hectares cultivados e 29 mil toneladas por safra, e o segundo 117 mil hectares cultivados e 109 mil toneladas. Desta maneira, direcionar estudo pontuais para esta região viabiliza um maior conhecimento em detalhe da influência dos MVCG sobre a precipitação, onde a variabilidade das chuvas no local é diretamente proporcional a produção agrícola e conseqüentemente a economia como um todo do NEB.

Portanto, objetiva-se obter previamente a climatologia de cidades localizadas no Sul do Estado do Ceará, para que seja possível analisar a variabilidade interanual da precipitação pluvial, realizada através da correlação entre os

fenômenos ENOS e DAT com a precipitação climatológica, afim de conhecer a influência destes eventos na região.

METODOLOGIA

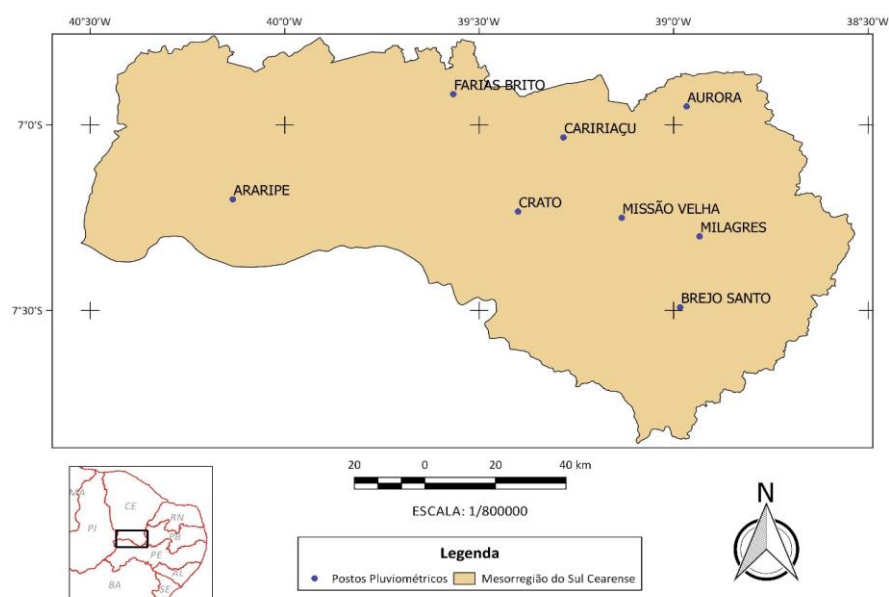
Área de Estudo

A mesorregião do Sul Cearense (CES) está situada entre os paralelos de $6^{\circ} 45' 39,60''$ e $7^{\circ} 51' 21,60''$ de latitude sul e entre os meridianos de $38^{\circ} 32' 06,0''$ e $40^{\circ} 31' 26,4''$ a oeste do meridiano de Greenwich, zona essa considerada semiárida pelo IBGE (2017), segundo o Instituto o CES mede cerca de 14.800,193 km², e possui um total de 864.701 habitantes além de uma precipitação média anual menor que 800 mm-1.

A obtenção dos dados mensais de TSM dos Oceanos Pacífico Equatorial e Atlântico Tropical ocorreu pelo sítio *online* da *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA), foram coletados dados de 32 anos consecutivos, desde janeiro de 1984 a dezembro de 2015.

Foram coletados no sítio da Agência Nacional de Águas (ANA) dados pluviométricos de oito municípios da área em questão, dentre o período de janeiro de 1984 a dezembro de 2015, totalizando também 32 anos de dados. A distribuição espacial das estações pluviométricas de cada município pode ser visualizada na Figura 1.

Figura 1 – Distribuição espacial das estações pluviométricas na mesorregião do Sul Cearense.



Fonte: Elaborado pelo Autor com dados da ANA (2017).

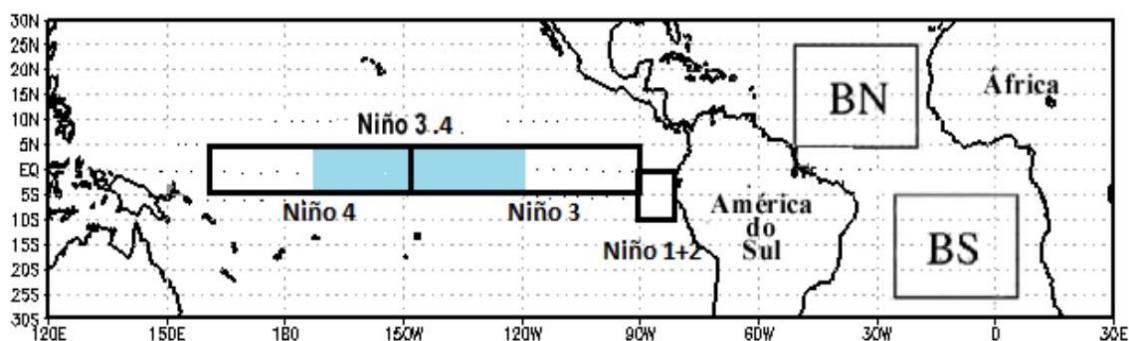
Determinação da Climatologia

A partir da obtenção do conjunto de dados diários de precipitação foram calculadas as médias e os desvios-padrões climatológicos mensais de precipitação das estações escolhidas, onde foi considerado que os meses com médias maiores que o desvio padrão médio foram determinados os meses que fazem parte do período chuvoso daquele município.

Variabilidade Interanual da Precipitação

As correlações foram calculadas respeitando o período chuvoso de cada município analisado. 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 dos 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).

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 NOAA (2016).

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 seguintes expressões:

$$ANTSM_{ij} = \left(\frac{TSM_{ij} - \bar{TSM}_{ij}}{\sigma_i} \right) \quad (1)$$

Na qual:

$ANTSM_{ij}$ = Anomalia Normalizada de TSM do posto i no ano j;

TSM_{ij} = Valor mensal de TSM do posto i no ano j;

TSM_i = 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 por :

$$\sigma_i = \sqrt{\frac{\sum X^2}{n} - \left[\frac{\sum X}{n} \right]^2}.$$

A Anomalia de Precipitação (AP) foi calculada de acordo com a Equação 1 expressa por:

$$ANP_{ij} = \left(\frac{VMP_{ij} - \overline{VMP}_{ij}}{\sigma_i} \right) \quad (2)$$

Na qual:

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

Utilizou-se a metodologia descrita em Nogueira (2015), o teste t-Student para verificar a significância estatística da correlação. 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, contra a hipótese de que eles são diferentes de zero, ou seja, significativa. Para tanto, calcula-se o valor:

$$t_0 = r \sqrt{\frac{n-2}{1-r^2}} \quad (3)$$

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

A Mesorregião do Sul Cearense apresenta período chuvoso bem definido e mal distribuído, em geral, entre os meses de dezembro a maio, totalizando uma estação chuvosa de seis meses. Apenas o município de Farias Brito não apresentou uma climatologia homogênea as demais, tendo período chuvoso de 5 meses de janeiro a maio.

Correlação entre a precipitação e as TSMs do oceano Atlântico Tropical

Todas as estações pluviométricas apresentaram correlações negativas com a Bacia Norte do AT, além de uma significância estatística de 99% pelo teste “t de student”, ou seja, uma precipitação inversamente proporcional as temperaturas desta zona, indicando que quanto maior as temperaturas da BN menores serão as chances de ocorrência de chuvas. A cidade de Milagres é a mais influenciada pelas TSMs da BN, observando-se um coeficiente de correlação de -0,42 ($R^2 = 17,66\%$).

Similar a BN, a BS também apresentou uma atuação considerável sobre as precipitações na mesorregião do CES, porém todas as correlações da BS apresentaram correlações positivas com a estação chuvosa da região, de maneira oposta a BN. Nesse caso, uma situação diretamente proporcional as chuvas da região, onde, quanto maior o aquecimento anômalo das águas superficiais da BS, maiores são as probabilidades de ocorrência de chuva. A cidade maior influenciada pela BS foi Caríus, com 0,44 de CC ($R^2 = 19,41\%$).

Este padrão configura-se uma estreita associação entre o fenômeno Dipolo do Atlântico e o deslocamento e intensidade da ZCIT, principal responsável pela ocorrência de chuvas no Nordeste Setentrional (HASTENRATH e HELLER, 1977; MOURA e SHUKLA, 1981).

Tabela 2 – Influência das TSMs do oceano Atlântico Tropical (BN e BS) nas precipitações da mesorregião do Sul Cearense.

| Município | Bacia Norte | | Bacia Sul | |
|---------------------|----------------|--------------------|---------------|--------------------|
| | CC | R ² (%) | CC | R ² (%) |
| Aurora | -0,41** | 17,00** | 0,40** | 15,88** |
| Brejo Santo | -0,36** | 13,05** | 0,30** | 8,83** |
| Caririaçu | -0,42** | 17,33** | 0,38** | 14,41** |
| Caríus | -0,38** | 14,25** | 0,44** | 19,41** |
| Crato | -0,34** | 11,74** | 0,35** | 12,03** |
| Farias Brito | -0,29** | 8,44** | 0,33** | 10,95** |
| Milagres | -0,39** | 15,51** | 0,42** | 18,05** |
| Missão Velha | -0,42** | 17,66** | 0,41** | 16,47** |

** e *, significativo a 1 e 5% de probabilidade respectivamente, pelo teste “t de student”; CC: Coeficiente de correlação de Pearson; R²: Coeficiente de determinação.

Correlação entre a precipitação e as TSMs do oceano Pacífico Equatorial

As correlações entre a precipitação com os dados de temperatura do oceano Pacífico Equatorial apresentaram resultados distintos para cada zona analisada.

A zona do Niño 4 apresenta-se com uma relevante influência com a estação chuvosa da região, observando-se dados com 99% de significância e com coeficiente de correlação negativo para todas as estações analisadas, além de uma influência de 13,50% especificamente no período chuvoso da cidade de Aurora.

O Niño 3.4 apresenta participação pouco intensa e negativa em metade das cidades estudadas (Aurora, Brejo Santo, Crato, Missão Velha), com 99% de significância estatística. A outra parcela dos resultados duas cidades aparecem com 95% de significância estatística (Caririaçu, Milagres) e outras duas com resultados não significativos (Caríus, Farias Brito).

Correlações positivas com a zona do Niño 1+2 foram resultadas, com uma solidez estatísticas de 99%. Isso implica que o quão maior for sua temperatura, maior a possibilidade de um período úmido chuvoso. Neste estudo, apenas a cidade de Farias Brito não se mostra correlacionada a zona. A cidade de Milagres é a com maior coeficiente de correlação, observando-se 10,80% de sua variabilidade interanual explicada por essa zona do ENOS. Resultados convergentes foram publicados por Nogueira (2015), porém analisou-se neste estudo a cidade de Chapadinha no Estado do Maranhão, que fica aproximadamente a 500 km ao noroeste da mesorregião do Sul Cearense.

Resultados similares também foram encontrados em metade das estações estudadas por Bezerra et. al. (2004), onde analisava-se uma relação do comportamento das precipitações anuais no Litoral da Amazônia.

A região do Niño 3 não apresenta correlação estatisticamente significativa, logo, é válido supor uma influência mínima ou nula da TSM desta zona com as chuvas na região do CES.

Tabela 3 – Influência das TSMs do oceano Pacífico Equatorial (Niño 1+2; 3; 3.4; 4) nas precipitações da mesorregião do Sul Cearense.

| Município | Niño 1+2 | | Niño 3 | | Niño 4 | | Niño 3.4 | |
|--------------------|---------------|--------------------|--------|--------------------|----------------|--------------------|----------------|--------------------|
| | CC | R ² (%) | CC | R ² (%) | CC | R ² (%) | CC | R ² (%) |
| Aurora | 0,26** | 6,76** | -0,02 | 0,03 | -0,37** | 13,5** | -0,23** | 5,48** |
| Brejo Santo | 0,24** | 5,86** | -0,07 | 0,50 | -0,34** | 11,5** | -0,26** | 6,67** |
| Caririaçu | 0,29** | 8,28** | 0,02 | 0,05 | -0,32** | 10,0** | -0,18* | 3,33* |
| Caríus | 0,30** | 8,96** | 0,12 | 1,41 | -0,23** | 5,39** | -0,08 | 0,63 |
| Crato | 0,25** | 6,34** | -0,03 | 0,10 | -0,26** | 6,72** | -0,19** | 3,71** |
| Farias Brito | 0,15 | 2,33 | 0,02 | 0,04 | -0,21** | 4,33** | -0,12 | 1,55 |
| Milagres | 0,33** | 10,8** | 0,07 | 0,48 | -0,29** | 8,39** | -0,15* | 2,31* |
| Missão Velha | 0,33** | 10,6** | 0,03 | 0,07 | -0,30** | 9,02** | -0,19** | 3,76** |

** e *, significativo a 1 e 5% de probabilidade respectivamente, pelo teste “t de student”; CC: Coeficiente de correlação de Pearson; R²: Coeficiente de determinação.

CONCLUSÃO

Mediante o exposto, percebe-se uma relevante atuação dos Oceanos Pacífico Equatorial e Atlântico Tropical no comportamento da precipitação no Sul Cearense. Entre as classificações dos NINOs, o sinal mais proeminente foi encontrado nas correlações do NINO 4. Em virtude disso, recomenda-se haver uma maior atenção dos produtores rurais para os anos que estes fenômenos (ENOS e DAT) estiverem configurados, especialmente os El Niños e a fase positiva do dipolo, tendo em vista os impactos que podem causar à safra de milho e feijão desta região, que consequentemente são refletidos na economia regional.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANA – Agência Nacional das Águas. **Hidroweb: Sistemas de informações hidrológicas.** <<http://hidroweb.ana.gov.br>>. Acesso em: 15 set. 2017.

ARAGÃO, JOR de. O Impacto do ENSO e do Dipolo do Atlântico no Nordeste do Brasil. **Bulletin Institut Français Études Andines**, v. 27, n. 3, p. 839-844, 1998.

ARAGÃO, Oribe. **O Que é El Niño?** (Conferência). In: Seminário sobre a influência do El

Niño na agricultura e nos recursos hídricos do semi-árido. Campina Grande PB, 12 e 13 de março de 1998.

BEZERRA, ACN; ROCHA, EJP; ROLIM, PAM. Identificação da região do El-Niño que influencia com maior intensidade o regime de precipitação no litoral leste da Amazônia através das anomalias de TSM do Oceano Pacífico. In: **XIII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia**. 2003. p. 1037-1038.

BRASIL, IBGE, **Nova Delimitação do Semiárido Brasileiro**, 2017. <<https://ww2.ibge.gov.br/home/geociencias/geografia/semiarido.shtm>>. Acesso em: 15 de set. 2017.

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

HURTADO, R. et al. Análisis de la sensibilidad de distintos índices del ENSO para explicar los rendimientos de maíz en la Región Pampeana. *Revista de la Facultad de Agronomía UBA*, v.25, n.1, p.53-60, 2005.

IBGE, **Pesquisa de Produção do Ceará**, 2011. Ceará: IBGE, 2011. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 17 de set. 2017

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.

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: <<https://www.ncdc.noaa.gov/teleconnections/enso/indicators/sst.php>>. Acesso em: 15/06/2016.

NOAA - **National Oceanic and Atmospheric Administration**. Disponível em: <<http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/sstoi.atl.indices>>. Acesso em: 10/05/2017.

PASCALE, A.J. y E.A. DAMARIO. **Bioclimatología Agrícola y Agroclimatología**. Ed. Facultad de Agronomía Universidad de Buenos Aires, 2004. 550p.

WALKER, G. T.. Ceará (Brazil) **Famines and General Air Movement**. **Beitr. Phys. Atmos.** Vol 14: 88-93, 1928.