

REVISTA AIDIS

de Ingeniería y Ciencias Ambientales:
Investigación, desarrollo y práctica.

ESTUDO DO REGIME PLUVIOMÉTRICO DA MICRORREGIÃO DO SALGADO NO ESTADO DO PARÁ

*Ana Beatriz Bastos Gomes¹
Lindemberg Lima Fernandes¹

PLUVIOMETRIC REGIME STUDY OF THE SALGADO MICRO-REGION IN THE STATE OF PARÁ

Recibido el 10 de octubre de 2017; Aceptado el 21 de marzo de 2018

Abstract

The present study aims to analyze pluviometric regime of the Salgado Paraense Micro-region statistically, with an emphasis on the homogeneous clusters analysis of the monthly pluviometric behavior, as well as verify trends and influences of the El Niño South Oscillation (ENSO) and Atlantic Dipole climatic phenomena in the dynamics rainfall from the locality. Was used data of six pluviometric stations from this region during 1978 to 2016, which was submitted statistical tests like as Ward's hierarchical grouping method to define of stations and similar monthly precipitation periods, Kolmogorov-Smirnov and Shapiro-Wilk tests to verify series normality, and tests of Mann-Kendall and Spearman's Correlation Coefficient for trends identification. The three-order moving average technique was applied to determine the dry and wet periods of the series, which were correlated with the occurrence years of the ENOS and Dipole Atlantic climatic phenomena. According to the analyzes results, can be defined statistically three homogenous stations groups and monthly precipitation periods, the series follows a normal distribution and none significative trend was detected. Can be inferred that climatic phenomena have an influence on the Salgado Micro-region rainfall behavior.

Keywords: climatic phenomena, precipitation, statistics tests, Salgado Paraense.

¹ Faculdade de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal do Pará (UFPA), Campus Belém, Brasil.

*Autor correspondente: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental (LAESA), Universidad Federal de Pará. Calle Augusto Corrêa, 01, Guamá, Campus Belém, Belém, Pará. CEP 66075-110. Brasil. Email: abeatrizbgomes@gmail.com

Resumo

O presente estudo teve como objetivo analisar estatisticamente o regime pluviométrico da Microrregião do Salgado Paraense, com ênfase na análise de agrupamentos homogêneos de comportamento pluviométrico mensal, bem como na verificação de possíveis tendências e influências dos fenômenos climáticos El Niño Oscilação Sul (ENOS) e Dipolo do Atlântico na dinâmica de chuvas da localidade. Utilizaram-se os dados pluviométricos de seis estações localizadas na região, compreendidas entre os anos de 1978 a 2016, os quais foram submetidos as seguintes análises estatísticas: método de agrupamento hierárquico de Ward para definição das estações e períodos de precipitação mensal similares, os testes de Kolmogorov-Smirnov e Shapiro-Wilk para avaliação da normalidade das séries e, de Mann-Kendall e Coeficiente de Correlação de Spearman para identificação de tendências. A técnica da média móvel de ordem 3 foi aplicada para determinação dos períodos secos e úmidos da série, os quais foram correlacionados com os anos de ocorrência dos fenômenos climáticos ENOS e Dipolo do Atlântico. De acordo com o resultado das análises, definem-se estatisticamente três grupos homogêneos de estações e de períodos de precipitação mensal; as séries seguem uma distribuição normal; não foram detectadas tendências significativas; e pode-se inferir que tais fenômenos climáticos influenciam no comportamento das chuvas da Microrregião do Salgado.

Palavras chave: fenômenos climáticos, precipitação, testes estatísticos, Salgado Paraense.

Introdução

A precipitação é um dos fenômenos meteorológicos de maior variabilidade temporal e espacial, a qual necessita de constante monitoramento. Logo, o conhecimento do regime pluviométrico de uma determinada região torna-se fundamental, visto que fornece subsídios para estudos de caracterização climática, bem como é considerado uma importante ferramenta para formulação de decisões para fins de planejamento e ocupação do espaço rural e urbano (Silva e Nery, 2012). Além de contribuir com a gestão e preservação dos recursos hídricos (Simoni *et al.*, 2014).

O estudo da variabilidade pluviométrica possui influência direta e indireta na sociedade, economia e meio ambiente, podendo citar a sua importância para a atividade agrícola, tendo em vista que o desenvolvimento das culturas depende da regularidade e quantidade das precipitações (Pereira, 2014).

De acordo com Ferreira *et al.* (2015), o abastecimento urbano e a geração de energia elétrica também estão ligados à ocorrência de chuvas, uma vez que períodos de estiagem muito longos afetam o nível de água dos mananciais e dos reservatórios das usinas hidrelétricas, gerando graves impactos para estas atividades; bem como chuvas de alta intensidade causam catástrofes, como as inundações. Portanto, a compreensão do regime pluviométrico torna-se primordial para o dimensionamento de obras hidráulicas, pois, conforme Santos *et al.* (2014), possibilitam a identificação dos eventos extremos, de modo que a estrutura planejada possa suportá-los.

Neste contexto, tornou-se muito popular entre os pesquisadores o uso de técnicas estatísticas, a exemplo dos testes de hipóteses, para identificar, ao longo do tempo, tendências e/ou variações em séries hidrológicas (Silva e Souza, 2013). A metodologia de tais testes consiste na elaboração

de suposições que podem ser ou não verdadeiras, as chamadas hipóteses estatísticas. Geralmente, trabalha-se com a hipótese nula (H_0) e a hipótese alternativa (H_1). A H_0 é aquela que é colocada à prova e está associada à inexistência de relação entre os dados de interesse do estudo. E a H_1 é a afirmação contrária à H_0 (Barbosa, 2014). A probabilidade de cometer-se o erro de rejeitar a H_0 quando esta for verdadeira depende do nível de significância (α) estabelecido e, conseqüentemente, do intervalo de confiança (Z) associado ao α . Na prática, utiliza-se mais frequentemente $Z = \pm 1.96$ e ± 2.58 para $\alpha = 0.05$ e 0.01 , respectivamente.

Segundo Lopes *et al.* (2013) a Microrregião do Salgado, localizada na Mesorregião Nordeste do Estado do Pará é designada como a região mais chuvosa do estado. As principais atividades econômicas dos municípios da zona do Salgado baseiam-se em atividades tradicionais, como a agricultura e a pesca. Todavia, a partir da década de 1990, intensificaram-se as modificações socioespaciais nesta região, as quais segundo Brito (2004), visaram atender as aspirações da classe empresarial - prioritariamente os setores imobiliário e de turismo - com o objetivo de valorizar o território e obter lucros com os potenciais locais. Como consequência, atualmente existe apenas 35% das matas primárias originais, sendo comum encontrar paisagens com erosões, rios e igarapés assoreados, fauna e flora em extinção, além de alterações no clima (Cordeiro *et al.*, 2017).

Devido à escassez de informações sobre o comportamento das chuvas da Microrregião do Salgado, como também por esta ser uma região de suma importância para o estado, e em vista as alterações ambientais que estão ocorrendo na área, torna-se interessante o estudo da sua pluviosidade, a fim de que futuramente os resultados alcançados possam auxiliar nos processos de tomada de decisões de cunho social, econômico e ambiental em prol do desenvolvimento local.

Dessa maneira, o presente estudo teve como objetivo analisar estatisticamente o regime pluviométrico da Microrregião do Salgado Paraense, com ênfase nos agrupamentos homogêneos de estações pluviométricas e de períodos de precipitação mensal, como também na verificação de possíveis tendências e influências dos fenômenos climáticos El Niño Oscilação Sul (ENOS) e Dipolo do Atlântico no comportamento das chuvas da localidade.

Materiais e métodos

Área de estudo

A Microrregião do Salgado faz parte da zona costeira paraense. Limita-se ao norte com o Oceano Atlântico, ao sul com a Mesorregião Sudeste Paraense, a leste com o Estado do Maranhão e a oeste com a Mesorregião do Marajó. Conforme o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2010) abrange uma área total de 5812.70 km², com 247146 habitantes que se distribuem

em 11 municípios: Colares, Curuçá, Magalhães Barata, Maracanã, Marapanim, Salinópolis, São Caetano de Odivelas, São João da Ponta, São João de Pirabas, Terra Alta e Vigia (Figura 1).

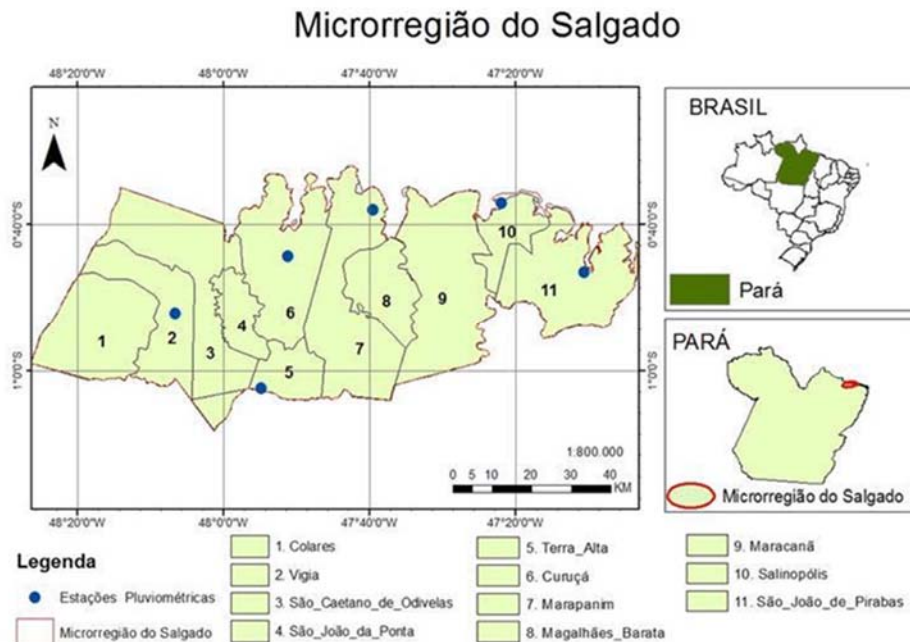


Figura 1. Localização da Microrregião do Salgado Paraense

A região enquadra-se na classificação climática do tipo Am, subtipo Am2 (classificação de Köppen), a qual é caracterizada por elevadas temperaturas, taxas de umidade relativa do ar variando entre 80% a 91%, e precipitação pluviométrica média anual com oscilação de 2500 mm a 3000 mm. A alta incidência de chuvas nesta região deve-se a junção de vários sistemas meteorológicos atuantes, sendo a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) o principal sistema de modulação do regime de chuva nesta região (Lopes, Souza e Ferreira, 2013). Podendo ainda citar a influência de sistemas de mesoescala, como as Linhas de Instabilidade (LIs), as quais contribuem com 45% da formação de chuvas próximas à costa litorânea paraense (Cohen, Silva Dias e Nobre, 1989).

A Região do Salgado pertence à Bacia Hidrográfica do Atlântico - Trecho Norte/Nordeste e apresenta abundância de recursos hídricos, os quais difundem-se em inúmeros lagos, fontes de água natural, igarapés e praias oceânicas. O território apresenta um ecossistema diversificado, sendo constituído por manguezais, restingas, campos, capoeiras, igapós, várzeas e áreas de terra firme.

Coleta, tabulação e procedimentos estatísticos aplicados aos dados pluviométricos

Foram utilizados os dados pluviométricos disponibilizados pelo Sistema de Informações Hidrológicas - HidroWeb, da Agência Nacional de Águas - ANA, de seis estações pluviométricas localizadas na Microrregião do Salgado Paraense (Tabela 1).

Tabela 1. Especificações das estações pluviométricas

Cód. ANA	Nome da estação	Município	Latitude	Longitude	Período da série
00047003	Curuçá	Curuçá	-0:44:15	-47:51:13	1988-2016 (29 anos)
00047005	Marudá	Marapanim	-0:38:1	-47:39:30	1992-2016 (25 anos)
00047002	Salinópolis	Salinópolis	-0:37:23	-47:21:13	1978-2016 (39 anos)
00047006	S. J. de Pirabas	S. J. de Pirabas	-0:46:29	-47:10:39	1990-2016 (27 anos)
00147017	Terra Alta	Terra Alta	-1:2:19	-47:54:48	1991-2016 (26 anos)
00048006	Vigia	Vigia	-0:52:5	-48:6:37	1982-2016 (35 anos)

Nota-se que a maioria dos postos não apresentou 30 anos de dados, conforme recomenda a World Meteorological Organization - WMO (2008) para estudos climáticos. A descontinuidade temporal das medidas de precipitação devem-se as limitações nos sistemas de monitoramento, tais como erros de medição e falta de manutenção dos aparelhos, as quais dificultam as pesquisas de variabilidade e mudanças climáticas nesta região (Nobre *et al.*, 2009; Vieira, 2013). Devido à existência de períodos com falhas, optou-se pelo descarte dos mesmos, condizente com o efetuado por Finkler *et al.* (2015) e Cruz (2010). Os dados descartados estão descritos na Tabela 2.

Tabela 2. Dados descartados

Estação pluviométrica	Período da série	Mês/Ano descartado
Curuçá	1988-2016	Abr/2003; Jun/Jul/2008; Ago/Out/2011; e Fev/2012
Marudá	1992-2016	Ago/2010 e Jul/2015
Salinópolis	1978-2016	Fev/1981; Jan a Dez/2009; Jan a Dez/2013; e Nov/2015
S. J. de Pirabas	1990-2016	Abr/2010 e Set/2014
Terra Alta	1991-2016	-
Vigia	1982-2016	Nov/2006 e Out/2013

Primeiramente, os dados pluviométricos das seis estações foram organizados de modo anual e mensal. Em seguida, calcularam-se as precipitações totais médias, os eventos máximos e mínimos, o desvio padrão (D.P.) e o coeficiente de variação (C.V.) no programa Microsoft Office Excel 2013. Utilizando o software XLSTAT 2017, aplicou-se o método hierárquico de Ward para a

realização das análises de agrupamentos homogêneos de precipitação mensal. Já no software BioEstat 5.3, realizou-se os testes de hipóteses de avaliação da normalidade das séries de Kolmogorov-Smirnov e Shapiro-Wilk, e de identificação de tendências de Mann-Kendall e Coeficiente de Correlação de Spearman. Por fim, a técnica da média móvel foi efetuada para verificação da possível influência dos fenômenos climáticos no regime pluviométrico da região.

Análise de agrupamento

As análises de agrupamento ou clustering são técnicas que possuem como finalidade o agrupamento de dados similares, de acordo com algum critério pré-determinado (Linden, 2009). A metodologia básica desta análise considera que quanto menor à distância entre os objetos de estudo, maior é a semelhança entre os mesmos. A distância euclidiana é a medida de distância mais utilizada quando todas as variáveis são quantitativas (Seidel *et al.*, 2008).

Em estudos climatológicos, o método de agrupamento hierárquico de Ward é o mais frequentemente empregado, tendo em vista seus resultados satisfatórios (Fávero *et al.*, 2009). Este método é baseado na análise da variância para verificar as distâncias entre os grupos, a fim de tentar minimizar a soma dos quadrados (SDQ) dentro destes. A SDQ é dada pela Equação 1:

$$SDQ = \sum_{j=1}^k \left[\sum_{i=1}^{n_j} X_{ij}^2 - \frac{1}{n_j} \left(\sum_{i=1}^{n_j} X_{ij} \right)^2 \right] \quad \text{Equação (1)}$$

Onde: j é o cluster; n é o indivíduo e X é a distância euclidiana

Ao final deste método, é gerada uma representação gráfica semelhante ao formato de árvore, chamada de dendrograma, a qual mostra a estrutura dos agrupamentos formados.

Para as análises de agrupamentos tanto de estações com comportamento pluviométrico mensal, quanto de períodos de precipitação mensal similares, aplicou-se o método hierárquico de Ward, utilizando como variáveis as precipitações médias mensais, a latitude e a longitude e, como medida de distância, a distância euclidiana.

Avaliação da normalidade das séries

A normalidade das séries foi avaliada com os testes de Kolmogorov-Smirnov e Shapiro-Wilk.

O teste de Kolmogorov-Smirnov é muito utilizado na literatura para verificar a existência de concordância entre uma distribuição de dados acumulados observados e uma dada distribuição teórica (Lima, 2014). Neste teste, a H_0 atesta que existe concordância entre a frequência acumulada observada e a frequência teórica (os dados seguem uma distribuição normal). Já a H_1 afirma que não existe concordância entre as frequências (os dados não seguem uma distribuição normal). A estatística do teste é dada pela máxima diferença entre as funções de distribuição de frequências acumuladas observadas $F_o(X)$ e teóricas $F_t(X)$, segundo a Equação 2:

$$D = \text{máx}/F_o(X) - F_i(X)$$

Equação (2)

O resultado de D é comparado com o valor crítico retirado da tabela de Kolmogorov-Smirnov para “n” amostras e nível de significância (α) pré-determinado. Se o valor calculado for maior ou igual ao valor tabelado, a H_0 de aderência à normalidade é rejeitada.

O teste de Shapiro-Wilk pode ser aplicado a várias situações, com o intuito de investigar se uma determinada variável provém de uma distribuição normal (Lima, 2014). É considerado o melhor teste de aderência à normalidade (Razali e Wah, 2011). Conforme sua metodologia, a H_0 indica que os valores observados se ajustam a uma distribuição normal e a H_1 infere o contrário. O teste é obtido pela Equação 3:

$$W = \frac{(\sum_{i=1}^n a_i x_{(i)})^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

Equação (3)

Onde x_i são os valores ordenados das amostras e a_i são as constantes geradas a partir das variâncias e covariâncias da ordem estatística de uma amostra de tamanho n.

Assim, se o valor de W for menor que os valores críticos retirados da tabela de Shapiro-Wilk para “n” amostras e nível de significância (α) pré-estabelecido, a H_0 é rejeitada, sugerindo que os dados não provêm de uma distribuição normal.

Identificação de tendências

Para a identificação de tendências, aplicou-se os testes de Mann-Kendall e Coeficiente de Correlação de Spearman, considerando análise bicaudal e nível de significância de 5%.

O teste de Mann-Kendall é um método estatístico capaz de detectar tendências, ao longo do tempo, em dados meteorológicos (Silva e Souza, 2013). Podendo ainda localizar o ponto aproximado de início desta tendência (Lima, 2014). Segundo Hamed (2008), é o método mais adequado para detecção de tendências em séries temporais. Neste procedimento, a H_0 considera que as observações da série temporal não apresentam tendência, já na H_1 é detectada a presença de tendência e esta pode ser positiva ou negativa.

Conforme descrito por Pinheiro et al. (2013), o teste considera uma série temporal Y_i de N termos, sendo: $1 \leq i \leq N$. O procedimento consiste em calcular a soma $t_n = \sum_{i=1}^N m_i$, onde m_i é o número de termos da série, relativo ao valor Y_i , no qual os termos anteriores ($j < i$) são inferiores ao mesmo ($Y_j < Y_i$). Para séries com grande número de termos (N), sob a H_0 de ausência de tendência, t_n apresentará uma distribuição normal, com média e variância dadas pelas Equações 4 e 5:

$$E(t_n) = \frac{N(N-1)}{4}$$

Equação (4)

$$\text{var}(t_n) = \frac{N(N-1)(2N+5)}{72} \quad \text{Equação (5)}$$

A H_0 pode ser rejeitada testando a significância estatística de t_n através da Equação 6:

$$U(t_n) = \frac{(t_n - E(t_n))}{\sqrt{\text{var}(t_n)}} \quad \text{Equação (6)}$$

Se $U(t_n)$ encontrar-se dentro do intervalo de confiança (Z) para o nível de significância (α) estabelecido, implica-se em rejeitar a H_0 e admitir que em algum ponto da série existe uma mudança significativa. O sinal de $U(t_n)$ indica se a tendência é positiva ($U(t_n) > 0$) ou negativa ($U(t_n) < 0$). Calculando $U(t_n)$ no sentido positivo da série temporal (de i até N) e depois no sentido inverso, obtém-se a distribuição $U^*(t_n)$. A intersecção das curvas de $U(t_n)$ e $U^*(t_n)$ indica o ponto aproximado do início da mudança (tendência) na série.

O coeficiente de Correlação de Spearman é a mais antiga estatística de correlação (Bauer, 2007). É um teste muito utilizado para determinar se a correlação entre duas variáveis, X e Y , é significativa. Em que a H_0 afirma que não existe relação significativa entre as variáveis observadas e a H_1 que existe relação entre as mesmas. Para calcular o valor do coeficiente r_s , é necessário ordenar os valores observados de ambas as variáveis em postos, de acordo com a Equação 7:

$$r_s = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^N di^2}{N^3 - N} \quad \text{Equação (7)}$$

Onde r_s é o coeficiente de correlação de Spearman, di é a diferença entre as ordenações (postos) e N é o número de pares (X e Y).

A significância do valor de r_s pode ser verificada através da comparação com a distribuição t de Student, com $n-2$ graus de liberdade e nível significância (α) pré-estabelecido, utilizando a Equação 8:

$$t = r_s \sqrt{\frac{n-2}{1-r_s^2}} \quad \text{Equação (8)}$$

Se o valor calculado for maior que o valor de t crítico da distribuição t de Student, rejeita-se a hipótese H_0 de correlação das amostras x e y .

Verificação da possível influência dos fenômenos climáticos ENOS e Dipolo do Atlântico

O ENOS é um fenômeno climático que ocorre no Oceano Pacífico Equatorial, resultante da interação entre oceano e a atmosfera. O componente oceânico refere-se ao aquecimento acima

do normal da temperatura da superfície do mar (TSM) do Oceano Pacífico. E o componente atmosférico, conhecido como Oscilação Sul (OS), é constituído pela correlação inversa entre a pressão atmosférica dos extremos leste e oeste do Oceano Pacífico (De Paula, 2009).

O fenômeno ENOS é composto por duas fases: uma quente ou positiva chamada de El Niño e outra fria ou negativa denominada de La Niña. O El Niño é caracterizado pelo aquecimento das águas e diminuição da pressão atmosférica, e a La Niña pelo o resfriamento das águas e aumento da pressão atmosférica.

Há inúmeros critérios para se determinar as fases e intensidades das anomalias de TSM do Oceano Pacífico. Segundo o critério da National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), um episódio de El Niño ou de La Niña é definido pelo Índice de Oscilação do Niño (ION), o qual é determinado a partir da média móvel trimestral da TSM. Já a intensidade do fenômeno pode ser definida conforme o critério apresentado pelo Golden Gate Weather Services (2017), em que o valor do ION em graus Celsius (°C) para o/a El Niño/La Niña pode ser forte, moderada ou fraca. Considera-se ainda uma faixa de neutralidade, a qual não se manifesta o fenômeno ENOS.

O Dipolo do Atlântico também é um fenômeno derivado da interação entre o oceano e a atmosfera, sendo definido como uma mudança anormal da TSM no Oceano Atlântico Tropical. É caracterizado tanto pela inibição/aumento da formação de nuvens quanto pela diminuição/aumento dos índices pluviométricos. Ressalta-se que na realidade, o termo “dipolo” está relacionado ao gradiente inter-hemisférico (GIH) da TSM no Oceano Atlântico, o qual é composto por duas fases: Dipolo positivo e Dipolo negativo (Costa, 2016). Tal fenômeno é observado no leste da Amazônia, litoral norte e alguns estados do nordeste brasileiro, bem como alguns países africanos.

As situações anômalas que ocorrem no Atlântico são monitoradas pela NOAA, através da medição de duas séries temporais que compõem o GIH, o TNA (Tropical Northern Atlantic) e o TSA (Tropical Southern Atlantic). As fases do Dipolo, positivas ou negativas, são determinadas com base na diferença entre o TNA e o TSA, os quais são calculados continuamente a cada mês (Andreoli e Kayano, 2007).

Para verificar se os fenômenos ENOS e Dipolo do Atlântico influenciam no comportamento das chuvas na região do Salgado, formou-se uma nova série de dados pluviométricos, englobando as precipitações médias anuais das estações estudadas para um período de dados em comum entre as mesmas (1992 a 2016). Utilizando a técnica da média móvel de ordem 3, determinou-se os períodos secos e úmidos da série. O período seco foi correlacionado com os períodos afetados pelos eventos de El Niño e Dipolo positivo e o período úmido com os eventos de La Niña e Dipolo negativo. Os anos de ocorrência e intensidade dos valores de ION e TNA/TSA foram obtidos no site da NOAA, para o período de 1992 a 2016.

Resultados e discussões

Análise estatística das precipitações

O resultado da análise estatística anual das seis estações pluviométricas pode ser observado na Tabela 3.

Tabela 3. Análise estatística da precipitação anual das estações pluviométricas com periodicidade variável entre 1978 a 2016

Estação pluviométrica	Total médio (mm)	Máx. (mm)	Ano de máximo	Mín. (mm)	Ano de mínimo	D.P. médio (mm)	C.V. médio (%)
Curuçá	2518.32	3646.90	1988	1085.10	1997	582.88	23.15
Marudá	2546.02	3597.90	2009	1611.20	1998	517.17	20.31
Salinópolis	2805.48	4083.60	1986	1315.60	1983	708.12	25.24
São João de Pirabas	2638.78	3828.40	2001	874.40	2006	713.83	27.05
Terra Alta	2641.64	3602.33	2009	1362.40	1992	521.43	19.74
Vigia	2711.61	3836.40	1985	1593.50	1982	493.34	18.19

De acordo com a Tabela 3, nota-se elevadas precipitações pluviométricas nas seis estações, com totais médios anuais variando entre 2500 mm e 2900 mm. Na estação de Salinópolis, no ano de 1986, ocorreu o maior volume de precipitação com 4083.60 mm, ficando 1278.12 mm (45.56%) acima da média anual de 2805.48 mm. Enquanto que na estação de São João de Pirabas, no ano de 2006, foi registrado o menor volume com 874.40 mm, ou seja, 1764.38 mm (66.86%) inferior à média anual de 2638.78 mm. Uma forma de explicar a discrepância nos resultados é comparando-os com anos de incidência dos fenômenos climáticos ENOS e Dipolo do Atlântico, onde em 1986 prevaleceu-se no ano inteiro Dipolo negativo e em 2006 detectou-se tanto El Niño quanto Dipolo positivo.

As maiores variações de precipitação foram detectadas também nas estações de Salinópolis e São João de Pirabas, visto os maiores valores de D.P e C.V. Devido aos menores valores de D.P e C.V., a estação de Vigia pode ser considerada a de regime mais regular, ou seja, a de menor variação pluviométrica.

A Tabela 4 e a Figura 2 ilustram a situação estatística das precipitações mensais. Conforme a Tabela 4 e a Figura 2 observa-se que a precipitação não se distribui de forma homogênea ao longo dos meses, visto que as maiores pluviosidades se concentram entre janeiro a junho/julho e reduzem-se consideravelmente no restante do ano. O mês de março apresentou as mais elevadas precipitações e, setembro, outubro e novembro, as menores. Pode-se relacionar tal comportamento a posição da ZCIT, a qual, segundo Fernandes (2016) e Marengo (1995), o período chuvoso ocorre entre os meses de janeiro a maio, com picos em março e abril, quando a

ZCIT se move em direção à área costeira dos estados do Maranhão, Pará e Amapá. Já as menores precipitações ocorrem no segundo semestre, quando a ZCIT desloca-se para o Hemisfério Norte.

Tabela 4. Análise estatística da precipitação mensal das estações pluviométricas com periodicidade variável entre 1978 a 2016

Mês	Precipitação média da estação pluviométrica (mm)						Máx. (mm)	Mín. (mm)	D. P. (mm)	C.V (%)
	Curuçá	Marudá	Salinópolis	S. J. de Pirabas	Terra Alta	Vigia				
Jan	303.73	301.04	344.09	343.19	263.78	298.73	344.09	263.78	30.47	9.86
Fev	403.80	418.99	503.18	435.39	340.45	366.61	503.18	340.45	56.84	13.82
Mar	530.64	595.08	622.05	561.42	431.40	467.40	622.05	431.40	73.76	13.80
Abr	446.74	451.32	568.20	462.60	399.20	431.50	568.20	399.20	57.40	12.48
Mai	319.10	331.62	340.50	333.00	306.30	335.90	340.50	306.30	12.70	3.87
Jun	201.02	184.51	177.00	205.40	226.00	223.80	226.00	177.00	19.95	9.83
Jul	172.44	128.08	113.80	155.50	221.40	203.80	221.40	113.80	41.98	25.32
Ago	68.07	33.34	33.90	48.10	134.30	142.70	142.70	33.34	49.55	64.58
Set	19.37	4.19	9.80	10.13	79.70	47.70	79.70	4.19	29.50	103.59
Out	4.33	11.02	10.58	10.33	60.20	38.90	60.20	4.33	22.10	97.97
Nov	9.21	7.41	13.34	14.00	54.30	35.10	54.30	7.41	18.60	83.69
Dez	84.31	80.74	83.11	77.21	124.40	121.60	124.40	77.21	21.67	22.75
Média	213.56	212.28	234.96	221.36	220.12	226.14				

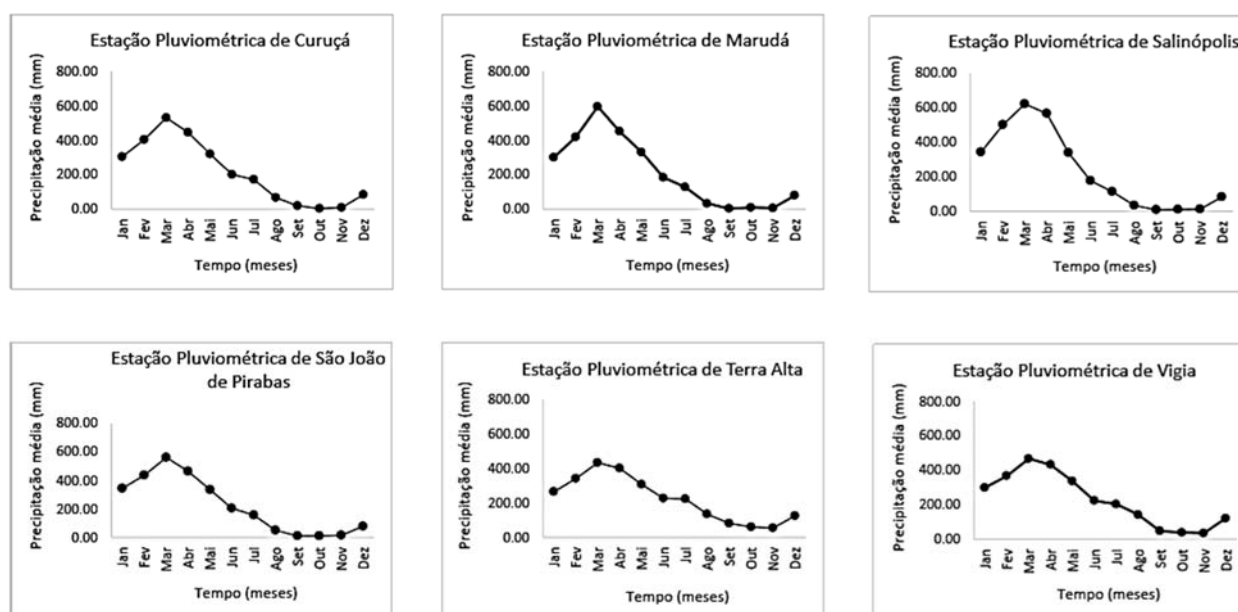


Figura 2. Precipitações mensais das estações estudadas

Os valores mais elevados de D.P. encontram-se nos meses mais chuvosos (março e abril), tal resultado pode ser justificado devido à presença de altos índices pluviométricos nestes meses, os quais se distanciam mais das precipitações médias. Em relação aos C.V.'s, constatou-se que os maiores valores foram no período menos chuvoso, possivelmente, devido à alta variabilidade nos dados das séries, uma vez que não foram todos os postos que tiveram o comportamento - de menores precipitações - esperado para o período, a exemplo das estações de Vigia e Terra Alta.

Agrupamentos homogêneos

Na análise de agrupamento das estações com precipitação mensal homogênea (Figura 3), notou-se a formação de três grupos de estações com comportamento de precipitação mensal similar: o primeiro composto pelas estações de Terra Alta e Vigia; o segundo somente pela estação de Salinópolis; e o terceiro pelas estações de Curuçá, Marudá e São João de Pirabas. Os grupos definidos podem estar relacionados à localização geográfica das estações, onde Terra Alta e Vigia estão situadas mais ao interior do continente, sendo possível observar em ambas um regime de chuvas semelhante: precipitações inferiores as das demais estações no período chuvoso e superiores no período menos chuvoso. Já as estações de Curuçá, Marudá e São João de Pirabas estão situadas junto a faixa litorânea, fazendo desta maneira, maior conexão com o Oceano Atlântico Norte. Fato que segundo Cordeiro *et al.* (2017) e Kousky, Kayano e Cavalcante (1984) favorece a formação das linhas de instabilidade - as quais são impulsionadas pelas brisas marítimas e aproximação da ZCIT - ocasionando conseqüentemente, maiores amplitudes pluviométricas a estas estações. A estação de Salinópolis é a mais próxima do Oceano e formou um único grupo, provavelmente devido aos maiores registros de volume de precipitação.

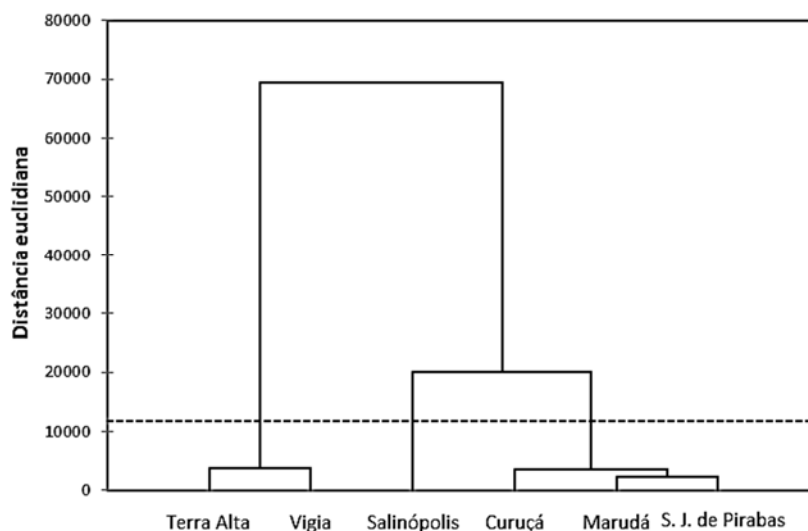


Figura 3. Dendrograma das estações com precipitação mensal homogênea

Em relação ao agrupamento dos meses com precipitação similar (Figura 4), notou-se a formação de três períodos bem diferenciados de precipitação: período chuvoso (fevereiro a abril); período de transição (janeiro, maio, junho e julho) estabelecidos no início (janeiro) e final (maio, junho e julho) do período chuvoso; e o período menos chuvoso (agosto a dezembro). Tais resultados relacionam-se também com o posicionamento da ZCIT, que ao deslocar-se para o sul, avançando do Oceano Atlântico Norte em direção ao Norte e ao Nordeste do Brasil provoca chuvas mais intensas nestas regiões. As áreas de instabilidade da ZCIT começam a ter maior influência no Brasil comumente durante o mês de janeiro, mas sua maior atividade sobre o país são nos meses de março e abril. Por outro lado, no mês de julho, quando a ZCIT se desloca para o norte, ocorre a diminuição das precipitações (Marengo, 1995).

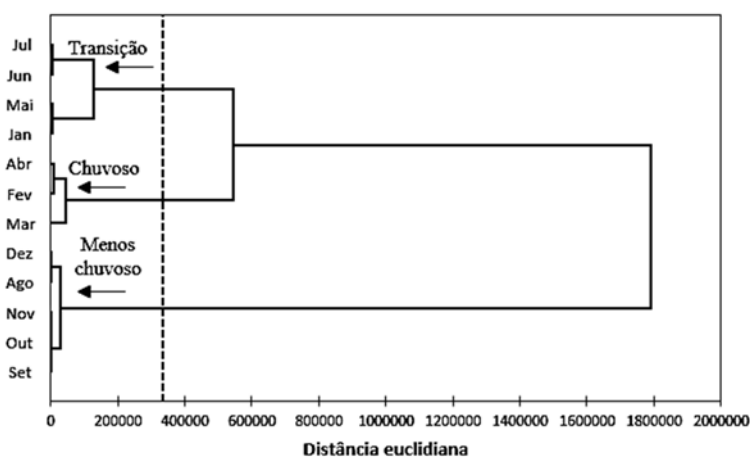


Figura 4. Dendrograma dos períodos de precipitação mensal homogêneos

Verificação de normalidade e tendência

A Tabela 5 apresenta os resultados obtidos na aplicação dos testes de normalidade de Kolmogorov-Smirnov e Shapiro-Wilk e, testes de tendência de Mann-Kendall e Spearman. A partir da aplicação do teste de Kolmogorov-Smirnov, notou-se que os valores calculados de D foram inferiores aos valores críticos retirados da tabela de Kolmogorov-Smirnov. Em relação ao teste de Shapiro-Wilk, observou-se que os valores de W foram superiores aos valores críticos da tabela de Shapiro-Wilk. Logo, segundo os resultados obtidos em ambos os testes de normalidade, a H_0 não foi rejeitada para o nível de significância de 5%. Isto é, os dados das seis séries temporais se distribuem normalmente (de forma simétrica) em torno da média.

No teste de Mann-Kendall, as estatísticas calculadas encontraram-se dentro do intervalo dos valores críticos de ± 1.96 com extremidades iguais a ± 0.025 . No teste de Correlação de Spearman, os valores do coeficiente r_s foram inferiores aos valores críticos retirados da tabela de distribuição

t de Student para n-2 graus de liberdade. Então, para ambos os testes de detecção de tendência, verificou-se que a H_0 foi aceita para o nível de significância de 5%, a qual atesta que não há tendência significativa de crescimento ou decrescimento nas precipitações, concluindo-se que as séries são estacionárias. Em outras palavras, as análises estatísticas realizadas indicam que o comportamento pluviométrico das séries observadas não se alteram de maneira expressiva com o passar do tempo, não configurando deste modo, um cenário expressivo no âmbito das mudanças climáticas.

Tabela 5. Resultado dos testes de normalidade e tendência

Estação pluviométrica	Estatística calculada						
	Kolmogorov-Smirnov (D)		Shapiro-Wilk (W)		Mann-Kendall (U(tn))	Spearman (s_r)	
	D calc.	D tab.	W calc.	W tab.	-Z < U(tn) < Z	s_r calc.	t tab.
Curuçá	0.095	0.246	0.979	0.926	-1.96 < -0.867 < 1.96	-0.066	1.703
Marudá	0.184	0.264	0.934	0.918	-1.96 < -0.701 < 1.96	-0.099	1.714
Salinópolis	0.070	0.218	0.982	0.936	-1.96 < -0.968 < 1.96	-0.134	1.690
S. J. Pirabas	0.158	0.254	0.962	0.923	-1.96 < 0.354 < 1.96	-0.004	1.708
Terra Alta	0.093	0.259	0.978	0.920	-1.96 < 0.419 < 1.96	0.088	1.710
Vigia	0.131	0.224	0.960	0.934	-1.96 < -0.810 < 1.96	-0.122	1.692

Influência dos fenômenos climáticos no regime pluviométrico da Microrregião do Salgado

As figuras 5 e 6 apresentam os anos afetados pelos fenômenos ENOS e Dipolo do Atlântico que coincidiram com os períodos secos e úmidos ao longo de 25 anos de série (1992-2016).

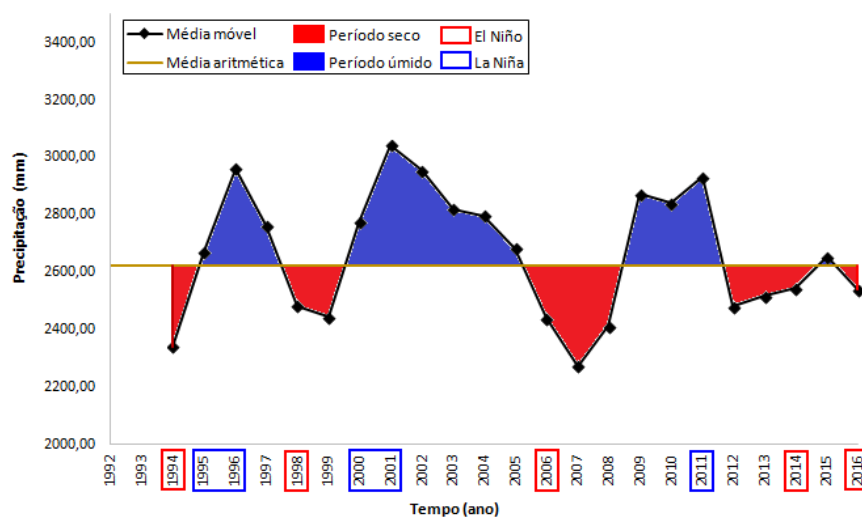


Figura 5. Ocorrência do fenômeno ENOS na série histórica de 1992 a 2016

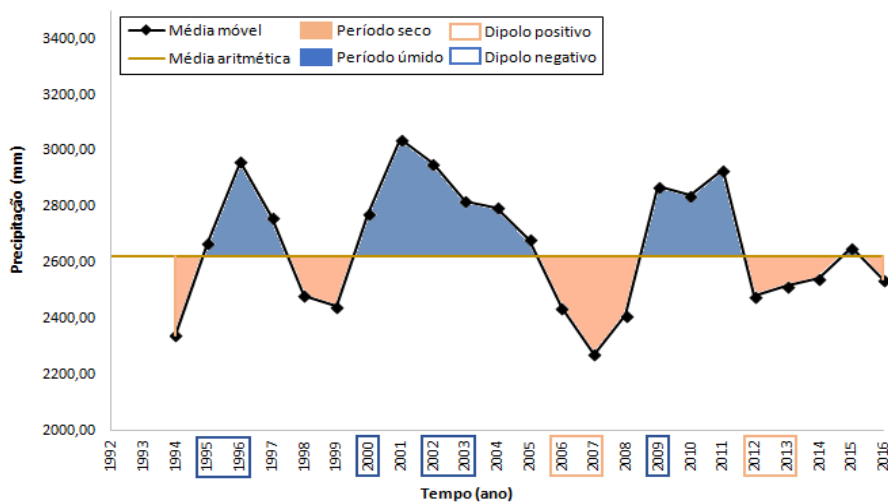


Figura 6. Ocorrência do fenômeno Dipolo do Atlântico na série histórica de 1992 a 2016

Na Figura 5, verificou-se que, dos 25 anos de série histórica, ocorreram 23 episódios do fenômeno ENOS (1993 e 2013 foram neutros), mas apenas 10 eventos (dos 23 que ocorreram) coincidiram com o regime sazonal de chuvas formado, em que no período seco identificou-se cinco anos que coincidiram com o evento El Niño, sendo três de intensidade fraca (1994, 2006 e 2014) e dois de intensidade forte (1998 e 2016); e no período úmido, cinco anos coincidiram com o evento La Niña, dos quais quatro são classificados como de intensidade fraca (1995, 1996, 2001, 2011) e um com intensidade forte (2000).

A mesma análise se repetiu para verificar a influência do fenômeno Dipolo do Atlântico nas precipitações, em que nos 25 anos avaliados, ocorreram 25 anomalias de Dipolo positivo e/ou negativo. Constatou-se que 10 anomalias (das 25 detectadas) ajustaram-se com o comportamento sazonal observado na Figura 6, em que no período seco, os anos de 2006, 2007, 2012 e 2013 coincidiram com a anomalia de Dipolo positivo; e no período úmido, os anos de 1995, 1996, 2000, 2002, 2003 e 2009, coincidiram com o Dipolo negativo.

Em 2006, observou-se uma redução significativa das precipitações, tal fato pode ser explicado devido à ocorrência do Dipolo positivo juntamente com El Niño. Já em 1995, 1996 e 2000, houve um aumento brusco nos índices pluviométricos, podendo relacionar este comportamento as manifestações conjuntas dos fenômenos Dipolo negativo e La Niña.

Logo, de maneira geral, concluiu-se que o comportamento pluviométrico da Microrregião do Salgado tem relação com os fenômenos climáticos, principalmente quando as anomalias do Atlântico ocorrem simultaneamente com as anomalias do Pacífico, visto que o Dipolo positivo em paralelo com o El Niño tendem a reduzir as precipitações, enquanto o Dipolo negativo em paralelo com La Niña intensificam as mesmas.

Por outro lado, é válido considerar que apesar do fenômeno ENOS e Dipolo do Atlântico serem fortes modulares das precipitações, existem ainda uma variedade de componentes atmosféricos que também são formadores de chuvas, e que inclusive podem se sobrepor a tais anomalias (Costa, 2016). A exemplo dos períodos de estiagem de 2005 e 2010 que ocorreram na Amazônia, que para Marengo et al. (2008) e Lewis et al. (2011) configuram-se como as maiores secas registradas na região, as quais foram induzidas devido a ocorrência dos sistemas El Niño e Dipolo do Atlântico. No entanto, como observado nas Figuras 5 e 6, ocorreu uma pluviosidade acima da média nestes mesmos anos na região estudada, o que evidencia que há outros fatores que influenciam a precipitação desta localidade.

Conclusão

A partir da análise do regime pluviométrico da Microrregião do Salgado Paraense, por meio da utilização de diferentes métodos estatísticos, verificou-se que a média pluviométrica anual da região variou em torno de 2500 mm a 2900 mm ao longo das séries com periodicidade variável entre 1978 a 2016, e que as chuvas não se distribuem igualmente durante o ano, sendo os meses de janeiro a julho mais chuvosos e de agosto a dezembro menos chuvosos.

Segundo o método de agrupamento de Ward, definiram-se estatisticamente três grupos de estações com comportamento pluviométrico homogêneo: o primeiro composto pelas estações de Terra Alta e Vigia, o segundo somente pela estação de Salinópolis e, o terceiro pelas estações de Curuçá, Marudá e São João de Pirabas; bem como três períodos de precipitação mensal similar: período chuvoso (fevereiro a abril), transição (janeiro, maio, junho e julho) e menos chuvoso (agosto a dezembro).

De acordo com os resultados dos testes estatísticos para análise de normalidade e tendência, considerando nível de significância de 5%, as séries seguem uma distribuição normal e nenhuma tendência significativa foi encontrada.

Pode-se inferir ainda, que os fenômenos climáticos ENOS e Dipolo do Atlântico, sobretudo quando ocorrem simultaneamente, influenciam na dinâmica de chuvas da zona do Salgado.

Referencias bibliográficas

- ANA, Agência Nacional de Águas. *Sistema de informações hidrológicas - HidrowEB*. Acesso em 02 mai. 2017, disponível em: <http://hidroweb.ana.gov.br>
- Andreoli, R. V., Kayano, M. T. (2007) A importância relativa do atlântico tropical sul e pacífico leste na variabilidade de precipitação do Nordeste do Brasil, *Revista Brasileira de Meteorologia*, **22**(1), 63-74.
- Barbosa, E. M. (2014) *Teste de hipótese e aplicações*. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Estatística), Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 31 p.

- Bauer, L. (2007) *Estimação do coeficiente de correlação de Spearman ponderado*, Dissertação (Mestrado em Epidemiologia), Programa de Pós-Graduação em Epidemiologia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 95 p.
- Brito, F. M. O. (2004) *Salinópolis - Pa: (re)organização sócio-espacial de um lugar atlântico-amazônico*, Dissertação (Mestrado em Geografia), Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 121 p.
- Cohen, J. C., Silva Dias, M. A. F., Nobre, C. (1989) Aspectos climatológicos das linhas de instabilidade na Amazônia, *Climanálise*, **4**, 34-40.
- Cordeiro, I. M. C. C., Rangel-Vasconcelos, L. G. T., Schwartz, G.; Oliveira, F. A. (2017) *Nordeste paraense: panorama geral e uso sustentável das florestas secundárias*. 1a ed., EDUFRA, 323 pp.
- Costa, C. E. A. S. (2016) *Influência de variabilidade climática das chuvas sobre a erosividade*, Dissertação (Mestrado Em Engenharia Civil), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Pará, Belém, 88 p.
- Cruz, M. A. S. (2010) Análise do comportamento hidrológico do Rio Japarutuba em Sergipe. *III Encontro de Recursos Hídricos em Sergipe*. Sergipe, Aracaju.
- De Paula, G. M. (2009) *O fenômeno El Niño Oscilação Sul e a erosividade das chuvas em Santa Maria – RS*, Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 55 p.
- Fávero, L. P., Belfiore, P., Silva, F. L., Chan, B. L. (2009) *Análise de dados: modelagem multivariada para tomada de decisões*, Elsevier, Rio de Janeiro, 646 pp.
- Fernandes, M. E. B. (2016) *Os manguezais da costa norte brasileira*, **3**, Laboratório de ecologia e manguezal, Bragança, 177 pp.
- Ferreira, D. L., Penereiro, J. C., Fontolan, M. R. (2015) Análises estatísticas de tendências das séries hidro-climáticas e de ações antrópicas ao longo das Sub-bacias do Rio Tietê. *Revista Holos*, **2**, 50-68.
- Finkler, N. R., Mendes, L. A., Schneider, E. H. M., Bortolin, T. B., Schneider, V. E. (2015) Comparação de funções de distribuição de probabilidades na determinação de vazão mínima anual e sazonal. *Scientia Cum Industria*, **3**(2), 42-49.
- Golden Gate Weather Services (2017). *El Niño and La Niña years and intensities based on Oceanic Niño Index (ONI)*. Acesso em 08 mai. 2017, disponível em: <http://ggweather.com/enso/oni.htm>
- Hamed, K. H. (2008) Trend detection in hydrologic data: The Mann-Kendall trend test under the scaling hypothesis, *Journal of Hydrology*, **349**(3-4), 350-363.
- IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2010). *Cidades*. Acesso em 05 mai. 2017, disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/>
- Kousky, V. E., Kayano, M. T., Cavalcanti, I. F. A. (1984) A review of the Southern oscillation: oceanic-atmospheric circulation changes and related rainfall anomalies, *Revista Tellus*, **36**, 490-504.
- Lewis, S. L., Brando, P. M., Phillips, O. L., Van Der Heijden, G. M. F., Nepstad, D. (2011) The 2010 Amazon Drought, *Science*, **331**(6017), 554.
- Lima, P. V. (2015) *Análise de métodos para detecção de mudanças estruturais em séries temporais climáticas*, Dissertação (Mestrado em Ciências Climáticas), Programa de Pós-Graduação em Ciências Climáticas da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 69 p.
- Linden, R. (2009) Técnicas de agrupamento, *Revista de sistemas de informação da FSMA*, **4**, 18-36.
- Lopes, M. N. G., Souza, E. B., Ferreira, D. B. S. (2013) Climatologia regional da precipitação no Estado do Pará, *Revista Brasileira de Climatologia*, **12**, 84-102.
- Marengo, J. A. (1995) Interannual variability of deep convection in the tropical South American sector as deduced from ISCCP C2 data, *International Journal Climatology*, **15**(9), 995-1010.
- Marengo J. A., Nobre. C., Tomasella, J., Oyama, M., Oliveira, G. S., Oliveira, R., Camargo, H., Alves, L. M., Brown, I. F. (2008) The drought of Amazônia in 2005, *Journal of Climate*, **21**, 95-516.

- NOAA, National Oceanic and Atmospheric Administration. *Cold e warm episodes by season*. Acesso em 12 abr. 2017, disponível em: http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml
- Nobre, A. N., Obregón, G. O., Marengo, J. A., Fu, R., Poveda, G. (2009) *Characteristics of amazonian climate: main features*. In: Keller, M., Bustamante, M., Gash, J., Silva Dias, P. (orgs.). *Amazonia and Global Change*. Geophysical Monograph, **186**, American Geophysical Union Books, Washington, D.C., 149-162 pp.
- Pereira, E. R. R. (2014) *Índices pluviométricos na análise da intensidade e variabilidade regional das chuvas no nordeste do Brasil*, Tese (Doutorado em Meteorologia), Programa de Pós-Graduação em Meteorologia da Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 102 p.
- Pinheiro, A, Graciano, R. L. G., Severo, D. L. (2013) Tendência das séries temporais de precipitação da Região Sul do Brasil, *Revista Brasileira de Meteorologia*, **28**(3) 281-290.
- Razali, M. M., Wah, Y. B. (2011) Power comparisons of Shapiro-Wilk, Kolmogorov-Smirnov, Lilliefors and Anderson-Darling tests, *Journal of Statistical Modeling and Analytics*, **2**(1), 21-33.
- Santos, W. O., Mesquita, F. O., Batista, B. D. O., Batista, R. O., Alves, A. S. (2014) Precipitações máximas para o município de Mossoró de 1964 a 2011 pela distribuição de Gumbel, *Revista Irriga*, **19**(2), 207-213.
- Seidel, E. J., Moreira Júnior, F. J., Ansuji, A. P., Noal, M. R. C. (2008) Comparação entre o método Ward e o método k-médias no agrupamento de produtores de leite, *Revista Ciência e Natura*, **30**(1), 7-15.
- Silva, D. F., Souza, A. B. (2013) Detecção de tendências climáticas no estado de Alagoas, *Revista Brasileira de Geografia Física*, **6**(3), 442-445.
- Silva, D. F. S., Nery, J. T. (2012) Variabilidade espacial e temporal da chuva na Unidade de Gerenciamento do Pardo. *Revista Geonorte*, **3**(5), 1079 –1089.
- Simioni, J. P. D., Rovani, F. F. M., Lense, A. C., Wollmann, C. A. (2014) Caracterização da precipitação pluviométrica na Bacia Hidrográfica do Rio Ibicuí, RS, *Revista do Departamento de Geografia - USP*, **28**, 112-133.
- Vieira, S. O. (2013) *Efeitos da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) sobre as chuvas da Região Sul da Amazônia brasileira*, Tese (Doutorado em Clima e Ambiente), Programa de Pós-Graduação em Clima e Ambiente do convênio Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia/ Universidade Estadual do Amazonas, Manaus, 97 p.
- WMO, World Meteorological Organization (2008). *Guide to Hydrological Practices*, 6a ed., **1**(168), World Meteorological Organization, Geneva, 282 pp.