

ANÁLISES DAS PRECIPITAÇÕES PELOS TESTES NÃO PARAMÉTRICOS DE MANN-KENDALL E KRUSKAL-WALLIS

<https://doi.org/10.4215/rm2020.e19001>

Jório Bezerra Cabral Júnior ^{a*} - Rebecca Luna Lucena ^b

(a) Dr. em Ciências Climáticas. Professor da Universidade Federal de Alagoas, Maceió (AL), Brasil.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4207-2155>. **LATTES:** <http://lattes.cnpq.br/7439808091974845>.

(b) Dra. em Geografia. Professora da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), Caicó (RN), Brasil.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4670-265X>. **LATTES:** <http://lattes.cnpq.br/7007364724379098>.

Article history:

Received 04 October, 2019

Accepted 14 October, 2019

Publisher 15 January, 2020

(*) CORRESPONDING AUTHOR

Address: IGDEMA/UFAL, Av. Lourival Melo Mota, S/N, Cep: 57072-970, Maceió (AL), Brasil. Tel: (+55 82) 3214 1444.

E-mail: E-mail: jorio.cabral@gmail.com

Resumo

O objetivo principal desta pesquisa foi verificar o comportamento temporal das chuvas a longo prazo, numa localidade inserida no Semiárido brasileiro. Para isso, utilizaram-se dados mensais de precipitação secular (1911 a 2017), cedidos pelo DNOCS/SUDENE. De posse dos dados, determinaram-se as estatísticas descritivas nas escalas mensais, anuais, decadais e climáticas. Em seguida aplicaram-se testes estatísticos não paramétricos: Mann-Kendall (tendência) e Kruskal-Wallis (comparações múltiplas), ambos com confiança estatística de 95%. Observou-se que 67,8% da chuva anual (661,4 mm) concentra-se em 3 meses (Fev-Mar-Abr) e que não houve tendência significativa da chuva mensal e, conseqüentemente anual. As décadas de 1930, 1950, 1990 e 2010 foram as mais secas da série, mostrando que o atual período seco (2012-2016) não é excepcionalmente inédito. Embora tenham sido verificadas tendências significativas a 1% de aumento das chuvas entre 1930-1980 e de diminuição das chuvas de 1960-2000, quando se analisou a série completa não se verificou tendência significativa. Para as climatologias as diferenças foram significativas a 1% quando se comparou o Clima_2 (1958-1987), que foi o mais chuvoso, com o Clima_1 (1928-1957) e Clima_3 (1988-2017). Conclui-se que o Clima e década atual têm sido significativamente menos chuvosos, porém não foram os únicos, uma vez que outras décadas e/ou série climática passadas foram mais secas.

Palavras-chave: Precipitação Pluvial, Semiárido Brasileiro, Tendências, Recurso Hídrico.

Abstract / Resumen

ANALYSIS OF PRECIPITATION USING MANN-KENDALL AND KRUSKAL-WALLIS NON-PARAMETRIC TESTS

The main objective of this research was to verify the long-term rainfall behavior in a location in the Brazilian semiarid region. Century-long monthly precipitation data (1911 to 2017) provided by DNOCS/SUDENE were used in the investigation. These data were used to determine descriptive statistics at monthly, annual, decadal and climatic scales. Next, nonparametric statistical tests were applied: Mann-Kendall (trend) and Kruskal-Wallis (multiple comparisons), both with a statistical confidence level of 95%. It was observed that 67.8% of annual rainfall (661.4 mm) is concentrated in three months (Feb-Mar-Apr) and that there was no significant tendency of monthly and consequently, annual rainfall. The 1930s, 1950s, 1990s, and 2010s were the driest years in the series, showing that the current dry period (2012-2016) is not unexceptional. Although significant trends were observed at 1% rainfall increase between 1930-1980 and 1% rainfall decrease from 1960-2000, when the full series was analyzed there was no significant trend. For climatologies the differences were significant at 1% when comparing Climate_2 (1958-1987), which was the wettest, with Climate_1 (1928-1957) and Climate_3 (1988-2017). It is concluded that the current climate and decade have had significantly less rain, but they are not unique since other decades and/or past climate series have been drier.

Keywords: Rainfall, Brazilian Semiarid, Tendencias, Water Resources.

ANÁLISIS DE LAS PRECIPITACIONES POR LAS PRUEBAS NO PARAMÉTRICAS DE MANN-KENDALL Y KRUSKAL-WALLIS

El objetivo principal en este trabajo fue verificar el comportamiento temporal de las lluvias a largo plazo, en una localidad insertada en el Semiárido brasileño. Para ello, se utilizaron datos mensuales de la precipitación de los últimos 107 años (1911 a 2017), cedidos por el Departamento Nacional de Obras Contra la Seca (DNOCS / SUDENE). En posesión de los datos, se determinaron las estadísticas descriptivas en las escalas mensuales, anuales, decadales y climáticas. Posteriormente se han aplicado pruebas estadísticas no paramétricas: Mann-Kendall (tendencia) y Kruskal-Wallis (comparaciones múltiples). La confianza estadística adoptada fue del 95%. Los principales resultados han indicado que el 67,8% de la lluvia anual (661,4 mm) se concentra en apenas 3 meses (Fev-Mar-Abr) y que no hubo tendencia significativa de la lluvia en ninguno de los meses y, conseqüentemente anual. Se ha constatado que las décadas de 1930, 1950, 1990 y 2010 han sido las más secas de la serie, mostrando que el actual período seco (2012-2016) no es excepcionalmente inédito. También, se observaron tendencias significativas al 1% de aumento de las lluvias entre 1930-1980 y de disminución de las lluvias de 1960-2000. Para las climatologías, las diferencias fueron significativas al 1% cuando se comparó el Clima_2 (1958-1987), que fue el más lluvioso, con el Clima_1 (1928-1957) y Clima_3 (1988-2017). Se concluye que el clima y la década actual han sido significativamente menos lluviosos, pero no fueron los únicos, ya que otras décadas y/o serie climática pasadas se registraron más secas.

Palabras-clave: Precipitaciones, Semiárido Brasileño, Tendencias, Recursos Hídricos.

INTRODUÇÃO

A disponibilidade de água no Brasil depende, em grande parte, do clima, e na região do Semiárido do Nordeste Brasileiro (SANEB) a água é um fator crítico para as populações (GEO BRASIL, 2007), onde os acumulados de precipitação pluvial são menores que 800 mm anuais em média (MMA, 2007). Nessa região do país ocorrem repetidamente secas e estiagens que, segundo o Atlas brasileiro de desastres naturais, é o desastre que mais afeta a população brasileira, no Brasil 60% desses registros ocorrem no SANEB (CEPED/UFSC, 2013).

Essas ocorrências são discutidas desde o século XVI (ARAÚJO, 1982; MAGALHÃES et al., 1988; GUTIERREZ et al., 2014; MARENGO et al., 2016). Sabe-se que no SANEB a quantidade e a distribuição de chuvas são bastante irregulares. Além dessa característica marcante, o acumulado de chuva anual é predominantemente menor que a evapotranspiração de referência, culminando em elevados índices de aridez em maior escala de tempo e espaço (CABRAL JÚNIOR; BEZERRA, 2018; LUCENA et al., 2018). Para Trewartha (1962) o SANEB é uma região de difícil adaptação em termos climáticos, por ser bastante vulnerável a secas (MARES et al., 1985; PAREDES et al., 2015), que afetam mais pessoas do que qualquer outro risco natural devido à sua grande escala e natureza duradoura (MARENGO et al., 2016).

Modelos climáticos indicam que no futuro o SANEB será uma das regiões mais afetadas da América do Sul, com reduções simuladas de precipitação de até 40% durante o século XXI (MARENGO et al., 2012; MARENGO; BERNASCONI, 2015; VIEIRA et al., 2015). Uma das consequências possíveis, com a redução das precipitações, seria a possível transformação de grandes áreas da Caatinga em deserto (SALAZAR et al., 2007), impactando diretamente na disponibilidade de água, energia e segurança alimentar (EAKIN et al., 2014).

Souza e Oyama (2011) analisaram através de simulações (modelo MM5) a variabilidade da chuva para diferentes cenários de desertificação (total, parcial e aleatório) durante a estação chuvosa no SANEB (Março, Abril e Maio) de 2003 a 2005, e encontraram relação de impactos climáticos aos processos de desertificação, especialmente mostraram que a redução das chuvas pode intensificar processos de desertificação.

Alguns estudos têm encontrado tendências significativas nas chuvas para o Nordeste do Brasil (NEB). Santos e Manzi (2011), por exemplo, verificaram aumento nas intensidades das secas e diminuição dos eventos de precipitação forte no período de 1971 a 2006 no estado do Ceará. Resultados semelhantes foram encontrados por Ferreira et al. (2017), que verificaram tendência decrescente da precipitação em uma região semiárida do estado de Pernambuco.

Para o estado do Maranhão, Silva et al. (2016) analisaram evidências de mudanças climáticas e encontraram que em algumas localidades houveram tendências crescentes da precipitação na estação chuvosa, e em outras, decrescentes na estação seca, no período analisado de 1977-2014, evidenciando que os períodos chuvosos e secos estão significativamente mais intensos. Oliveira et al. (2014) observaram resultados semelhantes e sugeriram que houve um aumento da amplitude da precipitação sazonal sobre o NEB, entre 1972-2002, com tendências negativas na primavera (estação seca) e positivas no outono (estação chuvosa).

Pesquisas mais recentes chamam atenção ao destacar que o NEB tem sido atualmente atingido pela maior seca severa das últimas décadas, em termos de duração, gravidade e recorrência (MARENGO et al., 2016; BRITO et al., 2017; MARENGO et al., 2017). De acordo com o Ministério da Integração (MI, 2017) foram 33,4 milhões de pessoas atingidas pela referida seca, durante 2012-2016, com uma estimativa de dano de R\$ 104 bilhões em investimentos públicos para mitigar impactos estabelecidos pelo governo federal.

Em decorrência dessas intensas estiagens, Medeiros et al. (2016) analisaram reservatórios hídricos no município de Caicó-RN, utilizando-se imagens de geoprocessamento, no período de 2009-2012. Esses autores verificaram que houve o desaparecimento da água em 57 reservatórios. O Itans, principal reservatório que abastece o referido município, registrou uma diminuição de 39,2% da bacia hidráulica em apenas 3 anos.

De acordo com Ferreira et al. (2017) a falta de água é uma realidade marcante, sobretudo no SANEB, onde esses autores ressaltam que trabalhos sobre avaliação do padrão climático por meio de

métodos estatísticos ainda são limitados. Uma das grandes limitações é que cientificamente são necessárias aplicações de técnicas estatísticas com dados a longo prazo (KIEM; AUSTIN, 2013), nos quais a maioria das séries temporais de precipitações disponíveis são relativamente curtas e dificultam um melhor entendimento sobre sua variabilidade.

Nesse contexto, o objetivo principal dessa pesquisa foi o de utilizar técnicas estatísticas de Mann-Kendall e Kruskal-Wallis no intuito de avaliar o comportamento das chuvas em Caicó nos últimos cem anos, para assim diagnosticar seu ritmo e possível detecção de mudança para o período analisado, cujas informações são de grande importância para a tomada de decisão em diversos setores da sociedade, especialmente sobre o comportamento climático e o planejamento e gestão dos recursos hídricos

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

A área de estudo compreende o município de Caicó, localizado na mesorregião Central Potiguar do estado do Rio Grande do Norte (Figura 1), com as respectivas Coordenadas Geográficas: 6° 27' 35" Sul, 37° 5' 56" Oeste e 153 m de altitude, cuja inserção está na região do SANEB. A fórmula climática para a localidade, conforme classificação de Köppen é do tipo tropical semiárido (BSh) (ALVARES et al., 2013). A temperatura média do ar para a localidade (Figura 1), varia de 26,9 °C (julho) a 29,8 °C (dezembro), cuja média anual é 28,4 °C.

Quanto a precipitação pluvial, em Caicó acumula-se anualmente 661,4 mm (em média), entretanto a distribuição é bastante irregular e concentra-se em curto intervalo de tempo (fevereiro a abril), até mesmo nesse período mais chuvoso, a variabilidade é elevada e obtém um coeficiente de variação superior a 64%.

Essa variabilidade associa-se às anomalias das TSM's no Pacífico e/ou no Atlântico (MOURA; SHUKLA, 1981; AMORIM et al., 2014) influenciando, por exemplo, o posicionamento do principal sistema meteorológico modulador da precipitação na região, a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) (MARENGO et al., 2011; HASTENRATH, 2012), assim como outros sistemas meteorológicos que contribuem para o quantitativo das chuvas, a citar: Vórtice Ciclônico de Altos Níveis (VCAN), Complexo Convectivo de Mesoescala (CCM), Linhas de Instabilidades (LI) e outros (MOLION; BERNARDO, 2002; FERREIRA; MELO, 2005, REBOITA et al., 2010; REBOITA et al., 2016).

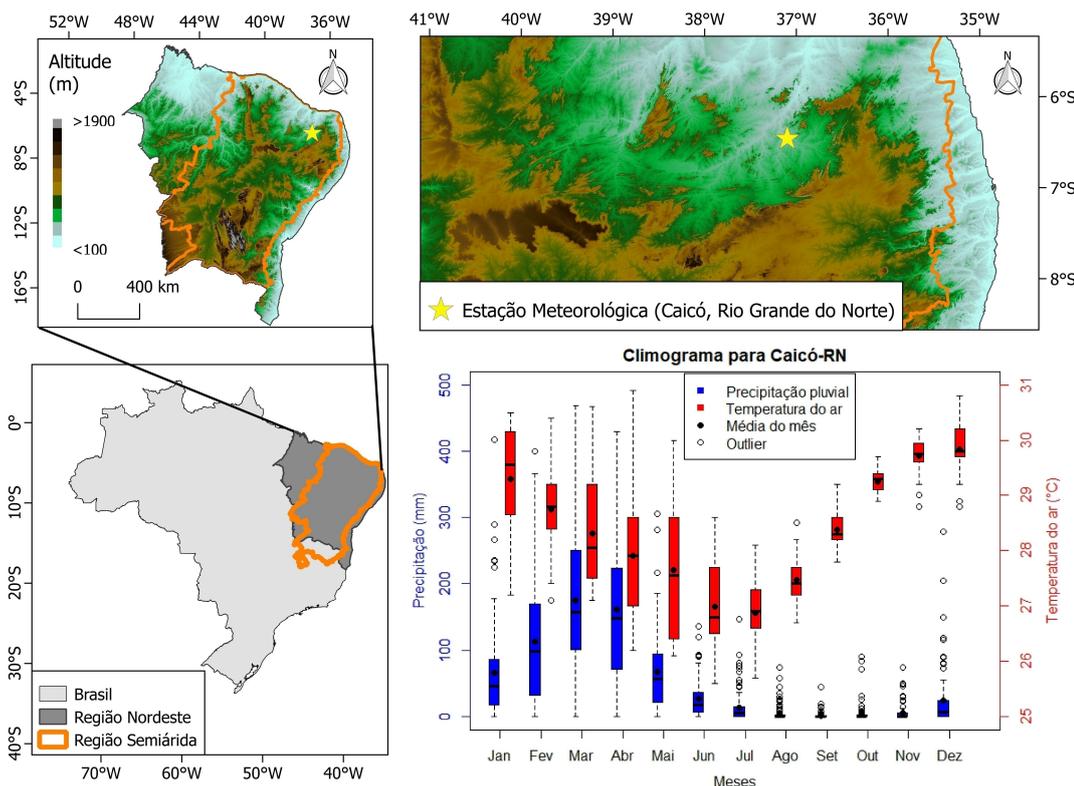


Figure 1 - Localização do município de Caicó inserido na região do Nordeste do Brasil com o respectivo Climograma.

Coleta e análise dos dados de precipitação

Os dados mensais e anuais da precipitação pluvial para Caicó correspondem a um período de 107 anos, 1911 a 2017, disponibilizado pelo Departamento Nacional de Obras Contra a Seca (SUDENE/DNOCS). De posse dos dados, foram estabelecidas as estatísticas descritivas (acumulados, médias, desvios padrão, quartis) da precipitação mensal, anual, decenal e de séries climáticas (de 30 em 30 anos).

Em seguida foram comparadas entre si no intuito de identificar a variabilidade da chuva, na referida localidade e nos diferentes intervalos de tempo, utilizando-se estatística inferencial não paramétrica para identificar se há tendências e/ou mudanças no comportamento médio da chuva com significância estatística.

Análise de tendência através do teste de Mann–Kendall

O teste não paramétrico de tendência em série temporal proposta por Mann-Kendall (MANN, 1945; KENDALL, 1975) foi utilizado para detectar possíveis tendências na série referente a um período secular da precipitação em Caicó, RN. Trata-se de um método não paramétrico por não fazer qualquer distinção quanto à forma da distribuição/população ao qual os dados são oriundos. A equação é dada por:

$$S = \sum_{i=2}^n \sum_{j=1}^{i-1} \text{sign} (x_j - x_i)$$

em que S é o resultado da soma das contagens de $(x_j - x_i)$; x_j é o primeiro valor após x_i , n é o número de dados da série temporal. Para cada par de dados são atribuídos os seguintes valores:

$$sinal = \begin{cases} +1 & \text{se } (x_j - x_i) > 0 \\ 0 & \text{se } (x_j - x_i) = 0 \\ -1 & \text{se } (x_j - x_i) < 0 \end{cases}$$

A distribuição de probabilidade da estatística S tende à normalidade quando há grandes amostras de observações (n), com média zero e variância dada por:

$$VAR(S) = \frac{1}{18} \left[n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^q t_p(t_p-1)(2t_p+5) \right]$$

em que t_p é o número de dados com valores iguais em certo grupo; q é o número de grupos contendo valores iguais na série de dados em um grupo p .

A estatística do teste de Mann-Kendall é baseada no valor da variável ZMK, calculado conforme a equação 4:

$$Z_{MK} = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{Var(S)}}, & \text{se } S > 0 \\ 0, & \text{se } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{Var(S)}}, & \text{se } S < 0 \end{cases}$$

Por meio de um teste bilateral, considerou-se um nível de significância (α) de 5%, ou seja, rejeitou-se a hipótese de ausência de tendência quando o valor-p foi inferior ao nível α .

Análise comparativa entre grupos através do teste de Kruskal-Wallis

O teste não paramétrico proposto por Kruskal-Wallis (KRUSKAL; WALLIS, 1952) é análogo ao teste F utilizado na Análise de Variância (ANOVA), entretanto para a aplicação da ANOVA deve-se atender os pressupostos de normalidade, independência e homocedasticidade, o teste H de Kruskal-Wallis (HKW) não impõe qualquer restrição sobre a comparação. Neste trabalho optou-se utilizar o teste HKW, em função de que a hipótese da distribuição de normalidade dos dados ter sido rejeitada a 1% de significância estatística, verificada pelo teste de Kolmogorov-Smirnov (valor-p

Como o teste HKW compara k amostras (pareadas ou não) partindo da hipótese nula de que as diferenças medianas dentro dos grupos não são significativas, nesta pesquisa foram formados grupos por décadas (1910, 1920, 1930... 2010) para verificar se houveram décadas que foram significativamente mais e/ou menos chuvosas, durante o período de 1911-2017. O mesmo foi analisado para grupos climáticos, ou seja, grupos com dados de precipitação acumulada anual, com exatamente 30 anos de dados cada, os grupos analisados referem-se aos 90 anos mais recentes, a citar: Clima_1 (1928 a 1957), Clima_2 (1958 a 1987), e Clima_3 (1988 a 2017). A hipótese nula é que não há diferenças significativas entre as medianas nos grupos decadais e/ou climatológicos da precipitação pluvial para Caicó, RN.

Na estatística do teste HKW não são detectados os valores médios por grupos que diferem entre si, portanto decidiu-se utilizar, como complemento, o teste de comparações múltiplas preconizado por

Tukey (1949) que consiste em definir diferenças significativas entre as médias (HOFFMANN, 2011).

Em todos os testes desenvolvidos neste estudo considerou-se um nível de significância estatística de 5% e/ou 1%, análises estas e construções de gráficos utilizando-se o software estatístico livre R Project, versão 3.3.1, disponível em <https://www.r-project.org/>.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na Figura 2 verifica-se as variabilidades mensais da precipitação observada com as respectivas médias. Nota-se que a estação chuvosa para Caicó concentra-se em três meses, fevereiro a abril, representando 67,85% do total anual (661,4 mm), nesse trimestre os valores médios mensais superam os 100 mm, destacando-se o mês de março como o mais chuvoso, com 174,4 mm. Tais resultados corroboram com as análises de Valadão et al. (2010) e Lucena et al. (2013), feitas para a mesma localidade. O período menos chuvoso ocorre de julho a novembro (5 meses), estação seca, quando os totais mensais não ultrapassam, em média, 14 mm.mês⁻¹ (Figura 2 e Tabela 1). Ao analisar os indícios de tendências nas séries temporais mensais, pelo teste de Mann-Kendall, identificou-se que não houveram tendências significativas, independente do mês, cujos valores-p foram sempre maiores que 0.20 (Tabela 1).

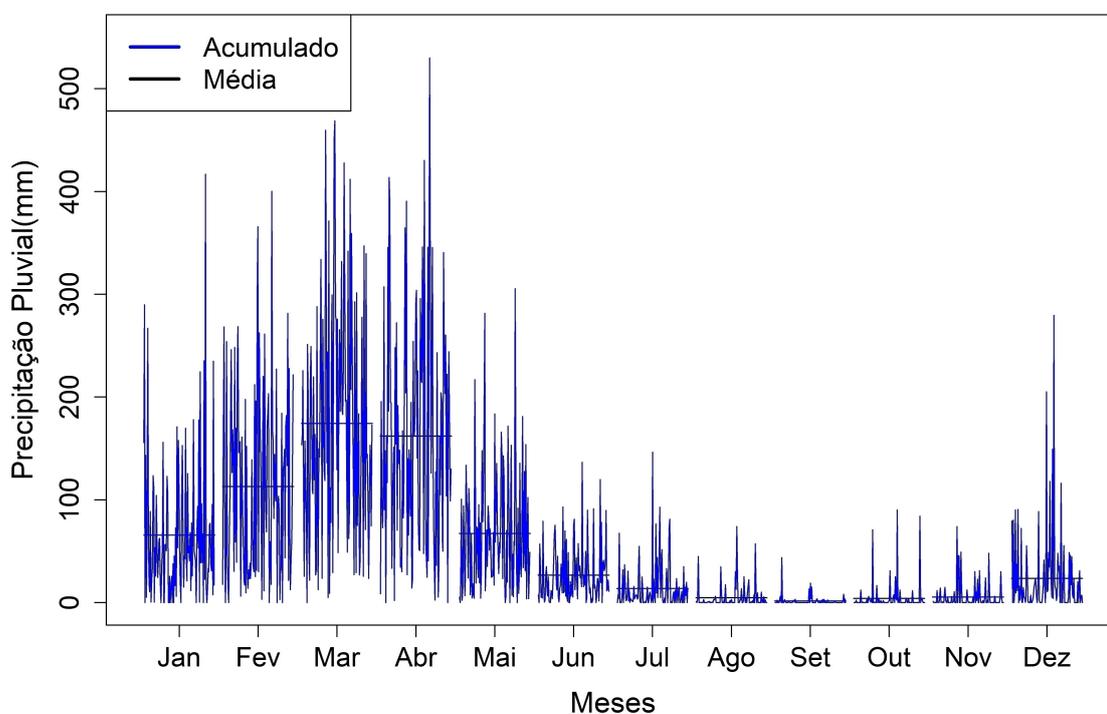


Figura 2 - Variabilidade intramensal com as respectivas médias da precipitação pluviométrica acumulada para Caicó, RN. Período:1911 a 2017.

As variações das chuvas em escala anual também foram verificadas. Na Figura 3 observa-se os valores acumulados médios anuais, a média \pm DP (1911 a 2017), e as médias móveis para 5 e 10 anos (para melhor visualizar indícios de tendências na série climatológica) em Caicó. Pode-se perceber que os respectivos pontos médios para as médias móveis tendem, obviamente, a suavizar a oscilação da série temporal e, conseqüentemente, identificar tendências de aumento e/ou diminuição, quando houver.

Constatou-se que a média anual da chuva em Caicó é na ordem de 661,4 mm com desvio padrão de 292,0 mm. Os três picos de acumulado anual em ordem decrescente ocorreram nos anos de 1974, 1985 e 1964 com valores respectivos de 1560,5; 1558,3 e 1350,7 mm. Observou-se ainda que ocorreu um acumulado anual igual ou superior a 900 mm em pelo menos uma vez em cada década, exceto para as décadas de 1910, 1950, 1990 e 2010.

Meses	Estatísticas			
	Média ± DP (mm)	CV (%)	Z calculado (Z_{MK})	Valor-p
Janeiro	65,6 ± 71,5	108,9	0,35	0,726
Fevereiro	113,0 ± 89,9	79,6	0,29	0,773
Março	174,4 ± 112,4	64,4	0,25	0,802
Abril	162,0 ± 112,9	69,7	0,34	0,732
Maiο	67,2 ± 60,1	89,4	0,94	0,346
Junho	26,6 ± 28	105,4	1,26	0,208
Julho	13,7 ± 23,0	168,1	0,22	0,827
Agosto	4,6 ± 11,5	248,3	1,02	0,307
Setembro	1,4 ± 5,0	346,4	-0,71	0,479
Outubro	4,0 ± 14,1	352,3	0,18	0,860
Novembro	5,3 ± 12,5	234,8	-0,64	0,519
Dezembro	23,5 ± 42,2	179,5	-1,19	0,234

Tabela 1 - Estatísticas das chuvas mensais (Média ± Desvio Padrão, Coeficiente de Variação, valor Z do teste de Mann-Kendall e os respectivos Valores-p) para Caicó-RN. Período: 1911 a 2017.

A partir das médias móveis foi possível verificar oscilações com aumento e/ou diminuição da precipitação, destacando-se um aumento da década de 1930 a 1960 e uma diminuição na década de 1970 a 1990, com exceção o ano chuvoso de 1985.

A partir do teste de Mann-Kendall foi detectado ausência de tendência significativa da variabilidade anual da chuva em Caicó, com valor-p = 0,619. Essa variabilidade da chuva, portanto, é uma característica inerente a condições diversas (localização geográfica, influência oceânica, condições atmosféricas), típicas da região de clima tropical semiárido e não, necessariamente a mudança do comportamento da chuva, havendo anos mais chuvosos e outros menos, com grande variabilidade temporal mensal e anual.

Os dados de precipitação também foram analisados por décadas. Obteve-se 11 grupos, com dez observações cada (dados de chuva acumulada anual), exceto para 1910 e 2010, cujas décadas faltaram 1 e 2 observações respectivamente (por indisponibilidade dos dados), entretanto não comprometeu na análise dos resultados.

Constatou-se que a variabilidade decadal da chuva em Caicó-RN, observada na Figura 4, demonstra ocorrências de décadas mais e outras menos chuvosas, houve também sequenciamento decrescente nas médias de chuvas, com duração de 40 anos, ocorridas entre 1960 a 1990.

Destaca-se, ainda, que as décadas mais secas foram as de 30, 50, 90 e 2010, em que 75% dos dados de chuvas obtiveram valores abaixo do esperado (661,4 mm). Por outro lado a década de 60 foi a mais chuvosa, nota-se que nesta década as chuvas ficaram sempre acima do valor médio da série. A década seguinte (70) foi a segunda mais chuvosa e apresentou maior variabilidade (amplitude de 1105,4mm) comparada a década de 60 (686,8 mm).

Ao aplicar a estatística H do teste não paramétrico de Kruskal-Wallis ($HWK=24,2$), observou-se que houve diferença significativa da chuva (valor-p < 0,01) em pelo menos uma das décadas.

A partir da técnica de comparações múltiplas, foi possível identificar que as décadas mais secas (30, 50, 90 e 2010) diferiram significativamente ao nível de 1% quando se comparou com as duas décadas mais chuvosas (60 e 70). Destaca-se que essas diferenças foram entre as décadas: 30 e 60; 50 e 60; 50 e 70; 90 e 60; 90 e 70; 2010 e 60.

Ressalta-se que as quatro décadas que foram significativamente menos chuvosas, ocorreram em períodos alternados, sem indícios de tendência e/ou persistência no tempo. Observou-se que duas décadas entre as quatro menos chuvosas ocorreram na primeira metade do século (1930 e 1950) e outras duas na segunda metade secular (1990 e 2010). Isso demonstra que há uma elevada irregularidade da chuva no semiárido, em que as décadas mais secas foram divididas por duas décadas mais chuvosas (60 e 70).

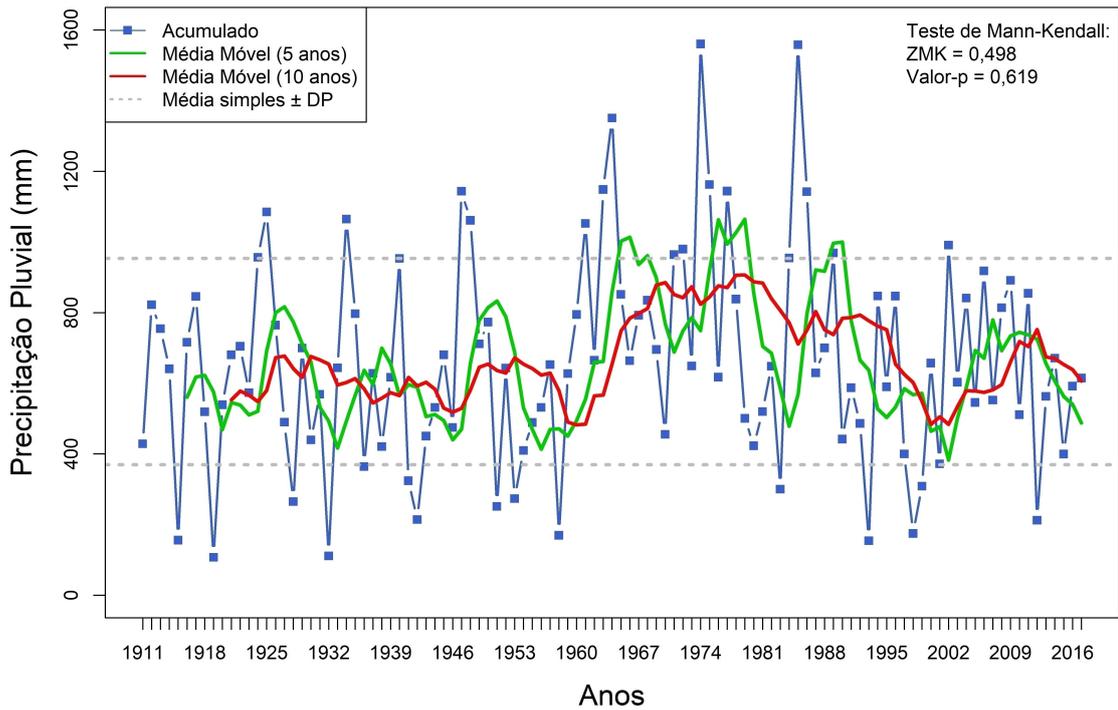


Figura 3 - Variabilidade anual da precipitação pluvial acumulada com as respectivas médias: simples, móveis (com período de 5 e 10 anos) e os respectivos intervalos do desvio da média (média simples \pm Desvio Padrão) para Caicó, RN. Período:1911 a 2017.

Análises em diferentes períodos climáticos também foram realizadas, totalizando 3 grupos distintos com 30 anos de dados cada, para verificar se houve diferenças significativas, em pelo menos uma das séries climatológicas.

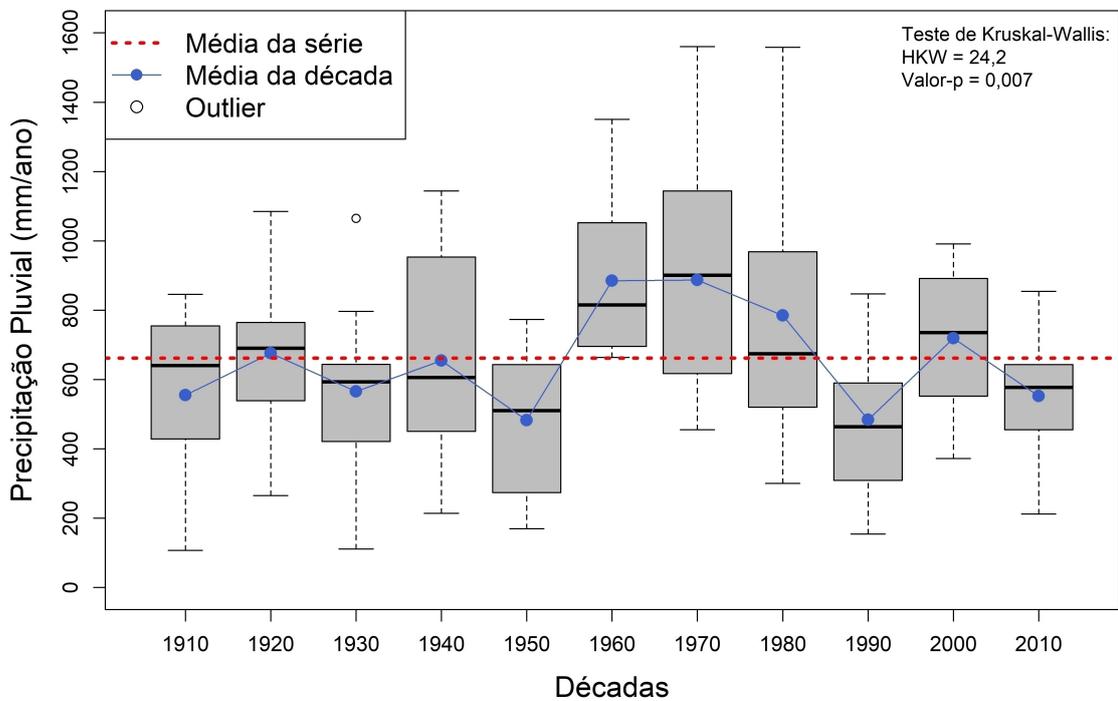


Figura 4 - Variabilidade, por décadas, da precipitação pluvial acumulada anual para Caicó, RN. Período:1911 a 2017.

Na Figura 5A são identificadas a variabilidade do acumulado anual das últimas três séries climáticas e na Figura 5B são observadas as respectivas diferenças, em média, com os intervalos de confiança, para cada período: 1928 a 1957 (Clima_1), 1958 a 1987 (Clima_2) e 1988 a 2017 (Clima_3). Nota-se que as médias dos acumulados anuais para as diferentes séries climáticas em Caicó foram de 572,9 mm (Clima_1), 823,1 mm (Clima_2) e 603,6 mm (Clima_3), apresentando-se um aumento seguido por uma diminuição das chuvas, em média. O teste H de Kruskal-Wallis (HKW=10,60) identificou que em pelo menos uma série climática houve diferença significativa (valor-p < 0,01) e a partir da análise de comparações múltiplas foram verificadas que a climatologia no período de 1958-1987 (Clima_2) foi significativamente mais chuvosa ao nível 99% de confiança estatística, quando se comparou com o Clima_1 e Clima_3.

As diferenças médias estatisticamente significativas das climatologias foram detectadas, através do teste de Tukey (Figura 5B), entre: o Clima_1 e Clima_2 (aumento de 250,2 mm) e o Clima_2 e Clima_3 (diminuição de 219,5 mm). Para o Clima_3, nota-se que foi suavemente mais chuvoso que o Clima_1, com diferença na ordem de 30,7 mm, porém não foi significativa quando se observa que o intervalo de confiança contempla o valor zero da diferença, isso demonstra que a climatologia da chuva atual (Clima_3) apresenta, em média, semelhança com o clima passado (Clima_1).

Os resultados apresentados neste trabalho demonstram que a distribuição das chuvas mensais ao longo do ano é irregular, com período chuvoso de 3 meses, de fevereiro a abril, corroborando portanto com os resultados encontrados por Molion e Bernardo (2002), Hastenrath (2012) e Marengo et al. (2017), esses autores afirmam que essas chuvas ocorrem quando a ZCIT migra mais ao Sul do equador ocasionando maior intensidade de chuvas no Norte do SANEB, em torno de março-abril, em seguida, quando a ZCIT começa a migrar mais ao Norte, as chuvas começam a enfraquecer dando início ao período seco.

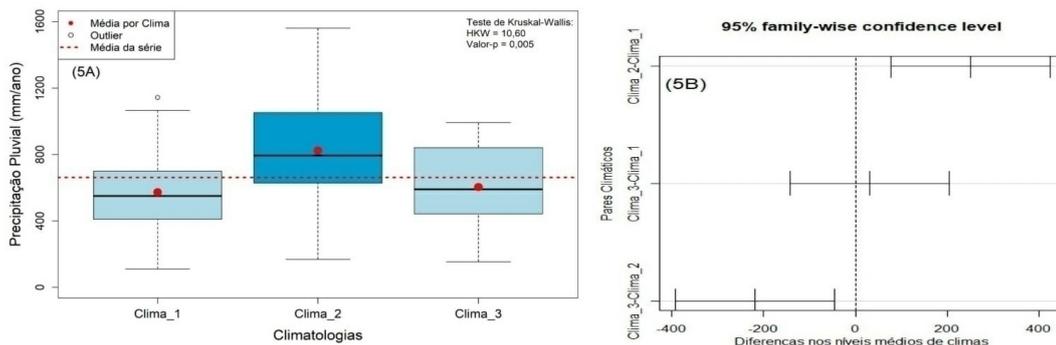


Figure 5 - Boxplot das séries climáticas da precipitação (5A) e intervalo de confiança de 95% para a diferença temporal das médias (5B) para séries climáticas no período de 1928 a 1957 (Clima_1), 1958 a 1987 (Clima_2) e 1988 a 2017 (Clima_3) para Caicó, RN.

De acordo com Nobre e Shukla (1996), Andreoli e Kayano (2007) e Kayano e Capistrano (2013) a oscilação da ZCIT, é influenciada pela anomalia da Temperatura da Superfície do Mar (TSM) no Pacífico e no Atlântico. Essa influência, conseqüentemente, afeta a quantidade e qualidade das chuvas no norte do SANEB. Em Caicó, as maiores anomalias negativas de chuvas ocorreram em 1915, 1919, 1932, 1958, 1993, 1998 das quais as grandes secas de 1915-1919-1932 no NEB são historicamente conhecidas e foram marcadas por flagelos na agricultura, migrações e mortes devido aos seus severos impactos, segundo respectivamente, Queiroz (2004), Melo (1999) e Rios (1998).

Desses seis anos mais secos em 50% ocorreram o fenômeno El Niño (1932, 1958, 1998) isso demonstra que nem todo ano de seca é causado pelo referido fenômeno e que nem todo El Niño ocasiona seca, concordando com resultados encontrados por Kane (1997) e Marengo et al. (2013). Destaca-se, por exemplo, que em 2012 ocorreu La Niña e mesmo assim registrou-se seca (RODRIGUES; MCPHADEN, 2014) que também foi evidenciado neste estudo para Caicó, cujos meses da estação chuvosa apresentaram fortes anomalias negativas e o acumulado anual alcançou apenas 212,1

mm, ou seja, 32,1% da média esperada.

Vários estudos têm confirmado que é o Dipolo do Atlântico que governa o deslocamento meridional da ZCIT sobre o NEB (MOURA; SHUKLA, 1981; HASTENRATH, 1990, 2012; NOBRE; SHUKLA, 1996; UVO et al., 1998; RODRIGUES; MCPHADEN, 2014; MARENGO et al. 2013, 2016). A exemplo de 2012 que se esperaria um ano chuvoso acima do normal para Caicó (por se um ano de La Niña), porém o Atlântico Norte estava mais aquecido, de acordo com Rodrigues e McPhaden (2014), o que contribuiu para o deslocamento da ZCIT mais ao norte e menos chuva no NEB. Marengo et al. (2017) concordam e complementam ao afirmarem que as secas dos últimos anos começaram a se intensificar em 2012 e estão relacionadas à maior TSM no Atlântico Norte que favoreceu menores precipitações no NEB, esses últimos autores acrescentam ainda que a situação com a chegada do forte El Niño, em 2015-2016, piorou ainda mais às condições de seca na região.

Para Caicó não foi observada tendência significativa em séries pluviométricas mensais e anuais, através do teste de Mann-Kendall, portanto difere dos resultados encontrados por Santos e Manzi (2011) para o estado do Ceará, Oliveira et al. (2014) para diferentes pontos no NEB, Silva et al. (2016) para o Maranhão e Ferreira et al. (2017) para Pernambuco. Esses autores obtiveram resultados que apresentaram tendência significativa das chuvas, porém nem todos concordaram quanto ao sinal, demonstrando que em algumas localidades houveram aumentos e outras diminuições e/ou em uma mesma região houveram localidades com sinais opostos. Esses autores analisaram séries de dados relativamente curtas, a partir da década de 1960 e/ou 1970. Aqui analisamos uma série de dados secular, o que gerou portanto, um melhor entendimento da variabilidade da chuva a longo prazo. Ressalta-se que os resultados para Caicó seriam diferentes se os dados analisados fossem menores, havendo uma tendência de diminuição significativa a 1% da chuva entre os anos 1960 e 2000, e uma tendência de acréscimo da precipitação se a análise fosse feita entre 1930 e 1980, com 99% de confiança.

Por outro lado os resultados aqui apresentados corroboram com o trabalho de Almeida e Cabral Júnior (2014) que concluíram, para a Paraíba, que a variabilidade interdecadal da chuva não se refere a uma mudança climática, havendo décadas mais e outras menos chuvosas. Os resultados também convergem quanto a década mais seca ter sido 1990, considerando-se o mesmo período analisados entre os referidos autores (1970-2009), porém discorda quanto a mais chuvosa. Marengo et al. (2013) ao analisarem as chuvas a partir de 1960 no NEB encontraram uma ligeira diminuição da precipitação após a década de 1970, o que concorda parcialmente com os resultados encontrados nesta pesquisa, uma vez que houve diminuição sequenciada entre a década de 70 a 90, entretanto a sequência de diminuição foi interrompida na década de 2000, quando essa registrou uma das décadas mais chuvosas dos últimos 107 anos.

CONCLUSÕES

A partir dos resultados desta pesquisa, pôde-se concluir que as oscilações de precipitação nas diferentes escalas de tempo (mensal, anual, decenal e climatológica), podem estar muito mais associadas a uma variabilidade natural do que a uma mudança climática, tomando-se por base um município do semiárido brasileiro com série histórica superior a um século de chuva.

Através do teste de Mann-Kendall, foi identificado que não houve tendência significativa a 1% nas séries mensais e anuais da precipitação pluvial, no período analisado de 107 anos, entretanto quando se considerou séries separadamente, observou-se que houveram tendências significativas a 1% de aumento entre 1930-1980 e de diminuição de 1960-2000, evidenciando-se uma forte variabilidade do regime pluvial para a região.

Em termos decadais e por climatologias foram observadas diferenças significativas a 1%, através do teste de Kruskal-Wallis, excepcionalmente quando se comparou as décadas e/ou as climatologias mais chuvosas com as mais secas. Foi verificado que as décadas de 1930, 1950, 1990 e 2010 foram as mais secas, e o Clima_2 (1958-1987) foi significativamente mais chuvoso comparado aos Clima_1 e Clima_3. O Clima atual (Clima_3) foi mais chuvoso que o Clima_1 (mas não significativo), portanto, constatou-se que essas variabilidades ocorreram de maneira dispersas e não persistentes.

Sendo o município de Caicó geograficamente semelhante a tantos outros municípios localizados na depressão sertaneja dos estados do Rio Grande do Norte, Ceará, Paraíba e Pernambuco, acredita-se

que estes resultados possam servir de suporte para outras localidades que não possuam séries climáticas seculares, tampouco estudos estatísticos das chuvas. Assim sendo, pode-se estendê-lo a níveis regionais onde as características geográficas dos municípios sejam semelhantes, a exemplo do relevo, altitude, continentalidade e cobertura vegetal.

Porém, cabe destacar que a não tendência e/ou não persistência detectadas no comportamento das precipitações, não isentam a necessidade de maiores investimentos em políticas públicas no SANEB e, a seca da década mais recente, por exemplo, mesmo não sendo a pior (em termos de déficit de chuvas), obteve grandes impactos podendo ter sido intensificada conjuntamente com um período menos chuvoso que a média esperada e um substancial aumento da demanda dos recursos hídricos devido ao crescimento populacional, maior necessidade de produção agrícola de subsistência e o agravamento da insustentabilidade hídrica.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS/SUDENE) pela disponibilidade dos dados utilizados neste trabalho.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, H.A.; CABRAL JÚNIOR, J.B. Variabilidades Sazonais e Interdecadais da Chuva nas Microrregiões Geográficas do Estado da Paraíba. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v.7, n.5, p.846-858, 2014.
- ALVARES, C.A.; STAPE, J.L.; SENTELHAS, P.C.; GONÇALVES, J.L. de M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v.22, p.711-728, 2013.
- AMORIM, A.C.B.; CHAVES, R.R.; SILVA, C.M.S. Influence of the tropical Atlantic Ocean's sea surface temperature in the Eastern Northeast Brazil precipitation. *Atmospheric and Climate Sciences*, v. 4, n. 05, p. 874, 2014.
- ANDREOLI, R.V.; KAYANO, M.T. A importância relativa do Atlântico Tropical Sul e Pacífico Leste na variabilidade de precipitação do Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 22, n.1, 63-74, 2007.
- ARAÚJO, J. Barragens no Nordeste do Brasil: Experiência do DNOCS em Barragens na Região Semiárida. Departamento Nacional de Obras contra as Secas, Ministério do Interior, p. 15. 1982.
- Articulação do Semiárido (ASA). Brasil. Disponível em: <http://www.asabrasil.org.br/>. Acessado em 20 de Dez de 2016.
- BARBOSA, H. A.; LAKSHMI KUMAR, T. V. Influence of rainfall variability on the vegetation dynamics over Northeastern Brazil. *Journal of Arid Environments*, v. 124, p. 377–387, 2016.
- BRITO, S. S. B.; CUNHA, A. P. M. A.; CUNNINGHAM, C. C.; et al. Frequency, duration and severity of drought in the Semiarid Northeast Brazil region. *International Journal of Climatology*, 2017.
- CABRAL JÚNIOR, J. B.; BEZERRA, B. G. Análises da evapotranspiração de referência e do índice de aridez para o Nordeste do Brasil. *Revista de Geociências do Nordeste*, v. 4, n. 1, p. 71-89, 3 jul. 2018.
- CEPED/UFSC. Atlas brasileiro de desastres naturais: 1991 a 2012 / Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres. 2. ed. rev. ampl. – Florianópolis: CEPED UFSC, 2013. Volume Rio Grande do Norte. 126 p.
- EAKIN, H.C; LEMOS, M.C; NELSON, D.R. Differentiating capacities as a means to sustainable climate change adaptation. *Global Environmental Change*, v.27, 1–8, 2014.
- FERREIRA, A.G.; MELLO, N.G.S. Principais sistemas atmosféricos atuantes sobre a região Nordeste do Brasil e a influência dos oceanos Pacífico e Atlântico no clima da região. *Revista Brasileira de*

Climatologia, v. 1, n. 1, 2005.

FERREIRA, P.S.; GOMES, V.P.; GALVÍNIO, J.D.; SANTOS, A.M.; SOUZA, W.M. Avaliação da tendência espaço-temporal da precipitação pluviométrica em uma região semiárida do estado de Pernambuco. *Revista Brasileira de Climatologia*, v.21, 2017.

Geo Brasil. Recursos hídricos: componente da série de relatórios sobre o estado e perspectivas do meio ambiente no Brasil. Ministério do Meio Ambiente; Agência Nacional de Águas; Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente. Brasília: MMA; ANA. GEO Brasil Série Temática: GEO Brasil Recursos Hídricos, 264 p., 2007.

GREISCHAR, L.; HASTENRATH, S. The rainy seasons of the 1990s in northeast Brazil: Real-time forecasts and verification. *Journal of Climate*, v. 13, n. 21, p. 3821–3826, 2000.

GUTIERREZ, A. P. A.; ENGLE, N. L.; DE NYS, E.; MOLEJ??N, C.; MARTINS, E. S. Drought preparedness in Brazil. *Weather and Climate Extremes*, v. 3, p. 95–106, 2014.

HASTENRATH, S. Prediction of Northeast Brazil rainfall anomalies. *Journal of Climate*, v.3, p.893-904, 1990.

HASTENRATH, S. Exploring the climate problems of Brazil's Nordeste: A review. *Climatic Change*, v. 112, n. 2, p. 243–251, 2012.

HOFFMANN, R. *Estatística para economistas*. 4ª Ed. rev. e ampl., São Paulo: Cengage Learning, 2011.

KAYANO, M.T.; CAPISTRANO, V.B. How the Atlantic multidecadal oscillation (AMO) modifies the ENSO influence on the South American rainfall. *International Journal of Climatology*, v.34, n.1, p.162-178, 2013.

KANE, R .P. Prediction of droughts in North-east Brazil: Role of ENSO and use of Periodicities. *International Journal of Climatology*, v.17, p. 655-665, 1997.

KENDALL, M. G., *Rank Correlation Measures*. Ed. Charles Griffin. London, 1975

KIEM, A.S.; AUSTIN, E.K. Drought and the future of rural communities: Opportunities and challenges for climate change adaptation in regional Victoria, Australia. *Global Environmental Change*, v.23, n.5, p.1307–1316, 2013.

KRUSKAL, W.H.; WALLIS, W.A. Use of ranks in on-criterion variance analyses. *Journal of the American Statistical Association*, v.47, n.260, p.583-621, 1952.

LUCENA, R.L.; CABRAL JÚNIOR, J.B.; STEINKE, E.T. Comportamento Hidroclimatológico do Estado do Rio Grande do Norte e do Município de Caicó. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 33, n.3, p. 485-496 2018.

LUCENA, R. L.; FERREIRA, A. M.; FERREIRA, H. F. P. A.; STEINKE, E. T. Variabilidade climática no município de Caicó/RN: secas e chuvas num arquétipo do clima semiárido do Nordeste brasileiro. *CLIMEP – Climatologia e Estudos da Paisagem*. Rio Claro (SP) – v.8, n.2, p. 67-89, 2013.

MAGALHÃES, A et al. The effects of climate variations on agriculture in Northeast Brazil. In: Parry M, Carter T and Konijn N (Eds), *The Impact of Climate Variations on Agriculture*, v.2. Assessments in semiarid regions, Kluwer Academic Publishers, Amsterdam, p. 277-304, 1988.

MANN, H. B. Non-parametric tests against trend. *Econometrica* 13, 245-259, 1945.

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-PB, pp. 383- 416, 2011.

MARENGO, J.A.; ALVES, L.M.; SOARES, W.R.; RODRIGUEZ, D.A.; CAMARGO, H.; RIVEROS, M.P.; PABLO, A.D. Two contrasting seasonal extremes in tropical South America in 2012: Flood in Amazonia and drought in Northeast Brazil. *Journal of Climate*, v.26, n.22, p.9137-9154, 2013.

- MARENGO, J.A.; BERNASCONI, M. Regional differences in aridity/drought conditions over Northeast Brazil: presente state and future projections. *Climatic Change*, v.129, n.1-2, p.103–115, 2015.
- MARENGO, J.A.; CHOU, S.C.; KAY, G.; ALVES, L.M.; PESQUERO, J.F.; SOARES, W.R.; SANTOS, D.C.; LYRA, A.A.; SUEIRO, G.; BETTS, R. Development of regional future climate change scenarios in South America using the Eta CPTec/HadCM3 climate change projections: climatology and regional analyses for the Amazon, São Francisco and the Parana River basins. *Climate Dynamics*, v.38, n.9-10, 1829-1848, 2012.
- MARENGO, J. A.; ALVES, L. M.; ALVALA, R. C.; et al. Climatic characteristics of the 2010-2016 drought in the semiarid Northeast Brazil region. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, p. 1–13, 2017.
- MARENGO, J. A.; TORRES, R. R.; ALVES, L. M. Drought in Northeast Brazil???past, present, and future. *Theoretical and Applied Climatology*, p. 1–12, 2016.
- MARES, M.A.; WILLIG, M.R.; LACHER JÚNIOR., T.E. The Brazilian caatinga in South American zoogeography: tropical mammals in a dry region n. *Journal of Biogeography*. v. 12, n. , 57-69, 1985.
- MEDEIROS, L.C.; GUEDES, J.C.F.; OLIVEIRA, A.M.; COSTA, D.F.S. Uso de SIG na análise dos recursos hídricos no município de Caicó (RN). *Geoambiente On-line*, n.27, p.134-149, 2016.
- MELO, J.C. O Fenômeno El Niño e as Secas no Nordeste do Brasil. In: *Raízes*, ano XVIII, nº20. 1999.
- Ministério da Integração Nacional (MI) - Brasil. Programa Água para todos. Disponível em: <http://www.mi.gov.br/>. Acessado em 15 de out de 2017.
- MMA – Ministério do Meio Ambiente do Brasil. Atlas das áreas susceptíveis à desertificação do Brasil. SANTANA, Marcos Oliveira (Org). Brasília: Ed: MMA - Ministério do Meio Ambiente, 2007.
- MOLION, L. C. B.; BERNARDO, S. O. Uma revisão da dinâmica das chuvas no nordeste brasileiro. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 17, p. 1-10, 2002.
- MOURA, A.D.; SHUKLA, J. On the Dynamics of Droughts in Northeast Brazil: Observations, Theory and Numerical Experiments with a General Circulation Model. *Journal of the Atmospheric Sciences*, v.38, p. 2653-2675, 1981.
- NOBRE, P.; SHUKLA, J. Variations of sea surface temperature, wind stress, and rainfall over the tropical Atlantic and South America. *Journal of Climate*, v.9, n.4, p.2464-2479, 1996.
- OLIVEIRA, P. T.; SILVA, C. M. S.; LIMA, K. C. Linear trend of occurrence and intensity of heavy rainfall events on Northeast Brazil. *Atmospheric Science Letters*, v. 135, p. 598- 617, 2014.
- PAREDES, F.J., BARBOSA, H.A., GUEVARA, E. Análisis espacial y temporal de las sequías en el nordeste de Brasil. *Agriscientia*, v. 32, n.1, 57-67, 2015.
- QUEIROZ, R. de. *O Quinze*. 77ª ed. Rio de Janeiro: José Olympio, 2004.
- REBOITA, M.S.; GAN, M. A.; ROCHA, R. P.; AMBRIZZI, T. Regimes de precipitação na América do Sul: uma revisão bibliográfica. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 25, n. 2, 2010.
- REBOITA, M.S.; RODRIGUES, M.; ARMANDO, R.P.; FREITAS, C.; MARTINS, D.; MILLER, G. Causas da semi-aridez do Sertão nordestino. *Revista Brasileira de Climatologia*, v. 19, 2016.
- RIOS, K.S. Isolamento e Poder: Fortaleza e os Campos de Concentração na Seca de 1932. (Dissertação) Mestrado em História. Pontifícia Universidade Católica de São Paulo. São Paulo, 1998.
- RODRIGUES, R.R.; MCPHADEN, M.J. Why did the 2011-2012 La Niña cause a severe drought in the Brazilian Northeast? *Geophysical Research Letters*, v.41, n.3, p.1012-1018, 2014.
- SALAZAR, L.F.; NOBRE, C.A.; OYAMA, M.D. Climate change consequences on the biome distribution in tropical South America. *Geophysical Research Letters*, v.34, n.9, 1-6. 2007.

SANTOS, C. A. C. DOS; MANZI, A. O. Eventos Extremos de Precipitação no Estado do Ceará e Suas Relações Com a Temperatura dos Oceanos Tropicais. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 26, n. 1, p. 157–165, 2011.

SILVA, F. B.; SANTOS, J.R.N.; FEITOSA, F.E.C.S.; SILVA, I.D.C.; ARAÚJO, M.L.S.; GUTERRES, C.E.; SANTOS, J.S.; RIBEIRO, C.V.; BEZERRA, D.S.; NERES, R.L. Evidências de mudanças climáticas na região de transição Amazônia-Cerrado no Estado do Maranhão. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 31, n. 3, p. 330–336, 2016.

SOUZA, D. C.; OYAMA, M. D. Climatic consequences of gradual desertification in the semi-arid area of Northeast Brazil. *Theoretical and Applied Climatology*, v. 103, n. 3–4, p. 345–357, 2011.

TREWARTH G.T. *The Earth's problem climates*. University of Wisconsin Press, Madison, p 371, 1962.

TUKEY, J.W. One degree of freedom for non-additivity. *Biometrics*, v.5, p.232-242, 1949.

UVO, C.B.; REPELLI, C.A.; ZEBIAK, S.E.; KUSHNIR, Y. The Relationship between Tropical Pacific and Atlantic SST and Northeast Brazil Monthly Precipitation. *Journal of Climate*, v.11, p.551-562, 1998.

VALADÃO, C. E. A; OLIVEIRA, P. T.; SCHMIDT, D. M.; SILVA, B. K. N.; BARRETO N. J.C.; CORREIA FILHO, W. L.F.; JESUS E. S.; LOPO, A.B.; SANTOS A.S.; PINHEIRO, J.U.; MATTOS, A. Classificação climática da microrregião do Seridó/RN. In: XVI Congresso Brasileiro de Meteorologia: Anais.. Belém: CBMET, Sociedade Brasileira de Meteorologia, 2010.

VIEIRA, R.M.S.P; TOMASELLA, J.; ALVALÁ, R.C.S; SESTINI, M.F.; AFFONSO, A.G.; RODRIGUEZ, D.A.; BARBOSA, A.A.; CUNHA, A.P.M.A.; VALLES, G.F.; CREPANI, E.; OLIVEIRA, S.B.P; SOUZA, M.S.B.; CALIL, P.M.; CARVALHO, M.A.; VALERIANO, D.M.; CAMPELLO, F.C.B.; SANTANA, M.O. Identifying areas susceptible to desertification in the Brazilian northeast. *Solid Earth*, v.6, p.347–360, 2015.