ANÁLISES ESTATÍSTICAS DA PRECIPITAÇÃO E TEMPERATURA DO AR EM AMBIENTES SEMIÁRIDOS

STATISTICAL ANALYSIS OF PRECIPITATION AND AIR TEMPERATURE IN SEMI-ARID ENVIRONMENTS

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE PRECIPITACIÓN Y TEMPERATURA DEL AIRE EN AMBIENTES SEMIÁRIDOS

Jório Bezerra Cabral Júnior
Doutor em Ciências Climáticas (PPGCC/UFRN). Professor do Instituto de Geografia, Desenvolvimento e Meio Ambiente (IGDEMA) da Universidade Federal de Alagoas (UFAL)
jorio.cabral@gmail.com

Rebecca Luna Lucena
Doutora em Geografia (UnB). Professora do Departamento de Geografia do Centro de Ensino Superior do Seridó (DGC/CERES) da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN)
rebecaosvaldo@yahoo.com.br

RESUMO

O objetivo principal neste trabalho foi aplicar técnicas estatísticas para analisar a variabilidade da precipitação e temperatura média do ar em Campina Grande, Paraíba e Petrolina, Pernambuco. Para isso utilizaram-se dados mensais das referidas variáveis de ambas as localidades, disponibilizados pela Empresa Brasileira de Agropecuária (EMBRAPA), no período de 1977 a 2014. De posse dos dados, aplicou-se estatísticas descritivas (média, mediana, desvio padrão e anomalias) e inferenciais (T-Student, Mann-Kendall e ANOVA) para caracterizar e identificar diferenças climáticas entre as localidades e a variabilidade dentro da localidade. Entre os principais resultados destacam-se que, em termos médios Campina Grande é mais chuvosa e Petrolina é mais quente, com significância estatística de 5%. A distribuição das chuvas também é distinta, em Campina Grande o período mais chuvoso ocorre de março a julho e em Petrolina as chuvas se concentram entre dezembro a abril. A temperatura média do ar em Campina Grande apresentou tendência de aumento nas quatro estações do ano, com significância estatística de 5%. As aplicações estatísticas foram cruciais para análises e obtenção dos resultados climatológicos.

Palavras–chave: climatologia; chuva; temperatura; região semiárida; testes de hipótese.

ABSTRACT

The main objective of this work was to apply statistical analyzes to analyze the variability of precipitation and average air temperature in *Campina Grande*, *Paraíba* and *Petrolina*, *Pernambuco*. For this, monthly data of these variables from both locations, made available by the Brazilian Agricultural Company (EMBRAPA), in the period from 1977 to 2014 were used. With the data in hand, descriptive statistics were applied (mean, median, standard deviation and anomalies) and inferential (T-Student, Mann-Kendall and ANOVA) to characterize and identify climatic differences between localities and variability within the locality. Among the main results stand out that, in average terms, *Campina Grande* is rainier and Petrolina is warmer, with a statistical significance of 5%. The distribution of rainfall is also distinct, in *Campina Grande* the rainiest period occurs from March to July and in *Petrolina* the rains are concentrated between December and April. The average air temperature in Campina Grande showed a tendency to increase in the four seasons of the year, with a statistical significance of 5%. Statistical applications were crucial for analyzing and obtaining climatological results.

Keywords: climatology; rain; temperature; semiarid region; hypothesis tests.

RESUMEN

El objetivo principal de este trabajo fue aplicar análisis estadísticos para analizar la variabilidad de la precipitación y la temperatura promedio del aire en Campina Grande, Paraíba y Petrolina, Pernambuco. Para ello, se utilizaron datos mensuales de estas variables de ambas localidades, puestos a disposición por la Empresa Agropecuaria Brasileña (EMBRAPA), en el período de 1977 a 2014. Con los datos en mano, se aplicó estadística descriptiva (media, mediana, desviación estándar y anomalías) e inferenciales (T-Student, Mann-Kendall y ANOVA) para caracterizar e identificar diferencias climáticas entre localidades y variabilidad dentro de la localidad. Entre los principales resultados se destaca que, en términos promedio, Campina Grande es más lluviosa y Petrolina es más cálida, con una significancia estadística del 5%. La distribución de las lluvias también es distinta, en Campina Grande el período más lluvioso ocurre de marzo a julio y en Petrolina las lluvias se concentran entre diciembre y abril. La temperatura promedio del aire en Campina Grande mostró una tendencia a aumentar en las cuatro estaciones del año, con una significancia estadística del 5%. Las aplicaciones estadísticas fueron cruciales para analizar y obtener resultados climatológicos.

Palabras clave: climatología; lluvia; la temperatura; región semiárida; pruebas de hipótesis.

INTRODUÇÃO

O estudo dos elementos climáticos é multidisciplinar e complexo, envolvendo fenômenos físicos e químicos no campo da mecânica, da termodinâmica, da ótica e do magnetismo, dentre outras disciplinas. O Sol é o principal emissor de radiação eletromagnética para o planeta Terra, e a partir da sua interação com os componentes da atmosfera e da superfície terrestre, originam os mecanismos de absorção, reflexão ou transmissão dessa energia, determinando o sistema climático (OLIVEIRA et al., 2001). Assim, a interação da energia solar com a atmosfera e a superfície terrestre causa variações na temperatura e no ciclo da água, e, portanto, na precipitação.

No território brasileiro, país predominantemente tropical, observa-se contrastes climáticos na distribuição da precipitação inter e intrarregional (ALVARES et al., 2014). O maior exemplo é o Nordeste do Brasil (NEB), que na área Semiárida são registrados, com maior frequência, acumulados de precipitação inferiores a 800 mm/ano, e, na costa leste do NEB chove de duas até cinco vezes mais (KAYANO; ANDREOLI, 2009; SILVA et al, 2011). Em termos de temperatura do ar, ocorre uma menor variabilidade comparada à precipitação, entretanto, as elevadas temperaturas do ar associadas a intensa irregularidade da precipitação estão na gênese da semiaridez da Região Semiárida do Brasil (RSB), que tem historicamente gerado conflitos de ordem hídrica na região, daí a importância de seu entendimento.

A temperatura do ar e a precipitação são as variáveis mais discutidas nos estudos do tempo atmosférico (AYOADE, 2007). A temperatura do ar "é definida em termos relativos tomando-se por base o grau de calor que um corpo possui" (AYOADE, 2007, p. 50). A precipitação, por sua vez, ocorre quando a força gravitacional supera a força que mantém a umidade suspensa no ar, e então essa atinge o solo em forma líquida ou sólida (TORRES; MACHADO, 2011). O calor ou o frio de uma substância é medida através de termomêtros e seus valores são expressos em graus de temperatura enquanto a precipitação pluvial é medida por pluviômetros e geralmente indicada em milímetros (FORSDYKE, 1978). Esses elementos climáticos têm sido analisados historicamente através de técnicas estatísticas que buscam organizar dados numéricos, interpretá-los e extrair conclusões dos mesmos (REBOITA, 2005). A aplicação de técnicas estatísticas

possui importância de destaque que permite concluir informações acerca dos dados em análise (FRANCISCO, 1995, p.11).

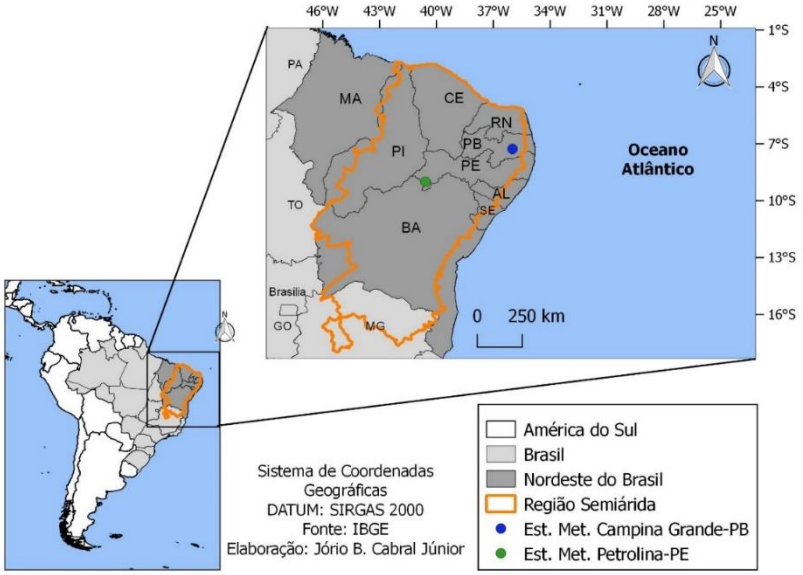
Nos estudos climáticos, análises de estatística descritiva são importantes e mais comuns, e as técnicas estatísticas mais robustas, como testes de hipóteses, vêm obtendo destaque nas produções científicas. Nesse sentido, o objetivo nesta pesquisa é analisar a variabilidade da precipitação e da temperatura do ar em dois municípios localizados na RSB, visando uma interpretação quantitativa e representativa das condições termopluviométricas dominantes nessas localidades.

MATERIAL E MÉTODO

Localização da área de estudo

As localidades analisadas nessa pesquisa estão inseridas na RSB, sendo respectivamente, Campina Grande (7° 13’ 00” Sul, 35° 53' Oeste e 547,6 m), inserida na mesorregião do Agreste paraibano, e Petrolina (09° 09’ 00’’ Sul, 40° 22’ Oeste e 376 m) localizada na mesorregião do São Francisco pernambucano (Figura 1).

Figura 1 - Localização dos pontos de coleta de dados nas Estações Meteorológicas localizadas nos municípios de Campina Grande (PB) e Petrolina (PE), ambas inseridas na Região Semiárida do Nordeste do Brasil.



Tanto Campina Grande quanto Petrolina são cidades de médio porte (com população superior aos 350.000 hab. cada) e são centros regionais de seus estados, Paraíba e Pernambuco, respectivamente (IBGE, 2021).

Dados meteorológicos e preenchimento de falhas

Os dados meteorológicos de precipitação e de temperatura do ar, mensais e anuais, correspondem ao período de 38 anos (1977 a 2014), disponibilizados pela EMBRAPA Algodão, em Campina Grande-PB, e pela EMBRAPA Semiárido, em Petrolina-PE. De posse dos mesmos, foram preenchidas as falhas e o/ou dados faltosos, utilizando-se o *Multivariate Imputation by Chained Equations* (MICE) (VAN BUUREN; GROOTHUIS-OUDSHOORN, 2011). Essa técnica é utilizada para preenchimento de dados faltantes em séries históricas, faltas essas causadas por motivos diversos, como falha no instrumento ou problemas nas estações meteorológicas (COSTA et al., 2012). Neste trabalho, a aplicação dessa técnica foi realizada através do software R pelo pacote MICE, cujas descrições mais detalhadas podem ser encontradas em https://cran.r-project.org/web/packages/mice/mice.pdf.

Análises estatísticas (descritivas)

A partir dos dados mensais de precipitação e temperatura média do ar, de Campina Grande-PB e Petrolina-PE, foram calculadas as estatísticas descritivas de tendência central (média e mediana), de dispersão (Desvio Padrão) e também foram estabelecidas as separatrizes através das técnicas dos quartis, esses resultados foram representados graficamente pelo *BoxPlot*. Essas estatísticas possibilitam identificar, além da variabilidade das variáveis em questão, as probabilidades aos níveis de 25, 50 e 75%.

As anomalias de temperatura média do ar foram calculadas para as quatro estações do ano (verão, outono, inverno e primavera), a partir da diferença entre o valor da estação e o valor médio climatológico. Esses valores resultaram em anomalias positivas ou negativas, ou seja, valores que ficaram acima ou abaixo do valor médio. A partir dessa técnica identifica-se o quanto cada valor em questão se distancia do valor médio esperado.

Testes de hipótese (T-Student e Mann–Kendall)

Para efeitos comparativos, foi verificado se os quantitativos de precipitação, entre as localidades, apresentam diferenças com significância estatística. O mesmo foi feito para a temperatura média do ar. Para isso aplicou-se o teste T-Student, esse teste tem sido utilizado em vários trabalhos de hidrologia e climatologia (SANCHES et al., 2017; CABRAL JÚNIOR et al., 2017; FRAUCHES et al., 2020) e demonstrado bastante útil para a tomada de decisão.

Em seguida, análises de ruptura de série temporal também foram aplicadas a partir do teste não paramétrico proposto por Mann-Kendall (MANN, 1945; KENDALL, 1975; KENDALL; GIBBONS, 1990), tanto para a precipitação como para a temperatura média do ar em ambas as localidades, através da equação:

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

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. Dada a soma das contagens sequenciadas da série temporal, obtém-se como possíveis resultados os seguintes sinais:

$$sinal = \begin{cases} +1 & se\ (x_j - x_i) > 0 \\ 0 & se\ (x_j - x_i) = 0 \\ -1 & se\ (x_j - x_i) < 0 \end{cases} \tag{2}$$

A variância é calculada por:

$$VAR(S) = \frac{1}{18}\left[n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^{q} t_p (t_p - 1)(2t_p + 5) \right] \tag{3}$$

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 Z_{MK}, calculado conforme a equação 4:

$$Z_{MK} = \begin{cases} \dfrac{S-1}{\sqrt{Var(S)}}, & se\ S > 0 \\ 0, & se\ S = 0 \\ \dfrac{S+1}{\sqrt{Var(S)}}, & se\ S < 0 \end{cases} \quad (4)$$

Por meio de teste bilateral, considerou-se, para ambos os testes, um nível de significância α de 5%, ou seja, rejeitou-se as hipóteses de nulidade (que a precipitação e temperatura do ar são similares entre as localidades e que não há evidência de tendência na série temporal) quando o valor-p foi inferior ao nível α.

Análise de variância (ANOVA)

A Análise de Variância (ANOVA) é um teste para comparar se há diferenças significativas entre valores médios em três ou mais grupos de dados com mesmo tamanho amostral. Alguns estudos, na área de climatologia, têm utilizado essa técnica para comparar médias de dados meteorológicos entre séries de um ou mais locais e/ou de dados oriundos entre diferentes metodologias (SANCHES et al., 2018; CABRAL JÚNIOR et al., 2019).

Nesta pesquisa considerou-se sete grupos subdivididos, cada um, com exatamente cinco anos de dados, a citar: quinquênio_1 (de 1980 a 1984), quinquênio_2 (1985 a 1989), quinquênio_3 (2000 a 2009) e assim sucessivamente, considerando o período de 1980 a 2014. A hipótese nula é que não há diferenças significativas entre as médias quinquenais para cada variável (precipitação e temperatura média do ar) em Campina Grande e Petrolina.

A estatística do teste F consiste na relação entre os quadrados médios da variável por grupos com 3 graus de liberdade e o residual (HIRSCH et al., 1992;

MONTGOMERY; RUNGER, 2003; HOFFMANN, 2011). Como a ANOVA não detecta valores médios por grupos que diferem entre si, decidiu-se utilizar o teste de comparações múltiplas preconizado por Tukey (1949) que consiste em definir as magnitudes das diferenças, em média, e se são significativas com base nos dados amostrais.

Para garantir a eficácia e os pressupostos de normalidade, homocedasticidade (variância constante) e independência do modelo ANOVA, realizou-se a análise dos resíduos por meio dos testes estatísticos de Kolmogorov-Smirnov, Bartlett e Durbin-Watson, respectivamente. Em todos os testes desenvolvidos neste estudo considerou-se um nível de significância estatística de 5%.

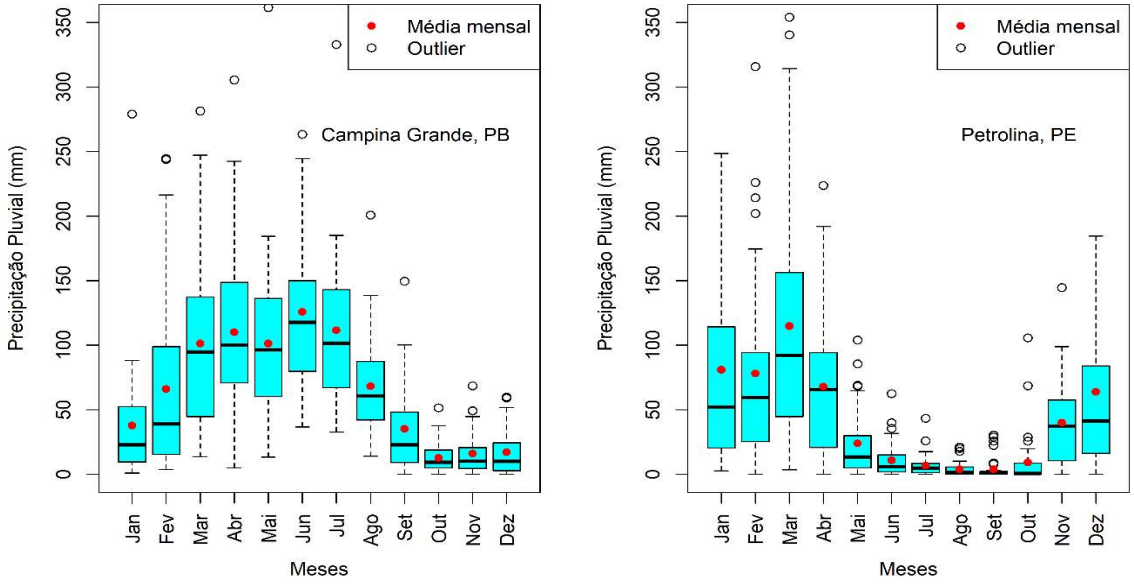
Todas as análises e construções de gráficos foram realizadas utilizando-se o software estatístico livre R 3.3.1.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Análises descritivas da precipitação pluvial

As variabilidades mensais da precipitação, em Campina Grande-PB e Petrolina-PE, são apresentadas na Figura 2. Observa-se, a partir das estatísticas apresentadas em Boxplot, que o período mais chuvoso ocorre de março a julho (Campina Grande), e que o acumulado para esse período corresponde a 68,3% do acumulado mediano anual (748,0 mm), sendo o mês de junho o mais chuvoso (117,6 mm). Enquanto para Petrolina os meses mais chuvosos ocorrem de dezembro a abril, concentrando-se 62,5% do total anual (496,9 mm), sendo março o mês mais chuvoso (92,3 mm), em termos medianos. A diferença de precipitação anual entre as duas localidades é significativa a 5%.

Figura 2 - Boxplot dos acumulados mensais da precipitação pluvial com as respectivas médias para Campina Grande, PB e Petrolina, PE, no período de 1977 a 2014.



O padrão apresentado na Figura 2 confirma que Campina Grande e Petrolina exibem uma sazonalidade distinta das precipitações, sendo o comportamento da chuva em Campina Grande típico do Litoral, Brejo e Agreste (MENEZES et al 2008; ALMEIDA; CABRAL JÚNIOR, 2014; FRANCISCO; SANTOS, 2017) enquanto que em Petrolina o padrão das chuvas é característico do Sertão com maior irregularidade e índice de aridez (NÓBREGA et al 2015; CABRAL JÚNIOR; BEZERRA, 2018; RODRIGUES et al., 2021).

Nas Figuras de 3 e 4 são verificadas as séries temporais dos acumulados de precipitação (1977 a 2014), por estação do ano, para Campina Grande e Petrolina. Fazendo-se uma análise comparativa, verifica-se que o quantitativo e a distribuição das chuvas são desiguais, dentro e entre as localidades.

Figura 3 - Série temporal da Precipitação acumulada para o verão, outono, inverno e primavera para Campina Grande, PB, período:1977 a 2014.

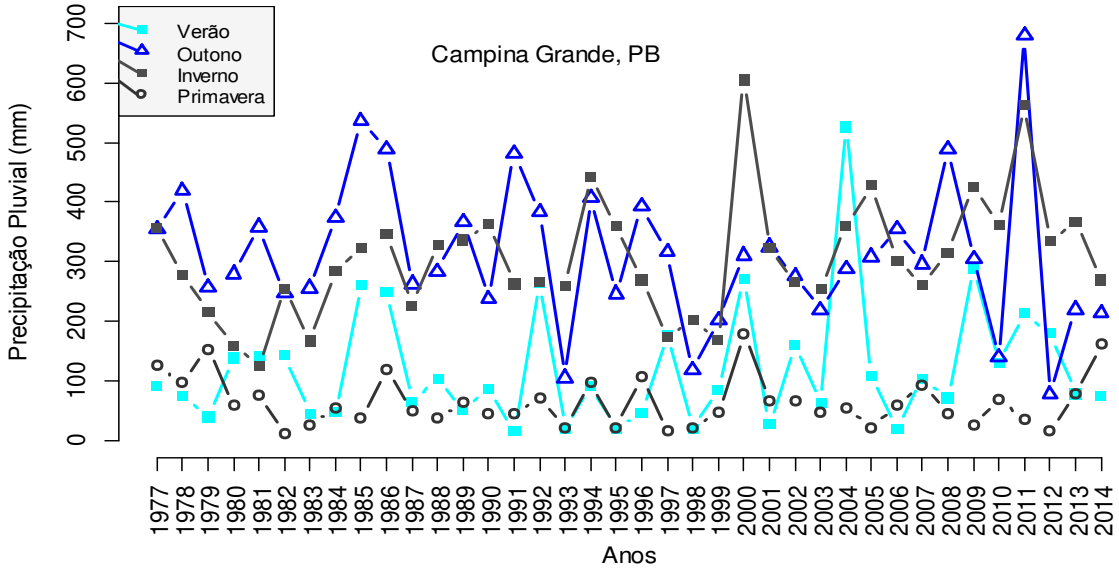
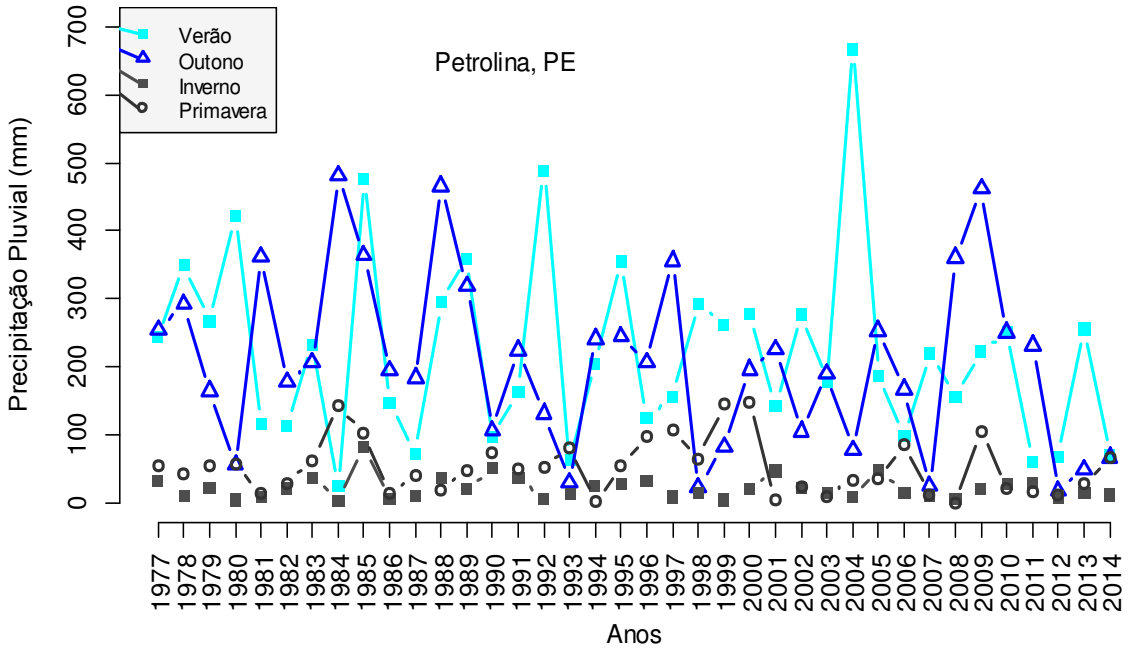


Figura 4 - Série temporal da Precipitação acumulada para o verão, outono, inverno e primavera para Petrolina, PE, período:1977 a 2014.

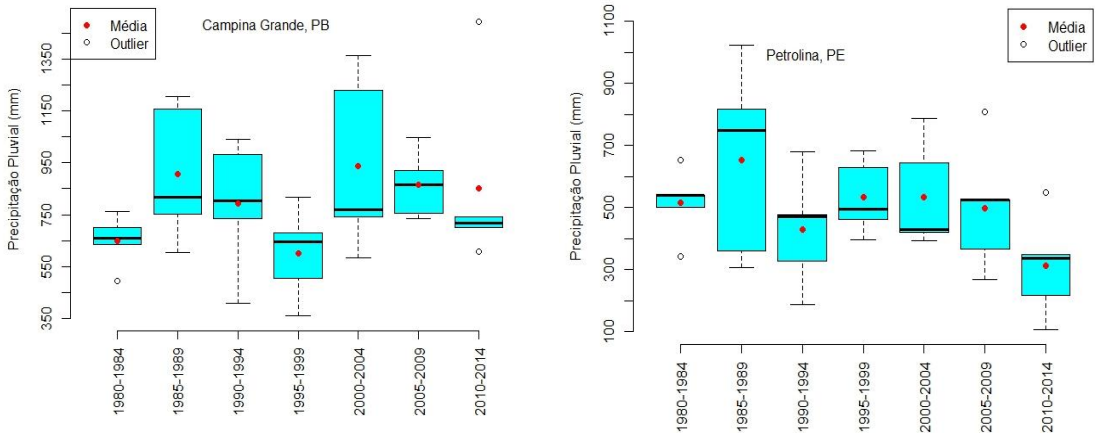


Para Campina Grande o outono e inverno se destacam em termos de maiores quantitativos de chuvas, registrando pico em 2011 (outono) e em 2000 (inverno), e esses dois anos foram os mais chuvosos da série. Enquanto que o máximo registrado no verão, ocorreu em 2004. De acordo com Alves et al. (2006) essas condições estiveram associadas as interações dos principais sistemas meteorológicos: a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), incursões de frentes frias no centro-sul do Nordeste do Brasil (NEB) e episódios de Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN).

Para as séries temporais da precipitação em Petrolina-PE (Figuras 4) destacam-se os maiores quantitativos de chuva no verão e outono. Também em 2004 o verão apresentou um pico de precipitação, com 666,6 mm, maior até mesmo que o esperado para todo o ano (496,9 mm) na localidade. Esse registro de extremo pluvial foi possivelmente influenciado pela atuação de VCAN's (Alves et al., 2006). Ressalta-se que não houve tendência significativa na série temporal da precipitação em qualquer estação do ano para o município pernambucano.

Análises estatísticas da precipitação por grupos quinquenais (5 anos cada) são demonstrado na Figura 5, para Campina Grande e Petrolina.

Figura 5 - Variabilidade do acumulado anual de precipitação, por quinquênios, para Campina Grande-PB e Petrolina-PE, período: 1980 a 2014.



Nota-se que os quantitativos pluviais oscilaram quando se compara os diferentes grupos de 5 anos e as diferentes localidades. Para as médias dos períodos de 1985-1989, 1990-1994 e 1995-1999 a chuva, em Campina Grande, foi decrescente, e

atingiu o menor valor de 601,6 mm (1995-1999), entretanto não foi verificada diferença com significância estatística entre o comportamento médio da chuva nos grupos analisados.

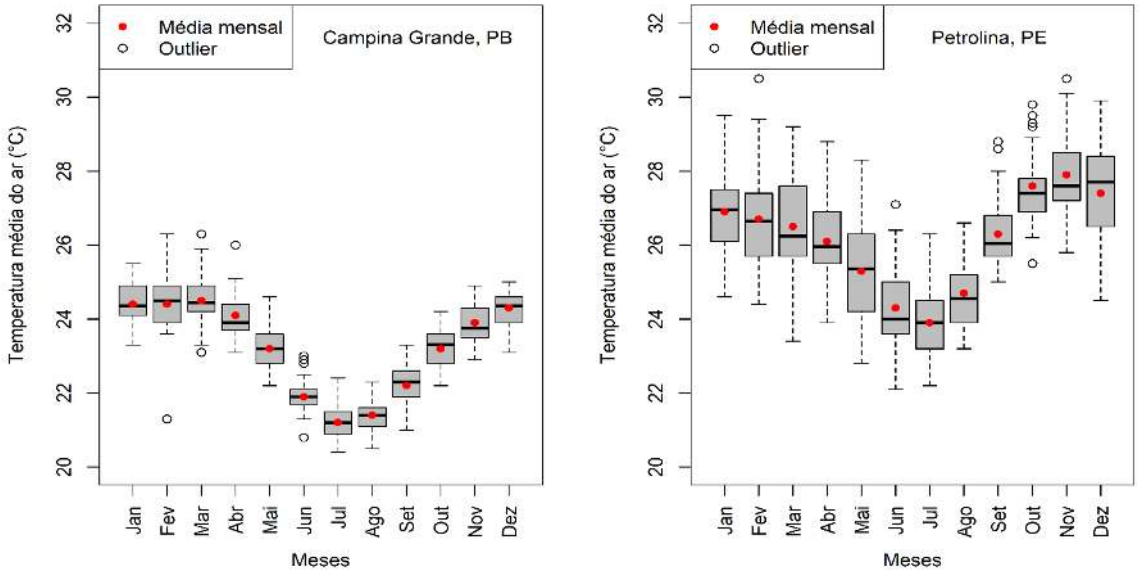
Por outro lado, em Petrolina-PE observou-se que houve um aumento médio de precipitação sucessivo do quinquênio de 1990-1994 ao de 2000-2004 e a partir deste último houve uma diminuição sequenciada média da chuva, até a média referente entre 2010-2014, que atingiu o menor valor, com 311,2 mm. O maior valor médio correspondeu ao quinquênio de 1985-1989 (651,2 mm), porém, também não foi identificada diferença significativa entre as médias pluviais dos grupos para Petrolina.

As características de elevada irregularidade na distribuição temporal e espacial de da precipitação na região do Semiárido do NEB também são relatadas em outros trabalhos realizados nos estados da Paraíba (ALMEIDA; CABRAL JÚNIOR, 2014), do Rio Grande do Norte (LUCENA et al., 2018; CABRAL JÚNIOR; LUCENA, 2020), do Ceará (HIERA et al., 2019), de Pernambuco (MAINAR et al., 2021), entre outros. Essa elevada variabilidade são consequências conjuntas decorrentes da localização geográfica, das células de circulação da atmosfera e da contrapartida oceânica, especialmente das Temperaturas da Superfície do Mar (TSM) do Atlântico e do Pacífico (MOLION; BERNARDO, 2002; FERREIRA; MELLO, 2005; REBOITA et al., 2012; REBOITA et al., 2016; MEDEIROS et al., 2021).

Análises descritivas da temperatura média do ar

As estatísticas das temperaturas médias do ar mensais, para Campina Grande e Petrolina, são observadas na Figura 6. Verifica-se que os meses de maiores valores médios ocorrem de janeiro a março, em Campina Grande, com valor médio de 24,4°C. Para Petrolina verifica-se que as maiores temperaturas médias ocorrem de outubro a dezembro, com valor médio de 27,6°C.

Figura 6 - Boxplot das variabilidades médias mensais da temperatura do ar calculada pelo método padrão para Campina Grande, PB e Petrolina, PE, no período de 1977 a 2014.

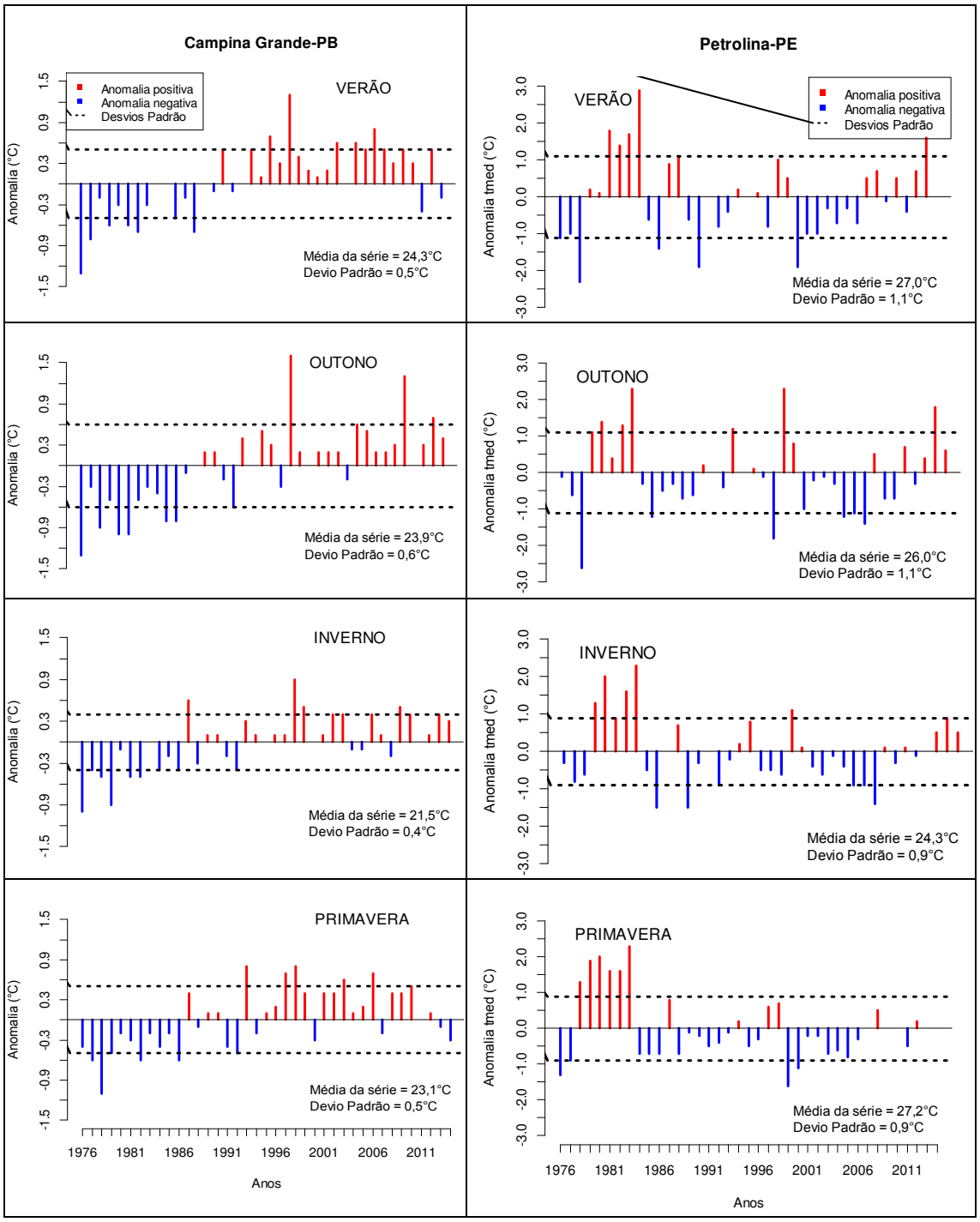


Ambas as localidades coincidiram de registrar as menores temperaturas médias nos meses de junho a agosto, sendo julho o mês mais frio, com valores médios de 21,2°C e 23,6°C, para Campina Grande e Petrolina, sucessivamente. Esse padrão de temperatura é recorrente na RSB onde se registra um leve decréscimo no período do inverno austral (CABRAL JÚNIOR et al., 2013; CONCEIÇÃO et al, 2016; FRANCISCO; SANTOS, 2017). As médias anuais para as localidades foram de 23,2°C e 26,1°C, perfazendo uma amplitude total de 2,9°C entre os dois locais.

Ressalta-se que a temperatura média do ar anual em Campina Grande e em Petrolina, quando comparadas, são significativamente diferentes a 1%, verificada através do teste t de Student.

As anomalias das temperaturas médias do ar sazonais com o limiar dos respetivos desvios padrão, em Campina Grande e Petrolina, são apresentadas na Figura 7. Conforme os resultados obtidos, percebe-se que há anos com anomalias positivas (valores acima da média) e outros com anomalias negativas (valores abaixo da média).

Figura 7 - Anomalias sazonais (verão, outono, inverno e primavera) das temperaturas médias do ar para Campina Grande-PB e Petrolina-PE, período:1976 a 2014.

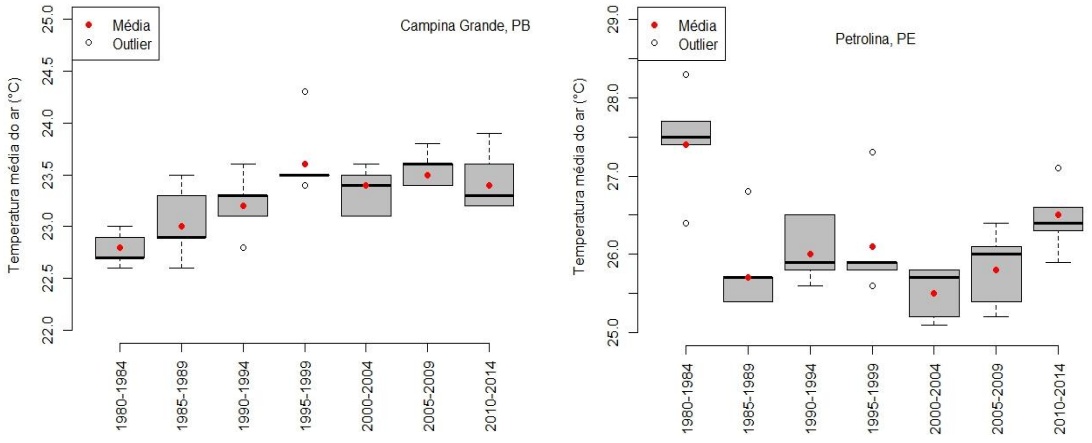


Destaca-se que para Campina Grande, nas quatro estações do ano, as anomalias negativas de temperatura média do ar foram mais frequentes até o ano de 1990 e que a partir desse ano as frequências de anomalias positivas foram dominantes e superaram, em alguns anos, o valor médio + o desvio padrão, indicando, portanto, que anos mais recentes da série temporal analisada foram mais quentes, em média.

Quando se aplica a mesma análise para Petrolina, identifica-se um comportamento distinto comparado às anomalias de temperatura média do ar em Campina Grande. Para Petrolina, as anomalias verificadas foram mais aleatórias, embora tenha apresentado valor de anomalia maior, média de 1,0°C, enquanto a anomalia média em Campina Grande foi de 0,5°, nas quatro estações do ano. Em média, 57% das anomalias sazonais em Petrolina foram negativas, enquanto em Campina Grande esse mesmo percentual foi de anomalias positivas. Ressalta-se ainda que Petrolina obtém as maiores temperaturas médias do ar, com destaque na primavera, cuja diferença média entre as localidades é de 4,1°C.

As médias e variabilidades das temperaturas médias do ar anuais foram analisadas por quinquênios e são observadas na Figura 8.

Figura 8 - Variabilidades das médias de temperaturas médias do ar anuais, subdivididas em grupos de 5 anos (quinquênios) para Campina Grande-PB e Petrolina-PE, período: 1980 a 2014.



Destaca-se que a temperatura média do ar, apresentou sequências de aumento em Campina Grande, em média. Ao aplicar a ANOVA foi verificado que houve diferença

em pelo menos uma das médias, com confiança estatística de 99%. A partir do teste de Tukey identificou-se que essa diferença significativa pertence ao quinquênio de 1980-1984 (menor média, com 22,8°C). Observou-se ainda que, em Campina Grande, o período de 1995-1999 obteve o maior valor médio, com 23,6°C.

Em Petrolina, identificou-se que a média da temperatura média do ar, para o período de 1980-1984 foi a maior em relação aos períodos seguintes, e registrou média de 27,4°C. A partir da ANOVA acompanhada pelo teste de Tukey identificou-se que essa média foi significativamente diferente quando comparada às médias referentes aos períodos de 1985-1989; 1990-1994; 1995-1999; 2000-2004 e 2005-2009, cujas diferenças foram sucessivamente 1,8°C; 1,4°C; 1,3°C; 2,0°C e 1,6°C com confiança estatística de 99%.

Uma justificativa dos comportamentos opostos das temperaturas médias no quinquênio de 1980-1984, entre as duas localidades, pode ser atribuída às localizações das estações meteorológicas e ao tipo de transição temporal específico de cada uma. Para as proximidades da estação em Campina Grande houve uma intensificação no processo de urbanização com o tempo (SILVA, 2014) que possivelmente contribui para o aumento da temperatura média na cidade nos anos subsequentes (CABRAL JÚNIOR et al., 2013). Por outro lado, Petrolina obteve o processo de expansão da área com agricultura irrigada (SILVA, 2000) e isso alterou o balanço de energia na região, favorecendo à diminuição da temperatura média do ar após o referido quinquênio (CABRAL JÚNIOR et al., 2019).

Na Tabela 1 constam as tendências sazonais, para as quatro estações do ano, da precipitação e temperatura média do ar para Campina Grande e Petrolina. A partir da aplicação do teste estatístico de Mann-Kendall pode-se identificar que em Campina Grande houve tendências significativas, tanto para a precipitação como para a temperatura média do ar, enquanto que em Petrolina o mesmo não foi identificado.

Tabela 1 - Estatística Z do teste de Tendência de Mann-Kendall para a Precipitação Pluvial, e temperatura média do ar para Campina Grande, PB, período de 1977 a 2014.

Estações do ano	Estatística Z			
	Precipitação		Tmed	
	CG	PE	CG	PE
Verão	0,79	-1,03	3,57***	-1,03
Outono	-1,43	-1,61	4,88***	-1,61
Inverno	2,39**	-0,14	4,03***	-0,14
Primavera	-0,64	-0,78	3,10***	-0,78

CG – Campina Grande-PB; PE – Petrolina-PE; **Significativo a 5%; ***Significativo a 1%.

Os resultados reforçam que o ar em Campina Grande está aquecendo, independente da estação do ano, e esse aquecimento do ar, na série analisada (1976-2014), ocorreu com um nível de confiança estatística de 99%. Para esse município paraibano, houve ainda aumento significativo a 5% da precipitação pluvial no trimestre do inverno, que coincide com os meses mais chuvosos na localidade (de junho e julho). Embora todos os sinais de tendência para Petrolina tenham sido negativos, nenhum foi estatisticamente significativo.

CONCLUSÕES

A partir das técnicas estatísticas aplicadas foi possível detectar o comportamento das temperaturas médias do ar e da precipitação ao longo de uma série histórica de 38 anos, bem como comparar quantitativamente as variáveis climatológicas utilizando-se testes estatísticos de hipóteses, no tempo (mensal, sazonal, anual e por quinquênios) e no espaço (entre diferentes localidades).

Dentre os principais resultados encontrados destaca-se que Campina Grande é mais chuvosa (748,0 mm/ano) que Petrolina (496,9 mm/ano). Por outro lado, Petrolina é mais quente (26,1°C) que Campina Grande (23,2°). Com a aplicação do teste T-Student foi possível identificar que as diferenças entre as localidades, tanto em termos pluviais como térmicos, são significativas com respaldo de 95% de confiança estatística.

Foi relevante ainda a análise de tendência em série temporal através do teste de Mann-Kendall, a partir dessa técnica percebeu-se que a temperatura média do ar em Campina Grande evidencia aumento significativo em todas as estações do ano e que esses resultados subsidiam, dentre outros, a necessidade de estudos que expliquem as possíveis causas, se é atribuída a questão do efeito da urbanização e/ou às mudanças climáticas!? Nessa cidade, o quantitativo de precipitação no período mais chuvoso (inverno) também aumentou significativamente. Em Petrolina, não houve significância quando se analisou as tendências nas séries temporais.

Por fim, considera-se que os métodos estatísticos aplicados às Ciências Climáticas são diversos e requerem conhecimentos sobre qual o mais adequado para aplicação. Vale enfatizar que o mais simples não é necessariamente o mais irrelevante, partindo dessa premissa a estatística básica (descritiva) é importante para caracterizar uma ou mais variáveis, e, explicitando-se não apenas as medidas de tendência central (média e mediana) mas sobretudo o conhecimento sobre a variabilidade que os dados apresentam em torno dos valores médios. A média por si e somente pode não representar suficientemente um fenômeno, principalmente se este apresentar assimetria e elevada variabilidade.

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. 07, 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, 2014.

ALVES, J. M. B., FERREIRA, F. F., CAMPOS, J. N. B., SOUZA FILHO, F. D. A. D., SOUZA, E. B. D., DURAND, B. J., ... & STUDART, T. M. D. C. Mecanismos atmosféricos associados à ocorrência de precipitação intensa sobre o Nordeste do Brasil durante Janeiro/2004. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.21, n.1, 56-76, 2006.

AYOADE, J. O. **Introdução à Climatologia para os trópicos.** 12ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007.

CABRAL JÚNIOR, J. B.; ALMEIDA, H. A.; SILVA, C. M. S. Análise Comparativa da Temperatura Média do Ar em Campina Grande, PB, Obtida pelo Método dos Extremos e pelo Método Padrão. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 6, p. 888-902, 2013.

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, p. 71-89, 2018.

CABRAL JÚNIOR, J. B.; LUCENA, R. L. Analysis of precipitation using Mann-Kendall and Kruskal-Wallis non-parametric tests. **Mercator** (Fortaleza), v. 19, p. 1-14, 2020.

CABRAL JÚNIOR, J. B.; SILVA, C. M. S. E.; ALMEIDA, H. A. Comparação mensal, sazonal e anual de métodos de estimativas da evapotranspiração de referência para Juazeiro-BA e Petrolina-PE. **Revista de Geociências do Nordeste**, v. 3, p. 23-42, 2017.

CABRAL JÚNIOR, J. B.; SILVA, C. M. S.; ALMEIDA, H. A.; BEZERRA, B. G.; SPYRIDES, M. H. C. Detecting linear trend of reference evapotranspiration in irrigated farming areas in Brazil's semiarid region. **Theoretical And Applied Climatology**, v. 138, 2019.

CONCEIÇÃO, R. S.; PEREIRA, L. B.; VEIGA, A. J. P. Análise da temperatura do ar, precipitação, evapotranspiração, déficit e excedente hídrico em Vitória da Conquista–BA, de 1961 a 1990. **Revista Eletrônica Geoaraguaia.** Barra do Garças-MT. v. 6, n.1, p. 71 a 83, 2016.

COSTA, R. L.; DOS SANTOS SILVA, F. D.; SARMANHO, G. F.; LUCIO, P. S. Imputação Multivariada de Dados Diários de Precipitação e Análise de Índices de Extremos Climáticos**. Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 5, n.3, 661-675, 2012.

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.

FORSDYKE, A. G. **Previsão do tempo e clima.** São Paulo: Edições Melhoramentos, 1978.

FRANCISCO, P. R. M.; SANTOS, D. **Climatologia do estado da Paraíba.** Campina Grande: EDUFCG, 2017.

FRANCISCO, W. de. **Estatística básica:** síntese da teoria, exercícios propostos e resolvidos. 2ª ed. Piracicaba: Editora Unimep, 1995.

FRAUCHES, M. S.; OLIVEIRA, T. A.; SANCHES, F. O.; FERREIRA, C.C.M. Chapéu D'Uvas: um estudo sobre as chuvas locais em reservatórios em Minas Gerais. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 27, p. 289-302, 2020.

HIERA, M. D.; LIMA JUNIOR, A. F.; ZANELLA, M. E. Tendência da Precipitação no Estado do Ceará. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 24, p. 300-321, 2019.

HIRSCH, R. M.; HELSEL, D. R.; COHN, T. A.; GILROY, E. J. Statistical analysis of hydrologic data. **Handbook of hydrology**, p. 17-55, 1992.

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

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades e Estados.** Disponível em: https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/ Acesso em 23 ago 2021.

KAYANO. M. T., ANDREOLI, R. V. Clima da Região Nordeste do Brasil. In: CAVALCANTI et al (Org). **Tempo e Clima no Brasil.** São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

KENDALL, M.G. **Rank correlation methods**. Charles Griffin, 120 p., 1975

KENDALL, M.G.; GIBBONS, J.D. **Rank correlation methods**. 5ed. Griffin, London, 1990.

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, p. 485-496, 2018.

MAINAR, R.M.; HOLANDA, R. M.; FRANÇA, M.V.; SABOYA, L.M.F.; ROLIM NETO, F.C.; ARAÚJO, W. R. Espacialização pelo método da krigagem nas variabilidades pluvial, evapotranspiração e evaporação no estado do Pernambuco - Brasil. RECIMA21. **Revista Científica Multidisciplinar**, v. 2, p. e28573, 2021.

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

MEDEIROS, F. J.; OLIVEIRA, C. P.; GOMES, R. S.; SILVA, M. L.; CABRAL JÚNIOR, J. B. Hydrometeorological conditions in the semiarid and east coast regions of Northeast Brazil in the 2012-2017 period. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 93, p. 1-15, 2021.

MENEZES, H. E. A., BRITO, J. I. B. de, SANTOS, C. A. C. dos, SILVA, L. L. da. A relação entre a temperatura da superfície dos oceanos tropicais e a duração dos veranicos no estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.23, n.2, 152-161, 2008.

MOLION, L.C.B.; BERNARDO, S. O. Uma revisão da dinâmica das chuvas no Nordeste brasileiro. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 17, n.1, p. 1-10, 2002.

MONTGOMERY, D.C.; RUNGER, G.C. Estatística aplicada e probabilidade para engenheiros. Ed LTC, 2003.

NÓBREGA, R. S., FARIAS, R. F. de L., SANTOS, C. A. C. dos. Variabilidade temporal e espacial da precipitação pluviométrica em Pernambuco através de índices de extremos climáticos. **Revista Brasileira de Meteorologia,** v.30, n.2, 171 - 180, 2015.

OLIVEIRA, L. L. de.; VIANELLO, R. L., FERREIRA, N. J. **Meteorologia Fundamental.** Erechim: EdiFAPES, 2001.

REBOITA, M. S. **Introdução à Estatística Aplicada à Climatologia:** Parte I Estatística Descritiva. Projeto PAE. São Paulo, 2005.

REBOITA, M. S.; KRUSCHE, N.; AMBRIZZI, T.; ROCHA, R. Entendendo o tempo e o clima na América do Sul. **Terra e Didática**, Campinas, v. 8, p. 34-50, 2012.

REBOITA, M. S.; RODRIGUES, M.; ARMANDO, R.; FREITAS, C.; MARTINS, D.; MILLER, G. Causas da semi-aridez do Sertão Nordestino. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 19, 2016.

RODRIGUES, D. T.; SILVA, C. M. S. E.; REIS, J. S.; PALHARINI, R. S. A.; CABRAL JÚNIOR, J. B.; SILVA, H. J. F.; MUTTI, P. R.; BEZERRA, B. G.; GONCALVES, W. A. Evaluation of the Integrated Multi-SatellitE Retrievals for the Global Precipitation Measurement (IMERG) Product in the São Francisco Basin (Brazil). **Water**, v. 13, p. 1-12, 2021.

SANCHES, F. O.; FERRAZZO, S.; SILVA, R. V.; CHECHI, L.; FERREIRA, R.V. Influence of the hydroelectric power plant of Passo Fundo lake (RS, Brazil) on local rainfall pattern. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 20, p. 299-312, 2017.

SANCHES, F. O.; SANTOS, E. F.; FERREIRA, R.V.; FIRMINO, G.V.; ALVES, M. O. Contribuição ao estudo do clima urbano em Uberaba (MG). **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 1, p. 87-109, 2018.

SILVA, M.T.; COSTA, S. C. F. E.; SOUSA, E.P.; OLIVEIRA, S. D.; SILVA, V. P. R. Análise da expansão do espaço urbano do município de Campina Grande-PB tendo o sistema de transportes como agente modificador. **Ciência e Natura**, v. 36, p. 520-529, 2014.

SILVA, V. P. R. da, Pereira. E. R. R., Azevedo, P. V. de, Sousa, F. de A. S. de, Sousa, I. F. de. Análise da pluviometria e dias chuvosos na região Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, n.2, p.131–138, 2011.

SILVA, V.P.R. **Estimativas das necessidades hídricas da mangueira**. Tese de Doutorado em Recursos Naturais, Universidade Federal da Paraíba: Campina Grande, Brasil, 2000.

TORRES, F. T. P., MACHADO, P. J. de O. **Introdução à climatologia.** São Paulo: Cengage Learning, 2011.

TUKEY, J.W. One degree of freedon for non-additivity. Biometrics 5:232-242, 1949.

VAN BUUREN, S.; GROOTHUIS-OUDSHOORN, K. MICE: Multivariate imputation by chained equations in R. **Journal of statistical software**, v. 45, p. 1-67, 2011.

Recebido em setembro de 2020.

Revisão realizada em novembro de 2021.

Aceito para publicação em dezembro de 2021.