

O uso do teste de mann-kendall para detecção de tendência da precipitação em região semiárida pernambucana

The use of the mann-kendall test for detection of precipitation trends in a semi-arid region of Pernambuco

El uso de la prueba de mann-kendall para la detección de tendencias de precipitación en una región semiárida de Pernambuco

Recebido: 09/08/2022 | Revisado: 22/08/2022 | Aceito: 24/08/2022 | Publicado: 02/09/2022

Amanda Cristiane Gonçalves Fernandes

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8462-6171>
Universidade Federal de Campina Grande, Brasil
E-mail: amandafernandestt@gmail.com

Igo Marinho Serafim Borges

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3662-1859>
Universidade Federal de Campina Grande, Brasil
E-mail: igomarinho27@gmail.com

Jéssica Araújo Silva

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2996-2137>
Universidade Federal de Campina Grande, Brasil
E-mail: jeharaujo03@gmail.com

Emanuely Cristovão Barbosa da Silva

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3835-1132>
Universidade Estadual da Paraíba, Brasil
E-mail: cristovamemanuely@gmail.com

Magna Jussara Rodrigues Santos

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8026-6607>
Universidade Estadual da Paraíba, Brasil
E-mail: magna.santos@aluno.uepb.edu.br

Dihego de Souza Pessoa

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6954-4610>
Universidade Federal de Campina Grande, Brasil
E-mail: dihegopessoa@gmail.com

Miriam Souza Martins

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3512-4770>
Universidade Federal de Campina Grande, Brasil
E-mail: miriam2009souza@gmail.com

Jucianny Araújo da Silva

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8199-9212>
Universidade Estadual da Paraíba, Brasil
E-mail: juciannyaraujo@gmail.com

Jean Oliveira Campos

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2874-754X>
Universidade Estadual da Paraíba, Brasil
E-mail: jeannoliveira@gmail.com

Lucivânia Rangel de Araújo Medeiros

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6561-6736>
Universidade Federal de Campina Grande, Brasil
E-mail: lucivaniarangel@gmail.com

Resumo

O objetivo desse trabalho foi analisar a possibilidade de tendências climáticas utilizando dados de precipitação pluviométricos na bacia hidrográfica Capibaribe, do estado de Pernambuco. Foi utilizada uma série histórica de quarenta e cinco anos (552 meses) entre os anos de 1973 a 2018, obtida no site da Agência Pernambucana de Águas e Climas - APAC. A análise foi baseada em apenas um posto pluviométrico. Os dados que apresentaram falhas foram preenchidos utilizando as médias mensais. Foram utilizados o teste de Mann-Kendall para identificar a possibilidade de tendência, para detectar sazonalidade foi utilizado o teste de sazonalidade de Mann-Kendall e com o intuito de identificar a estacionariedade da série utilizou-se os testes KPSS e Dickey-Fuller. Para tratamento dos dados utilizou-se o software estatístico XLSTAT (versão 2014.5.03) com entrada de dados pelo Excel. A partir do teste de Mann-Kendall foi possível detectar que a série não apresentava tendência, ou seja, a possibilidade de crescimento ao longo

do tempo. Os dados mantiveram-se constantes. No teste de Pettit os dados apresentaram-se homogêneos, pois, em sua maioria, flutuavam em torno da média. Indica-se, portanto, que a série não sofreu variações climáticas local ao longo do período estudado.

Palavras-chave: Semiárido; Predição; Tendência; Séries temporais; Precipitação.

Abstract

Thus, the objective of this study was to analyze the possibility of climatic trends using rainfall data in the Capibaribe watershed in the state of Pernambuco. A historical series of 45 years (552 months) was used between 1973 and 2018, obtained on the website of the agency Pernambucana of water and climates-APAC. The analysis was based on only one pluviometric post. The data that presented failures were completed using the monthly averages. The Mann-Kendall test was used to identify the possibility of tendency, to detect seasonality, the Mann-Kendall seasonality test was used and in order to identify the stationary series, the KPSS tests and Dickey-Fuller. For data processing, we used the statistical software XLSTAT (version 2014.5.03) with data entry by Excel. From the Mann-Kendall test it was possible to detect that the series had no tendency, that is, the possibility of growth over time. The data remained constant. In the Pettite test, the data are homogeneous, because most of them fluctuated around the mean. It is therefore indicated that the series did not suffer local climatic variations over the period studied.

Keywords: Semi-arid; Prediction; Trend; Time series; Precipitation.

Resumen

Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue analizar la posibilidad de tendencias climáticas utilizando datos de lluvia en la cuenca del río Capibaribe en el estado de Pernambuco. Se utilizó una serie histórica de 45 años (552 meses) entre 1973 y 2018, obtenida en el sitio web de la agencia pernambucana de agua y climas-APAC. El análisis se basó en un solo puesto pluviométrico. Los datos que presentaron fallas se completaron utilizando los promedios mensuales. Se utilizó la prueba de Mann-Kendall para identificar la posibilidad de tendencia, para detectar estacionalidad se utilizó la prueba de estacionalidad de Mann-Kendall y para identificar la serie estacionaria las pruebas KPSS y Dickey-Fuller. Para el procesamiento de datos se utilizó el software estadístico XLSTAT (versión 2014.5.03) con ingreso de datos por Excel. A partir de la prueba de Mann-Kendall se pudo detectar que la serie no tenía tendencia, es decir, posibilidad de crecimiento en el tiempo. Los datos se mantuvieron constantes. En la prueba de Pettite, los datos son homogéneos, ya que la mayoría fluctuó alrededor de la media. Por tanto, se indica que la serie no sufrió variaciones climáticas locales a lo largo del período estudiado.

Palabras clave: Semiárido; Predicción; Tendencia; Series de tiempo; Precipitación.

1. Introdução

Nas regiões semiáridas do Brasil apresentam grandes variabilidade climática e desta forma, conta com a escassez hídrica, visto que os índices pluviométricos são geralmente baixos durante boa parte do ano (Assis; Souza & Carmo, 2015). Aprender a conviver com o semiárido mesmo com todo o seu potencial naturalístico e cultural é um desafio difícil e árduo devido os prolongados e severos períodos de estiagens e a limitação dos recursos hídricos acabam a limitar o desenvolvimento econômico dessa região (Medeiros et al., 2021).

O Semiárido pernambucano é marcado pelo déficit hídrico com índice pluviométrico relativamente baixos entre 200 e 800 mm ao ano, distribuído irregularmente no tempo e no espaço, além de apresentar uma taxa de evaporação (mais de 3 mil mm anuais) maior do que a de precipitação devido ao alto índice de insolação por um longo período (Santos, 2019).

Essa região possui algumas características físicas que não são favoráveis ao seu desenvolvimento socioeconômico da população, tal como o solo raso, rocha cristalina e déficit hídrico. No entanto, o bioma Caatinga ainda assim é muito resistente aos períodos prolongados de estiagem e consegue adaptar-se e desenvolver-se as condições naturais. Sendo assim, o longo período de estiagem não é o único e exclusivo motivos para o crescimento desenfreado do processo de desertificação no semiárido brasileiro (Oliveira & Silva, 2016).

Este trabalho justifica-se por meio da grande necessidade de se discutir buscas e alternativas que possibilitam discussões e possíveis solução de conflitos através da mobilização social com diversos interesses e conseqüentemente o fortalecimento de medidas que visem atenuar os efeitos da má distribuição de recursos hídricos nas regiões semiáridas do Pernambuco, pensando em atenuar os impactos sociais e ambientais caudadas por essas escassez.

Nessa perspectiva, o presente estudo teve a finalidade de analisar a possibilidade de tendência climáticas utilizando dados de precipitação pluviométricos na bacia hidrográfica Capibaribe, do estado de Pernambuco, objetivando o monitoramento da série histórica climática da área em escala local para a mitigação das consequências das mudanças climáticas para a população e uma melhor gestão dos recursos hídricos.

2. Fundamentação Teórica

2.1 O Ciclo Hidrológico

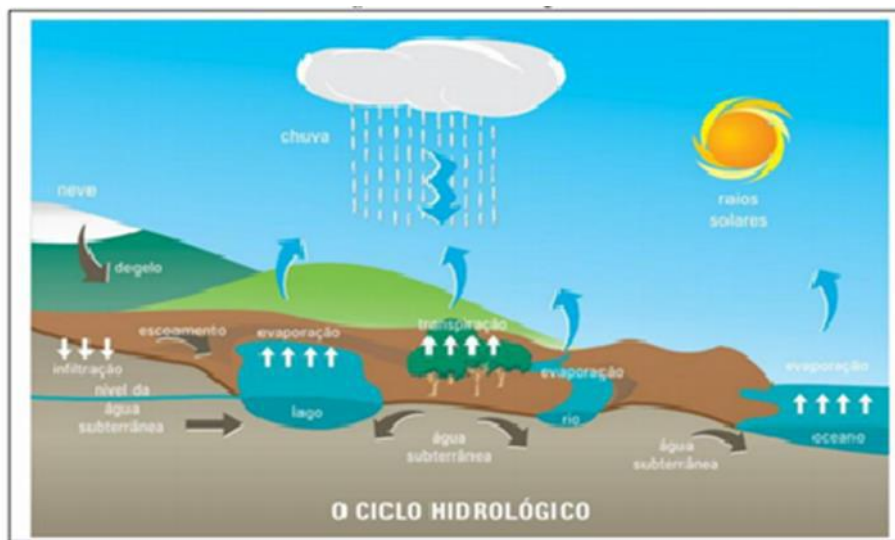
O ciclo hidrológico é um sistema dinâmico e de circulação completa da água entre a superfície terrestre e a atmosfera. Considerado um sistema fechado pela dinamicidade dos processos envolvidos (Tucci, 2009; Silveira, 2009; Nunes, 2018), ele é impulsionado principalmente pela energia solar, rotação da terra e à força da gravidade. As partes que compõem o sistema de formação da terra através do ciclo hidrológico são: a litosfera abrangendo toda a parte de água subterrânea; a atmosfera onde se encontra maior parte da água em estado gasoso e a hidrosfera, onde é encontrada a água em ambas as fases líquida ou sólida na superfície terrestre (Chow, 1964).

De acordo com Silveira (2009), os processos hidrológicos acontecem através de duas movimentações: no sentido atmosfera-superfície que é constituído pelas precipitações, onde a transferência de água pode ocorrer em qualquer um dos três estados (líquido, sólido e gasoso); e no sentido superfície-atmosfera, onde o fluxo da água ocorre na forma gasosa como resultado dos fenômenos de evaporação e transpiração.

Os principais processos dinâmicos que constituem o ciclo hidrológico são: precipitação, evaporação, transpiração das plantas, percolação, infiltração, escoamento superficial e subterrâneo.

Na Figura 1 ilustra-se todos os processos dinâmicos que constituem o ciclo hidrológico.

Figura 1 - Ciclo Hidrológico.



Fonte: Mendonça (2009).

A precipitação acontece através das águas retidas nas nuvens que através da gravidade voltam para a superfície terrestre (altura de lâmina d'água, normalmente em milímetros), quando acontece a precipitação sobre a superfície terrestre parte da água permeia no solo e a outra parte fica retida na cobertura vegetal e/ou depressões quando evaporada volta para a atmosfera (Silveira, 2009; Nunes, 2018).

Portanto, a evaporação que é a perda de temperatura da água transformando-se para o estado gasoso; a transpiração que corresponde ao processo de perda de vapor d'água pelas plantas (Uzeika, 2009; Nunes, 2018); a percolação que traduz o movimento subterrâneo da água através do solo, especialmente nos solos saturados ou próximos da saturação; a infiltração que acontece a partir da condensação da água que cai sobre a superfície terrestre; o escoamento que consiste nas movimentações das águas nas superfícies de forma superficial e subterrânea e define a forma do hidrograma; a que corresponde a água que permeia no solo após a precipitação.

2.2 A dinâmica da pluviométrica no semiárido nordestino

A região semiárida nordestina do Brasil caracteriza-se pela irregularidade espacial e temporal da precipitação e dos processos de escoamento e erosão dos solos, como também pelo alto potencial para evaporação da água em função da enorme disponibilidade de energia solar e altas temperaturas durante todo o ano. Assim, a região Nordeste do Brasil é considerada como uma região anômala no que se refere à distribuição espacial e temporal da precipitação ao longo do ano (Souza et al., 1998).

Esta característica da variabilidade da precipitação é apontada por Galvão et al. (2005) como um dos maiores desafios no campo da hidrologia. Estudar a variabilidade da precipitação é atualmente um desafio na área de recursos hídricos, sobretudo devido à grande relevância sobre as implicações da disponibilidade hídrica em bacias hidrográficas, principalmente aquelas localizadas em áreas semiáridas ou de transição.

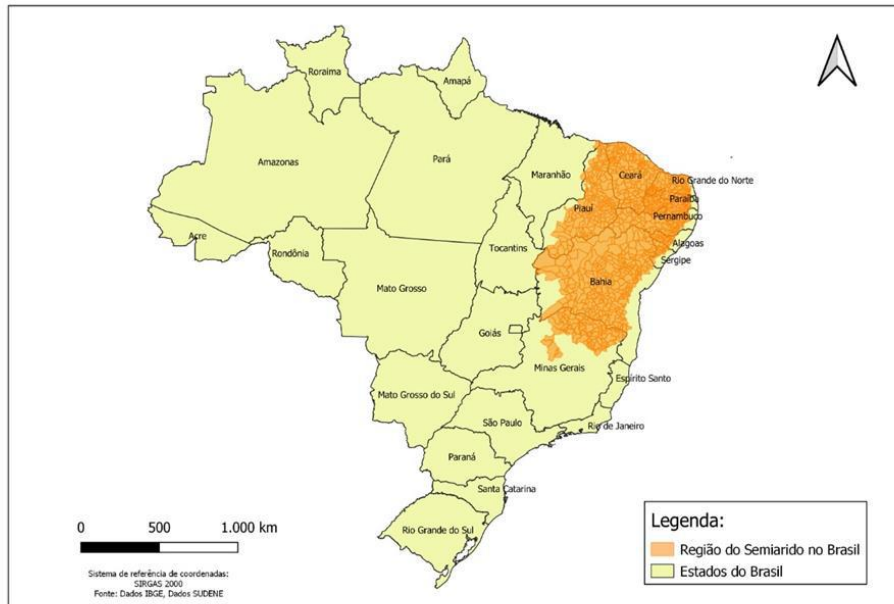
Essa variabilidade ainda é maior na região Nordeste pois é justamente onde atuam vários sistemas atmosféricos, como a zona de convergência intertropical, os sistemas frontais, as brisas de leste e os vórtices ciclônicos. Por outro lado, a temperatura média do ar apresenta baixa variabilidade, sendo, portanto, facilmente modelada em função das coordenadas geográficas, com alto nível de confiabilidade (Cavalcanti; Silva, 1994).

2.3 Nova delimitação do semiárido brasileiro baseada em critérios pluviométricos

O semiárido brasileiro passou por uma nova delimitação em sua abrangência e, atualmente, compõem-se por 1.262 municípios que englobam uma área de 1.128.697 km². Os estados da região Nordeste são em sua totalidade compostos por regiões semiáridas, bem como boa parte da área setentrional dos estados de Minas Gerais. Na Figura 1 a nova delimitação da região semiárida no Brasil.

Figura 2 - Nova delimitação da zona semiárida no Brasil.

MAPA DO BRASIL COM A DELIMITAÇÃO DA ZONA DO SEMIÁRIDO



Fonte: Sudene (2020).

Através das Resoluções do Conselho Deliberativo da Sudene de n.º 107 e n.º 115, de 27.07.2017 e 23.11.2017 respectivamente, nelas foram estabelecidos os critérios para a delimitação das áreas que estão inseridas no contexto do semiárido, como por exemplo, a precipitação pluviométrica média anual igual ou inferior a 800 mm; o índice de Aridez de Thornthwaite igual ou inferior a 0,50 e; o percentual diário de déficit hídrico igual ou superior a 60%, considerando todos os dias do ano.

3. Metodologia

3.1 Teste não paramétrico de Mann-Kendall para análise de tendência de séries pluviométricas

Os estudiosos Mann-Kendall propuseram para a análise da tendência em uma série temporal de dados de precipitação o teste não paramétrico de Mann-Kendall (Mann, 1945; Kendall, 1975). As séries de dados de períodos longos podem não seguir uma determinação sobre a forma da distribuição considerando-a uma análise não paramétrica. De acordo com Cabral & Lucena, (2020) a equação é dada por:

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

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

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

Quando existe um número alto de observações (n), a distribuição de probabilidade S tende para uma distribuição normal, com média zero e variância dada por:

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

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:

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

Através de um teste bilateral, para um nível de significância (α) de 5%, rejeita-se a hipótese que não há tendência quando o valor-p foi inferior ao nível α .

3.2 Aplicabilidade do método a problemática estudada

Foi utilizada uma série histórica de quarenta e cinco anos (552 meses) entre os anos de 1973 a 2018, obtida no site da Agência Pernambucana de Águas e Climas - APAC. A análise foi baseada em apenas um posto pluviométrico. Os dados referentes a série histórica apresentaram algumas falhas que foram preenchidas utilizando as médias mensais. Segundo Chibana et al. (2005) para os dados meteorológicos vários são os métodos que podem ser utilizados para o preenchimento de falhas, uma delas, a utilização de médias de dados observados.

Para identificar a possibilidade de tendência utilizou-se o teste de Mann-Kendall. Para isso os dados precisam ser independentes e aleatórios (Neeti & Eastman, 2011). Esse método é não paramétrico e consegue identificar flutuações temporais dos dados de forma significativa (Mann, 1945; Kendall, 1975). Além disso, para detectar sazonalidade foi utilizado o teste de sazonalidade de Mann-Kendall e com o intuito de identificar a estacionariedade da série utilizou-se os testes KPSS e Dickey-Fuller.

Para tratamento dos dados utilizou-se o software estatístico XLSTAT (versão 2014.5.03) com entrada de dados pelo Excel.

4. Resultados e Discussão

4.1 Estatística Descritiva dos dados

A partir da análise descritiva dos dados pôde-se perceber que na série histórica analisada o valor máximo anual acumulados de precipitação ocorreu no ano de 2005 com um volume de 1.022 mm, já o valor mínimo anual acumulado ocorreu no ano de 1994, com um volume de 329,2. A partir da análise da série constatou-se uma significativa diferença entre todos os valores médios dos períodos chuvosos (fevereiro a julho) e dos períodos secos (agosto a janeiro), pois enquanto o período chuvoso atingiu uma média de 153,58 mm, o período seco apresentou uma média de 59,20 mm. Este fato deixa bastante claro a existência de duas estações bem definidas, um período do ano em que as chuvas estão concentradas e o outro como menores índices pluviométricos.

4.2 Análise de tendência de precipitação

Através da Tabela 1 é possível observarmos os resultados obtidos através dos testes de Mann-Kendall e de Pettitt.

Tabela 1 – Testes estatísticos para identificação e avaliação de tendências em uma série histórica para dados mensais de precipitação. (Testes de Mann-Kendall e Pettitt à um nível de significância de 95%).

TESTE NÃO PARAMÉTRICO	
Teste de Mann-Kendall	
Tau de Kendall	-0,054
S	-8211,000
Var(S)	18738896,000
p-valor (bilateral)	0,058
alfa	0,05
Teste de Pettit	
K	7606,000
T	ago-12
p-valor (bilateral)	0,233
Alfa	0,05

Fonte: Autores (2021).

Para o teste de Mann-Kendall, segue as seguintes hipóteses:

H0: Não há uma tendência na série;

H1: Há uma tendência positiva na série.

Os resultados indicaram que o p-valor calculado é maior que o nível de significância $\alpha=0,05$, não rejeita-se a hipótese nula H0. Na estatística descritiva, o p-valor (0.0531) mostra que a hipótese nula não foi rejeitada, portanto, podemos sugerir que não há uma tendência significativa em nossa série temporal.

O teste de Pettitt é um teste não paramétrico que não requer nenhuma suposição sobre a distribuição de dados. Além disso, permite identificar a hora em que o turno ocorre. Segue as seguintes hipóteses:

H0: Os dados são homogêneos

H1: Há uma data em que houver uma alteração nos dados

Os resultados indicaram que o p-valor calculado é maior que o nível de significância $\alpha=0,05$, não rejeita-se a hipótese nula H0. O risco de rejeitar a hipótese nula H0 quando ela é verdadeira é de 22,36%. O valor-p mostra que a hipótese nula não é rejeitada. Podemos concluir que não há mudanças na série temporal. Esta, permanece constante. (Tabela 2)

Tabela 2 - Para o teste de sazonalidade de Mann-Kendall:

Teste	valor obtido
Teste	valor
Tau de Kendall	-0,071
S'	-878,000
p-valor (bilateral)	0,017
Alfa	0,05

Fonte: Autores (2021).

Segue o teste de hipóteses:

H0: Não há tendência na série

H1: Há uma tendência positiva na série

Conclusão: Como o p-valor calculado é menor que o nível de significância $\alpha=0,05$, deve-se rejeitar a hipótese nula H_0 em favor da hipótese alternativa H_1 . Ou seja, podemos sugerir que há uma tendência significativa em nossas séries temporais quando levamos a sazonalidade de 12 meses.

Conforme as indicações apontadas nos testes de tendência de Mann-Kendall e sazonalidade de Mann-Kendall foi possível sugerir que a série não possui tendência, no entanto, quanto a sazonalidade de 12 meses verificou-se a presença de tendência positiva. A série não apresenta possibilidade de crescimento ao longo de (552 meses) 45 anos. No entanto, ocorrem flutuações dos dados entre os anos. (Tabela 3).

Tabela 3 - aplicação do teste Teste da Raiz Unitária de Dickey-Fuller

Teste	valor obtido
Tau (Valor observado)	-10,229
Tau (Valor crítico)	-0,910
p-valor (unilateral)	< 0,0001
Alfa	0,05

Fonte: Autores (2021).

Segue o teste de hipóteses:

H0: Há uma raiz unitária para a série.

H1: Não há uma raiz unitária para a série. A série é estacionária.

Conclusão: Como o p-valor calculado é menor que o nível de significância $\alpha=0,05$, deve-se rejeitar a hipótese nula H_0 em favor da hipótese alternativa H_1 . O risco de rejeitar a hipótese nula H_0 quando ela é verdadeira é menor que 0,01%. (Tabela 4):

Tabela 4 - Teste de Estacionariedade de KPSS.

Teste	valor obtido
Eta (Valor observado)	0,254
Eta (Valor crítico)	0,465
p-valor (unilateral)	0,187
Alfa	0,05

Fonte: Autores (2021).

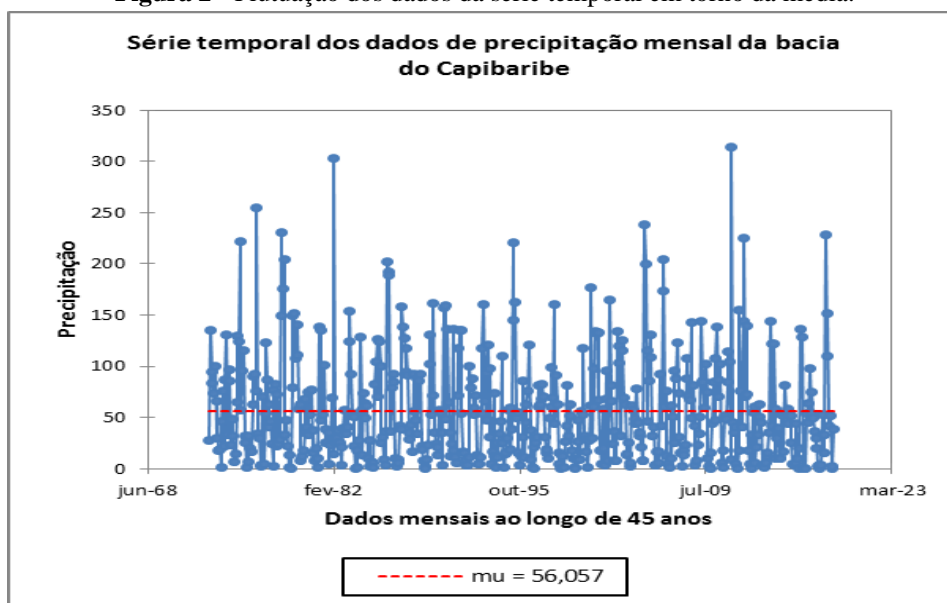
Segue o teste de hipóteses:

H0: A série é estacionária.

H1: A série não é estacionária.

Conclusão: Como o p-valor calculado é maior que o nível de significância $\alpha=0,05$ não rejeita-se a hipótese nula H_0 . O risco de rejeitar a hipótese nula H_0 quando ela é verdadeira é de 37,28%. Ambos os testes se coincidem em seus resultados e concordam com a estacionariedade da série, ou seja, a maioria dos dados flutuam próximo a média. Observe a Figura 2 a seguir.

Figura 2 - Flutuação dos dados da série temporal em torno da média.



Fonte: Autores.

Acima, no Figura 2 é possível observar que a maioria dos dados mensais de precipitação que compreendem a série flutuam próximo a média. O que podemos sugerir de que se trata de uma série do tipo estacionária.

Diante do que foi exposto, o Semiárido pernambucano brasileiro apresenta historicamente recorrentes episódios de escassez hídrica e, nos últimos anos, esses episódios têm acontecido também em regiões metropolitanas. Devido aos impactos socioeconômicos e ambientais, existe uma preocupação por parte da sociedade pelo aumento na frequência e intensidade desses eventos.

Nesse contexto, algumas tecnologias apresentam-se como uma solução para a redução do risco de ocorrência de tais episódios. O texto ao apresentar casos do Nordeste e em regiões metropolitanas, permite identificar como o uso da tecnologia pode ser empregado para mitigar os problemas enfrentados nessas regiões. Algumas tecnologias aplicadas são: monitoramento e gestão, encontra-se também um robô projetado para entrar em dutos de esgoto, água e ar condicionado, com diâmetro de, no mínimo, 300 mm, suportando até 1 bar de pressão. Outro destaque para solucionar o controle de consumo são os banheiros sustentáveis, que utilizam técnicas de reuso de água, visando à redução do consumo.

Além disso, destaca-se também a auto gestão pessoal do consumo através do processo de conscientização, podendo ser realizado através da educação ambiental escolar e por meio de vias de comunicação. Visto que muitas águas perdem sua qualidade para o consumo devido a contaminação de mananciais nas áreas urbanas é comum pelo lançamento de esgoto com pouco ou nenhum tratamento, podendo acarretar na diminuição da qualidade das águas, encarecendo seu tratamento, até inviabilizar o seu uso para o abastecimento. Além das precipitações irregulares, conta-se também com diversos problemas sociais e de gestão dos recursos naturais, e estes, quando bem geridos podem atenuar e minimizar problemas hídricos recorrentes.

4. Conclusão

A análise de tendência feita neste estudo, possibilitou o monitoramento da série histórica dos dados mensais de precipitação da bacia do Capibaribe. A partir do teste de Mann-Kendall foi possível detectar que a série não apresentava tendência, ou seja, não havia possibilidade de crescimento ao longo do tempo. No entanto, podemos sugerir que há uma

tendência significativa em nossas séries temporais quando levamos em consideração a sazonalidade de 12 meses. Para os testes de homogeneidade: o teste de Pettit, SNHT, Buishand concordam entre si que a série é homogênea. Não há mudança entre as partes da série temporal. Para o teste da raiz unitária e KPSS ambos confirmam a estacionariedade da série. A maioria dos dados flutuam bem próximo da média e todas as características no comportamento não são alteradas no tempo. Indica-se, portanto, que a série não sofreu variações climáticas local ao longo do período estudado.

Referências

- Ahmad, I.; Tang, D.; Wang, T. F.; Wang, M.; Wang, B. (2015). Precipitation trends over time using Mann-Kendall and Spearman's rho tests in Swat river basin, *Pakistan. Advances in Meteorology*, v. 2016, 431860.
- Assis, J. M. D. O., Souza, W. M., & Carmo Sobral, M. (2015). Análise climática da precipitação no submédio da bacia do Rio São Francisco com base no índice de anomalia de chuva. *Brazilian Journal of Environmental Sciences (Online)*, (36), 115-127.
- Barbosa, I. M. B. (2012). *Planejamento da Operação de Reservatório Objetivando a Melhoria da Qualidade da Água: Estudo de Caso no Agreste Pernambucano*. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife.
- Bertoni, J. C.; Tucci, C. E. M. *Precipitação*. In: Tucci, C. E. M. Org. *Hidrologia: Ciência e Aplicação*. UFRGS, ABRH, Porto Alegre-RS, Cap. 5, p177-200. 1993.
- Cabral, Jório Bezerra e Lucena, Rebecca Luna. (2020). Análises das precipitações pelos testes não paramétricos de MANN-KENDALL E KRUSKAL-WALLIS. *Mercator* (Fortaleza) [online]. v. 19. ISSN 1984-2201. <https://doi.org/10.4215/rm2020.e19001>.
- Chibana, E.Y.; Flumignan, D.; Mota, R.G.; Vieira, A.S.; Faria, R.T. (2005). Estimativa de falhas em dados meteorológicos. In: Congresso Brasileiro de Agroinformática, v. 9, 2005, Londrina. Anais...Londrina: SBI-AGRO.
- Chow, V. T. (1964). Handbook of applied hydrology: a compendium of water-resources technology, *New York: Mac Graw-Hill Book Co*, v. 1.
- Detzel, D. H. M.; Mine, M. R. M. Trends in hydrological series: methods and application. *11th International Conference on Hydrosience & Engineering, Hamburg, Germany*, 2014.
- Diermanse, F. L. M., Kwadijk, J. C. J., Beckers, J. V. L., & Crebas, J. I. (2010). Statistical trend analysis of annual maximum discharges of the Rhine and Meuse rivers. In *British Hydrological Society Third International Symposium, Newcastle*.
- Duhan, D., & Pandey, A. (2013). Statistical analysis of long term spatial and temporal trends of precipitation during 1901–2002 at Madhya Pradesh, India. *Atmospheric Research*, 122, 136-149.
- Ferreira Neto, J. V. (2001). *Regiões climatologicamente homogêneas do Estado de Alagoas com base na análise espaço-temporal da pluviometria* (Doctoral dissertation, Instituto de Geociências e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista.).
- Gocic, M., & Trajkovic, S. (2013). Analysis of precipitation and drought data in Serbia over the period 1980–2010. *Journal of Hydrology*, 494, 32-42.
- Guedes, H. A. S., Priebe, P. D. S., & Manke, E. B. (2019). Tendências em séries temporais de precipitação no Norte do Estado do Rio Grande do Sul, Brasil. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 34, 283-291.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Informações sobre os indicadores. Disponível em: www.ibge.gov.br. Acesso em: agosto de 2022.
- IPCC – INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, p. 151, 2014.
- Ishak, E. H., Rahman, A., Westra, S., Sharma, A., & Kuczera, G. (2013). Evaluating the non-stationarity of Australian annual maximum flood. *Journal of Hydrology*, 494, 134-145.
- Kahya, E., & Kalaycı, S. (2004). Trend analysis of streamflow in Turkey. *Journal of hydrology*, 289(1-4), 128-144.
- Kendall, M. G. (1975). *Rank Correlation Measures*. Ed. Charles Griffin. London.
- Lira, C. S; Pimentel, G; Santos, E. M. (2013). Unidades de Conservação na Bacia do Capibaribe – Quem faz Educação Ambiental. In: XII Jornada de Ensino, Pesquisa e Extensão – JEPEX – UFRPE, Recife.
- Mann, H. B. (1945). Nonparametric tests against trend. *Econometrica: Journal of the econometric society*, 245-259.
- Medeiros, R. M., de Holanda, R. M., de França, M. V., Saboya, L. M. F., Neto, F. C. R., & de Araújo, W. R. (2021). Escassez de água e sua variabilidade pluviométrica nos últimos 20 anos em São Bento do Una–Pernambuco, Brasil. *Brazilian Journal of Development*, 7(5), 46432-46446.
- Mendonça, A. S. F. (2009). *Hidrologia*. Universidade Federal do Espírito Santo. Departamento de Engenharia Ambiental. p. 45.
- Moreira, J. G. D. V., & Naghettini, M. (2016). Detecção de tendências monotônicas temporais e relação com erros dos tipos I e II: estudo de caso em séries de precipitações diárias máximas anuais do estado do Acre. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 31, 394-402.

- Morettin, P. A.; Toloi, C. (2006). *Análise de séries temporais*. 2. ed. São Paulo: E. Blucher, p.564.
- Neeti, N.; Eastman, J.R. (2011). A Contextual Mann-Kendall Approach for the Assessment of Trend Significance in Image Time Series. *Transactions in GIS*, 15(5): 599-611.
- Oliveira, K.S.S.; Silva, M.G.A.J. (2016). Onda circumpolar antártica: Influência na variabilidade climática do estado do Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 31, n. 4, p. 403-414.
- Salvadori, N. (2013). *Evaluation of non-stationarity in annual maximum flood series of moderately impaired watersheds in the upper Midwest and Northeastern United States*. Dissertation (Master of Science in Environmental Engineering) – Department of Civil and Environmental Engineering, Michigan Technological University, Michigan.
- Santos, C. A. C. D., Brito, J. I. B. D., Rao, T. V. R., & Menezes, H. E. A. (2009). Tendências dos índices de precipitação no Estado do Ceará. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 24, 39-47.
- Santos, Herikleno Silva. (2019). *Avaliação dos recursos ambientais para produção no semiárido: estudo de caso sobre o canteiro cheiro verde*. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso.
- Shao, Y., Wu, J., Ye, J., & Liu, Y. (2015). Frequency analysis and its spatiotemporal characteristics of precipitation extreme events in China during 1951–2010. *Theoretical and Applied Climatology*, 121(3), 775-787.
- Silva, F. B., Santos, J. R. N., Feitosa, F. E. C. S., Silva, I. D. C., Araújo, M. L. S. D., Guterres, C. E., ... & Neres, R. L. (2016). Evidências de mudanças climáticas na região de transição Amazônia-Cerrado no Estado do Maranhão. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 31, 330-336.
- Silva, R. O. B. D., Montenegro, S. M. G. L., & Souza, W. M. D. (2017). Tendências de mudanças climáticas na precipitação pluviométrica nas bacias hidrográficas do estado de Pernambuco. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, 22, 579-589.
- Silveira, A. L. L. (2009). *Ciclo Hidrológico e Bacia Hidrográfica*. In: Tucci, C. E. M. *Hidrologia: ciência e aplicação*, segunda edição, Porto Alegre. Universidade/UFRGS: ABRH, p 35- 51.
- Souza, E. B., Alves, J. B., & Nobre, P. (1998). Anomalias de precipitação nos setores norte e leste do nordeste brasileiro em associação aos eventos do padrão de dipolo observados na bacia do atlântico tropical. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 13(2), 45-55.
- Souza, W. M., & de Azevedo, P. V. (2009). Avaliação de tendências das temperaturas em Recife-PE: mudanças climáticas ou variabilidade?. *Engenharia Ambiental: Pesquisa e Tecnologia*, 6(3).
- Sudene. Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste –Recife. Link: <http://www.sudene.gov.br/delimitacao-do-semiarido>. Acesso em 24 de Agosto de 2021.
- Tucci, C. E. M. (2009). *Hidrologia: ciência e aplicação*, Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – ABRH, 4ª Edição, Porto Alegre. 943 p.
- Uzeika, T. (2009). *Aplicabilidade do modelo SWAT (Soil and Water Assessment Tool) na simulação da produção de sedimentos em uma pequena bacia hidrográfica rural*. [sl] 2009. 144 f (Doctoral dissertation, Dissertação (Mestrado–Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental)–Universidade Federal do Rio Grande do Sul).
- Villafuerte II, M. Q., Matsumoto, J., Akasaka, I., Takahashi, H. G., Kubota, H., & Cinco, T. A. (2014). Long-term trends and variability of rainfall extremes in the Philippines. *Atmospheric Research*, 137, 1-13.
- Yeh, C. F., Wang, J., Yeh, H. F., & Lee, C. H. (2015). Spatial and temporal streamflow trends in northern Taiwan. *Water*, 7(2), 634-651.
- Zanardi-Lamardo, E., Nóbrega, A., Santos, R., & Maciel, D. C. (2016). Fontes e níveis de contaminação do sistema estuarino do rio Capibaribe (Pernambuco/Brasil). *Trop Oceanogr*, 44, 118-131.