



Predição da Chuva Média para a Cidade do Recife entre os Anos de 2014 e 2023: Uma Aplicação do Método de Thiessen

Prediction of Average Rainfall for the City of Recife between 2014 and 2023: An Application of the Thiessen Method

Predicción de la precipitación media para la ciudad de Recife entre los años 2014 y 2023: una aplicación del método Thiessen

José Alves Cabral Júnior

Graduando em Engenharia da computação, UPE, Brasil
jacj@poli.br

Willames de Albuquerque Soares

Professor Doutor, UPE, Brasil
willames.soares@upe.br

Marco Aurelio Calixto Ribeiro de Holanda

Doutor, UFPE, Brasil.
marco.calixto@ufpe.com

Maurício Costa Goldfarb

Professor Doutor, UFPE, Brasil.
mauricio.goldfarb@upe.br



RESUMO

Devido às recentes mudanças climáticas, o estudo e compreensão do clima local e do ciclo hidrológico têm se tornado cada vez mais importante, uma vez que essas alterações têm acarretado eventos extremos de precipitação, causando alagamentos e prejuízos a sociedade como um todo. Recife-PE é uma das cidades que sofrem com esses eventos. Objetivou-se com esse estudo estimar a chuva média em diferentes pontos da cidade de Recife-PE, possibilitando um melhor planejamento de políticas públicas locais, tomando como base os períodos de maiores chuvas e maiores estiagens. Os dados de chuva, de janeiro de 2013 a dezembro de 2023, foram obtidos do Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN). As chuvas médias foram determinadas pela metodologia dos polígonos de Thiessen. A normalidade dos dados foi verificada pelo teste de Shapiro-Wilk, com uma significância de 5% e a tendência dos dados por regressão linear. Constatou-se que os meses com menor e maior volume de chuvas foram outubro de 2016 e maio de 2022, respectivamente. Os valores médios de chuvas seguem uma distribuição normal e apresentam uma leve tendência de aumento. A quantidade de estações disponíveis aumentou satisfatoriamente, entretanto, sua distribuição espacial é inadequada. Para que a determinação das chuvas seja um indicador forte nas tomadas de decisões políticas, faz-se necessário que uma melhor distribuição dos pluviômetros ocorra, além da continuidade do monitoramento das chuvas médias.

PALAVRAS-CHAVE: Shapiro-Wilk. Mudanças climáticas. Dispersão.

SUMMARY

Due to recent climate change, the study and understanding of local climate and the hydrological cycle have become increasingly important, since these changes have led to extreme precipitation events, causing flooding and damage to society as a whole. Recife-PE is one of the cities that suffer from these events. The objective of this study was to estimate the average rainfall in different points of the city of Recife-PE, enabling better planning of local public policies, based on the periods of greatest rainfall and greatest droughts. Rainfall data, from January 2013 to December 2023, were obtained from the National Center for Monitoring and Alerts for Natural Disasters (CEMADEN). Average rainfall was determined by the Thiessen polygon methodology. Data normality was verified by the Shapiro-Wilk test, with a significance of 5% and data trend by linear regression. It was found that the months with the lowest and highest rainfall volumes were October 2016 and May 2022, respectively. The average rainfall values follow a normal distribution and show a slight upward trend. The number of available stations has increased satisfactorily, however, their spatial distribution is inadequate. In order for rainfall determination to be a strong indicator in political decision-making, it is necessary to have a better distribution of rain gauges, in addition to the continued monitoring of average rainfall.

KEYWORDS: Shapiro-Wilk. Climate change. Dispersion.

RESUMEN

Debido a los recientes cambios climáticos, el estudio y la comprensión del clima local y del ciclo hidrológico han cobrado cada vez más importancia, ya que estos cambios han provocado eventos extremos de precipitación, provocando inundaciones y daños a la sociedad en su conjunto. Recife-PE es una de las ciudades que sufre estos eventos. El objetivo de este estudio fue estimar la precipitación media en diferentes puntos de la ciudad de Recife-PE, permitiendo una mejor planificación de las políticas públicas locales, tomando como base los períodos de mayor lluvia y mayor sequía. Los datos de precipitaciones, de enero de 2013 a diciembre de 2023, se obtuvieron del Centro Nacional de Monitoreo y Alertas de Desastres Naturales (CEMADEN). La precipitación promedio se determinó mediante la metodología del polígono de Thiessen. La normalidad de los datos fue verificada mediante la prueba de Shapiro-Wilk, con significancia del 5% y tendencia de los datos mediante regresión lineal. Se encontró que los meses con menor y mayor precipitación fueron octubre de 2016 y mayo de 2022, respectivamente. Los valores medios de precipitaciones siguen una distribución normal y muestran una ligera tendencia creciente. El número de estaciones disponibles ha aumentado satisfactoriamente, sin embargo, su distribución espacial es inadecuada. Para que la determinación de las precipitaciones sea un indicador fuerte en la toma de decisiones políticas, es necesario que se produzca una mejor distribución de los pluviómetros, además del seguimiento continuo de las precipitaciones promedio.

PALABRAS CLAVE: Shapiro-Wilk. Cambio climático. Dispersión.



1 INTRODUÇÃO

As recentes mudanças climáticas e as irregularidades espaço-temporais da precipitação têm se mostrado importante para o estudo e previsões do clima e do ciclo hidrológico (Fu et al., 2023), uma vez que essas alterações têm acarretado eventos extremos de precipitação, causando alagamentos e prejuízos (Lee; Park; Yoo, 2020; Aryee et al., 2024). Deste modo, o estudo e compreensão desses processos hidrológicos auxiliam a tomada de decisão, por parte das autoridades competentes, para mitigar ou solucionar problemas atrelados, principalmente, à precipitação e suas consequências em centros urbanos (Aryee et al., 2024).

A precipitação é aferida em pontos específicos de uma bacia hidrográfica, e seu valor é determinado por meio da relação entre a altura pluviométrica (altura de água precipitada sobre uma superfície plana, em mm) e a duração do evento chuvoso. A critério de projeto de estruturas de drenagem, em centros urbanos, visando a redução dos problemas causados pelas precipitações extremas, os estudos mostram que uma determinação precisa da intensidade da chuva é fundamental no dimensionamento adequado dessas estruturas (Rezende et al., 2023; Rêgo; Mendes; Aguiar, 2023).

Biondi et al. (2021), afirmam que os métodos geoestatísticos utilizados na estimativa dos valores médios de precipitação, como o método da krigagem de blocos, em comparação com o do polígono de Thiessen, têm várias vantagens, incluindo: (i) os erros de previsão são quantificados, (ii) as previsões são imparciais com variância limitada e (ii) a correlação espacial entre estações pluviométricas individuais é considerada.

No entanto, os métodos geoestatísticos podem ser demorados quando aplicados a redes de monitoramento de precipitação de alta resolução e não necessariamente têm qualidades preditivas significativamente maiores do que o método do polígono de Thiessen. Normalmente, o método do polígono de Thiessen apresenta tempos de computação associados mais curtos quando grandes conjuntos de dados são considerados, justificando assim a grande vantagem desse método, mesmo ele apresentando limitações (Pietersen et al., 2023).

A metodologia do polígono de Thiessen é uma forma simples e prática de se determinar a chuva média de uma região. Esta metodologia foi utilizada satisfatoriamente por diversos pesquisadores (Kurtzman et al., 2009; Ly et al., 2011; Yang et al., 2015; Chen et al., 2017), que não encontraram diferenças significativas entre os resultados apresentados pelo método do polígono de Thiessen e os métodos geoestatísticos.

Pietersen (2023), destaca que o método do polígono de Thiessen só deve ser utilizado quando sejam atendidos os critérios de densidade mínima da estação de precipitação, especificados pela Organização Meteorológica Mundial (OMM, 1994), a qual gira em torno de uma estação para cada 575–900 km² no caso de áreas costeiras e planícies interiores, ou o estabelecido por Siriwardena e Weinmann (1996), que recomendam um mínimo de duas estações pluviométricas para áreas de captação de até 100 km², depois disso, um mínimo de três estações para áreas de captação de até 500 km² e uma estação adicional para cada 500 km² depois disso.

Hwang, Kim e Han (2020), compararam quatro métodos de interpolação espacial que são comumente usados (o polígono de Thiessen, o método do Inverso da Distância Ponderada,



a Interpolação multiquádrica e a Krigagem ordinária), em pequenas bacias que possui um número bastante limitado de pluviômetros, na Coreia do Sul. Os resultados encontrados foram comparados aos valores obtidos por radares meteorológicos. Esses autores concluíram que as distribuições temporais da precipitação média obtidas a partir de dados de pluviômetros e radares meteorológicos difere-se a depender da direção do movimento da precipitação. Deste modo, eles produziram uma diretriz para o número e o posicionamento dos pluviômetros, para estimar a precipitação média da área com uma maior precisão em pequenas bacias hidrográficas.

Pala e Yuce (2023), analisaram a relação entre a precipitação e o escoamento da bacia do alto rio Murat na Turquia. Para tal, utilizaram o método do polígono de Thiessen para calcular as chuvas nas áreas de influência de cada posto pluviométrico, e, determinar possíveis posicionamento irregular das estações de precipitação. Tiwari et al. (2024) também avaliaram a eficácia dos modelos de escoamento pluvial como o Function Neural Network e o Model Tree M5 Neural Network, fazendo uso do polígono de Thiessen para determinar a chuva média da bacia hidrográfica do Rio Kolar localizada em Madhya Pradesh, Índia, utilizando estações pluviométricas instaladas nas cidades de Ichhawar, Brijesh Nagar e Birpur.

Recife, a capital do estado de Pernambuco, é uma cidade conhecida por sua vulnerabilidade a alagamentos devido a fatores climáticos e urbanos. Assim, determinar com precisão a sua chuva média é crucial para o planejamento e implementação de estratégias eficazes de controle de alagamentos e para alertar com antecedência aos moradores que estejam em áreas de riscos. Deste modo, objetivou-se estimar a chuva média em diferentes pontos da cidade de Recife-PE, possibilitando um melhor planejamento de políticas públicas locais, tomando como base os períodos de maiores chuvas e maiores estiagens.

2 METODOLOGIA

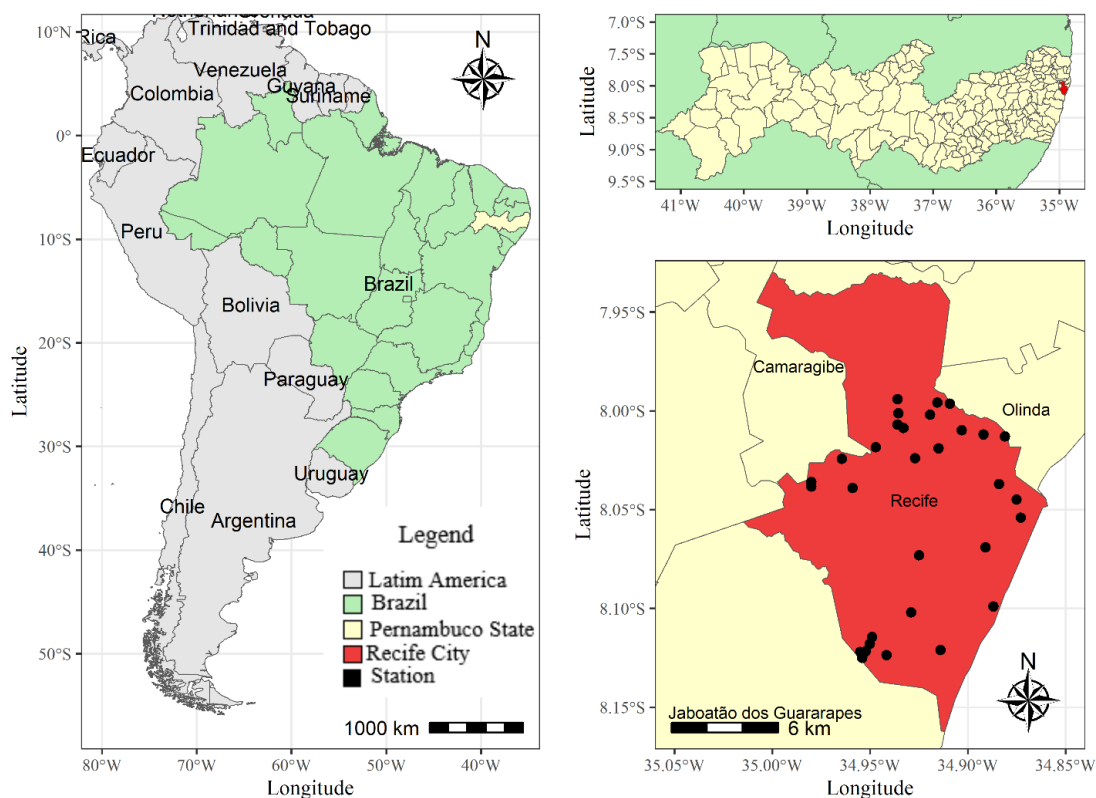
2.1 Área de estudo

O estudo foi realizado na cidade de Recife, capital do Estado de Pernambuco, que está localizada entre os paralelos 07°56'0''S 08°09'0''S e entre os meridianos 34°51'00''W 35°02'0''W, situada no litoral oriental do Nordeste do Brasil e limitada pelas cidades de Olinda, Camaragibe, São Lourenço da Mata e Jaboatão dos Guararapes (Figura 1). Segundo o Instituto Brasileiro de Estatística e Geografia (IBGE, 2022), a Cidade possui 218,843 km², com 1.488.920 habitantes, perfazendo uma densidade habitacional de 6.803,60 hab./km².

Os dados utilizados nesta pesquisa são de domínio público e estão disponíveis no site do Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN), e são referentes às chuvas ocorridas entre os anos de 2014 e 2023. Em janeiro de 2014 a Cidade de Recife contava com apenas quatro estações pluviométricas geridas pela CEMADEN. Número esse que foi aumentado e chegando a 32 estações ao final do ano de 2023. Facilmente, percebe-se que a densidade de estações pluviométricas na Cidade de Recife é bem superior a densidade mínima estabelecida pela OMM (1994) e/ou Siriwardena e Weinmann (1996), que são de 575

km²/estação ou três estações para cada 500 km², respectivamente, para a utilização do método de Thiessen.

Figura 1 – Mapa de localização da Cidade de Recife-PE com localização das estações pluviométricas



Fonte: Elaborada pelos autores, 2024.

2.2 Método de Thiessen

A precipitação média (P_m), é calculada pelo método de Thiessen (1911) a partir da média ponderada da quantidade de chuva de cada estação (Equação 1), em que os pesos são determinados de acordo com a área de influência de cada estação (polígono). Cada polígono é formado pela interseção das linhas das mediatrizes da linha imaginária que interliga as estações.

$$P_m = \frac{\sum A_i P_i}{A} \quad (1)$$

Sendo P_i a precipitação medida em cada estação (mm), A_i a área de influência da estação (m²) e A a área total da região (m²).

2.3 Análise dos dados



Uma regressão linear foi performada para verificar se há alguma tendência nos valores anuais de chuvas. Para tal, faz-se necessário que os dados apresentem um comportamento adequado a distribuição normal.

Neste caso, a fim de se verificar a normalidade dos dados de chuva, utilizou-se o teste de Shapiro-Wilk a nível significância de 5%. A hipótese nula (H_0) era de que os valores mensais de chuvas têm uma distribuição normal, a qual é aceita sempre que o valor-p é superior ao nível de significância, enquanto a hipótese alternativa (H_a) era de que os valores não têm uma distribuição normal, a qual é aceita quando o valor-p é inferior ao nível de significância.

3 RESULTADOS

Na Tabela 1 estão apresentados os valores das chuvas médias anuais, calculadas pelo método de Thiessen, para a Cidade de Recife. Os valores demonstram ter um comportamento normal pelo teste de Shapiro-Wilk (valor $p = 0,1617$), com uma média de 1859,69 mm e apenas um outlier, correspondente ao ano de 2022.

O ano de 2016 foi o que apresentou as menores ocorrências de chuva, com pouco mais de 1470 mm. Outubro foi o mês com menor precipitação, com aproximadamente 11 mm, apenas. Durante o ano de 2022 ocorreu a maior precipitação, com valores superiores a 2700 mm de chuva. Neste ano, além dos costumeiros alagamentos de vias, as fortes chuvas causaram deslizamentos de terra, deixando um total de 140 mortes, 122 mil pessoas desalojadas, 68 mil casas danificadas e 3 mil destruídas completamente (CÂMARA DOS DEPUTADOS, 2024). Os meses de maior concentração de chuvas deste ano foram maio e junho, com 678,1 e 423,8 mm, respectivamente.

Tabela 1 - Chuva média anual calculados para a Cidade de Recife

Ano	Chuva média (mm)
2014	1908,43
2015	1704,84
2016	1561,17
2017	1938,65
2018	1474,62
2019	1926,53
2020	1460,21
2021	2166,52
2022	2708,33
2023	1747,63
Média	1859,69

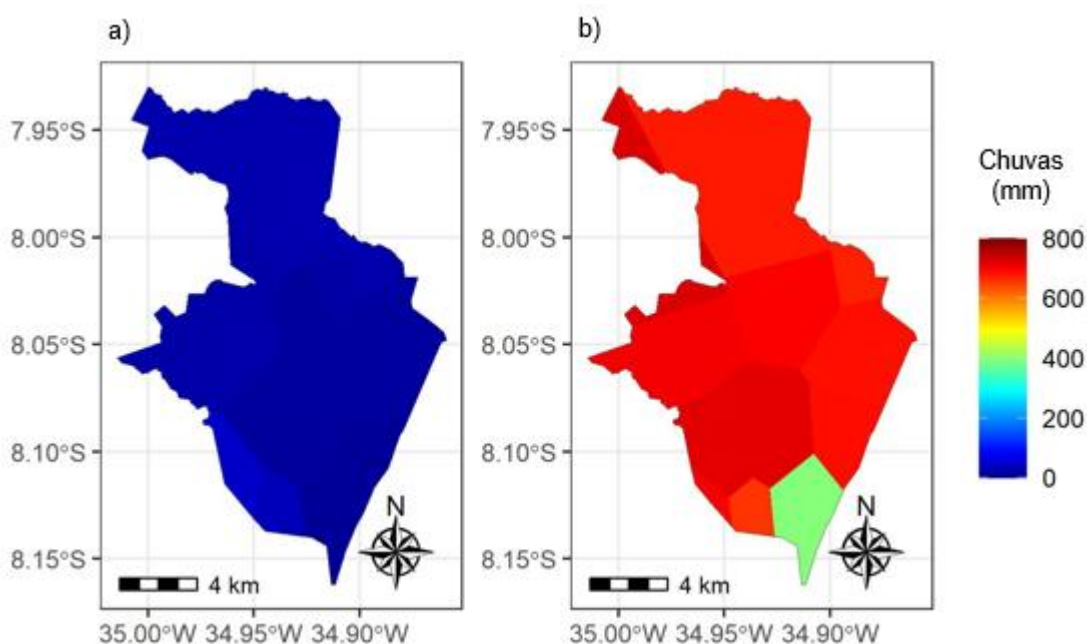
Fonte: Elaborada pelos autores, 2024.

Na Figura 2 estão apresentados o mapa de calor da Cidade do Recife do mês com valor menor de chuvas, referente a outubro de 2015 (Figura 2a) e o mês com o maior valor de chuva média, maio de 2022 (Figura 2b). É bastante nítida as diferenças entre ambos os meses.

Enquanto em outubro de 2015 a chuva média não chegou a 200 mm, em maio de 2022 a chuva média foi superior a 400 mm, em todos os pontos da Cidade.

Em outubro de 2015 (Figura 2a), nota-se pouca variabilidade espacial em toda a Cidade, com os valores entre 0 e 75 milímetros de chuvas mensais, essa variabilidade também foi observada por Silva (2018). A Cidade contava com 19 estações pluviométricas. Segundo a Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC 2015), neste período foram registradas precipitações abaixo da média histórica para Recife, e a grande Recife apresentou uma redução de 25% nos valores de chuvas.

Figura 2 – Meses a) menos chuvoso – outubro de 2015 e b) mais chuvoso – maio de 2022, para o período entre 2014 e 2023



Fonte: Elaborada pelos autores, 2024.

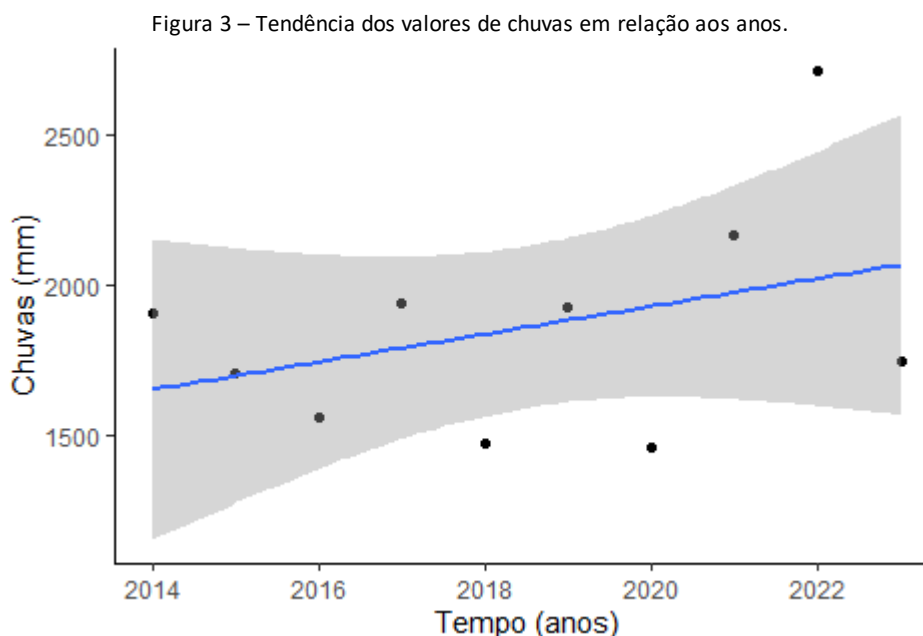
No mês de maio de 2022 (Figura 2b), observa-se uma alta variabilidade espacial, com valores entre 400 mm e 750 mm, principalmente na direção Norte-Sul, tendo os valores máximos na região Centro-Oeste. Vale ressaltar que estes valores são bem superior ao esperado, que é de 328,9 mm, segundo a APAC (2022). Nesta ocasião, a Cidade contava com 22 estações pluviométricas, e no setor de maior valor de chuva havia apenas uma estação. Entretanto, este valor pode ser confirmado pelos valores encontrados nas estações próximas pertencente ao município de Jaboatão dos Guararapes, que registraram uma chuva acumulada de 788,4 mm.

Outros autores como Holanda et al. (2019) também mostraram que ao analisarem os dados pluviométricos de uma estação meteorológica situada no Curado-PE, disponibilizados pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), foi constatado que os meses de maio, junho e julho foram os que apresentaram os maiores índices pluviométricos. Já Oliveira, Soares e Holanda (2020) ao estudarem os dados de precipitação fornecidos pela APAC, mostraram que no intervalo de janeiro de 2016 e dezembro de 2018, o mês de abril de 2017 e abril de 2018

foram os que apresentaram as maiores precipitações.

Observa-se que mesmo apresentando uma densidade de estações pluviométricas muito boa, com valores variando entre 55 e 6,56 km²/estação, não há uma uniformidade na distribuição dessas estações. Na parte mais ao norte da Cidade não há estações pluviométricas, e os valores tiveram de ser obtidos por estações que não estão no território municipal. É importante observar que é justamente na região norte do Município onde se encontram os morros com comunidades mais sujeitas aos acidentes de deslizamentos de encostas. Isso também é observado na região centro-oeste da Cidade. A baixa densidade de estações nessa porção do território dificulta as análises e causam incertezas quanto aos valores estimados. Essa condição de desproporcionalidade na densidade das estações forma encontrados por Melo e Sampaio (2019), ao analisarem as chuvas médias para a região serrana e do litoral do Paraná.

Na Figura 3 está apresentado um gráfico de dispersão com os valores das chuvas médias em função dos anos. Considerando os intervalos de confiança, apenas três valores de chuvas médias apresentam discrepância com a regressão linear. Embora o coeficiente de determinação seja positivo ($r^2 = 0,140$), a relação é muito fraca, ou seja, observa-se uma tendência muito fraca no aumento dos valores das chuvas ao longo dos anos. Esses resultados estão de acordo com os encontrados por Medeiros (2018), que avaliou as chuvas ocorridas para a Cidade de Recife entre os anos de 1962 e 2016, e percebeu uma tendência no aumento de chuvas, sobretudo no primeiro trimestre.



Fonte: Elaborada pelos autores, 2024.



4 CONCLUSÃO

O presente estudo determinou satisfatoriamente a precipitação média mensal da Cidade de Recife-PE pelo método do polígono de Thiessen, durante os anos entre 2014 e 2023.

A densidade de estações pluviométricas na Cidade de Recife, com valores que vão de 55 km²/estação em janeiro de 2014 a 6,56 km²/estação em dezembro de 2023, é bem superior aos valores mínimos exigidos pela Organização Meteorológica Mundial (575 km²/estação). Entretanto, as estações não estão dispostas de forma uniforme ao longo da Cidade. A baixa densidade na região mais ao norte causa incertezas nos valores encontrados.

Os valores anuais de chuva apresentaram uma boa adequação a distribuição normal, segundo o teste de Shapiro-Wilk, com um valor p de 0,1617.

Há uma tendência muito fraca no aumento nos valores anuais de precipitação. Esta pode ser desconsiderada a princípio, mas deve-se continuamente acompanhar os novos valores de chuvas médias para se confirmar ou não a tendência de aumento no volume de chuvas para a Cidade.

REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

AGÊNCIA PERNAMBUCANA DE ÁGUAS E CLIMA (APAC). **BOLETIM DO CLIMA: SÍNTESE CLIMÁTICA**. 32 p. 2015.

Disponível em:

http://old.apac.pe.gov.br/arquivos_portal/boletins/Boletim%20do%20Clima_Dezembro%202015.pdf . Acesso em: 13 set. 2024.

AGÊNCIA PERNAMBUCANA DE ÁGUAS E CLIMA (APAC). **ACUMULADO MENSAL DE PRECIPITAÇÃO – MAIO/2022**.

Disponível em: <https://www.apac.pe.gov.br/uploads/MAIO-2022-.pdf> . Acesso em: 12 set. 2024.

ARYEE, J. N. A.; AFRIFA, F. O. T.; AGYAPONG, K-H.; GYAU FRIMPONG, N. A.; QUAGRAINE, K. T.; DAVIES, P.

Quantifying climatic heavy-precipitation-induced floods in West Africa using multiple precipitation indices. **Scientific African**, v. 25, p. 1-11, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2024.e02309>

CHEN, T.; REN, L.; YUAN, F.; YANG, X.; JIANG, S.; TANG, T.; LIU, Y.; ZHAO, C; ZHANG, L. Comparison of spatial interpolation schemes for rainfall data and application in hydrological modelling. **Water**, v. 9, n. 5, p. 342, 2017.

<https://doi.org/10.3390/w9050342>

COSTA, I. S.; MEDEIROS, E. S.; SILVA, A. Q.; MEDEIROS, C. C. B.; OLIVEIRA, L. A. Mapeamento da precipitação em uma Região do Nordeste Brasileiro por meio de técnicas geoestatística. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v.12, n.5, p.761-769, 2021. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2021.005.0059>

CÂMARA DOS DEPUTADOS. COMISSÃO ESPECIAL SOBRE PREVENÇÃO E AUXÍLIO A DESASTRES E CALAMIDADES NATURAIS. Ações de prevenção a desastres ocasionados pelas chuvas em Pernambuco. YouTube, 22 de maio de 2024. Disponível em: <https://www.camara.leg.br/evento-legislativo/72977> . Acesso em: 21 set. 2024.

FU, S.; ZHANG, H.; ZHONG, Q.; CHEN, Q.; LIU, A.; YANG, J.; PANG, J. Spatiotemporal variations of precipitation concentration influenced by large-scale climatic factors and potential links to flood-drought events across China 1958–2019. **Atmospheric Research**, v. 282, p. 1-16, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2022.106507>



HOLANDA, M. A. C. R.; OLIVEIRA, D. B. C.; SOARES, W. A.; SILVA, S. R. Analysis of the Viability of Implementing Sustainable Proposals to Reduce Tunnel Flooding in Recife, Pernambuco. **Revista Brasileira De Geografia Física**, v. 13, p. 1904-1913, 2020. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.2386>

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/pe/recife.html> . Acesso em: 31 ago. 2024.

KURTZMAN, D.; NAVON, S.; MORIN, E. Improving interpolation of daily precipitation for hydrologic modelling: spatial patterns of preferred interpolators. **Hydrological Processes**, v. 23, p. 3281–3291, 2009. <https://doi.org/10.1002/hyp.7442>

LEE, C. W.; PARK, M. J.; YOO D. G. Quantitative Determination Procedures for Regional Extreme Drought Conditions: Application to Historical Drought events in South Korea. **Atmosphere**, v. 11, n.6, p. 581, 2020. <http://doi.org/10.3390/atmos11060581>

LY, S., CHARLES, C., DEGRÉ, E. A. Geostatistical interpolation of daily rainfall at catchment scale: the use of several variogram models in the Ourthe and Ambleve catchments, Belgium. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 15, n. 7, p. 2259–2274, 2011. <https://doi.org/10.5194/hess-15-2259-2011>

MEDEIROS, R. M. Mudanças do ENSO com relação à precipitação e dias com chuva em Recife - PE, Brasil. **Revista Mirante**, v. 11, n. 8, p. 222-240, 2018. Disponível em: <https://www.revista.ueg.br/index.php/mirante/article/view/8692>. Acesso em: 15 set. 2024.

MELLO, Y. R.; SAMPAIO, T. V. M. ANÁLISE GEOESTATÍSTICA DA PRECIPITAÇÃO MÉDIA PARA O ESTADO DO PARANÁ. **Brazilian Journal of Climatology**, v. 25, p. 643-660, 2021. <https://doi.org/10.5380/abclima.v25i0.64468>

OLIVEIRA, D. B. C.; SOARES, W. A.; HOLANDA, M. A. C. R. Effects of rainwater intrusion on an activated sludge sewer treatment system. **Revista Ambiente e Agua**, v. 15, p. 1-12, 2020. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.2497>

PALA, M.; YUCE, M. I. Comparative Rainfall-Runoff analysis of the Upper Murat River Basin in Turkey in context of HydroMeteorological variables. **Alexandria Engineering Journal**, v. 75, p. 479–493, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2023.06.013>

PIETERSEN, J. P. J.; GERCKE, O. J.; SMITHERS, J. C. Derivation of long duration geographically-centred areal reduction factors for catchment design rainfall estimation in South Africa. **Journal of Hydrology: Regional Studies**, v. 50, p. 1-24, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2023.101542>

PIETERSEN, J. P. J. **Development and Assessment of Regionalised Areal Reduction Factors for Catchment Design Rainfall Estimation in South Africa**. 2023. Tese (doutorado em Engenharia Civil) - Central University of Technology, Departamento de Engenharia Civil, Free State, Bloemfontein, RSA.

RÊGO, P. M. M.; MENDES, I. M. S.; AGUIAR, M. F. M. Equações de Chuvas Intensas para Auxílio das Obras de Drenagem Urbana no Estado do Pará. **Revista Científica ANAP Brasil**, v. 16, n. 38, p. 88-102, 2023. <https://doi.org/10.17271/19843240163820233753>

REZENDE, A. C. L.; MACHADO, A. R.; REZENDE, A. C. L.; GOMES, E. O.; BOMFIM, T. O.; GUIMARÃES, T. L. B.; SANTOS, R. L. Diagnóstico e dimensionamento de estruturas de micro e macro drenagem: estudo de caso centro de campestre (MA). **Científica Digital**, v. 65, p. 833-853, 2023. <http://doi.org/10.37885/230814010>



SILVA, E. C. **Variabilidade espaço-temporal da pluviosidade da região metropolitana de Recife**. Tese (doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco, Departamento de Engenharia Civil, Recife, Pernambuco.

SIRIWARDENA, L.; WEINMANN P. E. Derivation of Areal Reduction Factors for Design Rainfalls in Victoria Report No. 96/4 Cooperative Research Centre for Catchment Hydrology,, Victoria, Australia (1996) Disponível em: <https://www.ewater.org.au/archive/crcch/archive/pubs/pdfs/technical199604.pdf>. Acesso em: 02/09/2024.

THIESSEN, A. H. Precipitation Averages for Large Areas. **Monthly Weather Review**, Vol. 39, No. 7, 1911, pp. 1082-1084. [http://dx.doi.org/10.1175/1520-0493\(1911\)39<1082b:PAFLA>2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1175/1520-0493(1911)39<1082b:PAFLA>2.0.CO;2)

TIWARI, D. K.; KUMAR, V.; GOYAL, A.; KHEDHER, K. M.; SALEM, M. A. Comparative analysis of data driven rainfall-runoff models in the Kolar river basin. **Results in Engineering**, v. 23, p. 1-9, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.102682>

WMO Report No. (168) Guide to hydrological practices: data acquisition and processing, analysis, forecasting and other applications (5th ed.), WMO, Geneva, Switzerland (1994).

YANG, X.; XIE X.; LIU D. L.; JI, F.; WANG, L. Spatial interpolation of daily rainfall data for local climate impact assessment over greater Sydney region. **Advances in Meteorology**, v. 2015, n. 1, p. 1-12, 2015. <https://doi.org/10.1155/2015/563629>