



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
INSTITUTO DE GEOGRAFIA, DESENVOLVIMENTO E MEIO AMBIENTE
CURSO DE GEOGRAFIA BACHARELADO**

MARCUS VINICIUS DA SILVA LEONARDO FIRMINO

**CLIMATOLOGIA DOS EVENTOS EXTREMOS DE PRECIPITAÇÃO EM MACEIÓ,
ALAGOAS**

**Maceió
2024**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
INSTITUTO DE GEOGRAFIA, DESENVOLVIMENTO E MEIO AMBIENTE
CURSO DE GEOGRAFIA BACHARELADO**

MARCUS VINICIUS DA SILVA LEONARDO FIRMINO

**CLIMATOLOGIA DOS EVENTOS EXTREMOS DE PRECIPITAÇÃO EM MACEIÓ,
ALAGOAS**

Artigo Científico apresentado ao Colegiado do Curso de Geografia Bacharelado do Instituto de Geografia, Desenvolvimento e Meio Ambiente, da Universidade Federal de Alagoas como requisito parcial para obtenção da nota final do Trabalho de Conclusão de Curso (TCC).

Orientador: Prof. Dr. Jório Bezerra Cabral Júnior

**Maceió
2024**

Catálogo na Fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico

Bibliotecário: Marcelino de Carvalho Freitas Neto – CRB-4 – 1767

F525c Firmino, Marcus Vinicius da Silva Leonardo.
 Climatologia dos eventos extremos de precipitação em Maceió, Alagoas / Marcus
 Vinicius da Silva Leonardo Firmino. – 2024.
 21 f. : il. : color.

Orientador: Jório Bezerra Cabral Júnior.
Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso em Geografia: Bacharelado) –
Universidade Federal de Alagoas. Instituto de Geografia, Desenvolvimento e Meio
Ambiente. Maceió, 2024.

Bibliografia: f. 19-21.

1. Quadra chuvosa. 2. Mann-Kendall - Precipitação (Meteorologia) - Testes. 3.
Precipitação (Meteorologia) - Tendência. I. Título.

CDU: 911.2:551.58(813.5)



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
INSTITUTO DE GEOGRAFIA, DESENVOLVIMENTO E MEIO AMBIENTE
CURSO DE GEOGRAFIA BACHARELADO**

MARCUS VINICIUS DA SILVA LEONARDO FIRMINO

**CLIMATOLOGIA DOS EVENTOS EXTREMOS DE PRECIPITAÇÃO EM MACEIÓ,
ALAGOAS**

Artigo Científico apresentado ao Colegiado do Curso de Geografia Bacharelado do Instituto de Geografia, Desenvolvimento e Meio Ambiente, da Universidade Federal de Alagoas como requisito parcial para obtenção da nota final do Trabalho de Conclusão de Curso (TCC).

Orientador: Prof. Dr. Jório Bezerra Cabral Júnior

Artigo Científico defendido e aprovado em 20 / 02 / 2024.

Comissão Examinadora

Prof. Dr. Jório Bezerra Cabral Júnior
Examinador 1 – Presidente

Documento assinado digitalmente
JORIO BEZERRA CABRAL JUNIOR
Data: 21/02/2024 18:44:49-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>



Prof. Dr. Bruno Ferreira
Examinador 2

Documento assinado digitalmente
BRUNO FERREIRA
Data: 22/02/2024 11:46:18-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>



Profa. Dra. Daniele Tôres Rodrigues
Examinadora 3

Documento assinado digitalmente
DANIELE TORRES RODRIGUES
Data: 21/02/2024 19:37:36-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>



**Maceió
2024**

AGRADECIMENTOS

Primeiro, agradeço a Deus por me conceder forças e sabedoria durante a graduação e em minha vida. Agradeço aos meus pais, Marcia Cristina Severino da Silva e Robson Leonardo Firmino, por comemorarem minhas conquistas, por me verem alcançar meus sonhos, por estarem ao meu lado a todo momento. Agradeço aos meus irmãos, Anna Luisa da Silva Leonardo Firmino e Guilherme da Silva Leonardo Firmino, por todo amor, alegria, felicidade, que me proporcionaram de forma incondicional durante toda vida.

À minha companheira, Maria Alice Feitosa de Menezes, por ter acompanhado toda minha graduação desde os primeiros dias, esteve presente na minha matrícula, me acompanhou na universidade, foram diversas ocasiões na qual se fez presente. Foi força nos momentos que eu mais precisei, sempre acreditou que eu seria capaz de almejar tudo que eu desejasse. Torceu por mim nos momentos bons, me confortou em momentos ruins. Fica descrito, através desse texto, todo meu amor a ela.

Ao meu avô, José Firmino Neto, por fazer de tudo para que eu realizasse meus sonhos. Foi uma das pessoas mais felizes ao saber que entrei na Universidade Federal de Alagoas, dito por ele após minha aprovação: “Meu filho, esse foi um presente que você me deu!”. Em todos os momentos ressaltava que queria ver eu me formar, torceu por cada passo que dei dentro da universidade. Essa não é apenas a realização de um sonho meu, mas também é dele. À minha avó, Ivete Leonardo Firmino, que foi minha representação de amor quando estava presente em vida, e ainda é. Queria a sua presença física ao meu lado, mas sei que a torcida dela está presente em meu coração em tudo que eu conquistei em minha vida.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Jório Bezerra Cabral Júnior, por ter guiado meus caminhos dentro da universidade através de sua orientação, agradeço profundamente por todas as oportunidades e conselhos, foram através destes que pude chegar cada vez mais longe dentro da graduação.

Aos colegas e amigos que fiz no grupo de pesquisa Climatologia Teórica e Aplicada (CTA) e do Laboratório de Estudos Climáticos (LAEC), agradeço pelos momentos juntos ao longo desses últimos anos. Aos professores do curso de Geografia do IGDEMA, por todo conhecimento repassado, pelas boas conversas sobre a Geografia, por contribuírem para a minha formação acadêmica.

Por fim, a todos os amigos que fiz durante a graduação, pelo companheirismo e ajuda durante esses anos, foram fundamentais para mim. Agradecer, em especial, aos amigos de bacharelado da minha turma 2019.1 vespertino, criamos laços que sempre lembrarei.

CLIMATOLOGIA DOS EVENTOS EXTREMOS DE PRECIPITAÇÃO EM MACEIÓ, ALAGOAS

Autor: Marcus Vinicius da Silva Leonardo Firmino
e-mail: mvslfirmino@hotmail.com

Orientador: Jório Bezerra Cabral Júnior
e-mail: jorio.cabral@gmail.com

RESUMO

Situada a leste do Nordeste do Brasil (NEB), Maceió está vulnerável as consequências dos Eventos Extremos de Precipitação (EEP), porção onde os EEP são mais frequentes e intensos. Assim, objetivou-se: estabelecer a climatologia mensal e anual da precipitação em Maceió. Quantificar os EEP diária, mensal e anualmente. Verificar se há tendência significativa na frequência e intensidade de EEP. Para isso foram utilizados dados mensais de precipitação em Maceió, de 1980 a 2020, do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Com obtenção dos dados utilizam-se estatísticas descritivas, para caracterização pluvial. Foi utilizado o teste não paramétrico de Mann-Kendall para definir se existe tendência, mensal e anual, da precipitação em Maceió. Os EEP diária definidos pela técnica de percentis, considera-se os valores que o percentil se iguala ou supera 95%. Entre os principais resultados, destacam-se que os meses de abril a julho são mais chuvosos, com média mensal de 265,3 mm, julho representa o mais chuvoso (296,6 mm). Para precipitação anual, o ano mais chuvoso foi em 2017, com precipitação acumulada de 3005,8 mm. Para precipitação diária máxima, junho apresenta o maior valor, 187,8 mm/dia, este que foi datado em 6 de junho de 2010. Entre abril e julho, o valor do P95 varia entre 44,7 e 50,6 mm/dia, sendo maio o mês que apresenta o maior valor de P95. Foi possível constatar que não houve tendência significativa EEP diária, mensal e anualmente em Maceió, Alagoas.

Palavras-chave: Quadra chuvosa; Mann-Kendall; Tendência.

ABSTRACT

Located east of the Northeast of Brazil (NEB), Maceió is vulnerable to the consequences of Extreme Precipitation Events (EEP), a portion where EEP are more frequent and intense. Thus, the objective was to: establish the monthly and annual climatology of precipitation in Maceió. Quantify daily, monthly and annual precipitation extremes. Check whether there is a significant trend in the frequency and intensity of EEP. For this, monthly precipitation data in Maceió, from 1980 to 2020, from the National Institute of Meteorology (INMET) were used. To obtain the data, descriptive statistics are used to characterize rainfall. The Mann-Kendall non-parametric test was used to define whether there is a monthly and annual precipitation trend in Maceió. The daily EEP defined by the percentile technique, considers the values that the percentile equals or exceeds 95%. The main results: April to July are characterized as the rainiest period, with a monthly average of 265,3 mm, July represents the rainiest (296,6 mm). For annual precipitation, the wettest year is 2017 with accumulated precipitation of 3005,8 mm. For maximum daily precipitation, June presents the highest value, 187,8 mm/day, this one was dated June 6, 2010. Between April and July, the P95 value varies between 44.7 and 50.6 mm/day, with May being the month with the highest P95 value. It was possible to verify that there was no significant trend in daily, monthly and annual EEP in Maceió, Alagoas.

Keywords: Rainy season; Mann-Kendall; Trend.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	8
2 MATERIAL E MÉTODOS	10
2.1 ÁREA DE ESTUDO	10
2.2 DADOS	11
2.3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	11
2.3.1 Análise de eventos extremos	11
2.3.2 Análise de tendência.....	11
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	13
4 CONCLUSÕES.....	18
REFERÊNCIAS.....	19

1 INTRODUÇÃO

De acordo com Reis et al. (2020), a precipitação é caracterizada como toda forma de água proveniente da atmosfera e que é depositada na superfície terrestre na forma de chuva, granizo, orvalho, neblina, neve ou geada. Para Soares, Paz e Piccilli (2016), identificar e medir padrões de ocorrência das chuvas traz subsídios imprescindíveis para o planejamento e operação de diversos setores da sociedade, que impactam na disponibilidade hídrica (CABRAL JÚNIOR, BEZERRA, 2018; CABRAL JÚNIOR e LUCENA, 2019; MEDEIROS et al., 2021), na agricultura (SILVA et al., 2022; VALE et al., 2023; SILVA et al., 2023a), na quantidade de biomassa no solo (CABRAL JÚNIOR, SILVA e REIS, 2022) e demais análises que envolvam o regime hídrico em bacias hidrográficas (RODRIGUES et al., 2021; JANGARELLI, CABRAL JÚNIOR e NASCIMENTO, 2022).

Conforme destacado por Santos, Fragoso Júnior e Souza (2019), eventos de precipitação de elevada magnitude podem gerar catástrofes quando combinadas com regiões propensas a movimentos terra ou alagamentos e inundações. Para Molina, Cardoso e Nogueira (2015), áreas como encostas e margens de rios, são mais vulneráveis à influência das precipitações e, portanto, são regiões consideradas de risco.

Os eventos extremos, de acordo com Rodrigues et al. (2020), são caracterizados por possuir, geralmente, uma raridade em acontecer, realizados através de certas variáveis meteorológicas como a precipitação, temperatura, dentre outros. São esses eventos que podem se tornar responsáveis por afetar a estrutura de uma cidade, além de prejudicar a população, através de inundações, secas, entre outras ações. A cidade de Maceió, devido sua localização na parte leste do Nordeste do Brasil, está vulnerável as consequências dos EEP, porção onde os EEP são mais frequentes e intensos (RODRIGUES et al., 2020). É evidenciado que essa região leste do NEB está situada nas mais expostas a deslizamentos de solo e inundações por causa dos EEP (MARENGO et al., 2021).

Segundo o Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC (2021), as atividades antropogênicas têm contribuído para o aumento nas alterações climáticas. Com o aumento da poluição do ar causado pelas indústrias, o crescimento das áreas urbanas, a diminuição das áreas verdes, entre outros fatores, os EEP estão se tornando cada vez mais frequentes no Brasil (DIAS, 2014). Estas mudanças ambientais têm implicações tanto positivas quanto negativas na sociedade, em especial na agricultura, saúde e recursos hídricos, interferindo na economia e qualidade de vida da população.

Para Bernstein et al. (2007), observou-se alterações na frequência e/ou intensidade de

EEP ao longo das últimas cinco décadas. Isso inclui um aumento na ocorrência de EEP em várias regiões do mundo. Durante esse período, a precipitação aumentou significativamente nas partes leste das Américas do Sul e Norte, norte da Europa e centro da Ásia, enquanto diminuiu no Sahel, Mediterrâneo, sul da África e partes do sul da Ásia.

De acordo com Armond e Sant'anna Neto (2017), é importante ressaltar que os EEP se caracterizam por quantidades de chuvas significativamente acima ou abaixo dos valores totais médios. Ainda segundo os autores, acredita-se que a ocorrência de eventos de chuva intensa (superiores às médias ou dos padrões da dinâmica do local em análise) desencadeia uma série de transtornos, sobretudo em áreas urbanas com alta impermeabilização do solo e modificações das bacias, localizadas próximas a córregos e rios.

A avaliação das frequências dos EEP é de vital importância para diversas áreas, pois sem ele torna-se difícil um eficiente planejamento frente às diferentes intensidades de precipitação, no tempo e no espaço. Dentre as quais, destacam-se as áreas onde há maior concentração populacional, ou seja, áreas urbanas. Nesse sentido destaca-se a capital alagoana, que possui 957.916 de pessoas (IBGE, 2023) e mais de 500 áreas de risco frente aos EEP (SANTOS, FRAGOSO JÚNIOR e SOUZA, 2019), dentre os quais têm-se potencialmente tornado mais frequente os deslizamentos de solo, enchentes, inundações, obstruções de estradas e rodovias, alagamentos e diversos outros transtornos no meio urbano e rural, que impactam o meio ambiente e os diferentes setores socioeconômicos.

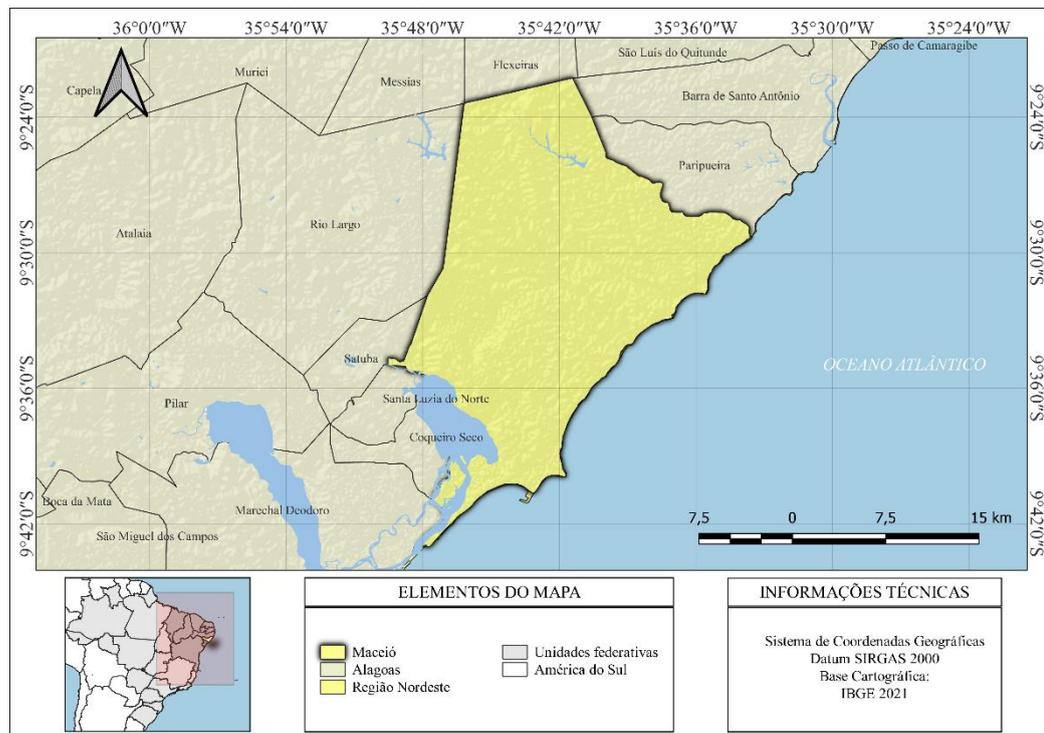
O presente estudo objetiva estabelecer a climatologia mensal e anual da precipitação em Maceió; quantificar os extremos de precipitação diária, por mês e anualmente, em Maceió; verificar se há tendência significativa na frequência e intensidade de EEP. Portanto, Maceió demanda de mais estudos e pesquisas sobre a Climatologia dos EEP e suas frequências de intensidade, nas diferentes escalas, espacial e temporal (diária, mensal e anual) que colaborem para as decisões cruciais sobre o planejamento urbano, como: prevenção e/ou mitigação dos eventos provenientes das fortes precipitações, principalmente no que se refere às enchentes e/ou aos alagamentos, o dimensionamento necessário para escoamento das águas pluviais, deslizamentos de solo, entre outros efeitos relacionados, que em grandes escalas podem afetar a sociedade economicamente e até gerar vítimas fatais.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 ÁREA DE ESTUDO

A capital alagoana, situada em Alagoas (Figura 1), no NEB, abrangendo as coordenadas geográficas entre $9^{\circ}22'15.66''$ S e $9^{\circ}43'1.35''$ S de latitude, e $35^{\circ}49'31.46''$ O e $35^{\circ}33'36.10''$ O de longitude. O estado de Alagoas é composto por 102 municípios, organizados em três mesorregiões distintas: Agreste, Leste e Sertão Alagoano, sendo Maceió localizada na porção Leste (IBGE, 2021). A população do município é de cerca de 957.916 pessoas, que se distribui em uma área total que abrange $509,320 \text{ km}^2$ (IBGE, 2023).

Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo.



Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

No que diz respeito à classificação climática de Köppen, Alagoas apresenta predominantemente dois tipos de clima: Tropical chuvoso na região leste e Semiárido na região oeste, sendo Maceió do Clima Tropical (As') com precipitação média anual superior a 800 mm, e período chuvoso entre abril e julho (ALVARES et al., 2013) e temperatura média mensal do mês mais frio superior aos 18°C (SILVA et al., 2023b).

2.2 DADOS

Foram utilizados dados de precipitação diária para Maceió, com uma série de 41 anos (1980 a 2020), sem interrupção. Esses dados foram disponibilizados do Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP) do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

2.3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

De posse dos dados diários, determinou-se a climatologia mensal e anual para os acumulados de precipitação, a partir de análises estatísticas descritivas (média, mediana, desvio padrão, frequências). Considerou-se como estação chuvosa e seca os períodos que obtiveram, respectivamente, a sequência de meses mais chuvosos e menos chuvosos. Os extremos de precipitação também foram definidos e analisados estatisticamente. Em seguida, foram gerados gráficos de barras, linhas e boxplots, para representar os resultados atingidos.

2.3.1 Análise de eventos extremos

Foram calculados os valores máximos de precipitação, diária, mensal e anual, e após, foi realizada a comparação com o valor aguardado, para assim constatar quanto do acumulado de um único dia pode representar em relação ao acumulado mensal. Os Eventos Extremos de Precipitação (EEP) diária foram definidos através da técnica de percentis, leva-se em consideração os valores em que o percentil foi igual ou maior que 95%. Os cálculos foram contabilizados apenas nos dias que ocorreu precipitação igual ou superior a 1 mm.

2.3.2 Análise de tendência

Foi utilizado o teste não paramétrico de Mann-Kendall (Mann, 1945; Kendall, 1975) para definir se existe tendência, mensal e anual, da precipitação em Maceió. Os processos do teste verificam-se nas equações 1, 2, 3 e 4.

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

Na equação mencionada, S representa o resultado da soma entre os valores $(x_j - x_i)$, em que x_j é o valor posterior a x_i , e n é o número total de dados na série temporal. Para cada

par de dados, esses são os valores relacionados:

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

A distribuição de probabilidade da estatística S volta-se para normalidade quando há grandes amostras de observações n , tem uma média igual a zero e que varia de acordo com a equação 3:

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

Sendo: t_p - o número de dados com valores iguais em certo grupo; q - o número de grupos contendo valores iguais na série de dados em um grupo p . A estatística do teste de Mann-Kendall tem como base o valor da variável ZMK , calculado através da equação 4:

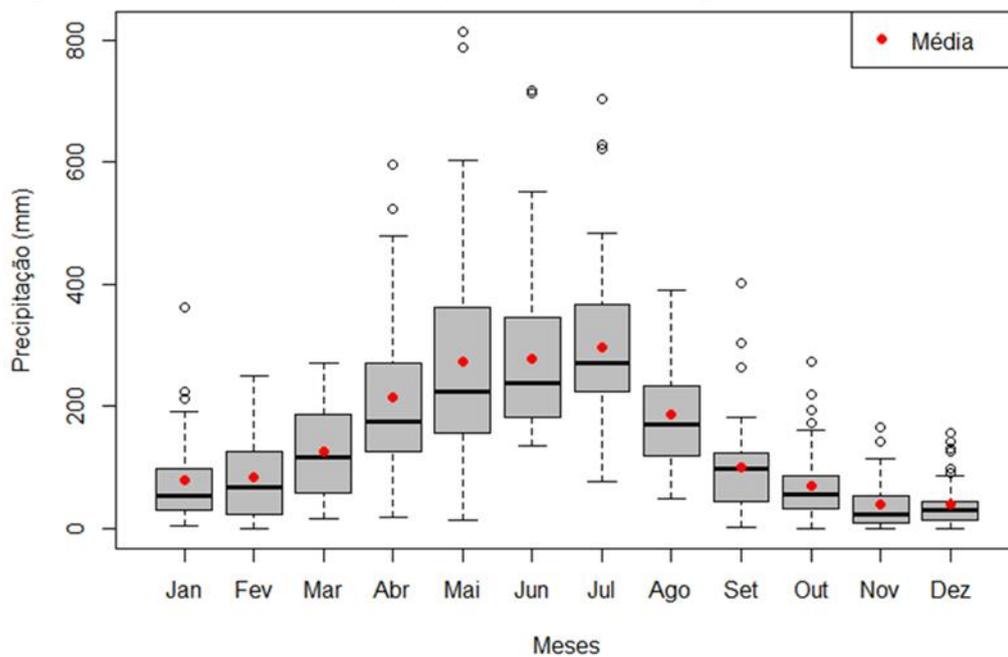
$$Z_{MK} = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{Var(S)}}, & se S > 0 \\ 0, & se S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{Var(S)}}, & se S < 0 \end{cases} \quad (4)$$

No teste de Mann-Kendall, realizado neste estudo, considerou-se um nível de significância estatística de 5%, análise por meio do software estatístico livre R 3.3.1 (R Core Team, 2020).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Verifica-se na Figura 2 a variabilidade mensal da precipitação em Maceió, Alagoas. A estação mais chuvosa ocorre nos meses entre abril (213,3 mm) a julho (296,6 mm), sendo abril e julho os meses menos e mais chuvoso da estação chuvosa, respectivamente, também são os meses que apresentam a maior variabilidade do quantitativo médio de chuva. Por outro lado, outubro a janeiro destaca-se como período mais seco da série, nesses meses a média de precipitação é de 56,3 mm, sendo o mês de novembro o de menor média de precipitação, com 38,9 mm. O acumulado de precipitação média anual corresponde a 1.782,1 mm.

Figura 2 - Variabilidade mensal da precipitação em Maceió, Alagoas. Período de 1980 a 2020.



Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Vale destacar que a distribuição da precipitação é assimétrica cujo coeficiente de assimetria é positiva, ou seja, possui médias maiores que as medianas. Os valores discrepantes dos extremos de precipitação máxima mensal, chamados de outliers, são exemplificados através de círculos na cor preta (Figura 2), sendo responsáveis para que os valores médios superem os valores medianos.

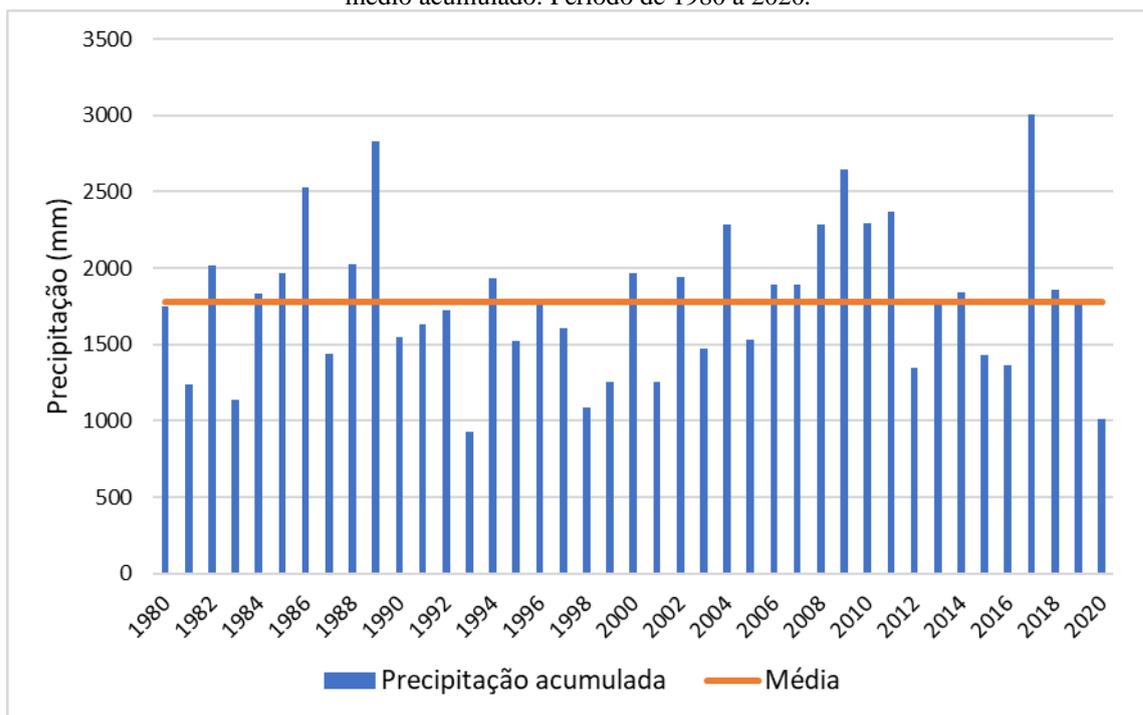
A ocorrência do elevado quantitativo de precipitação média, na estação das chuvas, e os respectivos extremos estão predominantemente associados às condições oceânicas e suas relações com a atmosfera. Nesse sentido, é importante destacar a atuação de dois sistemas meteorológicos durante a estação chuvosa, denominados de Distúrbios Ondulatórios de Leste

(DOL's) e o Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) (REBOITA et al., 2010).

O sistema meteorológico DOL's pode ser responsável por causar EEP que tem potencial de desencadear deslizamentos de encostas, enchentes e resultar em vítimas fatais (MACHADO et al., 2012; SANTOS et al., 2012; ALVES, CAVALCANTI e NÓBREGA, 2013). De acordo com Rodrigues et al. (2021), destacou-se que o DOL foi responsável pelo EEP de 116 mm/dia ocorrido na cidade de Natal, também localizada na parte leste do NEB.

De acordo com a precipitação anual, Figura 3, o ano mais chuvoso foi registrado em 2017 com a precipitação acumulada de 3005,8 mm. Enquanto, o ano mais seco apresentado possui valor de 926,3 mm, evidenciado em 1993. Cerca de 55% dos anos ultrapassam o valor médio acumulado de 1782,1 mm, representa 22 anos dos 41 analisados pela série histórica, ou seja, durante o período de 1980 a 2020.

Figura 3 - Variabilidade anual da precipitação de Maceió, Alagoas; como as respectivas demarcações do valor médio acumulado. Período de 1980 a 2020.



Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

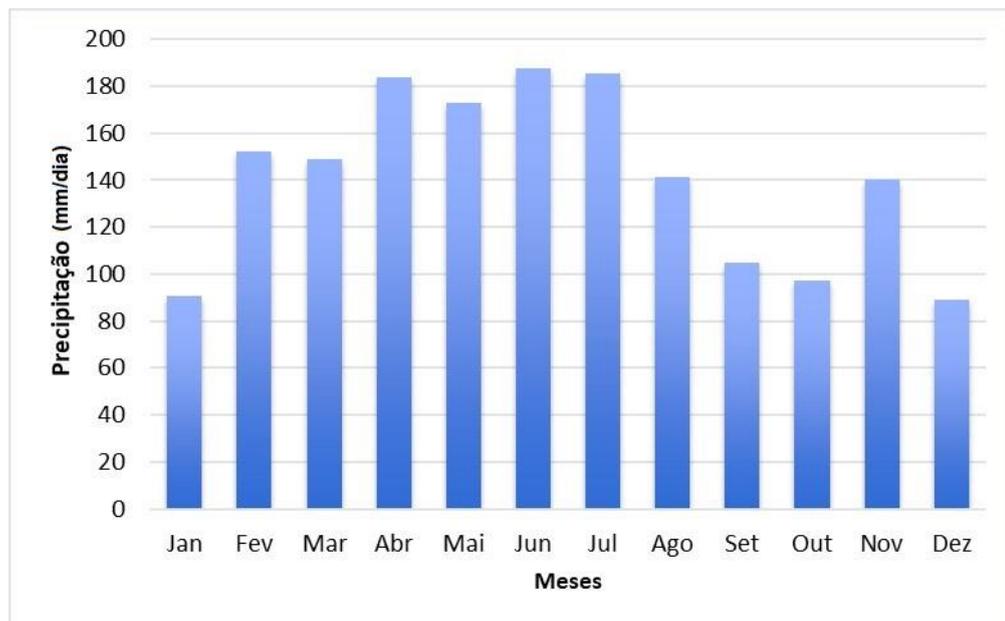
De acordo com Alves, Cavalcanti e Nóbrega (2013), durante o ano de 2010, as chuvas intensas observadas no setor leste dos estados de Pernambuco e Alagoas resultaram na ocorrência de inundações em vários municípios, com danos materiais e ambientais, perda de vidas e grandes prejuízos econômicos e sociais. Ainda de acordo com os autores, em Alagoas, as chuvas que ocorreram no início de junho também contribuíram para a saturação do solo e o aumento do escoamento superficial. Através da Figura 3, é possível verificar que o ano de

2010 destaca-se por ultrapassar a média de precipitação, além de estar entre as 6 maiores precipitações para o período analisado.

Os extremos de precipitação na escala diária também foram analisados. Observou-se que em Maceió, Figura 4, os valores máximos de precipitação extrema ocorrem nos meses da quadra chuvosa. Junho se destaca por ter registrado o máximo de chuva em um dia com valor 187,8 mm/dia, ocorrido em 6 de junho de 2010, seguido pelos meses de julho (185,6 mm/dia), 12 de julho de 1989, e abril (184 mm/dia), 28 de abril de 1982.

Enquanto, dezembro e janeiro possuem precipitação inferior a 100 mm/dia, com valores sucessivos de 89,2 mm/dia e 90,4 mm/dia, esses extremos, nesse período específico podem ser atribuídos a outro mecanismo da atmosfera, denominado de Vórtice Ciclônico de Altos Níveis (VCAN) (REBOITA et al., 2010), propiciam ocorrência de precipitação intensa, especialmente em regiões de bordas desse vórtice, quando atua sobre o NEB.

Figura 4 - Valor máximo de precipitação diária, ocorridos mensalmente, em Maceió, Alagoas; Período de 1980 a 2020.



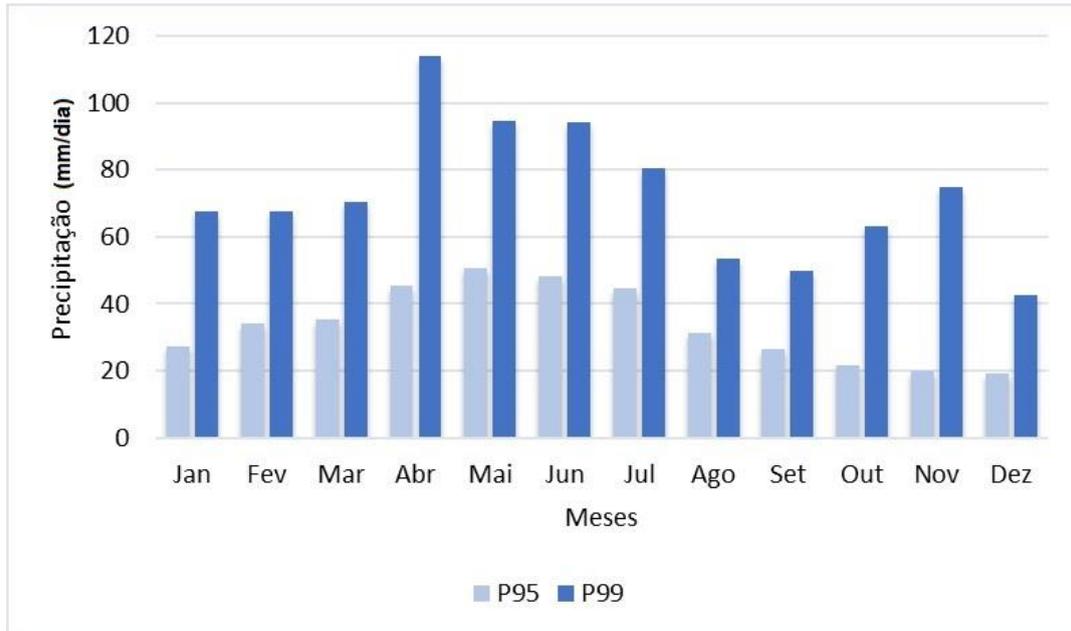
Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Os P95 e P99, de acordo com os dados diários, variam conforme os meses da série de 1980 a 2020. Durante os meses de abril e julho, o valor do P95 possui um valor entre 45,5 e 44,7 mm/dia, e maio tem o maior valor da quadra chuvosa, com 50,6 mm/dia. Por outro lado, o P99 possui os maiores extremos situados no período chuvoso, varia de 113,9 a 80,4 mm/dia, entre os meses de abril e julho, respectivamente (Figura 5).

De acordo com Girão et al. (2012), notaram que a confluência de variados sistemas

e/ou condições atmosféricas e oceânicas, propícios para eventos pluviais, tendem a intensificar os eventos. Em outras palavras, durante eventos extremos, é comum a interação de dois ou mais fatores que influenciam a precipitação. Dessa forma, é possível a correlação dessas observações com os eventos extremos datados na cidade de Maceió.

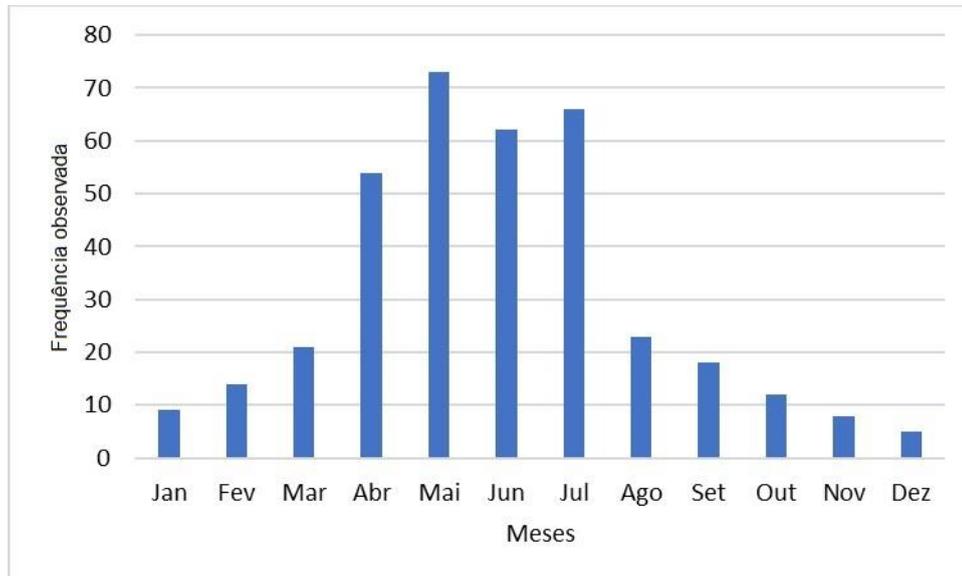
Figura 5 - Valor do Percentil 95 e 99 para os valores diários de precipitação, mensalmente, em Maceió, Alagoas. Período de 1980 a 2020.



Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

O P95 para a base de dados de 1980 até 2020 é representado pelo valor de 37,2 mm/dia. Na Figura 6 são observadas as frequências absolutas em que o valor do percentil foi igual ou superior ao P95. Destaca-se que é na estação chuvosa em que os extremos de precipitação mais se repetem, conforme esperado. Na quadra chuvosa, em ordem decrescente, esses extremos foram mais frequentes nos meses de maio, julho, junho e abril e obtiveram eventos extremos (maior que o P95) em 73, 66, 62 e 54 dias, respectivamente. Por outro lado, os 3 meses com menores frequências pertencem a janeiro, novembro e dezembro com 9, 8 e 5 dias com precipitação superior a 37,2 mm/dia.

Figura 6 - Frequência observada dos Eventos Extremos de Precipitação mensal com precipitação igual ou acima do P95 de precipitação diária de toda a série (1980 a 2020).



Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Ao utilizar o teste não paramétrico de Mann-Kendall para verificar a tendência, para o máximo diário ocorrido anual e mensalmente, foi possível verificar que não houve significância estatística em relação ao aumento e/ou diminuição dos valores de precipitação apresentados, para a série de 1980 a 2020 em Maceió, Alagoas. Através da Tabela 1, pode ser verificado os valores da estatística S e p – valor, mensal e anualmente, gerados através do software R.

Tabela 1 – Estatísticas da precipitação mensal e anual (Valor de S e p -valor do teste de Mann-Kendall) para Maceió, Alagoas. Período de 1980 a 2020.

Intervalo de tempo	S	p -valor
Janeiro	168.000000	0,06069
Fevereiro	5.600000e+01	0,5367
Março	-10.00000000	0,9195
Abril	-66.00000000	0,4653
Mai	144.00000000	0,1082
Junho	108.00000000	0,2294
Julho	-32.00000000	0,7277
Agosto	-5.000000e+00	0,9642
Setembro	8.000000e+00	0,9373
Outubro	-69.00000000	0,445
Novembro	-49.00000000	0,5897
Dezembro	2.200000e+01	0,8135
Anual	3.600000e+01	0,6942

Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

4 CONCLUSÕES

Através dos resultados obtidos com esta pesquisa, foi possível concluir que:

Os meses de abril a julho representam, em média, o período de maior precipitação (265,3 mm.mês¹), enquanto, o período menos chuvoso é estabelecido entre os meses de outubro e janeiro (56,3 mm.mês¹); Foi possível relatar que, anualmente, chove em média 1782,1 mm, sendo o ano de 2017 o mais chuvoso e o ano de 1993 o menos chuvoso, com acumulados de 3005,8 e 926,3 mm, respectivamente.

Durante o período de 1980 a 2020, os maiores quantitativos de precipitação acumulados em um dia ocorreram nos meses de abril, junho e julho, respectivamente, 184,0, 187,8 e 185,6 mm/dia. Dentro da quadra chuvosa, o mês de maio apresentou o maior valor de P95 com 50,6 mm/dia. Enquanto, para o P99 o valor mais extremo ocorreu no mês de abril, 113,9 mm/dia;

O P95 da série completa, 1980 a 2020, corresponde ao valor diário de precipitação de 37,2 mm/dia, maio representa o mês que teve mais dias que se igualaram ou superaram esse quantitativo, com 73 dias; através do teste não paramétrico de Mann-Kendall, não foi possível identificar tendência significativa em relação ao aumento e/ou diminuição dos EEP diária, mensal e anualmente em Maceió, Alagoas.

REFERÊNCIAS

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. de M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, p. 711-728, 2013.

ALVES, K. M. A. da S.; CAVALCANTI, L. C. de S.; NÓBREGA, R. S. Eventos extremos e risco de inundação: uma análise do comportamento evolutivo dos distúrbios ondulatórios de leste em junho de 2010 sobre a bacia do Rio Una Pernambuco. **Geotextos**, v. 9, n. 2, p. 173-189, 2013.

ARMOND, N. B.; SANT'ANNA NETO, J. L. Entre eventos e episódios: ritmo climático e excepcionalidade para uma abordagem geográfica do clima no município do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 20, ago. 2017.

BERNSTEIN, L., *et al.* **Climate change 2007: synthesis report (IPCC 4th Assessment Report)**, 2007.

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, dez. 2019.

CABRAL JÚNIOR, J. B.; SILVA, H. J. F.; REIS, J. S. Características da Cobertura do Solo em anos de Contrastes Climáticos (chuvoso e seco) no Oeste da Amazônia, Rio Branco, Acre, utilizando sensoriamento remoto. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 15, p. 2704-2714, 2022.

DIAS, M. A. F. S. Eventos climáticos extremos. **Revista USP**, n. 103, p. 33-40, 2014.

GIRÃO, O.; CORRÊA, A. C. de B.; NÓBREGA, R. da S.; DUARTE, C. C. O Papel do Clima nos Estudos de Prevenção e Diagnóstico de Riscos Geomorfológicos em Bacias Hidrográficas na Zona da Mata Sul de Pernambuco. *In*: GUERRA, A. J. T.; OLIVEIRA, M. do C. J. (orgs.), **Erosão e Movimentos de Massa: Recuperação de Áreas Degradadas e Prevenção de Acidentes**. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2013. p. 126-159.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Mesorregião e Microrregião: Divisão Territorial Brasileira - DTB 2021**. Disponível em: www.ibge.gov.br Acesso em: 04 dez. 2023.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Área da unidade territorial: Área territorial brasileira 2022**. Rio de Janeiro: IBGE, 2023. Disponível em: www.ibge.gov.br. Acesso em: 04 dez. 2023.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Brasileiro de 2022. Rio de Janeiro: IBGE, 2023**. Disponível em: www.ibge.gov.br Acesso em: 04 dez. 2023.

IPCC (2021). Climate Change, 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press. In Press.

JANGARELLI, G. A.; CABRAL JÚNIOR, J. B.; NASCIMENTO, M. C. Variabilidade espacial e temporal da precipitação pluvial na região fisiográfica do Baixo São Francisco. **Revista de Geografia**, v. 12, p. 260-280, 2022.

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

MACHADO, C. C. C.; NÓBREGA, R. S; OLIVEIRA, T. H.; ALVES, K. M. A. S. Distúrbio Ondulatório de Leste como Condicionante a Eventos Extremos de Precipitação em Pernambuco. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 11, 2012.

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

MARENGO, J. A.; CAMARINHA, P. I.; ALVES, L. M.; DINIZ, F.; BETTS, R. A. Extreme Rainfall and Hydro-Geo-Meteorological Disaster Risk in 1.5, 2.0, and 4.0° C Global Warming Scenarios: An Analysis for Brazil. **Frontiers in Climate**, v. 3, p. 13, 2021.

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 (ONLINE)**, v. 93, p. 1-15, 2021.

MOLINA, E.; CARDOSO, A.; NOGUEIRA, F. Relação precipitação-deslizamento no município de São Bernardo do Campo - SP. **Ciência e Natura**, v. 37, p. 46-54, 2015.

R Core Team (2020). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL: <https://www.R-project.org/>.

REBOITA, M. S.; ALONSO, M. G.; PORFÍRIO, R.; ROCHA, D. A.; AMBRIZZI, E. T. Regimes de precipitação na América do Sul: Uma revisão bibliográfica. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 25, n. 2, p. 185-204, 2010.

REIS, F. A. da S.; PEREIRA, L. L.; AMADO, F. D. R.; STRACIERI, J.; LISBOA, G. dos S. Aplicação da estatística descritiva: análise da precipitação pluviométrica no município de Canavieiras, BA. **Gaia Scientia**, v. 14, n. 3, p. 128-138, 2020.

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.

RODRIGUES, D. T.; GONÇALVES, W. A.; SPYRIDES, M. H. C. ; ANDRADE, L. M. B.; SOUZA, D. O. de.; ARAUJO, P. A. A. de.; SILVA, A. C. N. da.; SILVA, C. M. S. Probability of occurrence of extreme precipitation events and natural disasters in the city of Natal, Brazil. *Urban Climate*, v. 35, p. 100753, 2021.

RODRIGUES, D. T. et al. Spatial distribution of the level of return of extreme precipitation events in Northeast Brazil. *International Journal of Climatology*, v. 40, p. 1-16, 2020.

SANTOS, D. L.; FRAGOSO JÚNIOR, C. R.; SOUZA, V. C. B. Limiar de precipitação com potencial de gerar deslizamentos nos complexos de risco em uma zona urbana. *Revista de Gestão de Água da América Latina*, v. 16, n. 2019, 2019.

SANTOS, A. H. M.; ARAGÃO, M. R. S.; CORREIA, M. F.; ARAUJO, H. A.; SILVA, A. B. Distúrbio Ondulatório de Leste e seus impactos na cidade de Salvador. *Revista Brasileira de Meteorologia*, São Paulo, v. 27, n. 3, p. 355-364, 2012.

SILVA, B. K. N.; COSTA, R. L.; SILVA, F. D. S.; VANDERLEI, M. H. G. S.; SILVA, H. J. F.; CABRAL JÚNIOR, J. B.; COSTA JUNIOR, D. S.; PEDRA, G. U.; PEREZ-MARIN, A. M.; SILVA, C. M. S. Proposal of an Agricultural Vulnerability Stochastic Model for the Rural Population of the Northeastern Region of Brazil. *Climate*, v. 11, p. 211, 2023a.

SILVA, E. H. L.; SILVA, F. D. S.; SILVA JUNIOR, R. S; PINTO, D. D. C.; COSTA, R. L.; GOMES, H. B.; CABRAL JÚNIOR, J. B.; FREITAS, I. G. F. de.; HERDIES, D. L. Performance Assessment of Different Precipitation Databases (Gridded Analyses and Reanalyses) for the New Brazilian Agricultural Frontier: SEALBA. *Water*, v. 14, p. 1473-1490, 2022.

SILVA, J. S.; CABRAL JÚNIOR, J. B.; RODRIGUES, D. T.; SILVA, F. D. S. Climatology and significant trends in air temperature in Alagoas, Northeast Brazil. *Theoretical and Applied Climatology*, v. 151, p. 1-20, 2023b.

SOARES, A. S. D.; PAZ, A. R.; PICCILLI, D. G. A. Avaliação das estimativas de chuva do satélite TRMM no Estado da Paraíba. *RBRH*, Porto Alegre, v. 21, n. 2, p. 288-299, abr./jun. 2016.

VALE, T. M. C.; SPYRIDES, M. H. C.; CABRAL JÚNIOR, J. B.; ANDRADE, L. M. B.; BEZERRA, B. G ; RODRIGUES, D. T.; MUTTI, P. R. Climate and water balance influence on agricultural productivity over the Northeast Brazil. *Theoretical and Applied Climatology*, v. 154, p. 1-22, 2023.