

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS - UFAL**  
**INSTITUTO DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS - ICAT**  
**CURSO DE BACHARELADO EM METEOROLOGIA**



**LUIS FELIPE FRANCISCO FERREIRA DA SILVA**

**AVALIAÇÃO HORÁRIA DA PRECIPITAÇÃO NA CIDADE DE MACEIÓ VIA**  
**DADOS OBSERVADOS CHIRPS / TERRACLIMATE**

**MACEIÓ, AL**  
**MAIO, 2023**

LUIS FELIPE FRANCISCO FERREIRA DA SILVA

**AVALIAÇÃO HORÁRIA DA PRECIPITAÇÃO NA CIDADE DE MACEIÓ VIA  
DADOS OBSERVADOS CHIRPS / TERRACLIMATE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentada ao Programa de Graduação em Meteorologia pelo Instituto de Ciências Atmosféricas da Universidade Federal de Alagoas, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Meteorologia.

**Orientador:** Prof. Dr. José Francisco de Oliveira Júnior

**Coorientadora:** Dra. Micejane da Silva Costa

Maceió – AL Maio, 2023

**Catlogação na fonte**  
**Universidade Federal de Alagoas**  
**Biblioteca Central**  
**Divisão de Tratamento Técnico**

Bibliotecária Responsável: Maria Helena Mendes Lessa- CRB4 - 1616

S586a Silva, Luis Felipe Francisco Ferreira da.  
Avaliação horária da precipitação na cidade de Maceió via dados observados  
Chirps / Terraclimate / Luis Felipe Francisco Ferreira da Silva. – 2023.  
49 f. :il. color.

Orientador: José Francisco de Oliveira Júnior.  
Coorientadora: Micejane da Silva Costa.  
Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso em Meteorologia) –  
Universidade Federal de Alagoas. Instituto de Ciências Atmosféricas. Maceió,  
2023.

Bibliografia: f. 44-49.

1. Precipitação (Meteorologia) – Maceió (AL). 2. Degradação ambiental.  
3. Geoespacialização. 4. Sensoriamento remoto. I. Título.

CDU: 551.5

## AGRADECIMENTOS

"Agradeço, primeiramente, a Deus, que me abençoou com o dom da vida e, com sua infinita bondade, me permitiu traçar essa jornada de muito aprendizado, pois sem Ele não seria nada".

Agradeço à minha família, meus pais Maria de Fátima e Fernando Ferreira, meus tios Josilma e Genilson e minha prima Nathacha. Especialmente à minha mãe, pelas orações em que todas as noites se ajoelhava pedindo a Deus por mim, pelos conselhos da minha tia e por ter aberto sua casa para que eu pudesse cursar a faculdade e por ter me incentivado a estudar.

Agradeço à minha namorada, Mônica Albuquerque, pelo carinho, conselhos, amor e paciência comigo nesse período final do curso, quando sempre me transmitia confiança.

Agradeço aos meus amigos William Max e Thiago Barros por me terem convidado para ingressar no melhor laboratório do ICAT, o LAMMA, e por terem deixado a faculdade mais leve e divertida com nossas brincadeiras, mas também agradeço aos meus amigos Ítalo, Danilo, Gessiane, Elanna e minha turma que me acompanharam nessa jornada.

Agradeço também ao meu orientador, o professor José Francisco de Oliveira Júnior, que me mostrou o caminho certo a percorrer, com muita paciência, bom humor e ótimo gosto musical, bem como à minha coorientadora Micejane Costa que me deu suporte e conselhos que levarei para minha vida.

Agradeço aos membros da banca examinadora, os professores Dr. Roberto Fernando da Fonseca Lyra e Dr. Ricardo Victor Rodrigues Barbosa.

Agradeço a todos professores do ICAT por terem transmitido seus conhecimentos, que levarei para toda a vida.

## RESUMO

A chuva é uma das variáveis meteorológicas de maior importância no cotidiano das populações urbanas. A cidade de Maceió, capital de Alagoas – Leste do Nordeste do Brasil (ENEB) possui 50 bairros e população aproximadamente um milhão de pessoas. Por possuir poucos estudos sobre chuva urbanas, o objetivo do estudo é avaliar a chuva urbana na cidade de Maceió via dados observacionais e produtos de precipitação. Foram usados os produtos de precipitação (CHIRPS - *Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station e TerraClimate*) juntamente com os dados das estações meteorológicas automáticas (EMA) do CEMADEN entre 2016 a 2022 e as estações meteorológicas convencionais (EMC) do INMET entre 1981 a 2021. Os indicadores estatísticos ( $R^2$ ,  $r$ , EPE e RMSE) foram usados para a validação dos produtos de precipitação. Mapas das frequências da chuva horária via método de interpolação espacial Spline foram confeccionados no software QGIS versão 3.28. As correlações foram satisfatórias na escala sazonal, no produto TerraClimate ( $R^2 = 0,56$ ,  $R^2 = 0,53$  e  $R^2 = 0,62$ ) sendo superiores ao produto CHIRPS ( $R^2 = 0,49$ ,  $R^2 = 0,29$  e  $R^2 = 0,60$ ) respectivamente na estação chuvosa, estação seca e estação de transição. Já na escala anual, os produtos TerraClimate e CHIRPS obtiveram coeficiente de Pearson  $r = 0,85$  e  $r = 0,79$  na devida ordem. Em destaque para maiores valores obtidos de EPE e RMSE no CHIRPS em comparação ao produto TerraClimate. Isso se deve a resolução espacial diferente entre os produtos e as técnicas de amostragem dos dados. A ocorrência de chuvas horárias em Maceió, distribuídos na parte alta e baixa são distintas. Na parte alta da cidade, os maiores registros horários de chuvas são devido aos sistemas de mesoescala e sinóticos, com os horários preferenciais entre 04:00 e 07:00 da manhã nos grupos homogêneos. Na parte baixa da cidade obteve menores registros de chuva apesar da proximidade dos ambientes costeiros e lagunar. A degradação ambiental observada por meio do NDVI aponta a perda da vegetação nas últimas duas décadas, sendo associado ao maior processo de urbanização, que interfere na dinâmica da chuva de Maceió.

**Palavras-Chaves:** precipitação, produtos gradeados, risco climático, geoespacialização, degradação ambiental.

## ABSTRACT

Rainfall is one of the most important meteorological variables in the daily lives of urban populations. The city of Maceió, capital of Alagoas – East of Northeast Brazil (ENEB) has 50 neighborhoods and a population of approximately one million people. Because it has few studies on urban rainfall, the objective of the study is to evaluate urban rainfall in the city of Maceió via observational data and precipitation products. Precipitation products (CHIRPS - Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station and TerraClimate) were used together with data from automatic meteorological stations (AMS) from CEMADEN between 2016 to 2022 and conventional meteorological stations (CMS) from INMET between 1981 to 2021 statistical indicators ( $R^2$ ,  $r$ , EPE and RMSE) were used to validate the precipitation products. Maps of hourly rainfall frequencies via the Spline spatial interpolation method were made using QGIS software version 3.28. The correlations were satisfactory in the seasonal scale, in the TerraClimate product ( $R^2 = 0.56$ ,  $R^2 = 0.53$  and  $R^2 = 0.62$ ) being superior to the CHIRPS product ( $R^2 = 0.49$   $R^2 = 0.29$  and  $R^2 = 0.60$ ) respectively in the rainy season, dry season and transition season. On the annual scale, TerraClimate and CHIRPS products obtained Pearson's coefficient  $r = 0.85$  and  $r = 0.79$  in due order. Highlighting the higher values obtained for EPE and RMSE in CHIRPS compared to the TerraClimate product. This is due to different spatial resolution between products and data sampling techniques. The occurrence of hourly rains in Maceió, distributed in the high and low parts are different. In the upper part of the city, the highest hourly rainfall records are due to the mesoscale and synoptic systems, with the preferred times between 04:00 and 07:00 am in the homogeneous groups. In the lower part of the city, less rainfall was recorded despite the proximity of the coastal and lagoon environments. The environmental degradation observed through the NDVI points to the loss of vegetation in the last two decades, being associated with the greater urbanization process, which interferes with the dynamics of rainfall in Maceió.

**Key-words:** precipitation, gratered products, climate risk, geospatialization, environmental degradation.

## LISTA DE FIGURAS

pág.

Figura 1. Localização da cidade Maceió: Modelo Digital de Elevação - MDE(m).....	17
Figura 2. Localização das 8 estações pluviométricas usadas no estudo.....	18
Figura 3. Digrama de espalhamento (1:1) entre os dados observados e os produtos CHIRPS, na escala sazonal (chuvosa), para cidade de Maceió entre 1981 e 2021.....	27
Figura 4. Digrama de espalhamento (1:1) entre os dados observados e os produtos CHIRPS, na escala sazonal (seco), para cidade de Maceió entre 1981 e 2021.....	27
Figura 5. Digrama de espalhamento (1:1) entre os dados observados e os produtos CHIRPS, na escala sazonal (Transição), para cidade de Maceió entre 1981 e 2021.....	28
Figura 6. Digrama de espalhamento (1:1) entre os dados observados e os produtos TerraClimate, na escala sazonal (Chuvoso), para cidade de Maceió entre 1981 e 2021.....	28
Figura 7. Digrama de espalhamento (1:1) entre os dados observados e os produtos TerraClimate, na escala sazonal (seco), para cidade de Maceió entre 1981 e 2021.....	29
Figura 8- Digrama de espalhamento (1:1) entre os dados observados e os produtos ..... 2021 .....	29
Figura 9 Digrama de espalhamento (1:1) entre os dados observados e o produto e CHIRPS na escala anual, para cidade de Maceió entre 1981 e 2022.....	31
Figura 10 - Digrama de espalhamento (1:1) entre os dados observados e o produto TerraClimate na escala anual, para cidade de Maceió entre 1981 e 2021.....	31
Figura 11 - Distribuição da chuva (mm) média e curva de tendência dos dados observados do CHIRPS e para cidade de Maceió no período de 1981 e 2021. ....	33
Figura 12 - Distribuição da chuva (mm) média e curva de tendência do dado observados do INMET para cidade de Maceió no período de 1981 e 2021 .....	33
Figura 13 - Distribuição da chuva (mm) média e curva de tendência do dado observado TerraClimate para cidade de Maceió no período de 1981 e 2021.....	34

Figura 14 - Total de número de ocorrência da chuva horária (mm.h <sup>-1</sup> ) na cidade de Maceió no período chuvoso de 2015 a 2022.....	36
Figura 15 - Total de número de ocorrência da chuva horária (mm.h <sup>-1</sup> ) na cidade de Maceió no período transição de 2015 a 2022.....	37
Figura 16 - Total de número de ocorrência da chuva horária (mm.h <sup>-1</sup> ) na cidade de.....	38
Figura 17 - Dendrograma dos grupos homogêneos e NA de chuva horária em Maceió..	39
Figura 20 - Distribuição acumulada da ocorrência de chuva (mm) horária nos grupos homogêneos (G1) em Maceió. ....	41
Figura 21 - Distribuição acumulada da ocorrência de chuva (mm) horária nos grupos homogêneos (G2) em Maceió .....	41
Figura 22 - Distribuição acumulada da ocorrência de chuva (mm) horária nos grupos homogêneos (G3) em Maceió .....	42
grupos homogêneos (NA) em Maceió .....	42
Figura 23 - Distribuição espacial dos grupos homogêneos de chuva (G1, G2, G3 e NA)..	42
Figura 24 - Mapa de NDVI em nível de bairro da cidade de Maceió nos anos de 2002, 2010 e 2022.....	44

## LISTA DE TABELAS

	<b>pág.</b>
Tabela 1. Estações pluviométricas e meteorológicas do INMET e CEMADEN usadas no estudo juntamente com o ID, coordenadas geográficas e altitude (m).....	19
Tabela 2. Coeficiente de correlação de Pearson ( $r$ ) e sua classificação (HOPKINS, 2009).....	20
Tabela 3. As bandas do OLI TIRS e TM do Landsat 5 , com os respectivos coeficientes de calibração ( $a_i$ e $b_i$ ) e irradiação solar espectral ( $E_{\lambda_i}$ ).....	23
Tabela 4. As bandas do OLI TIRS e TM do Landsat 8, com os respectivos coeficientes de calibração ( $a_i$ e $b_i$ ) e irradiação solar espectral ( $E_{\lambda_i}$ ).....	23

## Sumário

	pág.
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>12</b>
<b>2. OBJETIVOS .....</b>	<b>13</b>
2.1. Geral .....	13
2.2. Específicos .....	13
<b>3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>14</b>
3.1. Chuvas Extremas em Áreas Urbanas.....	14
3.2. Produtos de Precipitação .....	15
3.2.1 TERRACLIMATE.....	15
3.2.2 CHIRPS .....	16
<b>4. MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>17</b>
4.1. Caracterização da Área de Estudo .....	17
4.2. Dado de precipitação.....	18
4.3. Estatística Aplicada.....	19
4.3.1– Indicadores Estatísticos .....	19
4.3.2– Análise Multivariada .....	20
4.4. Método de Interpolação Espacial .....	21
4.5. Índice de vegetação (NDVI) .....	22
<b>5. RESULTADOS e DISCUSSÃO .....</b>	<b>25</b>
5.1. Validação dos Produtos TerraClimate e CHIRPS para Maceió .....	25
5.2. Avaliação da Chuva em Maceió .....	32
5.3. Identificação dos Grupos Homogêneos de Chuva Horária .....	38
<b>6. CONCLUSÕES .....</b>	<b>45</b>
<b>7. LIMITAÇÕES E RECOMENDAÇÕES .....</b>	<b>46</b>
<b>8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>47</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A chuva desempenha um papel crucial no clima, afetando diversos setores da sociedade. Seus efeitos são sentidos na economia, no agronegócio, no meio ambiente e no cotidiano das populações urbanas. A importância da chuva é evidenciada pela sua alta variabilidade espaço-temporal, o que requer considerações essenciais no planejamento de obras, na agricultura, no controle de inundações, na construção de barragens, na drenagem urbana e na prevenção da erosão. (SILVA, 2007; MONTEIRO et al., 2022; OLIVEIRA et al., 2010; CORREIA FILHO et al., 2019).

Os estudos sobre a temática de chuvas extremas vêm crescendo nas últimas décadas no mundo (DE SOUZA, 2016), devido ao aumento populacional, seguido do processo de urbanização que aumenta as áreas de riscos que estão sujeitas a inundações, deslizamento de terra e problemas de drenagem quando a duração das chuvas extremas excede as normais climatológicas mensais, podendo haver até mortes (EASTERLING et al., 2000; GOCIC et al., 2013; OLIVEIRA-JÚNIOR et al., 2022; MONTEIRO et al., 2022).

As áreas urbanas estão se expandindo cada vez mais e, contribui na substituição da vegetação nativa pela impermeabilização do solo (ZANELLA, 2009). Entende-se que grande parte da população de baixa renda e alta vulnerabilidade social mora em áreas de risco, tal população, após as enchentes e inundações estão sujeitas a ação das doenças de veiculação hídrica, principalmente leptospirose e dengue (SANTOS et al., 2018; OLIVEIRA-JÚNIOR et al., 2019).

A cidade de Maceió tem carência de estudos sobre chuvas urbanas (NASCIMENTO et al., 2018; DA SILVA et al., 2020; OLIVEIRA JÚNIOR et al., 2021), visto que é uma cidade que possui áreas de risco, de vulnerabilidade social e uma população que ultrapassa 1.000.000 habitantes (IBGE, 2023). Portanto se faz necessário caracterizar os sistemas meteorológicos, identificar os horários preferenciais e mapear as chuvas extremas de uma cidade. Mapas dos horários preferenciais e dos locais de ocorrências de chuvas extremas são de grande importância para políticas públicas e para população, que no Brasil, várias pessoas morrem em consequência de alagamentos e deslizamentos causados pelas fortes chuvas (BULHÕES, 2018). Essas mortes se repetem todos os anos em tragédias anunciadas que poderiam ser previstas e evitadas, portanto, tais estudos podem contribuir na mitigação e tomada de decisão rápida.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1. Geral

- **AVALIAR** a chuva urbana na cidade de Maceió via dados observacionais e Produtos de Precipitação.

### 2.2. Específicos

- **VALIDAR** os produtos de precipitação (CHIRPS e TerraClimate) para a cidade de Maceió.
- **IDENTIFICAR** o(s) horário(s) preferencial(s) das chuvas na cidade de Maceió.
- **MAPEAR** as chuvas horárias na cidade de Maceió via SIG.

### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1. Chuvas Extremas em Áreas Urbanas

Nas últimas décadas, os desastres naturais vêm crescendo consideravelmente em todo o planeta (NUNES, 2015). Vários fatores podem ser responsáveis por isso, entre eles: as mudanças de uso e ocupação do solo, com destaque para impermeabilização do solo, seguida do aumento populacional, industrialização, desmatamento, incêndios urbanos e até mesmo assoreamento dos rios (SOUZA, 2016).

As chuvas extremas causam inundações e enchentes a partir do aumento de impermeabilização dos solos (DUARTE, 2021). Nos ambientes urbanos, o crescimento populacional juntamente com processo de urbanização, causa as mudanças no uso e ocupação do solo, que por sua vez, trazem danos permanentes, por exemplo, o aumento no escoamento superficial e na diminuição da infiltração (SOUZA, 2016). O aumento significativo da população urbana no Brasil é preocupante, já que cerca de 85% da população vive nas áreas urbanas, segundo dados da Pesquisa Nacional Por Amostra de Domicílios (PNAD,2015). Com aumento populacional em áreas urbanas, crescem também risco de desastres naturais, provenientes da urbanização, provocando desequilíbrios ambientais diretamente proporcionais ao nível de adensamento urbano.

As chuvas extremas podem ter várias consequências, incluindo perdas materiais e perdas de vidas humanas, bem como impactos socioambientais significativos. É importante destacar que, ao contrário das perdas materiais, as vidas humanas perdidas não podem ser recuperadas (ALEIXO, 2010). Essas chuvas intensas frequentemente resultam em enchentes, o que pode agravar ainda mais a situação e aumentar o risco de doenças transmitidas pela água, como a leptospirose e a dengue (ALEIXO, 2010).

Para entender melhor esses eventos climáticos extremos, é necessário considerar os sistemas meteorológicos de Mesoescala. Esses sistemas ocorrem em escalas de tempo e espaço intermediárias, abrangendo uma área de dezenas a centenas de quilômetros em períodos de horas até um dia. Eles são influenciados por vários fatores, como a topografia, a convecção e as condições da superfície (HALLAK, 2012). Esses fatores desempenham um papel crucial na formação e na intensidade das chuvas extremas.

As circulações de brisas são um exemplo de sistemas meteorológico de Mesoescala, pois elas ocorrem em uma escala de tempo e espaço onde podem levar algumas horas do dia. As brisas são influenciadas pelas condições locais da superfície, tais como, a temperatura do ar e pressão atmosférica. Geralmente as brisas têm suas ocorrências em áreas costeiras ou perto de grandes corpos d'água, mas também há outros tipos como a brisa vale e montanha, floresta e pastagem (IHADUA, 2013).

As circulações de brisas bastante comuns são a terrestre e a marítima. A circulação da brisa marítima é uma circulação de vento que sopra do mar em direção ao continente durante o período do dia. Isso ocorre porque a superfície terrestre se aquece mais rapidamente do que a superfície da água durante o dia. Consequentemente, o ar sobre a superfície terrestre ascende e se expande, enquanto o ar mais frio e denso sobre o mar se desloca para preencher o vazio, criando a brisa marítima. Já a brisa terrestre ocorre em uma situação contrária à brisa marítima, na qual o ar flui da superfície terrestre em direção ao oceano durante a noite. Isso acontece porque a superfície terrestre se resfria mais rapidamente do que a superfície do mar durante a noite. Assim, o ar sobre o mar está mais quente e menos denso, resultando na circulação da brisa terrestre (TEXEIRA, 2008).

## **3.2 Produtos de Precipitação**

### **3.2.1 TERRACLIMATE**

O TerraClimate é um conjunto de dados climáticos mensais (variáveis primárias: temperatura máxima ( $T_{\max}$ , °C), temperatura mínima ( $T_{\min}$ , °C), pressão de vapor ( $e$ , hPa), acúmulo de precipitação ( $P$ , mm), radiação de ondas curtas ( $R_{oc}$ ,  $\text{KJ.m}^{-2}$ ) e velocidade do vento ( $U$ ,  $\text{m.s}^{-1}$ ), disponibilizada pelo site: (<https://www.climatologylab.org/>), no período de 1958 a 2023 (ABATZOGLOU et al., 2018). Esses dados fornecem informações importantes para estudos climáticos, ecológicos e hidrológicos em escala global que são de alta resolução espacial e temporal. Todos os dados oferecem resolução temporal mensal, sendo a resolução espacial de aproximadamente 4 km ( $1/24^\circ$ ).

O terraClimate usa interpolação auxiliada pelo clima, assim fazendo a combinação com as normais climatológicas de alta resolução espacial do conjunto de dados WorldClim (<https://www.worldclim.org/>), mas dados variáveis no tempo de CRU Climatic Research UnitTs4.0 e da Reanálise Japonesa de 55 anos (JRA55). O procedimento aplica anomalias variáveis no tempo interpoladas de CRU Ts4.0/JRA55 a

climatologia de alta resolução espacial WorldClim para criar um conjunto de dados de alta resolução espacial temporalmente amplo.

### 3.2.2 CHIRPS

O *Climate Hazards Group Infrared Precipitation with* (CHIRPS) é um conjunto de dados de precipitação criado em colaboração com cientistas do centro de observação e ciência de recursos terrestre (EROS) do United States Geological Survey (USGS) e pelo *Climate Hazarda Group at the University of California*, Santa Barbara (UCSB). O produto de precipitação é composto por várias fontes de informações: **i)** *the climate Hazards Group's Preecipitation Climatology* (CHPCLIm); **II)** campos de precipitação do coupled forecast system (CFSv2) da National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA); **III)** centro de Previsão climática versão 2 (CPC); **IV)** Observações de satélites com espectroscopia de infravermelho termal (termal Infrared, TIR), **v)** geostacionárias NOAA e **vi)** várias observações de precipitação a partir de estações meteorológicas (FUNK et al., 2015).

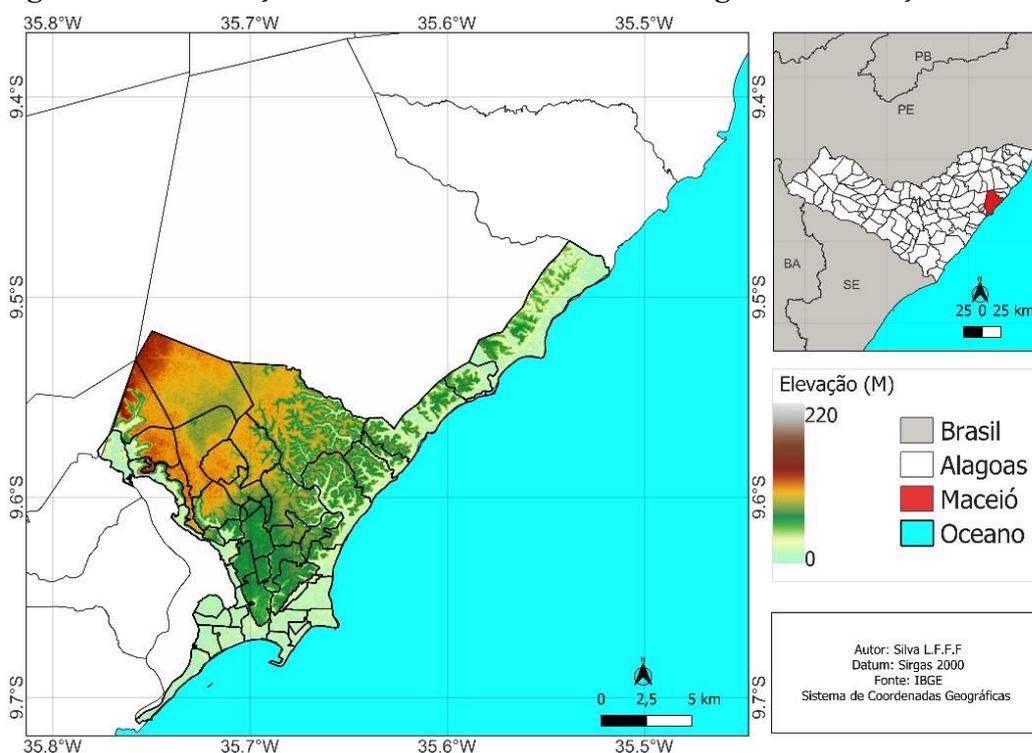
O CHIRPS tem sua resolução espacial de  $(0,05^\circ)$  aproximadamente 5 km, e sua varredura cobre  $50^\circ\text{S}$  a  $50^\circ\text{N}$ , sendo associados aos dados de estações *in situ* para criar séries temporais pluviométricas com dados de 1981 até os dias atuais.

## 4. MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1 Caracterização da Área de Estudo

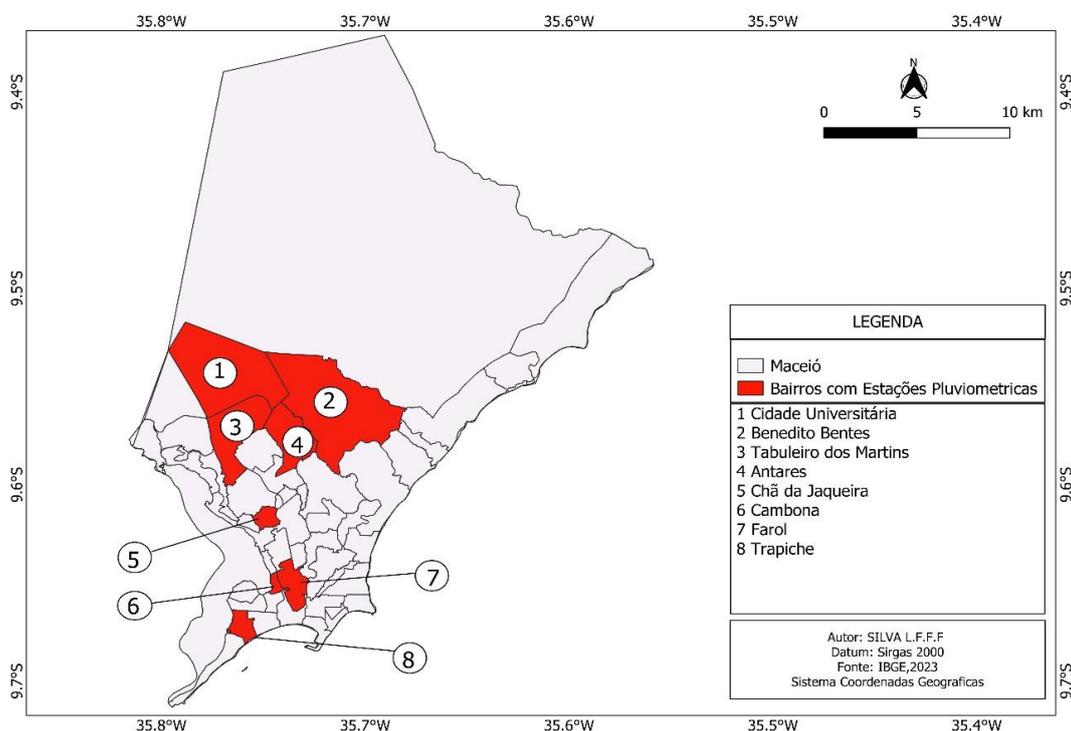
A cidade de Maceió possui uma área territorial de aproximadamente 509,5 km<sup>2</sup> e está compreendida nas coordenadas geográficas, latitude 09°41'00" S e longitude 35°43'00" W, conforme a Figura 1. Maceió é a capital do Estado de Alagoas e faz parte do leste (E) do Nordeste Brasileiro (NEB). O relevo de Maceió é composto por tabuleiros e planícies litorâneas (IBGE, 2023). O Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) é de cerca de 0,721, sendo considerado alto pelo Programa das Nações Unidas (IBGE, 2020), com população estimada em 1.031.597 milhões de habitantes a 5º maior capital do NEB (IBGE, 2021).

**Figura 1 - Localização da cidade Maceió: Modelo Digital de Elevação - MDE (m).**



Fonte: autor

**Figura 2 - Localização das 8 estações pluviométricas usadas no estudo.**



Fonte: autor.

O clima na cidade de Maceió é caracterizado como um clima tropical atlântico, quente e úmido devido à proximidade do Oceano Atlântico, sem diferenciações térmicas durante o ano, onde o período de chuva concentra-se nos meses de abril a agosto com acumulados de chuva entre 1000 a 1500 mm (BARROS, 2012; COSTA et. al 2020).

## 4.2 Dados Pluviométricos

No estudo foram usados dados pluviométricos horários das estações meteorológicas automáticas (EMA) da cidade de Maceió oriundas do Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN) – <https://www.gov.br/ceaden/pt-br> no período de 2015 a 2022 e das estações meteorológicas convencionais (EMC) do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) – (<https://portal.inmet.gov.br/>), no período entre 1981 e 2021.

No estudo optou-se pela escolha de estações com menor registro de falhas (4.82%), sendo adotada apenas 8 EMAS do CEMADEN contemplando a parte alta e baixa da cidade de Maceió. Em relação aos produtos CHIRPS e TERRACLIMATE foram

escolhidos nos anos de 1981 a 2021 para identificar qual produto pode ser aplicado na cidade de Maceió, nas escalas sazonal e anual.

**Tabela 1: Estações pluviométricas e meteorológicas do INMET e CEMADEN usadas no estudo juntamente com o ID, coordenadas geográficas (°) e altitude (m).**

ID	Estação	Latitude (°)	Longitude (°)	Altitude (m)
1	Cidade Universitária	-9.55	-35.76	86
2	Benedito Bentes	-9.55	-35.72	68
3	Tabuleiro dos Martins	-9.58	-35.76	69
4	Antares	-9.57	-35.74	91
5	Chã da Jaqueira	-9.62	-35.74	49
6	Cambona	-9.66	-35.75	44
7	Farol	-9.64	-35.75	29
8	Trapiche da Barra	-9.64	-35.77	9

Fonte: autor

### 4.3 Estatísticas Aplicadas

#### 4.3.1 – Indicadores Estatísticos

A estatística aplicada no estudo foi baseada no coeficiente de determinação ( $R^2$ ), Erro padrão de Estimativa ( $EPE$ , mm), Raiz Quadrada do Erro Quadrático Médio ( $RMSE$ , mm) e coeficiente de Pearson ( $r$ ) para a validação dos produtos TerraClimate e CHIRPS para a cidade de Maceió via diagrama de espalhamento (1:1). A categorização do coeficiente  $r$  é listado na Tabela 2.

$$r^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{O})^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (1)$$

$$r = \frac{\sum O_i P_i}{\sqrt{\sum O_i^2} \sqrt{\sum P_i^2}} \quad (2)$$

$$EPE = \sqrt{\frac{\sum (O_i - p_i)^2}{n-1}} \quad (3)$$

$$RMSE = \sqrt{\sum (O_i - p_i)^2} \quad (4) \quad N$$

Em que :

- $p_i$  = o  $i$ ésimo valor estimado de precipitação (mm)
- $O_i$  = o  $i$ ésimo valor observado de precipitação (mm)
- $\bar{O}$  = valor médio observado de precipitação (mm)
- $N$  = número de dados analisados.

**Tabela 2.** Coeficiente de correlação de Pearson ( $r$ ) e sua classificação (HOPKINS, 2009).

Coeficiente de Correlação de Pearson ( $r$ )	Classificação
0 - 0,1	Muito baixa
0,1 - 0,3	Baixa
0,3 - 0,5	Moderada
0,5 - 0,7	Alta
0,7 - 0,9	Muito alta
0,9 - 1,0	Quase perfeita

#### 4.3.2 – Análise Multivariada

No estudo foi aplicada análise multivariada baseada na análise de agrupamento (Cluster Analysis - CA) para identificar regiões homogêneas de chuva horária na cidade de Maceió. A técnica CA foi aplicada a série temporal de chuva horária formada pelas estações da Tabela 1 via software R versão 4.1.1 (R Development Team, 2021). Assim, o respectivo número de grupos e o dendrograma foram determinados para as estações pertencentes a cidade de Maceió.

O Coeficiente de Correlação Cofenética (CCC) é baseado em coeficiente de correlação de Pearson ( $r$ ), sendo calculado entre a matriz de dissimilaridade e a matriz

resultante do processo de agrupamento (SOKAL e ROHLF, 1962). Assim, quanto maior o valor de  $r$ , menor será a distorção. Na prática, dendrogramas com  $CCC < 0,7$  indicam a inadequação da técnica de CA. Portanto, o ideal é considerar valores maiores que 0,7. No estudo foram testados métodos de ligação e, sendo indicado o método ward para ser usado no dendrograma. Rohlf (1970) menciona que quanto maior o valor obtido para o CCC, menor a distorção causada por CA.

$$CCC = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n (c_{ij} - cm)(d_{ij} - dm)}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n (c_{ij} - cm)^2} \sqrt{\sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n (d_{ij} - dm)^2}} \quad (5)$$

As amostras obtidas via matriz fonética são representadas pelo valor de dissimilaridade  $c_{ij}$ , enquanto as amostras obtidas a partir da matriz de dissimilaridade são representadas pelo valor  $d_{ij}$ . O valor  $cm$  é obtido pela aplicação da equação 6, enquanto o valor  $dm$  é obtido pela aplicação da equação 7.

$$cm = \frac{2}{\sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n} \sum_{j=i+1}^n c_{ij} \quad (6)$$

$$dm = \frac{2}{\sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n} \sum_{j=i+1}^n d_{ij} \quad (7)$$

#### 4.4 Método de Interpolação Espacial

No estudo foi usado o Quantum GIS (QGIS) versão 3.28 para especializar a frequência das chuvas horárias, sendo que o método de interpolação espacial usado foi o Spline, conhecido como mínima curvatura, é um tipo de polinômio por partes uma interpolação polinomial simples e podem ser definidos por sua quantidade de suavização (MITASOVA; MITAS 1993) e suas estimativas conforme a Eq (8):

$$I^2(S) = \sum_{\alpha} B_{\alpha} \iint_{\Omega} \left[ \frac{\partial^{|\alpha|} S(X)}{\partial x_1^{\alpha_1} \partial x_2^{\alpha_2}} \right]^2 dx_1 dx_2 \quad (8)$$

Em que,  $\alpha = (\alpha_1, \alpha_2)$ , sendo  $\alpha_1$  entre 0 ao grau de  $x_1$  em  $S(x)$ ,  $\alpha_2$  entre 0 ao grau de  $x_2$  em  $S(x)$ , sendo  $|\alpha| = \alpha_1 + \alpha_2$ , e  $\Omega$  é a região considerada do espaço bidimensional.  $B_{\alpha}$  é uma constante não negativa definida pela Eq. (6):

$$B_{\alpha} = \begin{cases} 0, & \text{se } |\alpha| = 0 \\ \frac{|\alpha|! 2^{|\alpha|} (1+|\alpha|)!}{\alpha_1! \alpha_2! \varphi}, & \text{se } |\alpha| > 0 \end{cases} \quad (9)$$

Em que,  $\varphi$  é o peso de termos particulares na soma (peso de tensão), quanto maior  $\varphi$ , maior a influência de derivadas de ordem superior sobre a função resultante. A solução geral de  $S(x)$  é dada por:

$$S(X) = T(X) + \sum_{j=1}^n \lambda_j R(X, X_j) \quad (10)$$

Em que,  $T(x)$  é uma função de ‘tendência’; e  $R(x, x_j)$  é uma função da base radial cuja forma explícita é:

$$R(X, X_j) = -[E_1(\rho) + \ln(\rho) + C_E] \quad (11)$$

$$\rho = \left( \frac{\varphi r(X, X_j)^2}{2} \right) \quad (12)$$

Em que,  $E_1$  é a função exponencial integral;  $C_E$  é a constante de Euler; e  $r$  é a distância entre  $p$  e  $p_j$  definida por:

$$r(X, X_j) = \sqrt{(X_1 - X_{j1})^2 + (X_2 - X_{j2})^2} \quad (13)$$

Logo,  $T(x) = a_1$ . As constantes  $a_1$  e  $\lambda_j$  são determinadas se resolvendo o seguinte sistema de equações a seguir:

$$a_1 + \sum_{j=1}^N \lambda_j R(X_i, X_j) = Z_i, i = 1, \dots, N \quad (14)$$

$$\sum_{j=1}^N \lambda_j = 0 \quad (15)$$

Em que,  $X_i$  e  $X_j$  são os pontos amostrados; e  $Z_i$  é o valor de  $Z$  no local de  $X_i$ .

#### 4.5 Índice de vegetação (NDVI)

Os dados dos satélites Landsat 7 e Landsat 8 foram usados para gerar o Índice de Vegetação de Diferença Normalizada (NDVI - Normalized Difference Vegetation Index, em inglês) para os anos entre 2000 e 2022. O NDVI irá contribuir nas análises da degradação ambiental em Maceió. As bandas utilizadas para cada índice são descritas na Tabela 3.

**Tabela 3. As bandas do OLI TIRS e TM do Landsat 7 com os respectivos coeficientes de calibração ( $a_i$  e  $b_i$ ) e irradiação solar espectral ( $E_{\lambda i}$ ).**

Landsat 7			
Descrição das bandas	Comprimento de onda	Coeficientes de calibração	
		<i>ai</i>	<i>bi</i>
TM			
Band 3 – Red	0.630 – 0.690	-1.17	264.00
Band 4 – Near Infrared (NIR)	0.790 – 0.900	-1.51	221.00
Band 5 – Shortwave Infrared (SWIR 1)	1.550 – 1.750	-0.37	30.20
Banda 6 – Thermal	10.40 – 12.50	1.24	15.30

Fonte: autor

**Tabela 4.** As bandas do OLI TIRS e TM do Landsat 8 com os respectivos coeficientes de calibração (*a<sub>i</sub>* e *b<sub>i</sub>*) e irradiação solar espectral ( $E_{\lambda i}$ ).

Landsat 8			
Descrição das bandas OLI	Comprimento de onda	Coeficientes de calibração	
		<i>ai</i>	<i>bi</i>
Band 4 – Red	0.636 – 0.673	-51.54	624.17
Band 5 – Near Infrared (NIR)	0.851 – 0.879	-31.54	381.96
Band 6 – Shortwave Infrared (SWIR 1)	1.566 – 1.651	-7.84	94.99
Band 10 – Thermal Infrared (TIRS 1)	10.60 – 11.19	0,1	22

Fonte: autor

A conversão do ND em radiância espectral do topo da atmosfera (TOA) foi obtida pela Eq. 16 (Markham e Baker, 1987):

$$\rho_{\lambda i}' = ai + \frac{bi - ai}{65535} ND$$

$$\rho_{\lambda i}' = ai + \quad * ND, \text{ For Landsat 5 images} \quad (15)$$

ou

$$\rho_{\lambda i}' = a_i + \frac{b_i - a_i}{65535} ND, \text{ For Landsat 8 images} \quad (16)$$

em que,  $a$  e  $b$  são as radiâncias espectrais mínima e máxima ( $\text{W.m}^{-2}.\text{sr}^{-1}.\mu\text{m}^{-1}$ ), conforme a Tabela 2, detectadas pelo TM e OLI da série Landsat;  $i$  corresponde às bandas 3, 4, 5 e 6 (banda termal) do sensor TM do Landsat 5 (bandas 4, 5 e 6 do sensor OLI, e as bandas 10 e 11 do sensor Thermal Infrared Sensor (TIRS) do Landsat 8).

Em seguida foi calculado a reflectância monocromática de cada banda ( $\rho_{\lambda i}$ ), definida como a razão entre o fluxo de radiação refletido e o fluxo de radiação solar incidente, foi obtida segundo a Eq. 17 (Allen et al., 2002):

$$\pi * \rho_{\lambda i} = ESolar_{\lambda i} * \cos\theta * dr \quad (17)$$

em que,  $ESolar_{\lambda i}$  é a irradiância solar espectral de cada banda no topo da atmosfera ( $\text{W.m}^{-2}.\text{sr}^{-1}.\mu\text{m}^{-1}$ ), apresentada na Tabela 4,  $\theta$  é o ângulo zenital solar e  $d_r$  é a distância Terra-Sol.

Após a obtenção da radiância e reflectância monocromática, buscou-se a obtenção do NDVI, a partir da reflectância das bandas NIR ( $\rho_{NIR}$ ) e vermelha ( $\rho_R$ ).

$$NDVI = \frac{(\rho_{NIR} - \rho_R)}{(\rho_{NIR} + \rho_R)} \quad (18)$$

em que,  $\rho_{NIR}$  e  $\rho_R$  correspondem, respectivamente, às reflectâncias das bandas do infravermelho-próximo e vermelho.

O NDVI é uma medida que varia de -1 a 1, sendo que valores positivos indicam áreas com vigor vegetativo de acordo com a atividade fotossintética e densidade da vegetação, enquanto valores negativos representam corpos de água e nuvens. Além de detecção de áreas verdes, o NDVI também é utilizado na identificação de corpos d'água e nuvens. (Rouse, 1974; Guha et al., 2018 Correia Filho et al., 2019) Para este estudo, o NDVI foi categorizado em cinco classes, incluindo corpos d'água/nuvens, solo nu área construída, vegetação esparsa, vegetação abundante e vegetação densa.

## 5. RESULTADOS e DISCUSSÃO

### 5.1 Validação dos Produtos TerraClimate e CHIRPS para Maceió

#### • Sazonal

O diagrama de espalhamento (1:1) entre os produtos de precipitação TerraClimate, CHIRPS e dados observados do INMET da chuva em Maceió na escala sazonal é exibido na Figura 3. A maior dispersão dos dados em relação à reta 1:1 ocorreu subestimativa a partir do valor 40 mm na estação seca (Figura 4) o produto CHIRPS, ao contrário, do produto TerraClimate no valor 50 mm (Figura 7), isso se deve a resolução espacial, no caso do TerraClimate = 4 km (ABATZOGLOU et al., 2018) e CHIRPS = 5 km (FUNK et al., 2015), juntamente com as técnicas de amostragem realizadas para confecção da base de dados dos produtos (PAREDES-TREJO et al., 2017; COSTA et al., 2019; OLIVEIRAJÚNIOR et al., 2021). Na estação chuvosa houve similaridade entre os produtos CHIRPS e TerraClimate (300 mm). Vale destacar que ambos os produtos têm resultados melhores para estação chuvosa, principalmente para a região NEB (PAREDES-TREJO et al., 2017; COSTA et al., 2019).

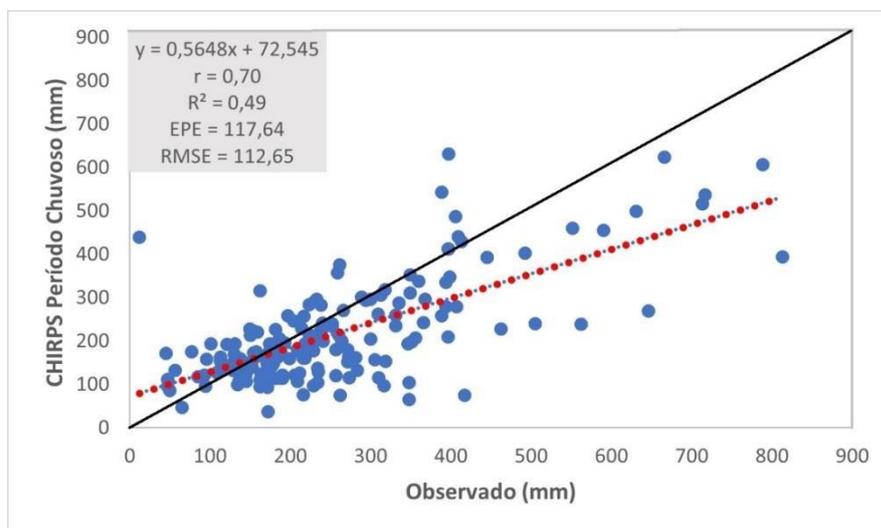
Os coeficientes  $R^2$  obtidos para o CHIRPS foram  $R^2 = 0,49$  (estação chuvosa – Figura 3),  $R^2 = 0,29$  (estação seca – Figura 2b) e  $R^2 = 0,60$  (estação de transição – Figura 5). Ambos os coeficientes  $R^2$  apresentaram variabilidade sazonal na cidade de Maceió, sendo satisfatória apenas na estação de transição. Vale destacar que a cidade de Maceió tem características fisiográficas (proximidade de ambiente costeiro, lagoas, elevação e vegetação) (Oliveira-júnior et al. (2021a), juntamente a atuação de sistemas meteorológicos em multiescala, por exemplo, circulação de brisas mar-terra e lagunar, distúrbios ondulatórios de leste (DOL) e perturbações ondulatórias dos alísios (POA) – (LYRA et al., 2014), que interferem na validação de produtos de precipitação, conforme sugerido anteriormente por Oliveira-júnior et al. (2021b) e Oliveira-júnior et al. (2021c) com uso do produto CHELSA (Climatologies at High resolution for the Earth's Land Surface Area).

Já as correlações foram satisfatórias na escala sazonal, visto que no produto TerraClimate foram registrados  $R^2 = 0,56$  (estação chuvosa),  $R^2 = 0,53$  (estação seca) e  $R^2 = 0,62$  (estação de transição), sendo superiores ao produto CHIRPS. Vale destacar que o produto CHIRPS combina três fontes de dados principais: i) climatologia da

precipitação do grupo Climate Hazards (CHpclim); ii) climatologia de precipitação global com resolução de  $0,05^\circ$  de latitude e iii) longitude estimada para cada mês com base de dados das estações médias observadas de satélites (Funk et al., 2015), ao contrário, do TerraClimate que usa a interpolação auxiliada, a partir da combinação com as normais climatológicas de alta resolução espacial do conjunto de dados WorldClim, seguido dos dados do Climatic Research e da reanálise japonesa (JRA55) – (ABATZOGLOU et al., 2018).

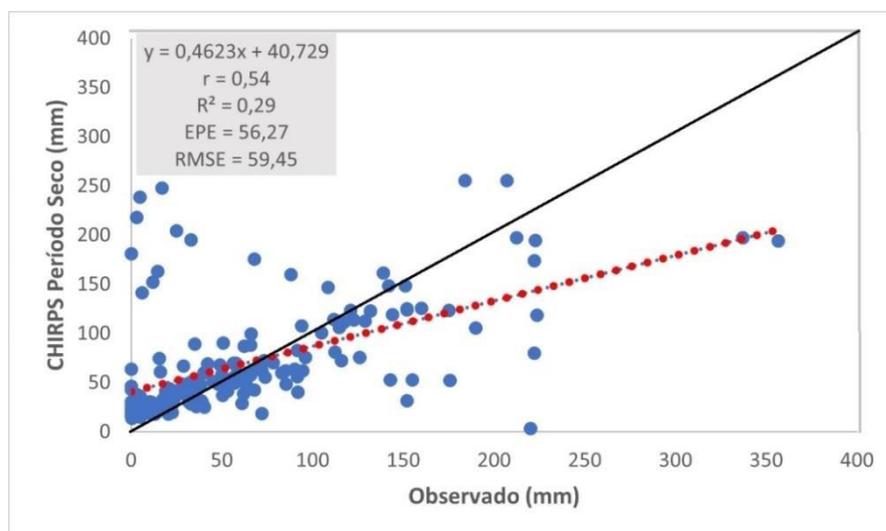
Em relação ao coeficiente de correlação de Pearson ( $r$ ), o CHIRPS obteve  $r = 0,70$  (muito alta) na estação chuvosa, seguido de  $r = 0,54$  (moderada) na estação seca e na estação de transição  $r = 0,77$  (muito alta). Para o produto TerraClimate, os coeficientes  $r$  na estação chuvosa foi  $r = 0,75$  (muito alta), na estação seca foi  $r = 0,73$  (muito alta) e na estação de transição  $r = 0,79$  (muito alta), conforme a Tabela 2. Ambos os produtos foram satisfatórios, exceto a estação seca do produto CHIRPS, que não é aconselhável no NEB, segundo estudos realizados anteriormente por Paredes-trejo et al., (2017) e Costa et al. (2019).

**Figura 3** Digrama de espalhamento (1:1) entre os dados observados e os produtos CHIRPS, na escala sazonal (chuvosa), para cidade de Maceió entre 1981 e 2021.



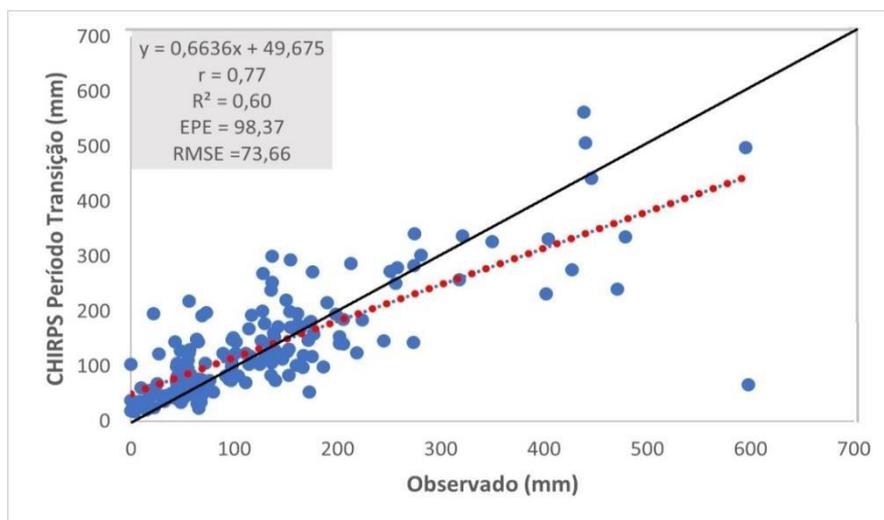
Fonte: autor

**Figura 4** - Digrama de espalhamento (1:1) entre os dados observados e os produtos CHIRPS, na escala sazonal (seco), para cidade de Maceió entre 1981 e 2021.



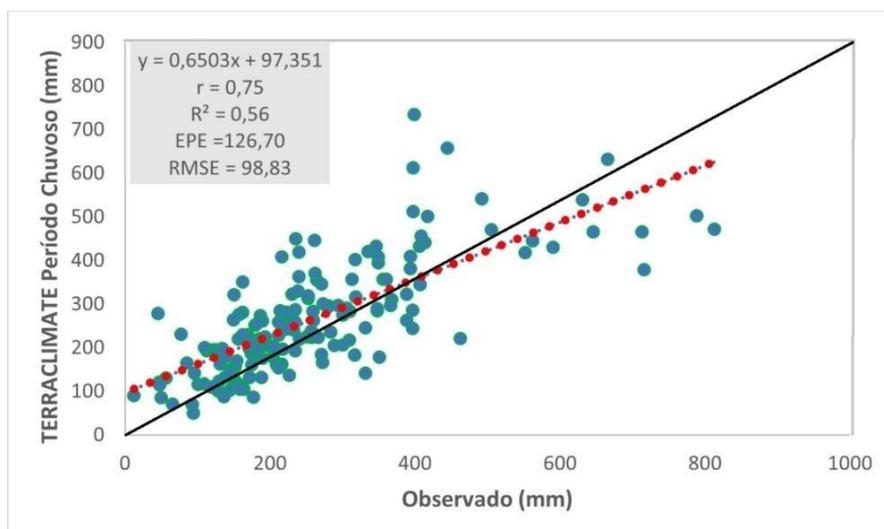
Fonte: autor

**Figura 5 - Digrama de espalhamento (1:1) entre os dados observados e os produtos CHIRPS, na escala sazonal (Transição), para cidade de Maceió entre 1981 e 2021.**



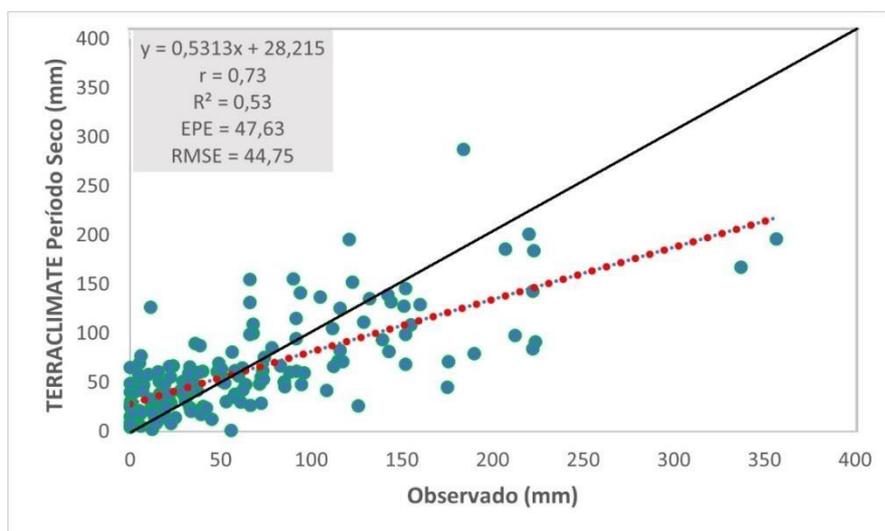
Fonte: autor

**Figura 6 - Digrama de espalhamento (1:1) entre os dados observados e os produtos TerraClimate, na escala sazonal (Chuvoso), para cidade de Maceió entre 1981 e 2021.**



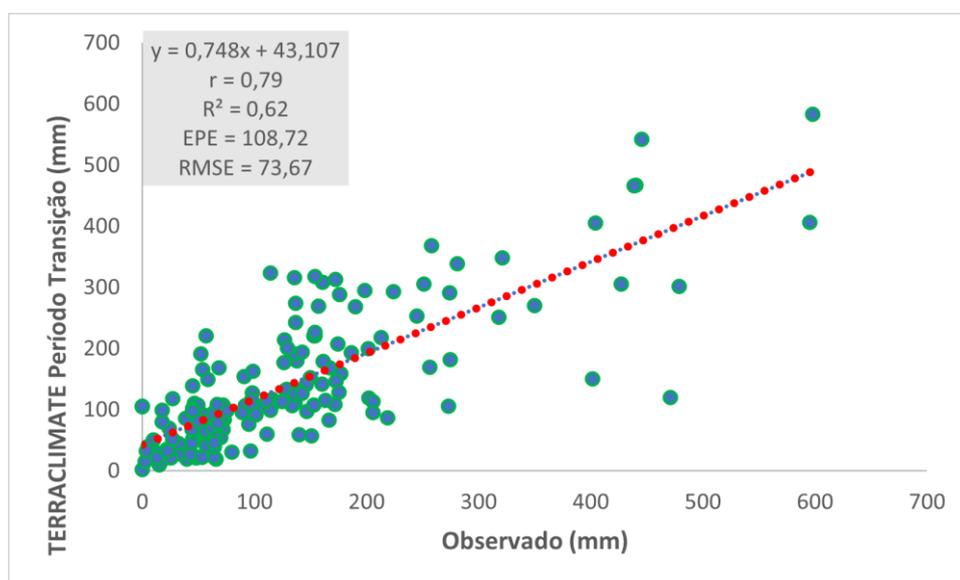
Fonte: autor

**Figura 7** Digrama de espalhamento (1:1) entre os dados observados e os produtos TerraClimate, na escala sazonal (seco), para cidade de Maceió entre 1981 e 2021.



Fonte: autor

**Figura 8-** Digrama de espalhamento (1:1) entre os dados observados e os produtos TerraClimate, na escala sazonal (transição), para cidade de Maceió entre 1981 e 2021



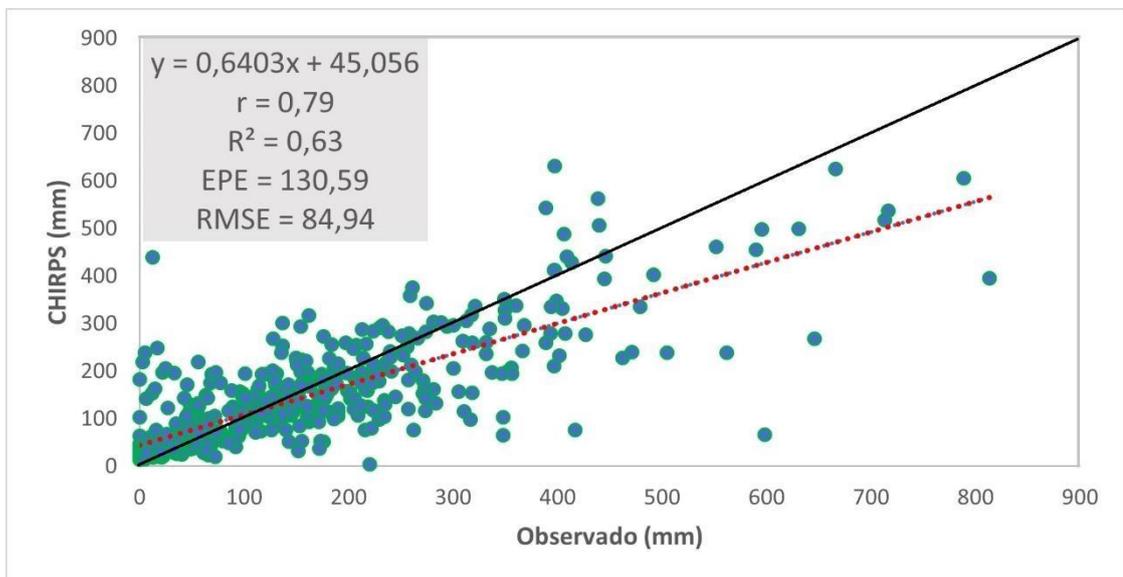
Fonte: autor

- **Anual**

Em relação a análise anual, os produtos TerraClimate e CHIRPS obtiveram coeficiente de correlação na categoria muito alto (Tabela 2), sendo  $r = 0,85$  (muito alta) no TerraClimate e  $r = 0,79$  (muito alta) no CHIRPS, em relação aos coeficientes  $R^2$ , no caso, do TerraClimate foi  $R^2 = 0,71$  e do CHIRPS de  $R^2 = 0,63$ , valores satisfatórios em comparação a escala sazonal. Vale destacar a os maiores valores obtidos de EPE, no CHIRPS (130 mm) e no TerraClimate (112 mm), enquanto os valores de RMSE novamente no CHIRPS (84 mm) foi maior em comparação ao produto TerraClimate (75 mm). Pode ser justificado pela a resolução espacial diferente entre os produtos, mencionado anteriormente.

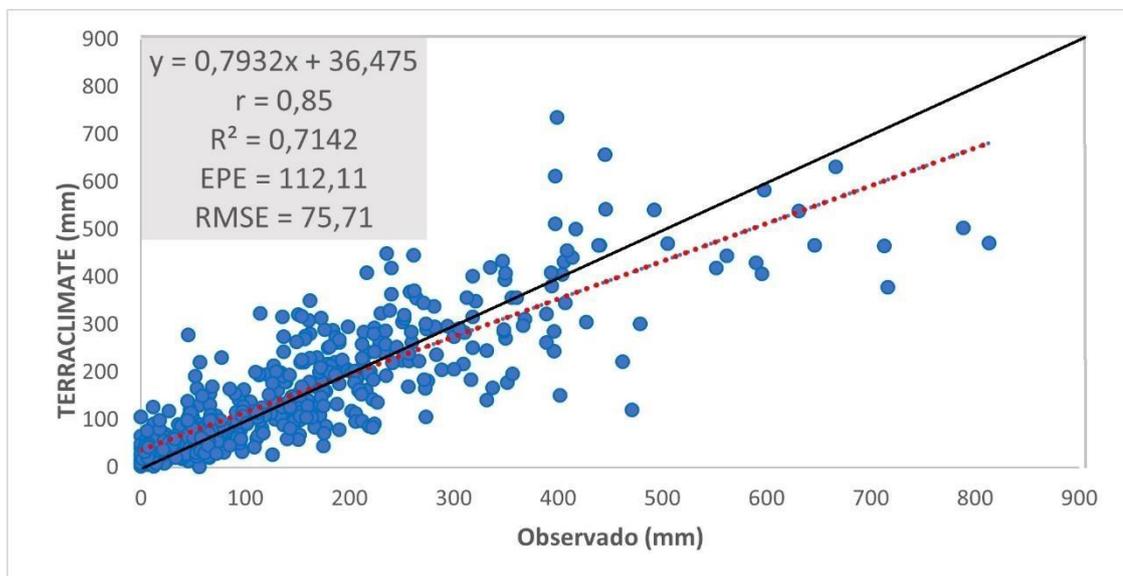
Os produtos de precipitação não foram satisfatórios para registros de precipitação superior a 300 mm na escala anual para a cidade de Maceió, isto é, ambos os produtos subestimam os dados observados. Na escala mensal os produtos conseguem serem satisfatórios para valores de 300 mm, porém para valores superiores a 500 mm são subestimados. Essa diferença entre o observado e o estimado apontou a limitação dos produtos para acumulados de precipitação superiores.

**Figura 9** Digrama de espalhamento (1:1) entre os dados observados e o produto e CHIRPS na escala anual, para cidade de Maceió entre 1981 e 2022.



Fonte: autor

**Figura 10** - Digrama de espalhamento (1:1) entre os dados observados e o produto TerraClimate na escala anual, para cidade de Maceió entre 1981 e 2021.



Fonte: autor

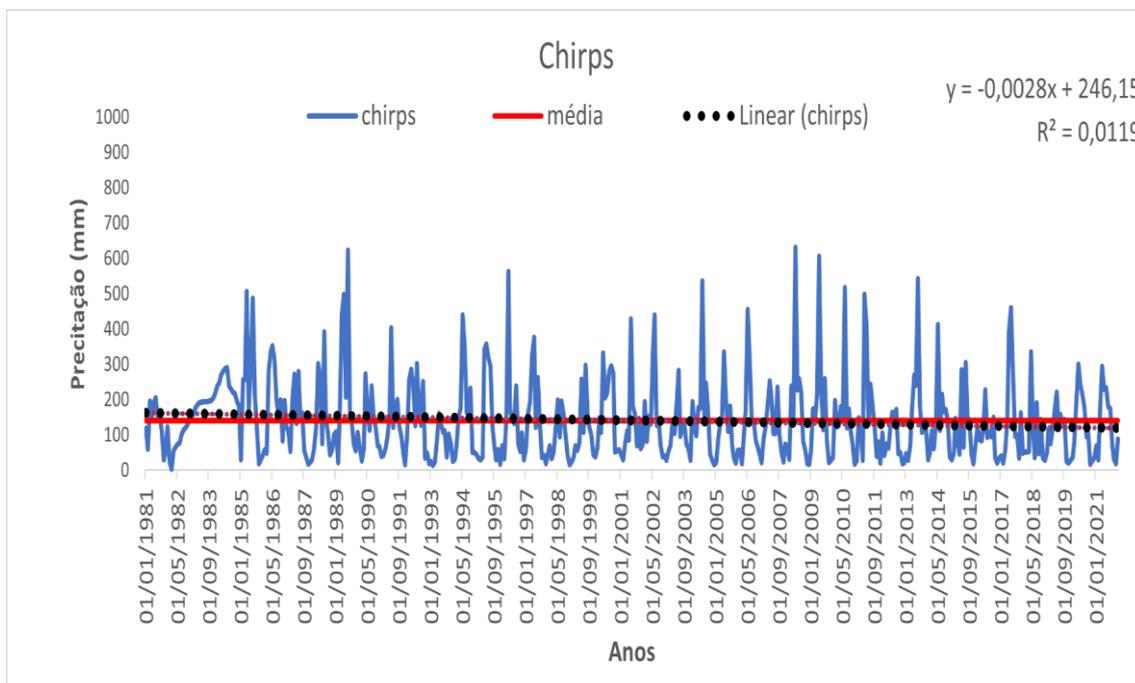
## 5.2 Avaliações da Chuva em Maceió

### • Temporal

As Figura 11,12 e 13 mostram a distribuição e tendência dos dados de chuva observados e os estimados pelos produtos CHIRPS e TerraClimate no período de 1981 a 2021. Em relação ao dado observado (Figura 12) houve alta variabilidade das chuvas acumuladas na série temporal, sendo possível identificar registros de chuva aproximadamente de 800 mm e outros períodos de 0 mm, isso mostra que a cidade de Maceió alterna períodos de chuvosos e de seca, já identificados anteriormente em alguns estudos (NASCIMENTO et al., 2018; DA SILVA et al., 2020; OLIVEIRA JÚNIOR et al., 2021). Vale destacar que não houve tendência de aumento e diminuição, porém, observase um aumento de extremos de chuvas a partir do ano 2000 para Maceió, sendo confirmado por estudos anteriores realizados por Sousa, (2016) e Santos et al. (2017), onde o risco de chuva extrema vem aumentando na cidade.

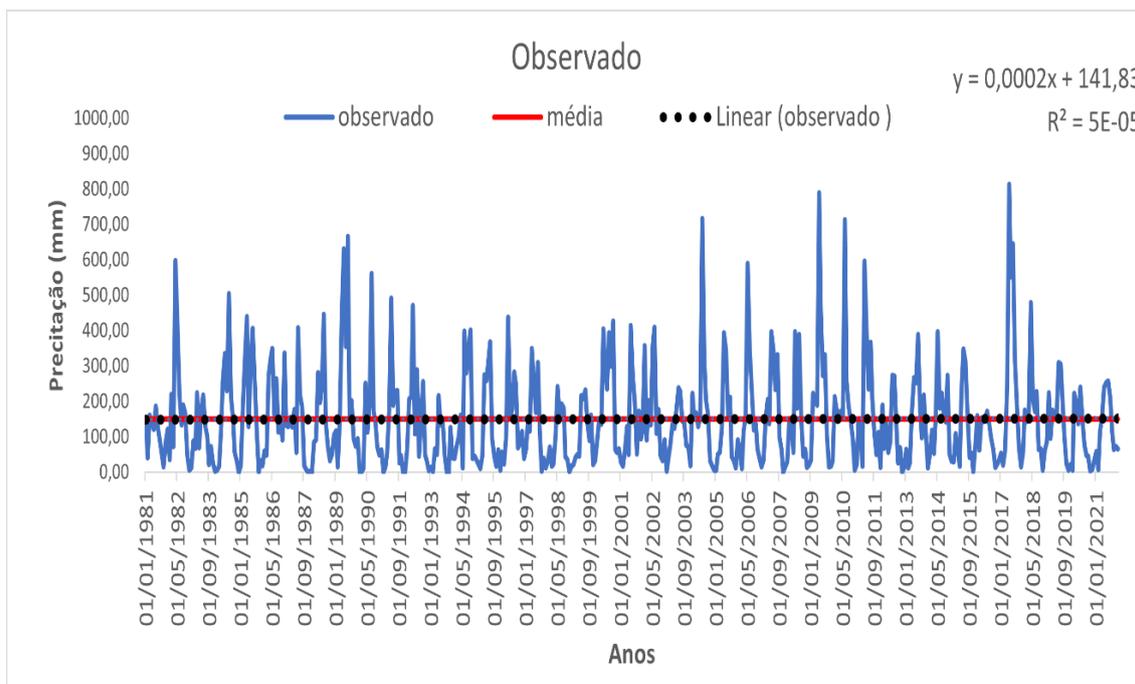
A Figura 11 exhibe os dados do produto CHIRPS, com uma diminuição da chuva, ao contrário, dos dados observados (Figura 12), mas com similaridade na identificação do aumento de extremos de chuva na cidade de Maceió, sendo os períodos diferentes dos dados observados. Tal diminuição também foi observado pelo produto do TerraClimate que apontou uma diminuição da chuva em Maceió (Figura 13), ao contrário, do produto CHIRPS que exibiu um aumento de extremos nas décadas de 1980, 1990 e no período de 2000 a 2022, similar ao identificado por Da Silva et al. (2020) com uso do SPI para Maceió, onde apontou uma diminuição dos extremos, ao contrário, dos dados observados e do produto CHIRPS. Em suma, os produtos de precipitação não são recomendados para estudo de extremos de chuva em Maceió, pois eles subestimam ou superestimam a chuva quando comparados com os dados observados. Porém, a chuva na escala anual, nas estações de chuva e transição, ambos os produtos foram satisfatórios, exceto na estação seca.

**Figura 11 - Distribuição da chuva (mm) média e curva de tendência dos dados observados do CHIRPS e para cidade de Maceió no período de 1981 e 2021.**



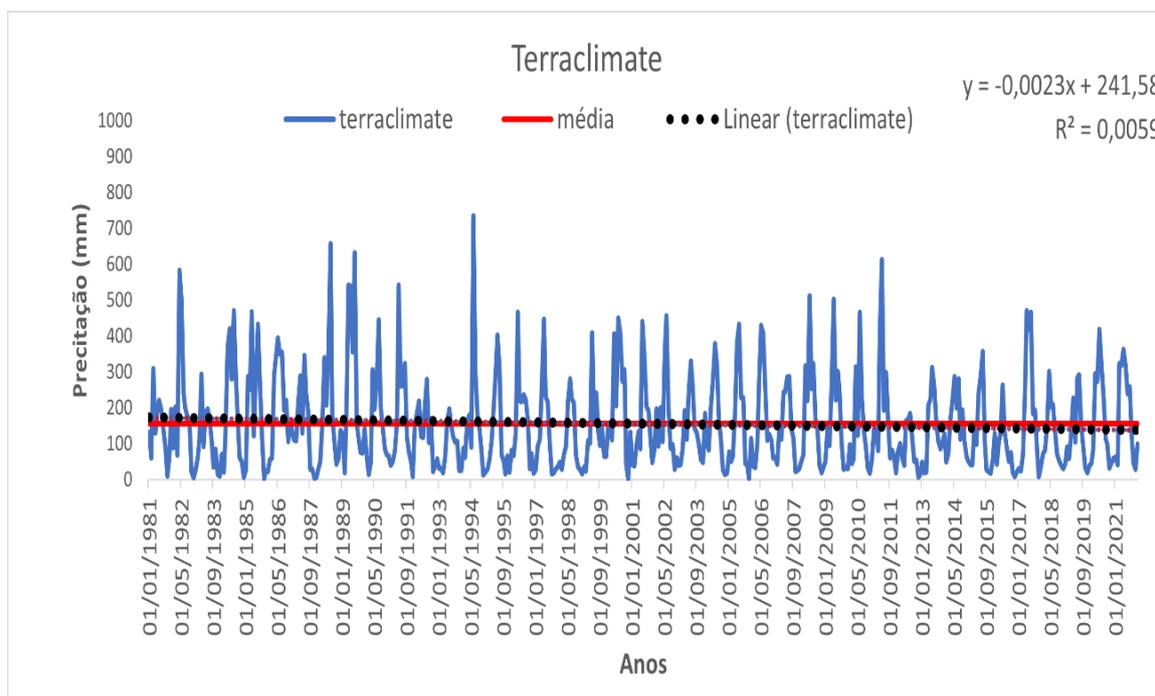
FONTE: autor

**Figura 12 - Distribuição da chuva (mm) média e curva de tendência do dado observados do INMET para cidade de Maceió no período de 1981 e 2021**



FONTE: autor

**Figura 13 - Distribuição da chuva (mm) média e curva de tendência do dado observado TerraClimate para cidade de Maceió no período de 1981 e 2021.**



Fonte: autor

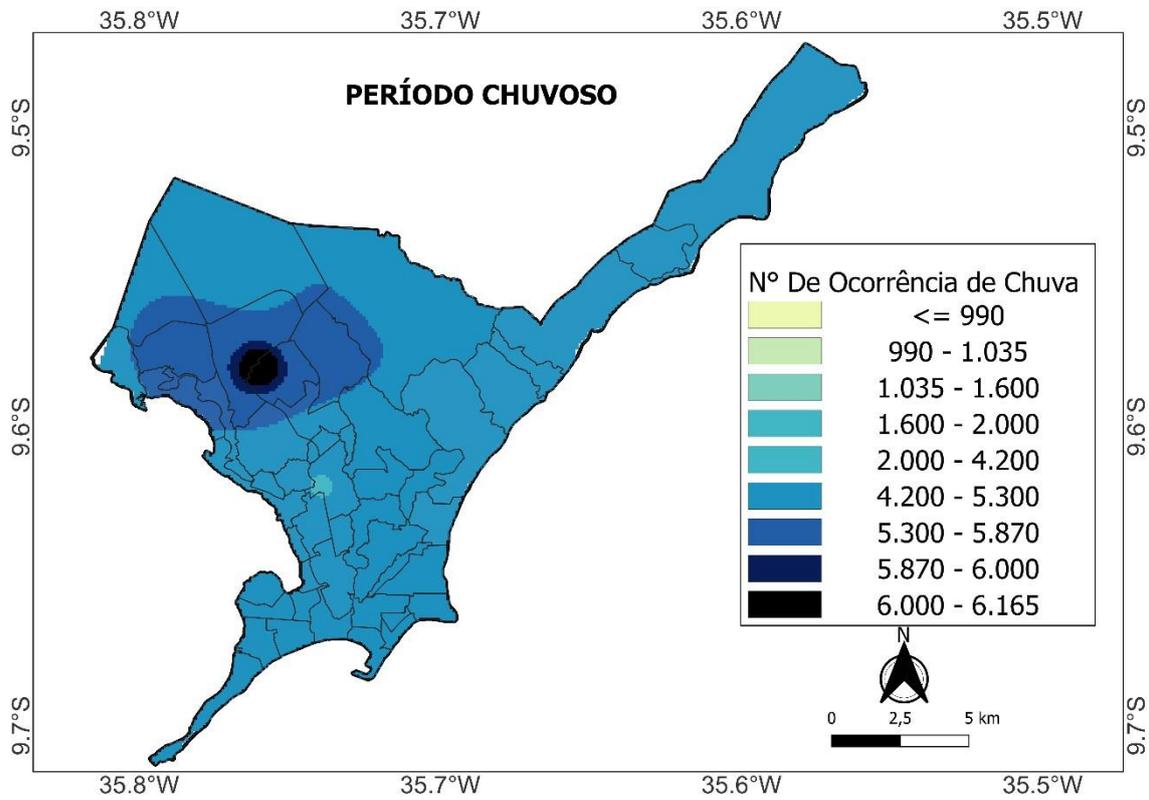
### • **Espacial**

O total de número de ocorrência da chuva horária na cidade de Maceió é exibido na Figuras 14, 15 e 16. As maiores ocorrências de chuva horária foram registradas na parte alta de Maceió, principalmente nos bairros do Benedito Bentes, Antares, Cidade Universitária e Tabuleiro dos Martins, destaque para formação de gradiente pluviométrico entre a parte alta e a costa (OLIVEIRA JÚNIOR et al., 2021a; OLIVEIRA JÚNIOR et al., 2021b), similar ao que acontece no Estado de Alagoas (LYRA et al., 2014; COSTA et al., 2021). Vale destacar a urbanização tem contribuído nas mudanças da dinâmica da chuva, em função da expansão da cidade para parte alta nas últimas décadas (SANTIAGO e GOMES, 2016) e, sendo acelerada pelos Programas do Governo Federal (CORREIA FILHO et al., 2019; BATISTA et al., 2021) e, recentemente pelo acidente da BRASKEM (SANTOS e ALCIDES, 2022). Todos contribuíram para expansão urbana e migração de boa parte da população para parte alta da cidade de Maceió.

A orientação dos bairros da parte alta é favorecida pela entrada da circulação das brisas e, ainda a formação de nuvens produtoras de chuvas em alguns períodos do dia. O relevo de Maceió interfere na distribuição espacial das chuvas. Os ventos predominantes de quadrante leste (E) e são influenciados pelo relevo (DE OLIVEIRA JÚNIOR et al., 2021). Portanto, os bairros dispostos na parte alta da cidade sobre o platô são mais chuvosos, quando comparados com os bairros dispostos na parte baixa da cidade, na base do platô (Figura 1).

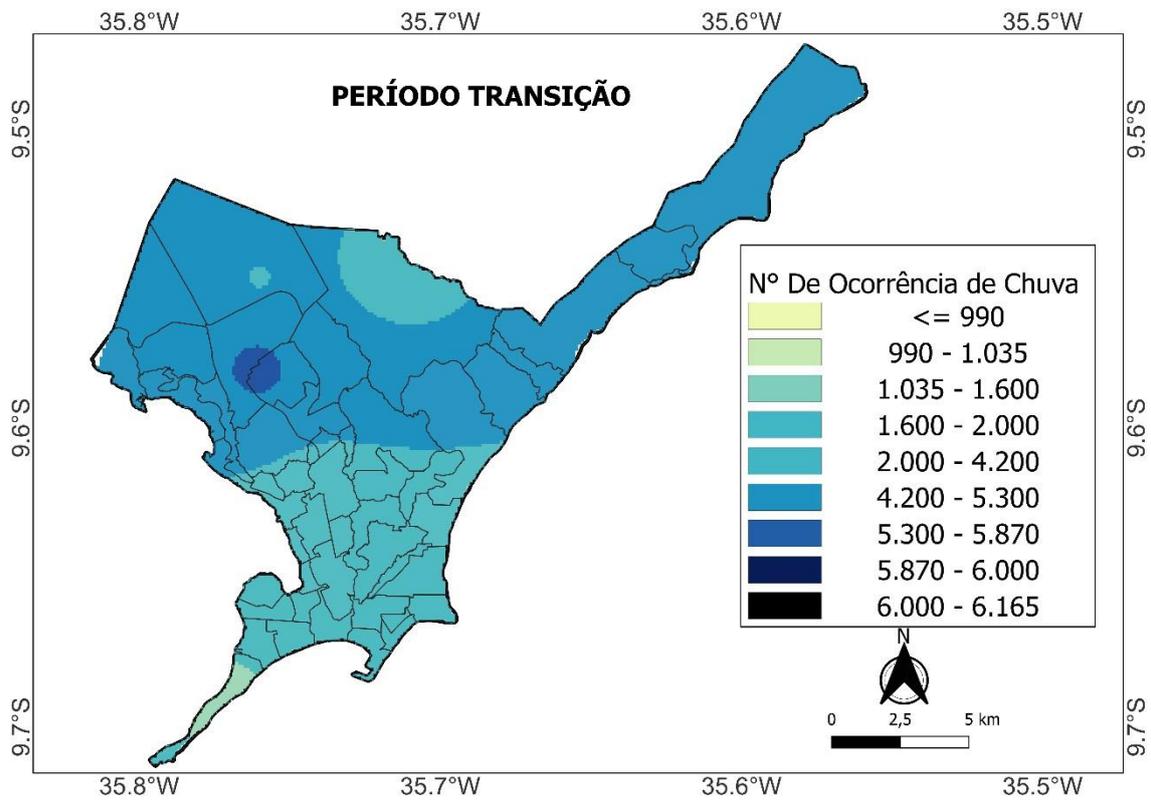
Os menores registros da chuva horária foram na Cambona, Chã da Jaqueira, Trapiche da Barra e Farol. Essas características interferem no processo de condensação por levantamento da massa de ar. As parcelas de ar úmidas são forçadas à convecção pelo levantamento e são conduzidas ao resfriamento devido à diferença de altitude do seu ponto de origem (LYRA, 2023), isso demonstra a influência da topografia no regime de chuva, seguido do ambiente costeiro e lagunar na dinâmica da chuva em Maceió (DA SILVA e SOUSA, 2009). Anteriormente, Blanco (1999) mostrou que intensificação da chuva orográfica é frequente em regiões costeiras, pois o efeito diferencial da fricção entre o oceano e o continente em relação ao campo de divergência do vento aumenta a probabilidade de chuvas.

**Figura 14 - Total de número de ocorrência da chuva horária ( $\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$ ) na cidade de Maceió no período chuvoso de 2015 a 2022.**



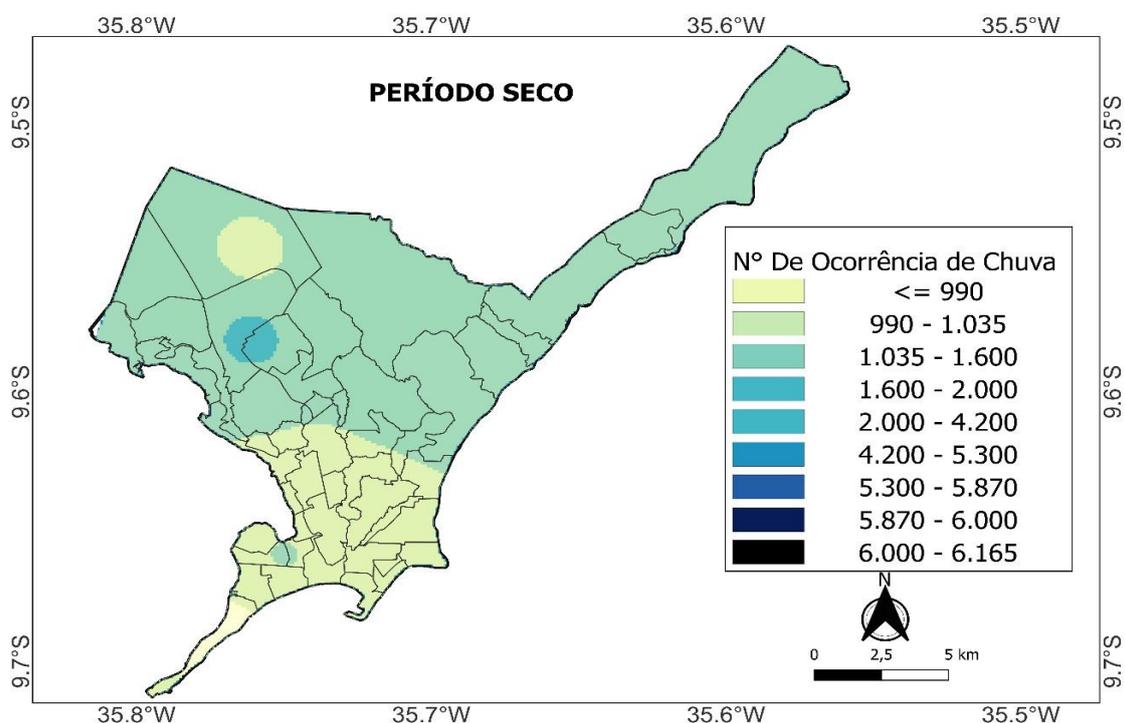
Fonte: autor

**Figura 15 - Total de número de ocorrência da chuva horária ( $\text{mm.h}^{-1}$ ) na cidade de Maceió no período transição de 2015 a 2022.**



Fonte: autor

**Figura 16 - Total de número de ocorrência da chuva horária ( $\text{mm.h}^{-1}$ ) na cidade de Maceió no período seco de 2015 a 2022.**

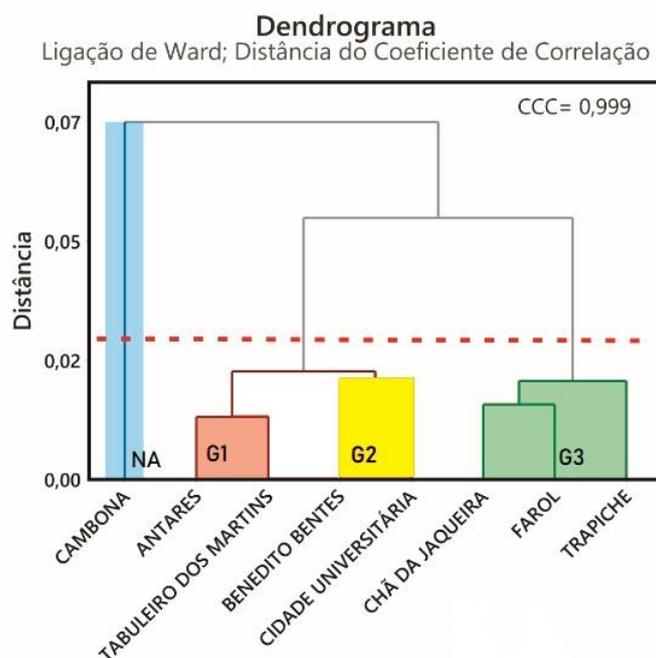


FONTE: autor

### 5.3 Identificação dos Grupos Homogêneos de Chuva Horária

Com base na técnica de CA foi testado e validado o método completo via CCC (CCC = 0.99). É sabido que o dendrograma é validado a partir do CCC  $\geq 0.7$  (SOKAL e ROHLF, 1962; ROHLF, 1970; SOUSA FILHO et al., 2022). Na cidade de Maceió foram identificados três grupos homogêneos de chuva horária (grupos 1, 2 e 3) e uma estação que não se agrupou (NA), neste caso Cambona ( $235 \pm 35$  mm). O grupo 1 (G1) - ( $289 + 91$  mm) é formado pelas estações Antares e Tabuleiro dos Martins, seguido do grupo (G2) - ( $256 + 84$  mm) que é formado pelas estações Benedito Bentes e Cidade Universitária e o grupo (G3) - ( $218 + 75$  mm) é constituído pelas estações Chã da Jaqueira, Farol e Trapiche da Barra sendo o maior grupo. Vale ressaltar que os bairros na parte alta têm a maior ocorrência de chuva horária em comparação aos bairros na parte baixa, conforme discutido item 5.2.

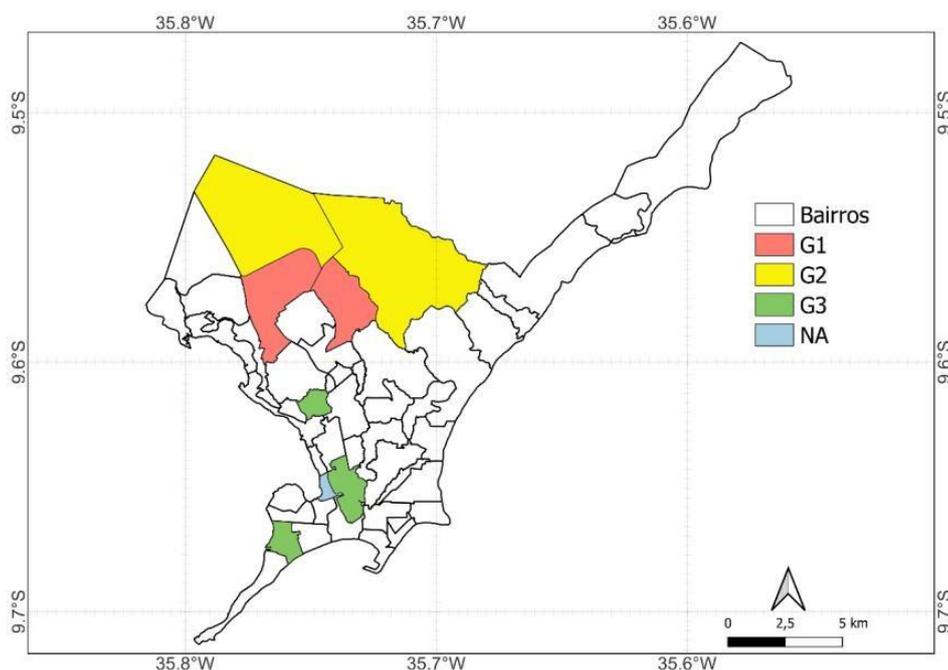
**Figura 17 - Dendrograma dos grupos homogêneos e NA de chuva horária em Maceió.**



Fonte: autor

Espacialmente, os grupos homogêneos estão localizados na parte alta e baixa da cidade, precisamente os grupos G1 e G2 estão a noroeste (NW) e o grupo G3 e NA a sudoeste (SW). Os grupos G1 e G2 estão distantes do Oceano e complexo lagunar (lagoa mundaú), ao contrário, do grupo G3 e NA próximo da lagoa mundaú e próximo do Oceano Atlântico (Figura 17).

**Figura 19 - Distribuição espacial dos grupos homogêneos de chuva (G1, G2, G3 e NA) em Maceió.**

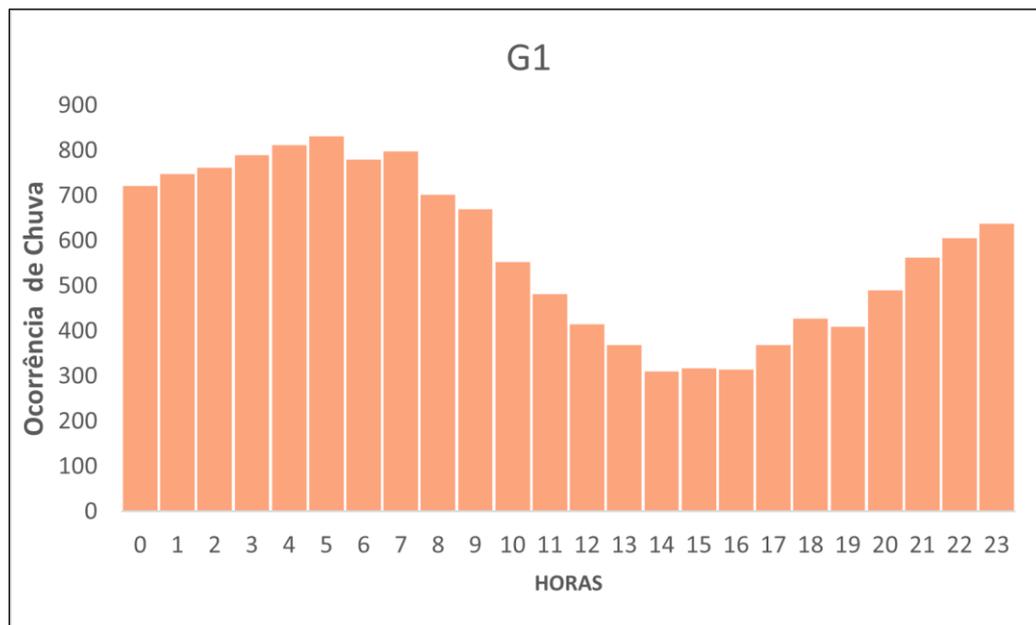


Fonte: autor

A distribuição acumulada da ocorrência de chuva (mm) horária em Maceió é exibida na Figura 19. As maiores ocorrências das chuvas ocorrem no período da madrugada e início da manhã preferencialmente entre 5h e 7h. Destaque para menor ocorrência de chuva horária no horário final da tarde e início da noite entre às 14h e 17h.

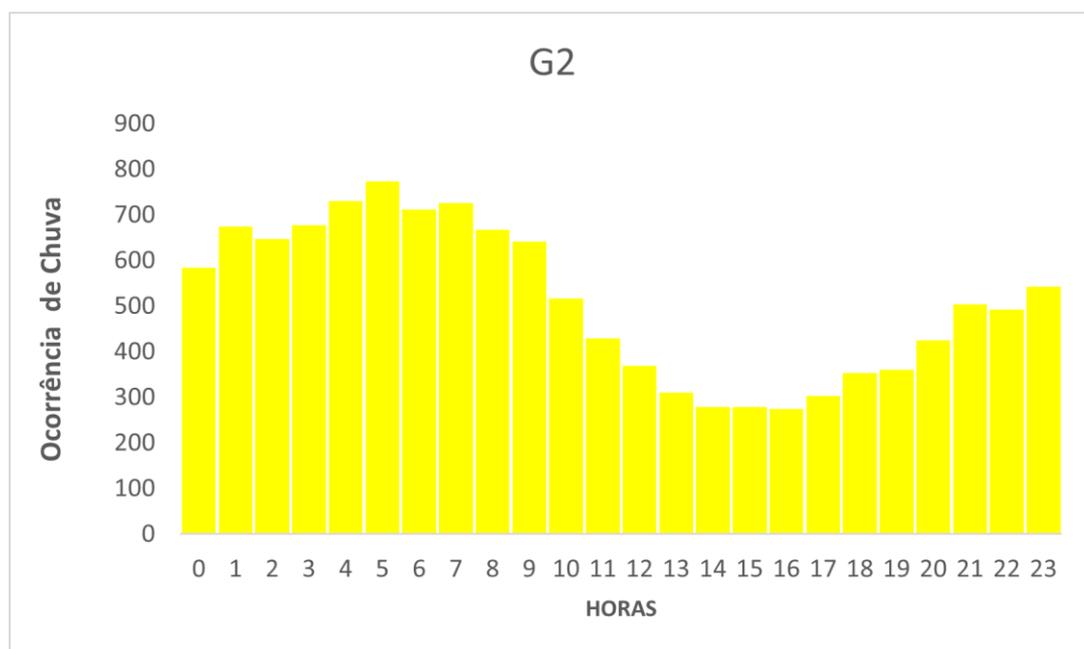
Nesse horário específico é possível observar a ocorrência de brisas urbanas na região estudada. Foi constatado que durante esse período, o número de casos cresce até as 07:00, assim como a ocorrência de chuva, e posteriormente apresenta uma queda brusca. Além disso, foi observado um aumento de temperatura na cidade em relação às áreas rurais até às 9h-10h, o que contribui para a formação das brisas urbanas. (Texeira, 2018) menciona que a maior concentração das chuvas em Fortaleza-CE também ocorre durante a noite e início da manhã, sendo mecanismo de formação associado às Brisas Terrestres. Da mesma forma, (Albuquerque 2013) destaca que o principal mecanismo das chuvas em Recife-PE está associado às Brisas Terrestres.

**Figura 20 - Distribuição acumulada da ocorrência de chuva (mm) horária nos grupos homogêneos (G1) em Maceió.**



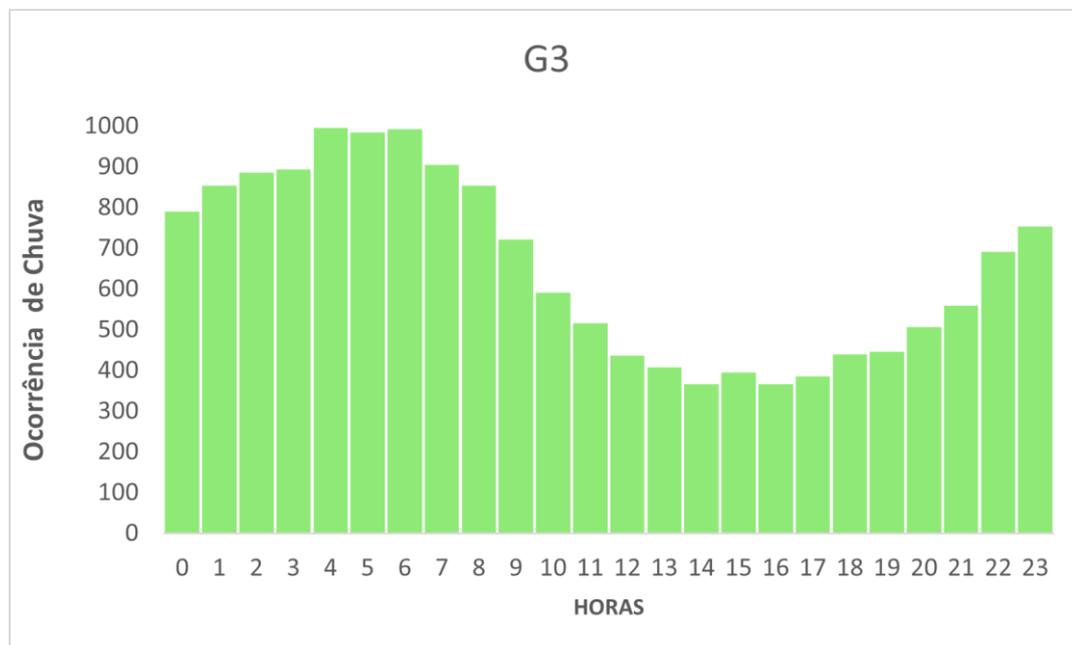
Fonte: autor

**Figura 21 - Distribuição acumulada da ocorrência de chuva (mm) horária nos grupos homogêneos (G2) em Maceió**



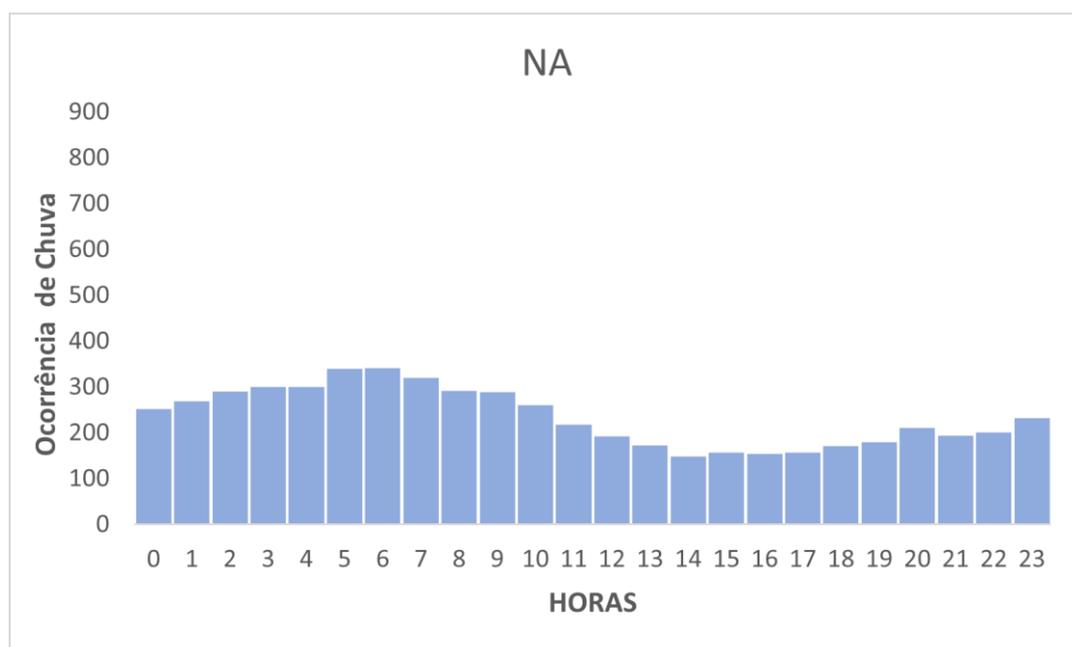
Fonte: autor

**Figura 22 - Distribuição acumulada da ocorrência de chuva (mm) horária nos grupos homogêneos (G3) em Maceió**



Fonte: autor

**Figura 23 - Distribuição acumulada da ocorrência de chuva (mm) horária nos grupos homogêneos (NA) em Maceió**

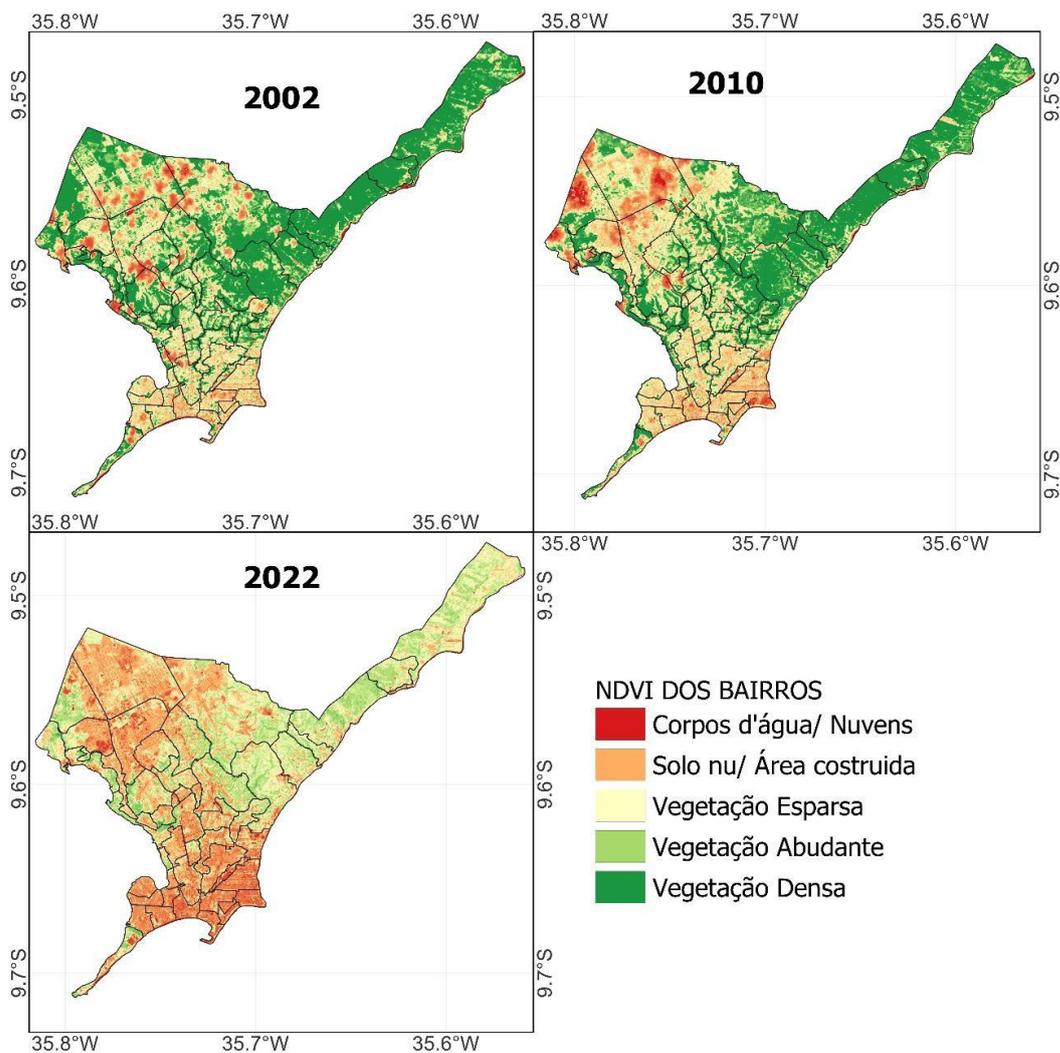


Fonte: autor

A avaliação da cobertura da vegetação da cidade de Maceió (figura 24) exibiu alta variabilidade das categorias de uso e ocupação do solo, principalmente nas áreas da parte baixa de Maceió, correspondentes ao grupo G3 e NA. Vale ressaltar que as categorias de uso e ocupação interferem na quantidade de água disponível em uma região, como consequência a diminuição da chuva e alteração do clima local, as retiradas da vegetação para implantação de áreas urbanas diminui a transpiração das plantas e a evaporação do solo o que resulta em uma redução de umidade do ar (ROCHA, 2020).

Em 2002, a categoria vegetação densa predominava no litoral norte de Maceió e em algumas regiões da parte alta, ao contrário, da parte baixa da cidade com predomínio de solo nu e área construída. Em 2010, a parte alta aumenta o predomínio de solo nu e área construída, ao contrário, de 2022 com aumento significativo das categorias solo nu e área construída em toda a cidade de Maceió, devido aos programas do Governo Federal (Minha Casa e Minha Vida e Aceleração do Crescimento) – (Correia Filho et al.,2019; Correia Filho et al., 2021).

**Figura 24 - Mapa de NDVI em nível de bairro da cidade de Maceió nos anos de 2002, 2010 e 2022.**



Fonte: autor

Além disso, tal remoção da vegetação altera a circulação de ar local e assim reduz a formação de nuvens e a precipitação, esses fatores são importantes a serem considerados ao se avaliar os impactos hidrometeorológicos em determinada região. O NDVI consegue identificar a atividade fotossintética da vegetação em uma região específica, sendo usados na detecção de mudanças na cobertura de vegetação e expansão urbana, principalmente em Maceió (Santiago e Gomes, 2016; Correia Filho et al., 2019).

## 6. CONCLUSÕES

Os produtos de precipitações TerraClimate e CHIRPS são validados para a cidade de Maceió. A precisão dos produtos TerraClimate e CHIRPS em relação aos dados observados do IMMET em Maceió, na escala sazonal e anual são satisfatórios na estação chuvosa, a exceção a estação seca para o produto CHIRPS.

A análise anual de ambos os produtos altamente correlacionado com aos dados observados. A resolução espacial do produto terraClimate (4km) é superior ao produto CHIRPS (5 km), que assim influencia na maior dispersão dos dados. Vale destacar que a cidade de Maceió possui características fisiográficas e atuação de sistemas meteorológicos que influenciam na dinâmica da chuva.

A cidade de Maceió apresenta variabilidade espacial no registro de chuva horária, com maiores ocorrências na parte alta da cidade, particularmente no Benedito Bentes, Antares, Cidade Universitária e Tabuleiro dos Martins. A urbanização na cidade contribui para mudança na dinâmica da chuva, principalmente devido á expansão da cidade para a parte alta via NDVI.

A topografia urbana desempenha um papel crucial na distribuição espacial das precipitações pluviométricas, influenciando de maneira significativa os diferentes bairros da cidade. Em particular, os bairros localizados em regiões mais elevadas, devido à sua posição privilegiada em relação aos fluxos de brisa e à formação de nuvens produtoras de chuva, são mais favorecidos nesse aspecto. Essa vantagem é observada tanto durante eventos meteorológicos de escala mesoescalar quanto sinótica, contribuindo para uma maior incidência de chuvas na parte altas da cidade, especialmente entre as horas matutinas, entre 4h e 7h. Por outro lado, os bairros situados em áreas mais baixas da cidade apresentam registros de chuvas menos significativos. Essa condição é influenciada pela intensa urbanização e pela configuração topográfica local, que atuam em conjunto para reduzir as ocorrências de precipitação em comparação com as áreas mais elevadas.

## 7. LIMITAÇÕES E RECOMENDAÇÕES

O estudo destaca a importância da compreensão da dinâmica da chuva em áreas urbanas, especialmente em cidades em processo de expansão urbana. Tais informações são relevantes para o planejamento urbano e a gestão ambiental da cidade, permite o uso de medidas preventivas e adaptativas para minimizar os impactos das chuvas na população e na infraestrutura urbana.

A cidade necessita de uma rede adensada de monitoramento de chuva com instalação de pluviômetros em todos os 50 bairros, isso é fator limitante na melhor compreensão da dinâmica da chuva. Visto que, mesmo com a proximidade de bairros tanto na parte alta como na parte baixa há diferenças marcantes do padrão de chuva. É importante o uso de modelo de mesoescala para realizar o prognóstico da chuva em Maceió, com parametrizações devidamente adequadas as características da região.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABATZOGLOU, J.T.; S.Z. DOBROWSKI, S.A.; PARKS, K.C. HEGEWISCH. TerraClimate, a high-resolution global dataset of monthly climate and climatic water balance from 1958–2015. **Scientific data**, v. 5, p. 170191, 2018.

<https://doi.org/10.1038/sdata.2017.191>

ALEIXO, N. C. R.; SANT'ANNA NETO, J. L. EVENTOS PLUVIOMÉTRICOS EXTREMOS E SAÚDE: PERSPECTIVAS DE INTERAÇÃO PELOS CASOS DE LEPTOSPIROSE EM AMBIENTE URBANO. *Hygeia - Revista Brasileira de Geografia Médica e da Saúde*, [S. l.], v. 6, n. 11, p. 118–132, 2011. DOI:

10.14393/Hygeia616998. Disponível em

<https://seer.ufu.br/index.php/hygeia/article/view/16998>. Acesso em: 5 mar. 2023.

BARROS, AHC, et al. "Climatologia do estado de Alagoas. Embrapa Solos." *Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento* (2012).

BATISTA, B. A. ; CORREIA FILHO, WASHINGTON LUIZ FÉLIX ; OLIVEIRA JÚNIOR, José Francisco de ; SANTIAGO, DIMAS DE BARROS ; SANTOS, C. T. B. . Avaliação da Expansão Urbana na Cidade de Maceió, Alagoas ? Nordeste do Brasil. **RESEARCH, SOCIETY AND DEVELOPMENT**, v. 10, p. 1-14, 2021.

BULHÕES, Thaísa de Andrade. Desabrigados e desalojados: desastres ambientais e consequências sociais em uma rua de Petrópolis-RJ.

CORREIA FILHO, WASHINGTON LUIZ FÉLIX ; SANTIAGO, DIMAS DE BARROS ; OLIVEIRA-JUNIOR, JOSÉ FRANCISCO ; SILVA JUNIOR, CARLOS ANTONIO ; OLIVEIRA, S. R. S. ; SILVA, ELANIA BARROS DA ; TEODORO, PAULO EDUARDO . Analysis of environmental degradation in Maceió-Alagoas, Brazil via orbital sensors: a proposal for landscape intervention based on urban afforestation. *Remote Sensing Applications: Society and Environment* , v. 24, p. 100621, 2021

CORREIA FILHO, W. L. F. ; SANTIAGO, D. B. ; OLIVEIRA JÚNIOR, José Francisco de ; DA SILVA JUNIOR, CARLOS ANTONIO . Impact of Urban

Decadal Advance on Land Use and Land Cover and Surface Temperature in the City of Maceió, Brazil.

**LAND USE POLICY**, v. 87, p. 104026, 2019.

Costa, J. C., Pereira, G., Siqueira, M. E., da Silva Cardozo, F., & Da Silva, V. V. (2019). Validação dos dados de precipitação estimados pelo CHIRPS para o Brasil.

**Revista Brasileira de Climatologia**, 24.

COSTA, MICEJANE DA SILVA ; OLIVEIRA'JÚNIOR, JOSÉ FRANCISCO DE ; SANTOS, PAULO JOSÉ DOS ; CORREIA FILHO, WASHINGTON LUIZ FÉLIX ; GOIS, Givanildo de ; BLANCO, CLÁUDIO JOSÉ CAVALCANTE ; TEODORO, PAULO EDUARDO ; SILVA JUNIOR, CARLOS ANTONIO DA ; SANTIAGO, DIMAS DE BARROS ; SOUZA, EDSON DE OLIVEIRA ; JARDIM, ALEXANDRE MANIÇOBA DA ROSA FERRAZ . Rainfall extremes and drought in Northeast Brazil and its relationship with El Niño-Southern Oscillation. **INTERNATIONAL JOURNAL OF CLIMATOLOGY** , v. 41, p. E2111-E2135, 2021.

da Silva, D. F., Lima, M. J. S., Souza Neto, P. F., Gomes, H. B., Silva, F. S., Almeida, H. R. R. C., ... & Costa, R. L. (2020). Caracterização de eventos extremos e de suas causas climáticas com base no índice Padronizado de Precipitação Para o Leste do Nordeste. **Revista Brasileira de Geografia Física**, 13(2), 449-464.

DE OLIVEIRA JÚNIOR, José Francisco et al. Climatologia da chuva em Maceió: aspectos climáticos e ambientais. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 14, n. 04, p. 2253-2264, 2021.

DE SOUSA, Francisco de Assis Salviano et al. Estimativas dos riscos de chuvas extremas nas capitais do Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 9, n. 02, p. 430-439, 2016.

dos Santos, C. G., & Alcides, M. M. (2022). Entre riscos: o futuro dos refugiados ambientais atingidos pela mineração de sal-gema. **Oculum Ensaios**, 19, 1-25.

EASTERLING, David R. et al. Variabilidade e tendências observadas em eventos climáticos extremos: uma breve revisão. **Boletim da Sociedade Meteorológica Americana**, v. 81, n. 3, pág. 417-426, 2000.

FONTES; A. R. M.; BARBASSA, A. P. Diagnóstico e Prognóstico da Ocupação e da Impermeabilização Urbana. RBRH –**Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, São Paulo, v. 8, n.2, abr/jun 2003.p. 137 –142

FUNK, C. PETERSON, P.; LANDSFELD, M.; PEDREROS, D.; VERDIN, J.; SHUKLA, S; HUSAK, G.; ROWLAND, J.; HARRISON, L.; HOELL, A.; MICHAELSEN, J. The climate hazards infrared precipitation with stations—a new environmental record for monitoring extremes. **Scientific data**, v. 2, p. 150066, 2015.

FUNK, C. , Michaelsen, J. e Marshall, M. ( 2012 ) Mapeamento das recentes variações climáticas decadais na precipitação e temperatura na África Oriental e no Sahel . Em: B. Wardlow , M. Anderson e J. Verdin (Eds.) Sensoriamento Remoto da Seca — Abordagens de Monitoramento Inovadoras . Londres : **Taylor e Francis**, pp. 331 – 357 .

GOCIC, Milão; TRAJKOVIC, Slavisa. Análise de dados de precipitação e seca na Sérvia durante o período 1980-2010. **Journal of Hydrology**, v. 494, p. 32-42, 2013.

GUHA, S.; GOVIL, H.; DEY, A.; GILL, N. Analytical study of land surface temperature with NDVI and NDBI using Landsat 8 OLI and TIRS data in Florence and Naples city, Italy. **European Journal of Remote Sensing**, 2018, 51: 667-678, 2018.

HALLAK, Ricardo; PEREIRA FILHO, Augusto José. Análise de desempenho de índices de instabilidade atmosférica na previsão de fenômenos convectivos de mesoescala na região metropolitana de São Paulo entre 28 de janeiro e 04 de fevereiro de 2004. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 27, p. 173-206, 2012.

HOPKINS, W. G. A new view of statistics: Correlation coefficient. 2009. <<http://www.sportsci.org/resource/stats/correl.html>> Acessado em: 10 de março de 2023.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2021. Censos 2000 e 2010, Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/al/maceio.html>> Acessado em: 1 de fevereiro de 2023.

IHADUA, Isidro MTJ et al. Casos de brisas vale/montanha no interior alagoano na estação do verão. **Ciência e Natura**, p. 338-340, 2013.

LYRA, Matheus José Arruda; ARRAUT, Josefina Moraes. Estudo Sinótico e da Estrutura Vertical de um Vórtice Ciclônico de Altos Níveis Ocorrido em Janeiro de 2016. **Revista Brasileira de Meteorologia**, 2023.

LYRA, GUSTAVO B. ; OLIVEIRA-JÚNIOR, JOSÉ F. ; Zeri, Marcelo . Cluster analysis applied to the spatial and temporal variability of monthly rainfall in Alagoas state, Northeast of Brazil. **International Journal of Climatology**, v. 34, p. 3546-3558, 2014.

MITASOVA, H.; MITAS, L. Interpolation by regularized spline with tension, I Theory and implementation. **Mathematical Geology**, v. 25, n. 6, p. 641–655, 1993.

Nascimento, M. C., Lombardo, M. A., Guimarães Júnior, S. A. M., & Andrade, E. L. (2018). Análise da Vulnerabilidade Físico-Ambiental causada pelas chuvas intensas na Região Metropolitana de Maceió. **Caminhos de Geografia**, 19(67), 268-288.

NUNES, Lucí Hidalgo. Urbanização e desastres naturais. Oficina de Textos, 2015.

OLIVEIRA JÚNIOR, J.F., GOIS, G., SILVA, E.B., TEODORO, P.E., JOHANN, J., SILVA JUNIOR, C.A. Non-parametric tests, multivariate analysis and descriptive and exploratory statistics applied to reported dengue cases in Brazil. **Environmental Monitoring And Assessment**, v. 191, p. 473-491, 2019.

OLIVEIRA JÚNIOR, José Francisco de; SOUZA, P. H. A. ; SOUZA, E. O. ; VANDERLEI, M. H. G. S. ; CORREIA FILHO, W. L. F. ; SANTOS, C. T. B. ;

BATISTA, B. A. ; SANTIAGO, D. B. ; GOIS, G. . Climatologia da Chuva em Maceió: Aspectos Climáticos e Ambientais. **REVISTA BRASILEIRA DE GEOGRAFIA FÍSICA**, v. 14, p. 2253-2264, 2021.

OLIVEIRA, J.R.; PINTO, M.F.; SOUZA, W.J.; GUERRA, J.G.M.; CARVALHO, D.F. Erosão hídrica em um Argissolo Vermelho-Amarelo, sob diferentes padrões de chuva simulada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.14, n.2, p.140-147, 2010

OLIVEIRA-JÚNIOR, JOSÉ FRANCISCO DE; CORREIA FILHO, W. L. F. ; SANTIAGO, D. B. ; GOIS, G. ; COSTA, M. ; SILVA JUNIOR, C. A. ; TEODORO, P. E. ; FREIRE, F. M. . Rainfall in Brazilian Northeast via in situ data and CHELSA product: mapping, trends, and socio-environmental implications. **ENVIRONMENTAL MONITORING AND ASSESSMENT JCR**, v. 193, p. 263-281, 2021.

OLIVEIRA'JÚNIOR, JOSÉ FRANCISCO; SILVA JUNIOR, CARLOS ANTONIO ; TEODORO, PAULO EDUARDO ; ROSSI, FERNANDO SARAGOSA ; BLANCO, CLAUDIO JOSÉ CAVALCANTE ; LIMA, MENDELSON ; GOIS, Givanildo ; CORREIA FILHO, WASHINGTON LUIZ FÉLIX ; BARROS SANTIAGO, DIMAS ; SANTOS VANDERLEY, MÁRIO HENRIQUE GUILHERME .  
Confronting CHIRPS dataset and in situ stations in the detection of wet and drought conditions in the Brazilian Midwest. **INTERNATIONAL JOURNAL OF CLIMATOLOGY**, v. 41, p. 4478-4493, 2021.

PAREDES-TREJO, Franklin J.; BARBOSA, H. A.; KUMAR, TV Lakshmi. Validating CHIRPS-based satellite precipitation estimates in Northeast Brazil. **Journal of arid environments**, v. 139, p. 26-40, 2017.

ROUSE, J.; HAAS, R.; SCHELL, J.; DEERING, D.; HARLAN, J. **Monitoring the Vernal Advancement of Retrogradation of Natural Vegetation: Final Report**. Greenbelt: NASA/GSFC, 1974, 371 p

ROCHA, R. L. DA . et al.. Mudança de Longo Prazo e Regionalização da Evapotranspiração de Referência no Nordeste Brasileiro. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 35, n. spe, p. 891–902, out. 2020.

ROHLF, J.F. Adaptive hierarchical clustering schemes. **Systematic Biology**, v. 19, n. 2, p. 58-82, 1970.

SANTIAGO, D. B., & Gomes, H. B. (2016). Estudo de Ilhas de Calor no Município de Maceió/AL, por meio de Dados Orbitais do Landsat 5 (Heat Islands in the City of Maceió/AL using Orbital Data from Landsat 5). **Revista Brasileira de Geografia Física**, 9(3), 793-803.

SANTOS, A. C. C. S., Santos, K. S. S., de Moraes, M. S., Bezerra, S. G., & Silva, P. H. G.

(2017). Deslizamentos de Terra na Cidade de Maceió, Mapeamento de Zonas de Risco, Aplicando Ferramentas Computacionais. *Caderno de Graduação-Ciências Exatas e Tecnológicas-UNIT-ALAGOAS*, 4(1), 63-63.

SANTOS, Y. S., SILVA, E. B., OLIVEIRA-JÚNIOR, J. F., SANTOS, P. J., COSTA, L. M. B. Diagnóstico da Morbidade e Mortalidade dos Casos de Leptospirose no Nordeste Brasileiro entre 2000 A 2015. **Enciclopédia Biosfera**, v. 15, p. 107-118, 2018.

SILVA, Kécia Maria Roberto da et al. Climatologia das brisas marítima e terrestre no Estado de Alagoas. 2022. Recuperado de <<https://www.repositorio.ufal.br/handle/123456789/9647>

SOKAL, R.R.; ROHLF, F.J. The comparison of dendrograms by objective methods. *Taxon*, v. 11, n. 2, p. 33-40, 1962.

SOUSA FILHO, VALTER RAMOS DE ; OLIVEIRA JUNIOR, JOSÉ FRANCISCO DE ; BARROS, HELIOFÁBIO GOMES ; SILVA, IAGO DE LIMA ; SOUZA, PEDRO HENRIQUE DE ALMEIDA ; GOIS, Givanildo de ; PAULA, FRANCINE SANTOS DE ; CORREIA FILHO, WASHINGTON LUIZ FÉLIX . Dinâmica dos Focos de Calor nas Mesorregiões Climáticas do Estado de Alagoas. **REVISTA BRASILEIRA DE METEOROLOGIA**, v. 37, p. 1-15, 2022.

Teixeira, R.F.B. (2008). O Fenômeno da Brisa e sua relação com a chuva sobre FortalezaCE. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 23, n. 3, p. 282-291.

ZANELLA, M. E., SALES, M. C. L., ABREU, N. J. Análise das precipitações diárias intensas e impactos gerados em Fortaleza - CE. **Geosp**, v. 25, n. 1, p.53-68, 2009.