



Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>



Avaliação de eventos extremos de precipitação, associados a desastres naturais

Rosiberto Salustiano da Silva Junior^{1,2}, Michel Carlos Costa da Gama¹, Glauber Lopes Mariano², José Francisco de Oliveira Junior², Ewerton Hallan de Lima Silva¹, Luan Santos de Oliveira Silva¹, Kely Rosalvo Alencar Cardoso¹

¹Laboratório de Modelagem Atmosférica e Instrumentação Meteorológica - LABMODEL, Instituto de Ciências Atmosféricas - ICAT, Universidade Federal de Alagoas - UFAL, rosiberto@icat.ufal.br / michelgama2503@gmail.com / ewertonhallan@gmail.com / luan.silva@icat.ufal.br / kely.cardoso@icat.ufal.br. ²Professores do ICAT/UFAL, glauber.mariano@icat.ufal.br, jose.junior@icat.ufal.br.

Artigo recebido em 12/08/2022 e aceito em 26/09/2022

RESUMO

O estudo se baseou no levantamento estatístico de eventos extremos de precipitação (P) no Leste do Nordeste Brasileiro (LNEB), com destaque a cidade de Maceió/AL. Dados de Estações Meteorológicas Automáticas (EMA) do INMET, imagens de satélite e dados de hidroestimador disponibilizado pelo CPTEC/INPE foram usados no estudo. Os resultados obtidos via técnica dos quantis, categorizou as seguintes classes de P(mm): Dia Seco (DS) - $P < 2,4$ mm, Chuva muito fraca (Cmf) - $2,4 \leq P < 3,8$ mm, Chuva fraca (Cf) - $3,8 \leq P < 7,6$ mm, Chuva Moderada (CM) - $7,6 \leq P < 14,4$ mm, Chuva Forte (CF) - $14,4 \leq P < 39,8$ mm, Chuva Muito Forte - (CMF) $39,8 \leq P < 82,8$ mm e Chuva Extrema (CE) - $P \geq 82,8$ mm. As categorias CMF e CE foram eficientes na associação entre extremos de precipitação e os desastres naturais a partir dos registros de decreto de Estado de Calamidade Pública (ECP). Tal padrão relacional apontou a possibilidade de ocorrência de desastres hidrometeorológicos para a cidade de Maceió/AL. No tocante a distribuição espacial da quantidade de casos de CMF e CE em Alagoas, os municípios com maiores ocorrências foram Japaratinga, Porto de Pedras e Maceió. Especificamente a cidade de Maceió/AL, a região R5 (Ipioca e Pescaria) e R2 foram as que mais se destacaram em comparação as demais regiões.

Palavras-chave: MERGE, chuva urbana, quartis, desastres naturais.

Evaluation of extreme precipitation events associated with natural disasters

ABSTRACT

The present study mainly aimed to make a statistical survey of extreme precipitation events for the eastern region of the Brazilian Northeast, more specifically for the city of Maceió/AL. For this purpose, punctual data from INMET Automatic Meteorological Stations were used, and spatial data using satellite images and hydro-estimator data provided by CPTEC/INPE. The main results were based on daily precipitation data and quantile technique, it generated the following R(mm) classes: Dry Day $R < 2.4$ mm, Drizzle Rain $2.4 \leq R < 3,8$ mm, Showers $3.8 \leq R < 7.6$ mm, Moderate Rain $7.6 \leq R < 14.4$ mm, Heavy Rain $14.4 \leq R < 39.8$ mm, Strong Rain $39.8 \leq R < 82.8$ mm, Extreme Rain $R \geq 82.8$ mm. The method adopted for classifying extreme rainfall (Strong more Extreme) using quartiles proved to be efficient, made by the association between extreme precipitation events and natural disasters using the records of the State of Public Calamity (SPC) degree, that is, the indicators recognition of SPC and annual accumulated average precipitation, point to the possibility of occurrence of hydrometeorological disasters for the city of Maceió/AL. Regarding the spatial distribution of the number of cases of Strong and Extreme, for Alagoas the municipalities with the most recorded occurrences were Japaratinga, Porto de Pedras, Maceió, among others. For the city of Maceió/AL, the region R5 (Ipioca and Pescaria) and R2 were the ones that presented the most cases of rainfall ranging from very strong to extreme.

Keywords: MERGE, urban rainfall, quantiles, natural disasters.

Introdução

No Brasil, entre 1990 a 2015, os desastres naturais ocorreram por questões climática e hidrológica, sendo as ocorrências por conta de inundações (bruscas e graduais) correspondentes a 25% dos desastres registrados no país. No Nordeste Brasileiro (NEB), os desastres naturais 40% das ocorrências do país, sendo a maior ocorrência devido a desastres associados à estiagem/seca (78%) e a inundações (21%) - (CEPED/UFSC, 2012; BRASIL, 2014, 2016).

O NEB, segundo Moura et al. (2016), os desastres hidrometeorológicos deflagrados por eventos de chuvas intensas (chuvas $\geq 60,0$ mm/dia) e por chuvas extremas (chuvas $\geq 100,0$ mm/dia) já foram registradas em cidades da costa norte do NEB (NNEB), a exemplo de Fortaleza/CE (Olimpio et al., 2013), bem como no leste do NEB, a exemplo de João Pessoa/PB, Recife/PE, Olinda/PE e Maceió/AL (Souza et al., 2012).

Segundo Reboita et al. (2010), entre os sistemas meteorológicos moduladores da precipitação no litoral do NEB destacam-se circulação de brisas, Vórtice Ciclônico em Altos Níveis (VCAN), Onda de Leste (OL) e Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS). As circulações de brisas marítimas induzem o surgimento de convecção e associado aos ventos alísios geram linhas de instabilidade (LI) tropical na região litorânea do NEB seguido da configuração típica do VCAN na América do Sul (AS) combinado com a Alta da Bolívia (AB) e o cavado sobre o NEB favorece a precipitação na periferia do VCAN e em muitos casos provoca precipitação no Estado de Alagoas (COSTA et al., 2021; OLIVEIRA-JÚNIOR et al., 2021). Quando a ASAS se deslocada para Sul de sua posição climatológica ocorre intensificação dos ventos sudeste/leste (SE/E) que chegam no litoral nordestino e transportam umidade do oceano para o continente. As OL são ondas que se formam no campo da pressão atmosférica na faixa tropical do globo terrestre, desde a costa da África até o litoral leste do NEB provocando chuvas intensas nesta região (Reboita, et al., 2010; Silva, et al., 2011; Gomes, 2012; Souza e Oyama, 2017; Reboita, et al., 2019).

Em relação à duração das chuvas e ocorrência de desastres hidrometeorológicos, Huang et al. (2015) mostraram que os limiares de precipitação que geram os deslizamentos de terra, demandam não somente da análise da intensidade da chuva, bem como do acumulado de chuvas em um período de até 4 dias. No entanto, como os eventos de deslizamentos de terra acontecem em todo mundo, é importante a avaliação regional, considerando-se as diferenças de padrões de uso e ocupação do solo, das características de relevo e da drenagem, dos mecanismos produtores de chuva, dentre outros aspectos.

Logo os eventos extremos de precipitação aliados a áreas de riscos, em geral estão associados a desastres naturais do grupo hidrológicos e meteorológicos,

definido por Carvalho et al., (2017), como eventos súbitos e calamitosos que interrompem as atividades de uma sociedade ou comunidade, causando perdas humanas, materiais, econômicas ou ambientais que excedem a capacidade de recuperação da sociedade ou comunidade atingida usando apenas seus próprios recursos.

Desastres naturais ocasionados por enxurradas (hidrometeorológico) estão associados com chuvas intensas e/ou de longa duração. Souza, et al., 2019, analisando a precipitação diária realizada em Recife/PE, constataram que quando na ocorrência de chuvas classificadas como Muito Forte (precipitação $\geq 55,3$ mm), sempre existiu escorregamentos e muitos pontos de alagamentos, ocasionando danos à população. Alguns destes impactos também foram observados quando na ocorrência de chuvas classificadas como Forte (precipitação entre 18,6mm e 55,3mm).

Para a cidade de Maceió/AL, Santos, et al., 2019, mostraram índices pluviométricos limiares que geram deslizamentos agrupados em três grupos dependendo da intensidade e duração das chuvas: 1) 40 mm de precipitação diária, distribuída em duração superior a 5 h, em períodos sem chuva significativa antecedente (normalmente fora da quadra chuvosa da região), 2) 24 mm de precipitação diária quando o acumulado de precipitação em 15 dias for superior a 100 mm, 3) 200 mm de precipitação acumulada em 15 dias.

Portanto, o estudo se baseou no levantamento de eventos extremos de precipitação (P) baseado no método estatístico de quartis para avaliar a região Leste do Nordeste Brasileiro (LNEB), com destaque a cidade de Maceió/AL.

Material e métodos

Área de Estudo

A área de estudo encontra-se no litoral Leste do NEB, que será representada pelo estado de Alagoas, com ênfase para a cidade de Maceió.

O estado de Alagoas possui uma área aproximada de 27.767 km² (IBGE, 2020), o que representa aproximadamente 0,33% do território brasileiro. Localiza-se entre os paralelos 8°48'12" e 10°29'12" Sul (S) e entre os meridianos 35°09'36" e 38°13'54" Oeste (W). Está limitado ao norte (N) e W com o estado de Pernambuco, ao sul (S) com os estados de Sergipe e Bahia e a leste (E) com o oceano Atlântico (Figura 1a). Possui 339 km de extensão na direção do seu eixo maior (E-W) e 186 km na direção de seu eixo menor (N-S) (Lyra et al., 2017). Atualmente, o estado de Alagoas está dividido em três mesorregiões: o Leste, o Agreste e o Sertão Alagoano (Fig. 1). O Leste é a maior região em aspecto territorial e abrange o Litoral e a Zona da Mata. O Agreste é uma região de transição entre as

zonas úmida e seca, e o Sertão Alagoano corresponde às localidades com características climáticas áridas e semiáridas (SOUZA et al., 2021).

O município de Maceió possui uma área de 503,07 km², sendo 193,34 km² (urbana), 285,47 km² (rural) e 23,26 km² (lagunar) - (IBGE, 2020). A chuva anual média varia entre 1.400 mm a 1.500 mm, sendo concentrados de abril a julho. A temperatura média de 24,2°C (estação seca) e entre 22,4°C e 25,5°C (estação chuvosa), respectivamente (OLIVEIRA JÚNIOR et al., 2021). De acordo com a SEMARH, 2007 (Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Estado de Alagoas), o regime pluviométrico reduz com

o afastamento do litoral em direção ao oeste. A mesorregião Leste Alagoano possui precipitação entre 1000 a 2500 mm/ano, aumenta da região Sul para Norte (SOUZA et al., 2021). Possui um clima tropical, com temperatura média anual entre 25 a 28°C, com regime pluviométrico acima de 2000 mm no Leste e inferior a 500 mm em alguns pontos do Sertão, conforme a classificação climática de Köppen. E sendo as mesoregiões indicadas na figura 1a: sertão. Agreste e Zona da Mata, e ainda as regiões pluviométricas de Maceió, figura 1b, e as listas dos bairros referentes as regiões pluviométricas na Tabela 1.

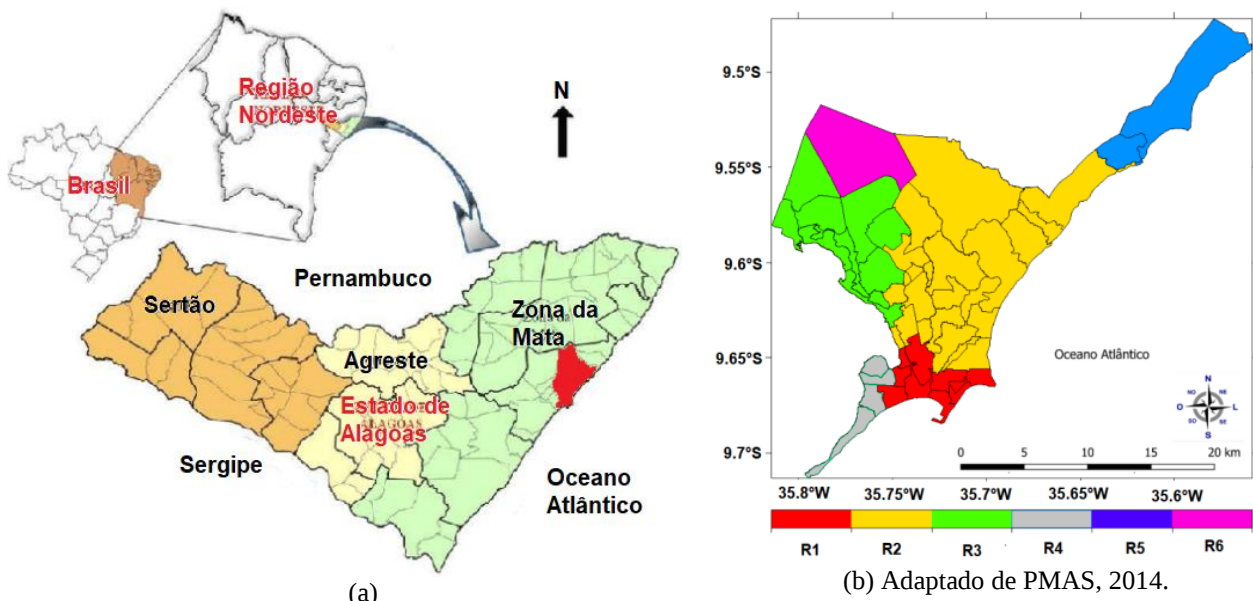


Figura 1: Localização do estado de Alagoas (a) e mapa do município de Maceió/AL com as 6 regiões (b).

Tabela 1: Lista de bairros por regiões separadas por índices pluviométricos para Maceió/AL.

Regiões	Bairros
R1	Prado, Levada, Centro, Bom Parto, Farol, Poço, Jaraguá, Ponta da Terra, Pajuçara, Ponta Verde
R2	Mutange, Pinheiro, Chã da Jaqueira, Pitanguinha, Gruta de Lourdes, Feitosa, Jacintinho, Mangabeiras, Jatiúca, Cruz das Almas, São Jorge, Barro Duro, Serraria, Ouro Preto, Canaã, Santo Amaro, Jardim Petrópolis, Antares, Benedito Bentes, Jacarecica, Guaxuma, Garça Torta, Riacho Doce
R3	Bebedouro, Chã de Bebedouro, Petrópolis, Fernão Velho, Santa Amélia, Rio Novo, Clima Bom, Tabuleiro dos Martins, Santos Dumont, Santa Lúcia
R4	Pontal da Barra, Trapiche da Barra, Ponta Grossa, Vergel do Lago
R5	Ipioca, Pescaria
R6	Cidade Universitária

Foram utilizados os dados das Estações Meteorológicas Automáticas (EMA) do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia), distribuídas no estado de Alagoas (Tabela 2). Para realizar as análises da variabilidade de precipitação pluviométrica, em termos de padrões de intensidade e distribuição das chuvas. Estes dados também servirão de parâmetro

para avaliar a qualidade das demais bases de dados utilizadas no estudo espacializados da precipitação para toda a área de estudo. O agrupamento dos bairros de Maceió apresentados na tabela 1, foram estabelecidos com base nos indicadores pluviométricos dos bairros.

Tabela 2: Descrição das EMA do INMET localizadas no estado de Alagoas.

Estação	Latitude	Longitude	Período Utilizado		Altura da Estação (m)	Distância do Oceano (km)
Maceió - MCZ	-9,5511	-35,7702	24/02/2003	31/12/2021	84,12	11,4
Coruripe - COR	-10,1286	-36,2863	05/09/2008	31/12/2021	82,39	12,7
Palmeira dos Índios - PAL	-9,4202	-36,6202	10/07/2007	31/12/2021	278,01	91,5
Pão de Açúcar - PAO	-9,7491	-37,4308	13/07/2007	31/12/2021	20,83	137,2
Piranhas - PIR	-9,6222	-37,7672	19/09/2017	31/12/2021	187,00	165,9
Arapiraca - ARA	-9,8044	-36,6191	26/04/2008	31/12/2021	236,84	63,4

Ferramentas Utilizadas

As análises estatísticas foram baseadas em dados diários de precipitação, bem como médias e acumulados temporais e espaciais. Para classificar o padrão da intensidade das chuvas, foi utilizado no estudo os quartis (5%, 25%, 50%, 75%, 95%), de acordo com a metodologia proposta por Souza, et al., 2012. A tabela 3 apresenta as classes de intensidade de chuva para a cidade de Maceió/AL.

Tabela 3: Classificação da intensidade da precipitação acumulada em 24 horas para Maceió-AL relacionada às ordens quantílicas.

Classificação	Intensidade (mm)	Probabilidades
Dia Seco (DS)	$P < 2,4$	$P < Q_{0,05}$
Chuva Muito Fraca (Cmf)	$2,4 \leq P < 3,8$	$Q_{0,05} \leq P < Q_{0,25}$
Chuva Fraca (Cf)	$3,8 \leq P < 7,6$	$Q_{0,25} \leq P < Q_{0,50}$
Chuva Moderada (CM)	$7,6 \leq P < 14,4$	$Q_{0,50} \leq P < Q_{0,75}$
Chuva Forte (CF)	$14,4 \leq P < 39,8$	$Q_{0,75} \leq P < Q_{0,95}$
Chuva Muito Forte (CMF)	$39,8 \leq P < 82,8$	$Q_{0,95} \leq P < Q_{0,99}$
Chuva Extrema (CE)	$P \geq 82,8$	$P \geq Q_{0,99}$

As análises dos dias consecutivos chuvosos com potencial de gerar desastres naturais, mesmo não sendo considerado um evento extremo ($P > 39,8\text{mm/dia}$, estando na classe de chuva muito forte), seguirá o proposto por Molina, et al., 2015, onde dias consecutivos com chuva muito forte apresentam potencial para gerar desastres naturais, sendo necessário analisar intensidade e duração. Os níveis de precipitação acumulada de 50mm em 1 dia para eventos extremos e/ou 150 mm em 4 dias no tocante a duração de um período chuvoso, estando associados a desastres naturais.

Para avaliar espacialmente a distribuição das chuvas, serão utilizadas imagens de satélite GOES-13 e a ferramenta denominada hidroestimador (estimativa de precipitação baseados em imagens de satélite GOES-13), ambas obtidas do portal do

INPE/CPTEC/DSA

(http://sigma.cptec.inpe.br/prec_sat/?i=br.htm), maiores detalhes sobre a ferramenta hidroestimador em Siqueira e Villa, 2019. Bem como foi utilizada a base de dados MERGER, que consiste na combinação de dados observados da combinação das redes de estações pluviométricas (“INMET - Instituto Nacional de Meteorologia, ANA - Agência Nacional de Águas, CEMIG - Companhia Energética de Minas Gerais, GTS - Sistema Global de Telecomunicação, SIMEPAR - Sistema Meteorológico do Paraná, IAC - Instituto Agrônomo de Campinas, e outros centros regionais”) combinado com imagens de satélite do GPM-IMERG-EARLY, obtidos a partir de um algoritmo de integração de satélites, “Integrated Multi-satellitE Retrievals for GPM” (IMERG). Os dados MERGE são disponibilizados pelo CPTEC/INPE (<http://ftp.cptec.inpe.br/modelos/tempo/MERGE/>), com resolução temporal diária para toda América do Sul com resolução de 10Km (Rozante, et al., 2010; 2020).

Resultados e discussão

Baseado na tabela 3 e Figura 2, a maior parte dos dias considerados com chuva analisados para Alagoas, apresentaram maiores frequência nas classes de intensidade de chuvas muito fracas a moderadas ($2,4 \leq P < 14,4$, 75% dos casos). Vale frisar que um percentual significativo de ocorrências de chuvas fortes ($14,4 \leq P < 39,8$, 20% dos casos), e chuvas consideradas extremas CMF e CE ($P \geq 39,8$, 5% dos casos), que caracteriza o percentual com potencial para ocorrência de desastres naturais, como deslizamento de encostas e/ou enchentes (SOUZA et al., 2019). Vários outros estudos apresentaram uma correlação positiva entre ocorrência de deslizamento e altas intensidades de precipitação (TOMINAGA et al., 2009; SANTORO et al., 2010; PARIZZI et al., 2010; MICHEL, 2013; MICHEL et al., 2014, 2015; MARTINS, 2014; MOLINA et al., 2015; MENDES et al., 2015; Kobiyama et al., 2015; Ribeiro Neto et al., 2016; Zahiri et al., 2016; Santos, et al., 2019).

Neste mesmo raciocínio, utilizando a EMA de Maceió/AL para avaliar a quantidade de casos de CMF (81 caso, com média 54,37mm/dia) e CE (19 casos, com média 108,8mm/dia). Vale ressaltar para CE os dias consecutivos com chuva de média 10,2 dias, e ocorreram 14 registros de chuva considerada extrema dentro da quadra chuvosa da região, que é o período com maior quantidade de chuva (meses [no.casos]: Abr [2], Mai [3], Jun [6], Jul [3]). Destaca-se ainda o episódio da ocorrência de 3 registros somente em 2017, que ocorreu praticamente num período de 1 mês, 27/05, 29/06 e 01/07, demonstrando o período chuvoso rigoroso deste ano. Já o município de Coruripe/AL, baseando-

se na classificação da intensidade da precipitação de Maceió/AL, apresentou 7 registros com chuvas superiores a 82,8mm/dia, precipitação média de 96,7mm e duração média da chuva de 7,6 dias, com destaque para o fato de 2 registros acontecerem em maio 2009 e 2017 e outro em 13/10/2013, que por sua vez foi o dia registrado com maior precipitação, 113,4mm/dia. Ou seja, os eventos e períodos mencionados demonstram potencial para causar desastres naturais e devido a intensidade e duração, e com grande recorrência na quadra chuvosa de abril a julho (SANTOS, et al., 2019; OLIVEIRA JUNIOR, et al., 2021; COSTA et al., 2021).

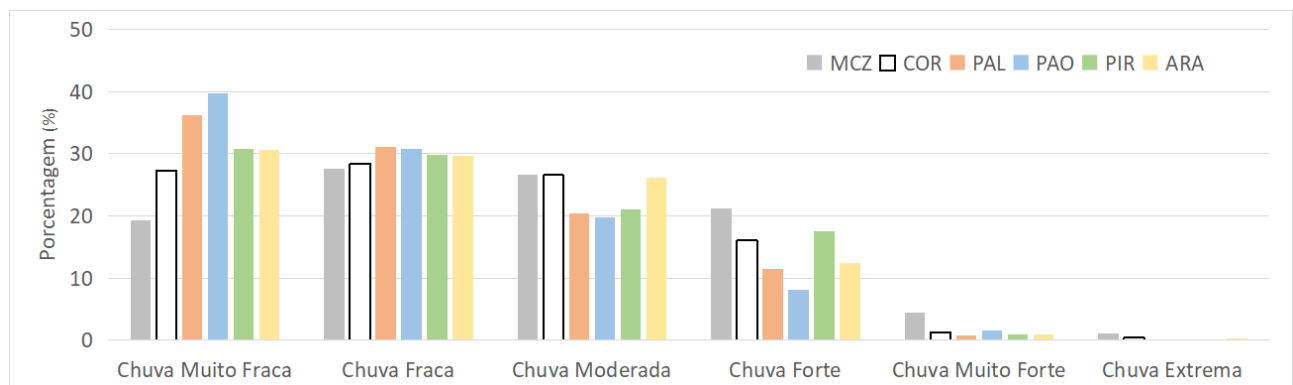


Figura 2: Distribuição da intensidade da precipitação diária (mm) para municípios alagoanos, base de dados INMET.

Num comparativo direto entre os resultados de Souza et al., (2012) e os resultados apresentados na tabela 3, percebe-se que as intensidades das precipitações entre as cidades de Recife/PE (tabela 2) e Maceió/AL, são parecidas no tocante as distribuições das intensidades dos índices pluviométricos, contudo é possível notar a tendência de ocorrência de chuvas mais intensas para Recife/PE, quando comparado com Maceió/AL. Em especial para o limiar que define chuva muito forte, variando de 55,3mm (Recife) para 39,8mm (Maceió).

Voltando a discutir sobre a Figura 2, que mostra de forma detalhada a distribuição da intensidade das chuvas diárias ocorridas nos municípios de Maceió (MCZ), Coruripe (COR), Palmeira dos Índios (PAL), Pão de Açúcar (PAO), Piranhas (PIR) e Arapiraca (ARA). Os municípios localizados na faixa litorânea do estado de Alagoas, Maceió e Coruripe, foram os que apresentaram regime de chuva mais rigoroso, ver também a tabela 1.

De acordo com os resultados apresentados por SANTOS, et al., 2019, no inverno, a precipitação é concentrada no litoral leste do NEB (equivalente a Zona da Mata), e sendo os mecanismos produtores de chuva desta região para a entrada da massa de ar tropical (intensificação ASAS) ou ainda por meio dos distúrbios ondulatórios de leste (DOL) que atingem o

litoral nordestino com maior intensidade (GOMES et al., 2019). Já Anjos e Lopes, (2019) afirmam que as circulações de brisas marítimas é um importante sistema de mesoescala devido a sua frequência de ocorrência e intensidade das chuvas, que deve também ser considerada nas análises dos mecanismos produtores chuva no litoral ENEB.

No dia 27/05/2017 foi registrado o maior volume de chuva diária da série analisada, com 152,4mm/dia e sendo atribuído a um episódio de DOL como responsável por provocar este evento. Com o auxílio de imagens de satélite no canal do visível e hidroestimativa realizadas com o GOES-13 (figura 3), fica evidente que as fortes chuvas ficaram concentradas no estado de Alagoas, sendo mais especificamente na Região Metropolitana de Maceió (RMM) e regiões do baixo São Francisco e Norte de Alagoas. Este evento iniciou dia 18/05/2017 e teve duração de 16 dias, sendo decretado Estado de Calamidade Pública pela prefeitura de Maceió e registrado em apenas 6 dias um acumulado de 368,6mm quando esperado 287,4mm para todo o mês de maio (baseado na normal climatológica de 1991-2020, figura 5). De acordo com agência de notícias da época a capital alagoana registrou ainda 89 casos de deslizamento de barreiras, 55 desabamentos de imóveis e houve 16 pontos de inundações (MADEIROS, 2017, UOL notícias).

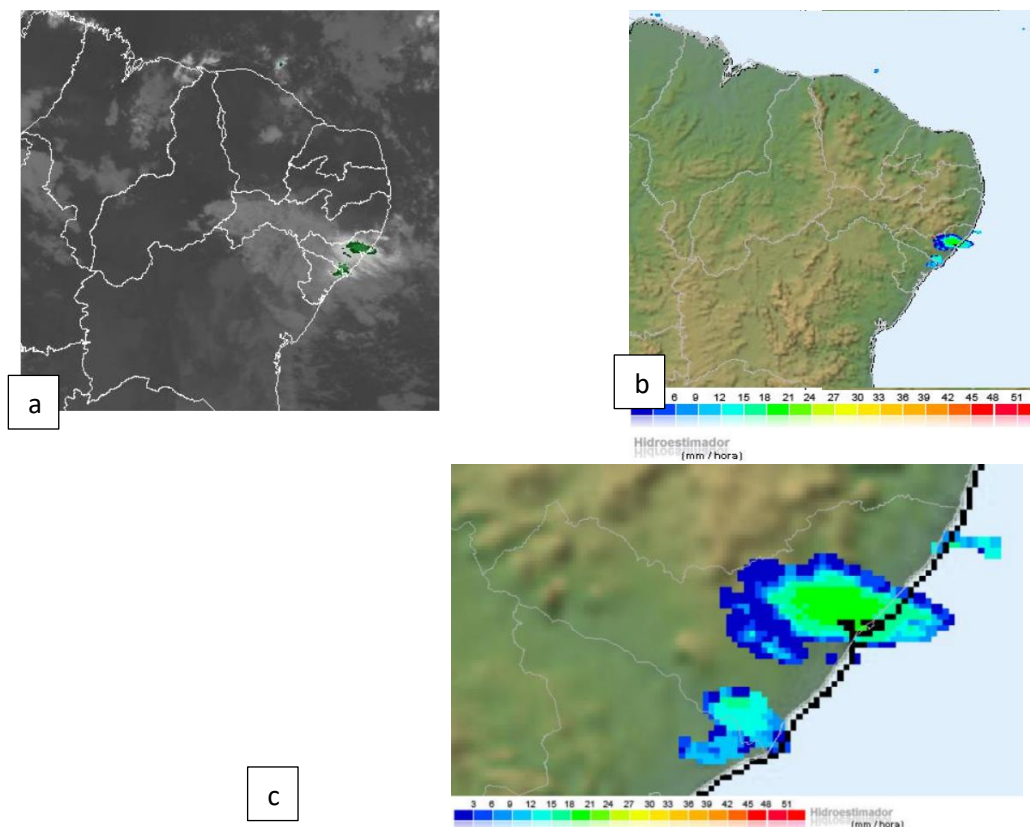


Figura 3: Imagem de Satélite GOES-13 27/05/2017 10:30Z, realçado NEB (a), hidroestimador NEB (b), hidroestimador Alagoas (c). Fonte: INPE/CPTEC/DSA.

Em termos de análise do percentual de dias sem chuva (figura 4), para registros/ausência de precipitação para as estações automáticas do INMET, considerou-se que valores inferiores a 2,4mm/dia (poderia estar na margem de erro instrumental, que seria equivalente 0,1mm/h média no dia). Portanto, nota-se alta frequência de dias considerados secos para a estação de Maceió, chegando a 65% dos registros. Porém o valor encontrado para Maceió é menor, quando comparado com outras cidades alagoanas como o caso de Piranhas com 90%. A principal explicação para isto seria a localização nas mesorregiões do estado de Alagoas, enquanto Maceió está localizado no litoral (zona da mata), a cidade de Piranhas está localizada na região do sertão (as margens do Rio São Francisco).

Diante do exposto na figura 4, Maceió pode ser classificado como a cidade mais chuvosa entre os municípios analisados, devido ao baixo percentual de dias sem chuva. Os resultados apresentados por Reboita et al., (2010), para o ENEB, com precipitação acumulada anual da ordem de 1500mm/ano, reafirma a ideia de Maceió ser uma cidade com níveis altos de precipitação. De acordo com a classificação de Köppen, uma área é considerada com pluviosidade elevada cujos índices médios variam entre 1.500-2.500mm/ano.

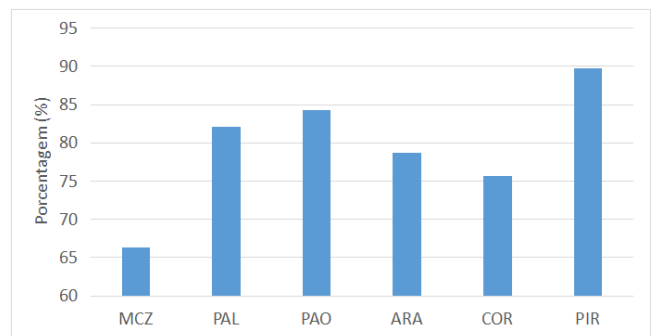


Figura 4: Percentual de dias considerados secos ($P < 2,4\text{mm}$) das estações automáticas do INMET.

Já em Palmeira dos Índios, com 83% de dados observados disponíveis dentro do período analisado, houve precipitação em apenas 18% dos dias, sendo que 1/3 dessas chuvas foram classificadas como sendo muito fracas. Devido principalmente à sua localização estando na mesorregião classificada como agreste do estado de Alagoas e estando numa altitude de aproximadamente 340 metros acima do nível médio do mar.

No sentido de identificar a época do ano mais chuvosa, Santos et al., (2019) utilizando dados do INMET para Maceió/AL, informa em seu estudo que a quadra chuvosa ocorre entre os meses de abril e julho, sendo responsável pelo acumulado esperado de 1256,6mm (equivalente a 61% da média anual). Neste mesmo contexto, e avaliando os dados da

normal climatológica da precipitação acumulada também para o município de Maceió, como mostra na Figura 5, houve uma mudança no mês mais chuvoso, que anteriormente era no mês de maio (período climático 1961-1990), alterou para o mês de junho (períodos climáticos 1981-2010 e 1991-2020), provavelmente associados às mudanças climáticas afetando o regime pluviométrico. Fica evidente que a quadra chuvosa ocorre entre abril e julho, também é de se observar que as precipitações em maior frequência ocorrem no mês de junho, em média chegam próximas a 350mm. Em relação ao mês com menor índice de chuva, houve uma mudança do mês de novembro para o mês de dezembro, sendo estes os meses com menores indicadores pluviométricos registrado para Maceió/AL.

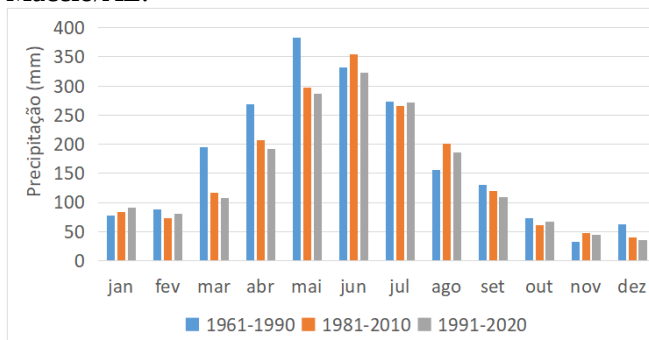


Figura 5: Normal climatológica da precipitação pluviométrica para o município de Maceió/AL, períodos de 1961-1990, 1981-2010, 1991-2020, fonte: Dados do INMET.

Quanto a distribuição espacial da precipitação pluviométrica para o estado Alagoas e consequentemente para a cidade de Maceió/AL, apresentados nas figuras 6a e 8b respectivamente, foram obtidas utilizando os dados do MERGE. Dentre as várias base que disponibilizam dados de precipitação espacial, no estudo realizado por Silva, et al., 2022, mostra que para a cidade de Maceió/AL a base de dados MERGE se mostrou mais eficiente em comparação a outras como CHIRPS, ERA5 e ERA5 LAND, tendo coeficiente de correlação (r) de 0,99 e Raiz do Erro Quadrático Médio (RMSE) de 24,5mm. Já Oliveira Júnior et al., (2021) também fez uso de dados espaciais de precipitação para Maceió/AL,

obtidos com estimativas realizadas a partir de imagens de satélite, desta feita com a base CHELSA (*"Climatologies at High resolution for the Earth's Land Surface Areas"*, Karger et al., 2017), porém com parâmetros estatísticos ainda inferiores ao MERGE, cujo análise estatística resultou em $r=0,89$ e $RMSE=18,76mm$.

Com o auxílio da figura 6a, percebe-se que o litoral alagoano apresenta maiores índices de precipitação anual, entre 1200 - 1800mm. Destaque para a cidade de Maceió/AL com precipitação anual na ordem de 1800mm, muito próximo ao encontrado por Oliveira-Junior, et al, 2021 com média anual de 1.838 mm para Maceió/AL. Já a figura 6b, mostra a distribuição da precipitação para a cidade de Maceió/AL, e fica evidente que a R1 (parte baixa de Maceió, bairros do Prado, Centro, Levada, Bom Parto, Farol, Poço, Ponta Verde, Ponta da Terra, Pajuçara, Jaraguá) é a região que mais chove, seguida pelas regiões R2, R3, R4 e R5, R6 (ver indicação das regiões na figura 1b). Possivelmente as justificativas para o indicativo das maiores índices pluviométricos na região R1, se deva por conta do efeito topográfico, urbanização e proximidade com o oceano (fenômeno das brisas), são principais explicações para os maiores índices de chuva nas regiões R1 e R2, Oliveira-Junior, et al., 2021 também justifica os maiores índices pluviométricos na costa e diminuindo a medida que adentra ao continente, ao efeito das brisas marítima/terrestre, circulação da lagoa Mundaú (a Oeste das regiões R1, R2, R3, R4 na figura 6b) e também ao efeito da orografia. Nesta mesma linha de raciocínio, Anjos e Lopes, 2019, reafirmaram a importância das brisas marítimas para o regime pluviométrico para o Leste do NEB, em estudo utilizando imagens de satélite do GOES 13 para o estado de Sergipe, vizinho ao estado de Alagoas. Já Sousa e Oyama, 2017, analisando as componentes zonal e meridional do vento para áreas potenciais de ocorrência de brisas marítimas em toda costa do NEB, mostra que a ocorrência das brisas se dá aproximadamente às 7UTC e 19UTC quando alinhada de forma zonal com a costa, e mencionaram não existir relação entre ENOS e brisas.

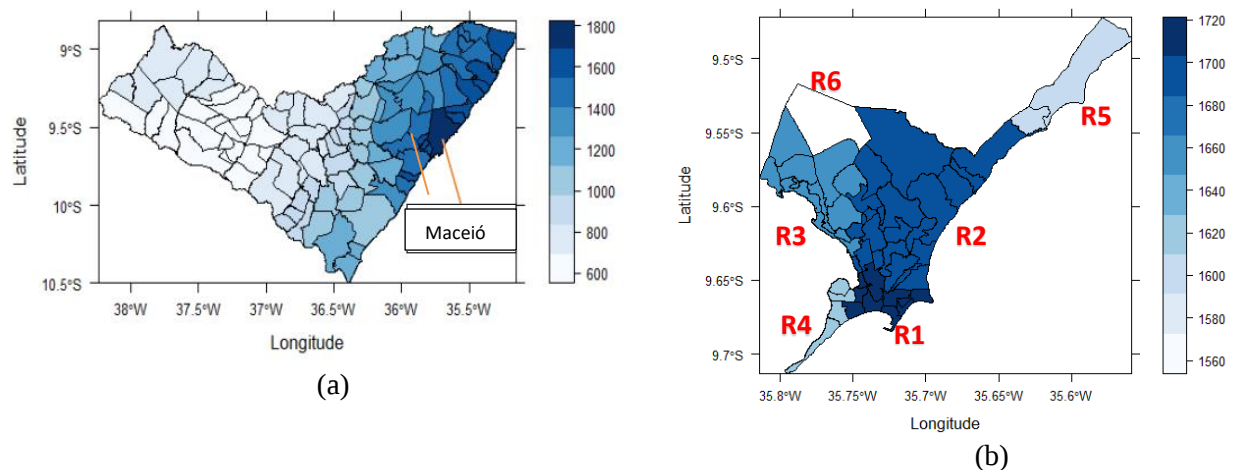


Figura 6: Acumulado anual médio de precipitação para (a) Alagoas e (b) Maceió, período 2000-2020.

Em termos de máximos registros de precipitação por município do estado de Alagoas (figura 7a), constata-se novamente que os municípios localizados no litoral alagoano apresentam os maiores valores de máximo de precipitação, entre 140 - 240mm, com destaque para o município de Passo de Camaragibe. De forma surpreendente, alguns municípios situados na mesorregião sertão, também registraram máximo de precipitação em níveis próximo ao litoral, 140 - 180mm,

como no caso das cidades de São José da Tapera, Piranhas, Senador Rui Palmeira, Poço da Trincheiras, Santana do Ipanema, Olho d'Água da Flores. Dando ênfase aos bairros de Maceió/AL (figura 7b), eles se destacam como os maiores valores de máximo de precipitação, neste caso, o bairro da Cidade Universitária (R6) com registro de 168,37mm e a área R2 com 155,25mm.

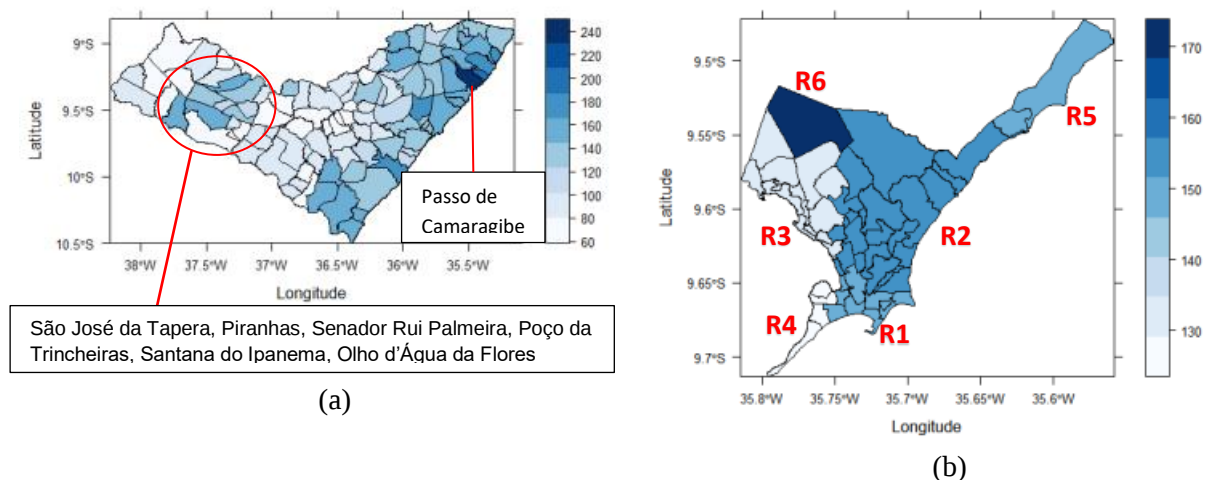


Figura 7: Precipitação máxima diária ocorrida em (a) Alagoas e (b) Maceió, durante o período de 2000-2020.

A figura 8a, mostra a quantidade de dias que registraram chuvas diárias acima de 82,8mm, classificadas como Chuvas Extremas (CE). Pode-se notar que a região litorânea (Mesorregião Zona da Mata) apresentou as maiores quantidades de eventos de CE, com destaque para os municípios de Japaratinga (24 casos), Porto de Pedras (22 casos), Maceió (15 casos), e demais municípios litorâneos. Já com o auxílio da figura 8b, para quantidade de registros de Chuva Muito Forte (CMF), novamente destaca-se Japaratinga (136 casos), Porto de Pedras (134 casos),

Maceió (119 casos), e depois os demais municípios litorâneos. Vale ressaltar que a região Norte de Alagoas, apresentam os maiores indicadores pluviométricos e são refletidos na quantidade de casos de CMF e CE. Percebem-se ainda registros significativos no sertão alagoano de CMF e ainda registros significativos de CE em Piranhas também no sertão.

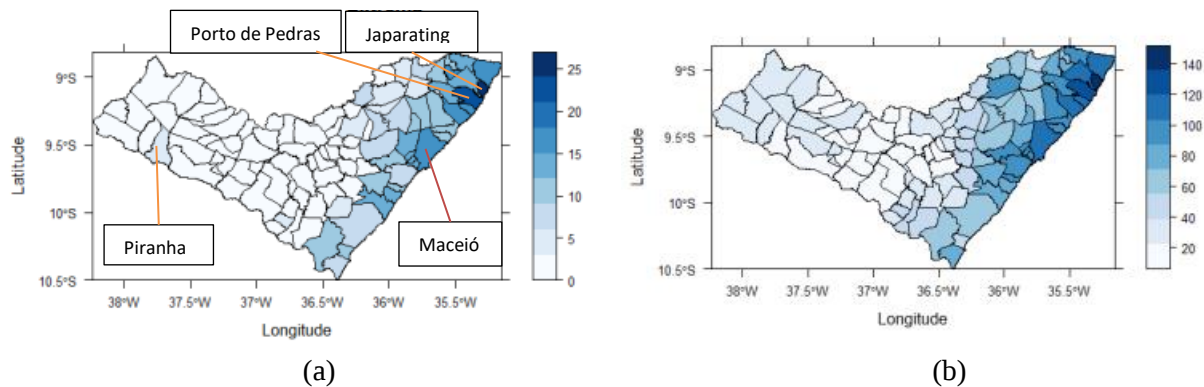


Figura 8: Frequência de dias com ocorrências de (a) Chuva Extrema ($>82,8\text{mm}$) e (b) Chuva Muito Forte ($>39,8$), para todo o estado de Alagoas, dados diários durante o período 2000-2020.

Já para o município de Maceió/AL, resultados apresentados na figura 9a, mostra a quantidade de casos cuja precipitação diária foi superior a 82,8mm (classificada como Chuva Extrema), figura 9a. Observa-se que a região a R5 (bairros de Pescaria e Ipioca) apresentou o maior número de casos com chuva extrema (16 casos), seguidas na ordem pelas regiões R4 R3 R6 R2 R1. Porém diferentemente ao acumulado anual de precipitação apresentado na figura 6b, percebe-se que a região R1 tem maior acumulado anual e menor quantidade de casos com CE, justamente o contrário da R5 com menor acumulado anual e maior quantidade de CE. Já quando analisado os eventos de Chuva Muito Forte ($39,8 \leq P < 82,8\text{mm}$) sendo visualizada na figura 9b, a região R2 apresentou o maior número de casos com 119 registros, seguido

novamente pela região R5 (111 casos), demonstrando que as regiões R2 e R5 precisam de monitoramento constante quando se trata de eventos extremos de precipitação na cidade de Maceió/AL (CORREIA FILHO et al., 2019). Obviamente as demais regiões necessitam de cuidados especiais, pois também apresentam registros de eventos extremos, bem como apresentam áreas de riscos que associados com eventos de chuva muito forte ou extrema, podem ocasionar em desastres naturais. Destaque para região R1 com maiores acumulados anuais de precipitação, porém, os menores números de casos de CMF e CE (figura 9), ou seja, trata-se de uma área que chove bastante e com menores intensidades diárias.

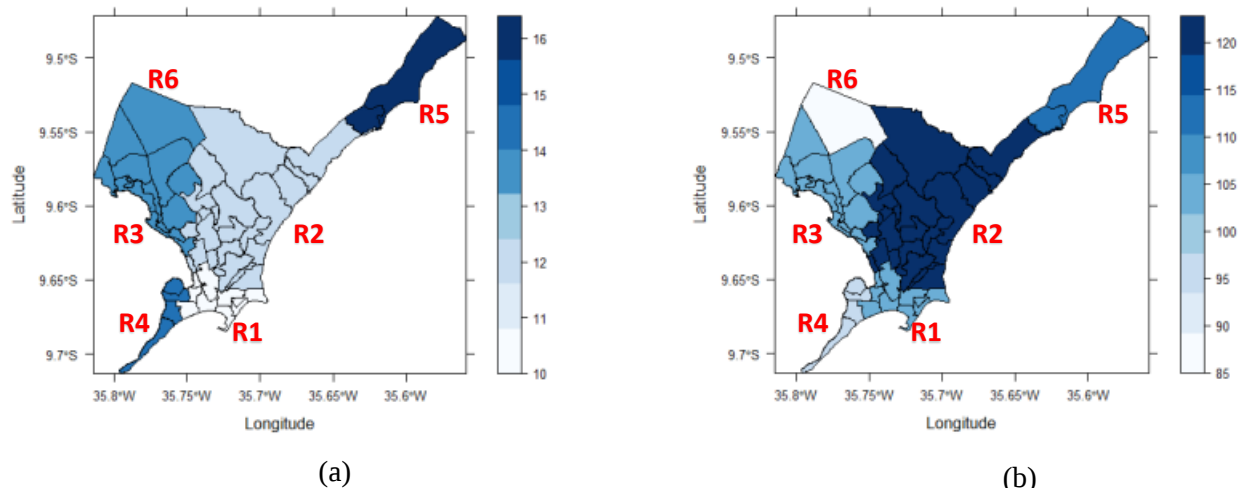


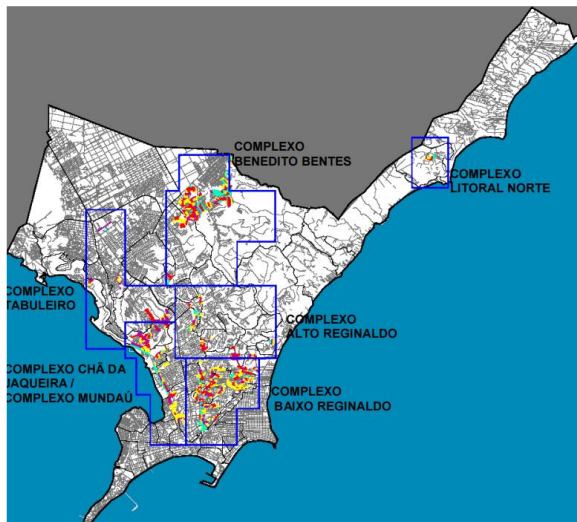
Figura 9: Frequência de dias com ocorrências de (a) Chuva Extrema ($>82,8\text{mm}$) e (b) Chuva Muito Forte ($>39,8\text{mm}$), para a cidade de Maceió, com base em dados diários no período 2000-2020.

No sentido de relacionar o regime de precipitação e as áreas de risco da RMM, a figura 10a mostra que em Maceió/AL existem 6 (seis) complexos de área de risco (Tabuleiro, Benedito Bentes, Chã da Jaqueira/Mundaú, Alto e Baixo Reginaldo e Litoral Norte) – (CORREIA FILHO et al., 2021). De modo a dimensionar em termos de número e tipo de risco com

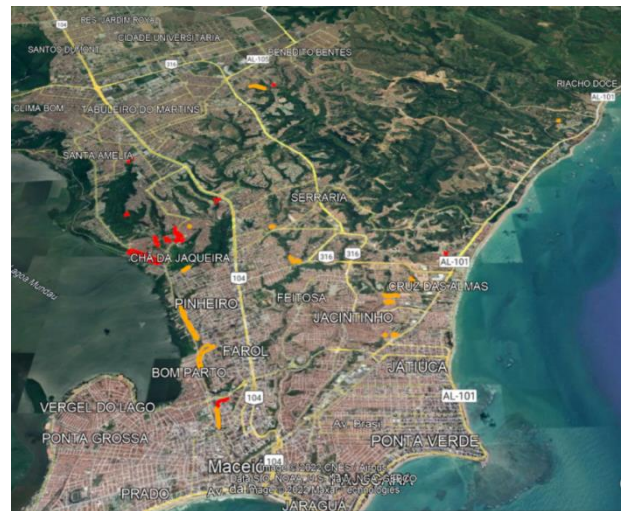
dados obtidos com base no relatório do Plano Municipal de Redução de Risco de Maceió 2007, relata para aquela época que a cidade apresentava 570 setores de risco, sendo 172 de risco muito alto, 180 risco alto, 162 risco médio e 56 riscos baixo. Em destaque para o complexo do Baixo Reginaldo com 269 setores de risco. Mais recentemente Santos, et

al., 2019, divulgou novos números para a existência de 575 áreas de risco, e reafirmando que o Baixo Reginaldo tem o maior percentual de deslizamento de

terra por complexo de risco, sendo responsável por 36% dos casos.



(a) Plano Municipal de Redução de Risco, Secretária Municipal e Maceió, 2007



(b) Relatório sobre Ação emergencial para reconhecimento de áreas de alto e muito alto risco a movimentos de massa e enchentes, Serviço Geológico do Brasil CPRM - 2017.

Figura 10: Localização das áreas e complexos de risco da cidade de Maceió/AL.

O relatório do Serviço Geológico do Brasil, 2017, demonstra que outras regiões em Maceió/AL deveriam ser incluídas como áreas de alto e muito alto risco. São outros vinte e seis setores de alto ou muito alto risco da área urbana do município de Maceió/AL (figura 10b), que estão localizadas nos setores agrupados por bairros: Tabuleiro dos Martins (2), Chã da Jaqueira (5), Chã de Bebedouro (1), Bebedouro (1), Feitosa (3), Henrique Equelme (2), Bom Parto (1), Mangabeiras (2), Mutange (1), Ouro Preto (1), Santa Amélia (1), Garça Torta (1), Centro (2), Barro Duro (1), Santo Amaro (1), Cruz das Almas (1).

Ainda no tocante a relacionar eventos de chuvas extremos, área de risco e desastres naturais, o estudo realizado por Moura, et al., 2016, traz uns levantamentos exploratórios das séries anuais dos decretos de reconhecimento de Situação de Emergência (SE) e de Estado de Calamidade Pública (ECP), 2003 a 2015, por estado da Federação da região Nordeste. Dos dados apurados junto ao Ministério de Integração Nacional, durante o referido período o NEB registrou 57,5% e 46,9% respectivamente, dos desastres reconhecidos por decretos de SE e de ECP no Brasil. Os estados nordestinos com maior número de decretos são Pernambuco (37 reconhecimentos), Paraíba (26 reconhecimentos) e Alagoas (18 reconhecimentos). A frequência dos registros é maior naqueles anos que foram considerados mais chuvosos na região, a exemplo do ano de 2004 (59 reconhecimentos) e dos anos de 2010 (27 reconhecimentos) e de 2011 (19 reconhecimentos).

Já em Alagoas figura 11 e de acordo com o Atlas Brasileiro de Desastres Naturais, 2013, a Mesorregião Leste Alagoano concentra a maior frequência do estado de enxurradas severas caracterizadas como desastres hidrometeorológicos, com 72% (120) de todos os registros. As mesorregiões Agreste e Sertão Alagoano concentram 13% e 14% dos demais registros, respectivamente. Nota-se na figura 11 e 8 uma forte relação entre eventos de CMF/CE e desastres hidrometeorológicos (enxurradas). Vale reforçar na figura 11, que a maior parte dos registros ocorreu na porção norte/nordeste da Mesorregião Leste Alagoano. Já Moura, et al., 2016, mostra que o município de Maceió apresentou o maior número de reconhecimento de ECP devido a desastres hidrometeorológicos, ou seja, devido a eventos de chuvas extremas. Foram registradas duas ocorrências durante os anos de 2003 a 2015. Reforçando a ideia de que os eventos extremos de precipitação estariam em muitos casos também aliados a ocupação de áreas de risco como potencial fatores para ocorrência de desastres hidrometeorológicos do tipo enxurradas. Moura, et al., 2016 constatou ainda que as principais concentrações urbanas em regiões metropolitanas do Nordeste não possuem registros de desastres hidrometeorológicos que ensejassem a decretação de ECP, exceto a cidade de Maceió/AL (dois registros) e Petrolina/PE (um registro).

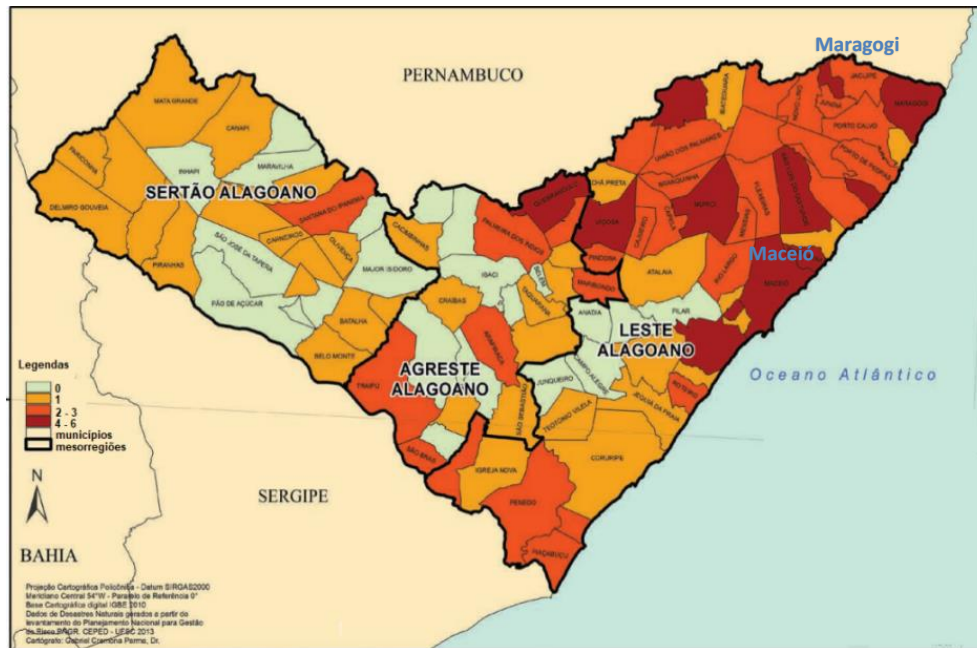


Figura 11: Registros de enxurrada no estado de Alagoas período 1991 - 2012, adaptado do CEPED/UFSC, 2013.

Conclusões

O método adotado no estudo via técnica dos Quartis demonstrou ser eficiente na categorização de chuvas extremas (CMF e CE). O método consegue estabelecer uma associação entre os extremos de precipitação e desastres naturais, principalmente para a cidade de Maceió/AL.

No tocante a distribuição espacial em Alagoas, os eventos de CMF e CE, para Alagoas os municípios que se destacam são Japaratinga, Porto de Pedras e Maceió, Leste Alagoano. Destaque também para mesorregião da Zona da Mata, especificamente a região Norte de Alagoas.

Para a cidade de Maceió/AL, a região R5 (Ipioca e Pescaria) e R2 se destacam com chuvas entre muito forte a extrema, porém com a ressalva da possibilidade de ter com altos índices pluviométricos, porém com menores ocorrências de CMF/CE, que indica que trata de uma região que chove com frequência com intensidade menos intensa, como no caso da região R1.

Os estudos devem avaliar tendências de eventos extremos para Alagoas e, particularmente para cidade de Maceió.

Referências

Anjos, M. e Lopes, A., 2019. Sea breeze front identification on the northeastern coast of Brazil and its implications for meteorological conditions in the Sergipe region, Theoretical and Applied Climatology, 137:2151–2165.

BRASIL. 2020. Ministério da Integração Nacional.

Anuário brasileiro de desastres naturais:

2013. Brasília: Ministério da Integração Nacional/Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil/ Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres, 2014.

BRASIL, 2016. Ministério da Integração Nacional. Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil.

Situação de emergência e estado de calamidade pública: reconhecimentos realizados.

CEPED/ UFSC. Universidade Federal de Santa Catarina. Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres. Atlas brasileiro de desastres naturais: 1991 a 2012: volume Alagoas. Florianópolis: CEPED/UFSC, 2013.

CEPED/ UFSC-Universidade Federal de Santa Catarina. Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres, 2012. **Atlas brasileiro de desastres naturais 1991 a 2010:** volume Brasil. Florianópolis: CEPED/UFSC, 94p.

Correia Filho, W. L. F.; Santiago, D. B. ; Oliveira Júnior, J. F.; SILVA Junior, C. A., 2019. Impact of Urban Decadal Advance on Land Use and Land Cover and Surface Temperature in the City of Maceió, Brazil. LAND USE POLICY, 1, 1-11.

Correia Filho, W. L. F.; Santiago, D. B.; Oliveira Junior, J. F.; SILVA Junior, C. A.; Oliveira, S. R. S.; Silva, E. B.; Teodoro, P. E., 2021. 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 JCR*, 24, p. 100621.
- Costa, M.S.; Oliveira-Júnior, J.F.; Santos, P.J.; Correia Filho, W. L.F.; et al., 2020. Rainfall extremes and drought in Northeast Brazil and its relationship with El Niño-Southern Oscillation. *International Journal OF Climatology JCR*, 41, p. E2111-E2135.
- Gomes, H.B., 2012. Distúrbios Ondulatórios de Leste no Nordeste Brasileiro: Climatologia e Modelagem Numérica, Tese de Doutorado, IAG/USP.
- Gomes, H.B.; Ambrizzi, T.; Pontes da Silva, B.F.; Hodges, K.; Silva Dias, P.L.; Herdies, L.; Silva, M.C.L.; Gomes, H.B, 2019. Climatology of easterly wave disturbances over the tropical South Atlantic. *Climate Dynamics* 53, 1393-1411.
- Huang, J.; Ju, N. P.; Liao, Y.J. e Liu, D. D., 2015. Determination of rainfall thresholds for shallow landslides by a probabilistic and empirical method, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 15, 2715–2723.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2020. Área da Unidade Territorial: Área Territorial Brasileira. Rio de Janeiro: IBGE. Disponível em: cidades.ibge.gov.br/brasil/al/panorama1.
- Kalnay et al., 1996. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 77, 437-470.
- Kobiyama, M., et al., 2015. Historical analyses of debris flow disaster occurrences and of their scientific investigation in Brazil. *Labor & Engenho*, 9(4), 76-89.
- Lyra, G. B.;Oliveira-Júnior, J. F.; GOIS, G.; Cunha-Zeri, G.; Zeri, M., 2017. Rainfall variability over Alagoas under the influences of SST anomalies. *Meteorology and Atmospheric Physics*, v. 129, p. 157-171.
- Madeiro, C, 2017. Maceió decreta calamidade pública após chuvas deixarem 4 mortos. *Uol Notícias* G1/AL, 27/05/2017. <https://noticias.uol.com.br/cotidiano/ultimas-noticias/2017/05/27/maceio-decreta-calamidade-publica-apos-chuvas-deixarem-4-mortos.htm>.
- Mendes, R. M., Valerio Filho, M., Bertoldo, M. A., & Silva, M. F., 2015. Estudos de Limiares Críticos Deflagradores de Deslizamentos no Município de São José dos Campos – SP (Brasil). *Associação portuguesa de riscos, prevenção e segurança, imprensa da universidade de Coimbra. Territorium*, 22, 119-129.
- Michel, G. P., 2013. Modelagem de estabilidade de encostas com consideração do efeito da vegetação. (Dissertação de mestrado). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- Michel, G. P., Kobiyama, M., & Goerl, F. B., 2014. Comparative analysis of SHALSTAB and SINMAP for landslide susceptibility mapping in the Cunha river basin, southern Brazil. *Journal of Soils and Sediments*, 14, 1266-1277.
- Molina, E., Cardoso, A., & Nogueira, F.; Relação precipitação-deslizamento no Município de São Bernardo do Campo - SP. *Ciência e Natura*, 37, 46-54, 2015.
- Moura, M. O.;Cunico, C.; Nóbrega, R. S.; DUARTE, C. C., 2016. Desastres hidrometeorológicos na região Nordeste do Brasil: distribuição espaço-temporal dos reconhecimentos de Estado de Calamidade Pública; *Caderno de Geografia*, v.26, número especial2.
- Nascimento Júnior, L. N.; Sant'anna NETO, J. L., 2015. Contribuição Aos Estudos Da Precipitação No Estado Do Paraná: A Oscilação Decadal Do Pacífico - ODP, *Revista Ra'e Ga* (www.ser.ufpr.br/raega), Curitiba, v.35, p.314 - 343.
- Olímpio, J. L. S; Vieira, P. M; Zanella, M. E; Sales, M. C. L., 2013. Episódios Pluviais Extremos e a Vulnerabilidade Socioambiental do município de Fortaleza: o episódio do dia 27/03/2012. *Revista Geo UERJ*, 1, 181-206.
- Oliveira-Júnior, J.F.; Correia Filho, W.L.F.; Dimas de Barros Santiago, D.B; et al., 2021. Rainfall in Brazilian Northeast via in situ data and CHELSA product: mapping, trends, and socio-environmental implications *Environ Monit Assess*, 193: 263.
- Oliveira Junior, J.F.; Souza, P.H.A.; Souza, E.O., 2021. Climatologia da Chuva em Maceió: Aspectos Climáticos e Ambientais, *Revista Brasileira de Geografia Física* v.14, n.04, 2253-2264.
- Oliveira-Júnior, J. F.; Gois, G.; Silva, I. J. L.; et al., 2021. Wet and dry periods in the state of Alagoas (Northeast Brazil) via Standardized Precipitation Index. *Journal Of Atmospheric And Solar-Terrestrial Physics JCR*, 224, 105746.
- Parizzi, M. G., et al., 2010. Correlações entre chuvas e movimentos de massa no Município de Belo Horizonte – MG. *Artigos Científicos, Geografias*, 6, 49-68.

- Pilke, R. e Carbone, R.E., 2002. Weather Impacts, Forecasts, and Policy: An Integrated Perspective, American Meteorological Society.
- Plano Municipal de Assistência Social de Maceió (PMAS-MACEIÓ) 2014 – 2017, 2014. Plano Diretor da Cidade de Maceió, 106 p.
- Reboita, S.M., Gan, M.A., Rocha, R.P. e Ambrizzi, T., 2010. Regimes De Precipitação Na América Do Sul: Uma Revisão Bibliográfica, *Revista Brasileira de Meteorologia*, 25, 185 - 204.
- Reboita, M.S., Ambrizzi, T., Silva, B.A.; et al., 2019. The South Atlantic Subtropical Anticyclone: Present and Future Climate. *Front. Earth Sci.*
- Ribeiro Neto, A. R., Batista, L. F. D. R., & Coutinho, R. Q., 2016. Methodologies for generation of hazard indicator maps and flood prone areas: municipality of Ipojuca/PE. *RBRH*, 21(2), 377-390.
- Santoro, J., et al., 2010. Correlação entre chuvas e deslizamentos ocorridos durante a operação do plano preventivo de defesa civil em São Paulo. In 7º Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental, São Paulo.
- Santos, D.L., et al., 2019. Limiar De Precipitação Com Potencial De Gerar Deslizamentos Nos Complexos De Risco Em Uma Zona Urbana, *REGA*, 16, e12.
- Santos, S.R.Q.; Cunha, A.P.M.A.; Ribeiro-Neto, G.G., 2019. Avaliação de Dados de Precipitação para o Monitoramento do Padrão Espaço-Temporal da Seca no Nordeste do Brasil, *Revista Brasileira de Climatologia*, ISSN: 2237-8642.
- Siqueira, R. A. D. and Vila, D., 2019. Hybrid methodology for precipitation estimation using Hydro-Estimator over Brazil. *International Journal of Remote Sensing*, 40(11), 4244-4263.
- Silva, B.F.P.; Federova, N.; Levit, V.; et al., 2011. Sistemas Sinóticos Associados Às Precipitações Intensas No Estado De Alagoas, *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.26, n.3, 323 - 338.
- Silva, E.H.L.; Silva, F.D.S.; Silva Junior, R.S. et al., 2022. Performance Assessment of Different Precipitation Databases (Gridded Analyses and Reanalyses) for the New Brazilian Agricultural Frontier: SEALBA. *Water*, 14, 1473.
- Souza, V. M. et al. 2012, Classificação da Precipitação Diária e Impactos Decorrentes dos Desastres Associados às Chuvas na Cidade do Recife-PE, *Revista Brasileira de Geografia Física*, pp 250-268.
- Souza, D.C. e Oyama, M.D., 2017. Breeze Potential along the Brazilian Northern and Northeastern Coast *J. Aerosp. Technol. Manag.*, São José dos Campos,,7, 368-378, jul.-Sep.
- Souza, E. O.; Costa, M. S.; Oliveira Júnior, J. F.; et al., 2021. Estimativa e Espacialização da Erosividade em Mesorregiões Climáticas no Estado de Alagoas. *Revista Brasileira De Meteorologia*, 35, 769-783
- Tominaga, L.K.; Santoro, J.; Amaral, R., 2009. (Orgs). *Desastres naturais: conhecer para prevenir*. São Paulo: Instituto Geológico, 196 p.
- Zahiri, E. P., Bamba, I., Famien, A. M., Koffi, A. K., & Ochou, A. D., 2016. Mesoscale extreme rainfall events in West Africa: the cases of Niamey (Niger) and the Upper Ouémé Valley (Benin). *Weather and Climate Extremes*, 13, 15-34.