



ISSN:1984-2295

Revista Brasileira de Geografia Física

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



Dinâmica climática, eventos extremos e impactos associados no município do Jaboatão dos Guararapes, Pernambuco, Brasil

Maria Letícia Aragão¹, Cristiana Coutinho Duarte²

¹bolsista PIBIC/FACEPE. Graduada em Geografia pela UFPE, Av. Prof. Moraes Rego, 1235, Cidade Universitária, Recife – PE. CEP: 50670-901, E-mail: leticia.aragao@ufpe.br (autor correspondente).

² Prof.^a Adjunta do Departamento de Ciências Geográficas da UFPE, cristiana.durte@ufpe.br

Artigo recebido em 25/02/2022 e aceito em 10/01/2023

RESUMO

Diante do cenário de mudanças observáveis no clima é vital o monitoramento de áreas propensas a desastres hidrometeorológicos, assim como o município do Jaboatão dos Guararapes - PE, o qual sofre com os impactos decorrentes de eventos extremos. Portanto, o presente estudo objetivou analisar a dinâmica climática do município por meio da técnica dos Quantis, nas escalas anual, mensal e diária e pelo índice de anomalia de chuva (IAC), com ênfase na climatologia dos extremos, e seus impactos associados. Os resultados foram correlacionados com padrões de teleconexões de acoplamento oceano-atmosfera do Pacífico e Atlântico Tropical. A nível anual, verificou-se uma predominância dos anos secos entre 1990 e 2000 e chuvosos entre 2010 e 2020, especialmente 2011, 2013 e 2019. Em escala mensal, o período chuvoso se concentra nos meses de outono/inverno austral, quando há uma maior frequência de chuvas extremas (acima de 49,17mm/24h), principalmente no mês de junho, devido sobretudo a atuação dos Distúrbios Ondulatórios de Leste, que podem ser intensificados durante a atuação conjunta de um evento de La Niña, acompanhada por uma Oscilação Decadal do pacífico de sinal negativo, e da porção do Atlântico Sul próximo a costa Leste do Nordeste com anomalias positivas de temperatura, nestes casos há uma maior probabilidade de chuvas acima de 100mm/24h. Na análise detalhada do ano 2019, o acumulado de 134,8 mm/24h desencadeou desastres de diversas ordens resultando em danos severos à população, o que reitera a necessidade de um gerenciamento de risco visando uma cidade mais resiliente às mudanças climáticas.

Palavras chaves: Eventos extremos; Desastres Hidrometeorológicos; Climatologia.

Climatic Dynamic, Extreme Events and Associated Impacts in the Municipality of Jaboatão dos Guararapes, Pernambuco, Brazil

ABSTRACT

Given the scenario of observed climate changes, it is vital monitoring areas prone to hydrometeorological disasters, such as the municipality of Jaboatão dos Guararapes - PE, which suffers from the occurrence of extreme events. Therefore, this study aimed to analyze the Municipality climate dynamics based on the Quantile technique at the annual, monthly and daily scales and the Rainfall Anomaly Index (CAI), with emphasis on the climatology of extremes, and their associated impacts. The results were correlated with ocean-atmosphere coupling teleconnection patterns from the Pacific and Tropical Atlantic. At the annual level, there was a predominance of dry years between 1990 and 2000 and rainy years between 2010 and 2020, especially 2011, 2013 and 2019. On a monthly scale, the rainy season is concentrated in the austral autumn/winter months, when there is a higher frequency of extreme rainfall (above 49.17mm/24h), mainly in June, particularly due to the action of the Eastern Wave Disturbances, which can be intensified in combination with a La Niña event, accompanied by an Oscillation Pacific Decadal with negative sign, and the portion of the South Atlantic near the east coast of the Northeast with positive temperature anomalies, in these cases there is a greater probability of rains above 100mm/24h. In the detailed analysis of the year 2019, the accumulated 134.8 mm/24h triggered disasters of various orders resulting in severe damage to the population, which reaffirms the need for risk management aimed at a more resilient city to climate change.

Keywords: Extreme Events; Hydrometeorological Disasters; Climatology.

Introdução

As configurações espaciais nos centros urbanos têm evidenciado, especialmente nas últimas décadas, como as condições socioambientais atreladas aos padrões de

desenvolvimento tem potencializado os impactos causados por eventos de caráter meteorológico. Além disso, uma parcela considerável da população reside em ambientes desfavoráveis, do ponto de vista físico-natural, como encostas e terraços fluviais, fato este que favorece o

desencadeamento de efeitos adversos a episódios intensos de chuva, por exemplo.

Em se tratando de eventos extremos de ordem hidrometeorológica, o Nordeste Brasileiro (NEB), muito embora seja acometido por estiagens e problemas relacionados à indisponibilidade hídrica, tem preocupado os estudiosos quanto à frequência da ocorrência de desastres desta natureza. Verifica-se que os maiores acumulados, quando das chuvas extremas no NEB, ocorrem em regiões litorâneas, inclusive na maioria das capitais nordestinas (Correa, Lima e Coutinho 2019). A grande variabilidade climática nessa região, tanto sazonal como interanual, acarreta irregularidade na distribuição espaço-temporal da precipitação, e afeta profundamente as condições socioeconômicas locais (Moura et al., 2009).

Diante deste cenário, alguns estudos recentes buscaram compreender aspectos da complexidade dos sistemas atmosféricos atuantes sobre o regime pluviométrico no NEB, incluindo os episódios extremos, no intuito de levantar dados quantitativos e qualitativos a nível regional, tais como Molion e Bernardo (2002), Andreoli e Kayano (2007), Marengo (2009), Moura et al. (2009); Santos e Manzi (2011). Além destes, destacam-se os trabalhos desenvolvidos por Souza (1998), Farias, Alves e Nóbrega (2012) e Duarte, Nóbrega e Coutinho (2015), que utilizaram a técnica do Quantis baseados em Xavier, Silva e Rebello (2002) para análise dos extremos de chuva na costa Leste do Nordeste (ENE). Os impactos associados aos eventos intensos de chuva nas capitais litorâneas como Recife - PE, Fortaleza - CE, São Luís - MA, e Sergipe -AL foram ainda explorados por Nóbrega e Farias (2016), Wanderley et al. (2018), Santos, Cabral e Girão (2019), Garces Júnior (2020), Silva e Oliveira (2017) e Wanderley et al. (2021).

A partir das análises realizadas pelo Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC, sigla em inglês) observa-se uma considerável preocupação global acerca dos sistemas modeladores de chuvas e sua dinâmica, uma vez que foi verificada uma alta probabilidade no aumento de eventos de chuvas extremas, quanto a intensidade e frequência, em regiões úmidas tropicais (IPCC, 2021). Ademais, enfatiza-se a influência antrópica enquanto potencializadora de eventos extremos compostos desde a década de 50, dentre os quais estão incluídas as ondas de calor e secas a nível global, incêndios florestais em escala regional e inundações em algumas localidades (Allan, 2021).

Frente à conjuntura da dinâmica climática global e a vulnerabilidade dos municípios do leste nordestino a eventos de precipitação intensa, faz-se

imprescindível estudos que estejam alinhados à perspectiva do gerenciamento e redução do risco de desastres. Especialmente aqueles ligados a desastres geológicos (movimentos de massa em geral) e hidrológicos (inundação, enchentes e alagamentos). Visando, sobretudo, fortalecer as ações da defesa civil municipal em consonância com as prioridades de ação do Marco de Sendai para a Redução de Risco de Desastres (Valdés, 2012).

Nesse sentido, o presente estudo objetiva analisar a dinâmica climática do município por meio da técnica dos Quantis, nas escalas anual, mensal e diária e pelo índice de anomalia de chuva (IAC), com ênfase na climatologia dos extremos, e seus impactos associados. Os resultados foram correlacionados com padrões de teleconexões de acoplamento oceano-atmosfera do Pacífico e Atlântico Tropical. A razão da escolha do município se deve ao fato de apresentar suas características físicas propícias à ocorrência de episódios como inundações e deslizamentos (Nóbrega e Farias, 2016; França, Girão e Miranda, 2016), e por apresentar cerca de 29,2% de sua população total residindo em áreas de risco (IBGE, 2018).

Aspectos Climatológicos do Nordeste brasileiro

O NEB está situado no extremo nordeste da América do Sul, a leste da floresta Amazônica. Apesar de sua localização (limitado a oeste em 47°W e ao sul 18°S), este não possui distribuição de chuvas típicas das áreas equatoriais. Segundo Kayano e Andreoli (2009), esta região inclui pelo menos três tipos de clima cuja precipitação anual varia de 300 a 2000mm: Clima litorâneo úmido, clima tropical e clima tropical semiárido. Este fato se deve a diversos mecanismos físicos que interagem entre si, sendo responsáveis por esta variação espacial.

O Nordeste brasileiro se caracteriza por estar sob influência dos Anticiclones Subtropicais do Atlântico Sul (ASAS) e do Atlântico Norte (ASAN) e do cavado equatorial (Zona de Convergência Intertropical – ZCIT), cujas variações sazonais de intensidade e posicionamento determinam o clima na região (Kayano e Andreoli, 2009). Em se tratando da variabilidade interanual do clima no Brasil, do ponto de vista da precipitação, o fenômeno El Niño-Oscilação Sul (ENOS) é visto como importante agente intensificador de chuvas. Grimm (2009) o define como “uma oscilação acoplada do oceano-atmosfera, que produz alterações na temperatura da superfície do mar (TSM), na pressão, no vento e na convecção tropical”. Muito embora, conforme apontado por Grimm (2009),

estatisticamente, a qualidade de estação chuvosa no NEB associa-se mais ao gradiente anômalo de TSM no Atlântico Tropical Sul (ATS) do que ao ENOS, sendo aquele a principal influência sobre as anomalias de chuva na porção Leste do Nordeste.

Kayano e Andreoli (2009) reiteram que a interpretação mais aceita é que a variabilidade de TSM do Atlântico Tropical seja, de fato, determinante nas anomalias de precipitação do NEB, enquanto as variações de TSM nos setores tropicais do Pacífico Leste (ENOS) poderiam, reforçá-las ou enfraquecê-las. Segundo Moura et al. (2009), as Anomalias positivas de TSM no Atlântico Tropical sul produzem precipitação sobre o leste do NEB, enquanto anomalias positivas de TSM no Pacífico tendem a inibir a chuva nesta porção.

Nesse sentido, o Dipolo do Atlântico, como é conhecido o fenômeno oceano/atmosférico identificado como uma mudança anômala de TSM no Oceano Atlântico Tropical (Nóbrega e Santiago, 2014), atua como um dos fatores preponderantes para a caracterização da qualidade da estação chuvosa no NEB. O padrão do Dipolo no oceano Atlântico Tropical compreende uma fase positiva e outra negativa. Conforme Moura e Shukla (1981), a fase positiva (negativa) do Dipolo é o padrão de anomalias de TSM com sinal positivo (negativo) ao norte e negativo (positivo) ao sul do equador, sendo, de um modo geral, desfavorável (favorável) à produção de precipitação sobre o norte e leste do NEB. Por outro lado, Enfield et al. (1999) sugerem dois índices de temperatura da superfície do mar do Atlântico Norte e do Atlântico Sul, o TNA (Tropical Northern Atlantic Index) e o TSA (Tropical Southern Atlantic Index). O TNA é um indicador das TSM no Leste do Oceano Atlântico Norte Tropical, nas proximidades da América Central, ao passo que o TSA é um indicador das TSM do Oeste do Oceano Atlântico Sul Tropical, próximo a costa oeste africana. Os autores alertam que a variação de temperatura desses dois índices não indica uma bipolaridade, visto que o sinal positivo de um não coincide necessariamente com o sinal negativo do outro. Nnamchi et al. (2011) sugerem a existência de um modo de dipolo nas TSM sobre o Atlântico Sul (SAO, em inglês, South Atlantic Ocean) o SAOD (South Atlantic Ocean Dipole) indicando águas superficiais anômalas na porção Oeste do Atlântico Sul Tropical (nas proximidades da costa africana) e o Atlântico Sudoeste, próxima a Argentina e Uruguai, com maior significância no inverno austral. O SAOD apresenta um padrão bipolar uma vez que quando há um aquecimento (resfriamento) das águas da porção nordeste do Atlântico Sul (NEP) há um resfriamento (aquecimento) das águas da porção

noroeste do Atlântico Sul (NWP). Assim, configura-se um dipolo positivo quando as águas da NEP estão mais aquecidas.

Portanto, como destacado por Kayano e Andreoli (2009), muitos estudos evidenciam que o ENOS influencia as chuvas na porção centro-oeste mais do que as anomalias do Atlântico, e estas, por sua vez, é mais relevante para as chuvas do Leste do Nordeste.

Com base na revisão realizada por Molion (2005) é possível identificar três regimes básicos quanto à distribuição espacial das precipitações na região Nordeste (Norte, Sul e Leste). A faixa costeira do ENE (até 300 km do litoral) estende-se do Rio Grande do Norte ao sul da Bahia, também conhecida como Zona da Mata, apresenta clima quente e úmido com totais pluviométricos anuais variando de 600 a 3.000 mm (Molion e Bernardo, 2002). Segundo os autores, o período mais chuvoso vai de abril a julho, com o pico de chuvas em maio. Molion e Bernardo (2002) destacaram que, a partir da penetração de sistemas frontais do Hemisfério Sul (HS), uma zona de convergência se instala sobre a costa leste do NE (ZCEN) e constitui-se no mecanismo dinâmico mais importante para a produção de chuvas sobre o ENE.

Outra característica pluviométrica da região é sua modulação por Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOLs). Seus totais pluviométricos, segundo Nimer (1989), são distribuídos da periferia (litoral) para o interior, devido a tendência da orientação dos sistemas de correntes perturbadas (oeste-leste). Os Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOLs), conforme Machado et al. (2009), têm ação fundamental na modulação da convecção em grande parte dos eventos de escala mesossinótica provenientes do oceano para o NEB. Nimer (1989) aponta ainda, que ao longo do litoral oriental o máximo pluviométrico se dá no outono ou inverno devido à maior frequência de chuvas do sistema de correntes perturbadas de leste nesta estação. Esta modulação sistêmica concentra considerável volume de chuvas em poucos dias sazonalmente e, se associada a outro mecanismo meteorológico, como os VCANS, pode causar transtornos severos ao meio urbano.

Em estudo realizado por Wanderley et al. (2021) foram identificadas características a nível local, em superfície, e sinóticas regionais de mecanismos atmosféricos moduladores de precipitação pluvial na cidade do Recife, a partir de sua sazonalidade. Os autores identificaram um maior registro de eventos intensos no outono (79%), devido, principalmente, ao deslocamento dos cavados barométricos no campo dos ventos alísios, formados na circulação de leste do Anticiclone do Atlântico Sul (ASAS), ou seja, os

Distúrbios Ondulatórios de Leste. Outros sistemas produtores de tempo destacados pelos autores, atuantes no verão e outono, foram os VCANs e a ZCIT, respectivamente (Wanderley et al., 2021).

Em concordância às pesquisas supramencionadas, os estudos de Correa, Lima e Coutinho (2019) elucidam que os estados de Alagoas e Pernambuco estão localizados em uma região caracterizada pela convergência de umidade dos ventos alísios, Ondas de Leste e brisas associadas à topografia e à convergência de umidade. O que favorece o desenvolvimento de nuvens profundas sobre a faixa costeira, uma vez que estas estão associadas a grandes aglomerados convectivos, influenciadas por sistemas atmosféricos sazonais.

Contexto dos Eventos Extremos de Chuva

A dinâmica atmosférica segue um ritmo composto por eventos usuais e eventos extremos (anômalos ou excepcionais). Os primeiros são facilmente absorvidos pela sociedade, pois ocorrem com maior frequência e não se afastam das normais climatológicas (Gonçalves, 2013), ao passo que os segundos apresentam desvios de chuva superiores ou inferiores ao comportamento padrão (Sarewitz e Pielke Jr, 2000) seja numa escala anual, mensal ou diária. Eventos intensos ou extremos de precipitação têm efeitos importantes na sociedade. Cabe-nos ressaltar que, tanto os eventos extremos de tempo quanto de clima são também um aspecto integral da variabilidade climática (Marengo, 2009). No entanto, a depender da intensidade e frequência destes eventos aliadas aos aspectos sociais, o risco de deflagração de um efeito adverso é iminente.

No Brasil, os desastres que mais causam prejuízos estão relacionados aos eventos de ordem hidrometeorológica (Debortoli et al, 2016). A exemplo disso, temos o nordeste brasileiro que, muito embora seja relacionado estritamente à escassez hídrica, tem sua faixa costeira acometida, periodicamente, por impactos severos associados a eventos extremos de precipitação. Segundo Nóbrega e Farias (2016), os desastres naturais que acabam sendo os mais comuns no município do Jaboatão dos Guararapes, são os de natureza hidrológica e geológica (deslizamentos), com gênese atmosférica.

As inundações são provocadas, na maioria das vezes, por precipitações pluviométricas intensas e concentradas, mas, também, podem ter outras causas imediatas e/ou concorrentes (Brasil, 2003). Os alagamentos, por sua vez, estão associados, segundo a Codificação, classificação, definição e simbologia dos desastres - COBRADE, à “extrapolação da capacidade de escoamento de

sistemas de drenagem urbana e consequente acúmulo, em decorrência de precipitações intensas” (Brasil, 2012). Neste sentido, reitera-se que o extravasamento das águas depende muito mais de uma drenagem deficiente do que das precipitações locais” (Brasil, 2003).

Com o aumento já observado dos eventos intensos de precipitação e falta de planejamento, as áreas urbanas tornam-se sítios propensos a riscos desta natureza. Dois conceitos, em especial, estão estritamente interligados a este cenário: o da exposição e vulnerabilidade. O IPCC já compreendia que o grau de exposição depende da presença humana e das circunstâncias sócio-estruturais as quais estão inseridas no local predisposto aos efeitos adversos de tempo e clima. Por sua vez, a vulnerabilidade corresponde à propensão ou predisposição a sofrer com essas adversidades ou ser impactado por elas. Deste modo, o entendimento de risco baseia-se na noção de que ele é uma função da exposição de pessoas e bens a essa ameaça, e das condições de vulnerabilidade das populações e bens expostos (Valdés et al., 2012). A ameaça em si, seria o perigo ou a suscetibilidade (natural) de ocorrência de um fenômeno adverso (deflagrado por chuvas intensas, por exemplo).

Material e Métodos

Área de estudo

O município de Jaboatão dos Guararapes localiza-se na Região Metropolitana do Recife (RMR), mais precisamente na Latitude de 8° 6' 43" Sul e Longitude 35° 0' 55" Oeste, na faixa leste do Nordeste brasileiro (Figura 1). No contexto de sua climatologia, de acordo com a classificação de Köppen-Geiger, o município é caracterizado pela tipologia As' (Clima Tropical com chuvas no inverno). Desta feita, destaca-se primordialmente, os Distúrbios Ondulatórios de Leste, que em conjunto com a brisa marítima, modulam a maior parte do volume de chuva da estação chuvosa (Nóbrega e Farias, 2016; Wanderley et al, 2021), ou seja, entre os meses de maio e agosto. O período seco se caracteriza pela diminuição do volume pluviométrico mensal e vai do mês de setembro a novembro, enquanto de dezembro a abril os meses são caracterizados como uma transição entre períodos distintos.

Dados utilizados

Os dados pluviométricos utilizados foram obtidos remotamente por meio do banco de dados de monitoramento da plataforma da Apac - Agência Pernambucana de Águas e Clima. Para tanto, foram extraídos valores de chuva

precipitada, a nível anual, mensal e diária, da estação “Barragem Duas Unas”, no período correspondente aos anos de 1997 a 2020 (<http://www.sirh.srh.pe.gov.br/apac/meteorologia/>). A razão pela qual a série histórica utilizada

corresponde a apenas 24 anos é a falta de dados suficientes e de qualidade para uma análise desta natureza.

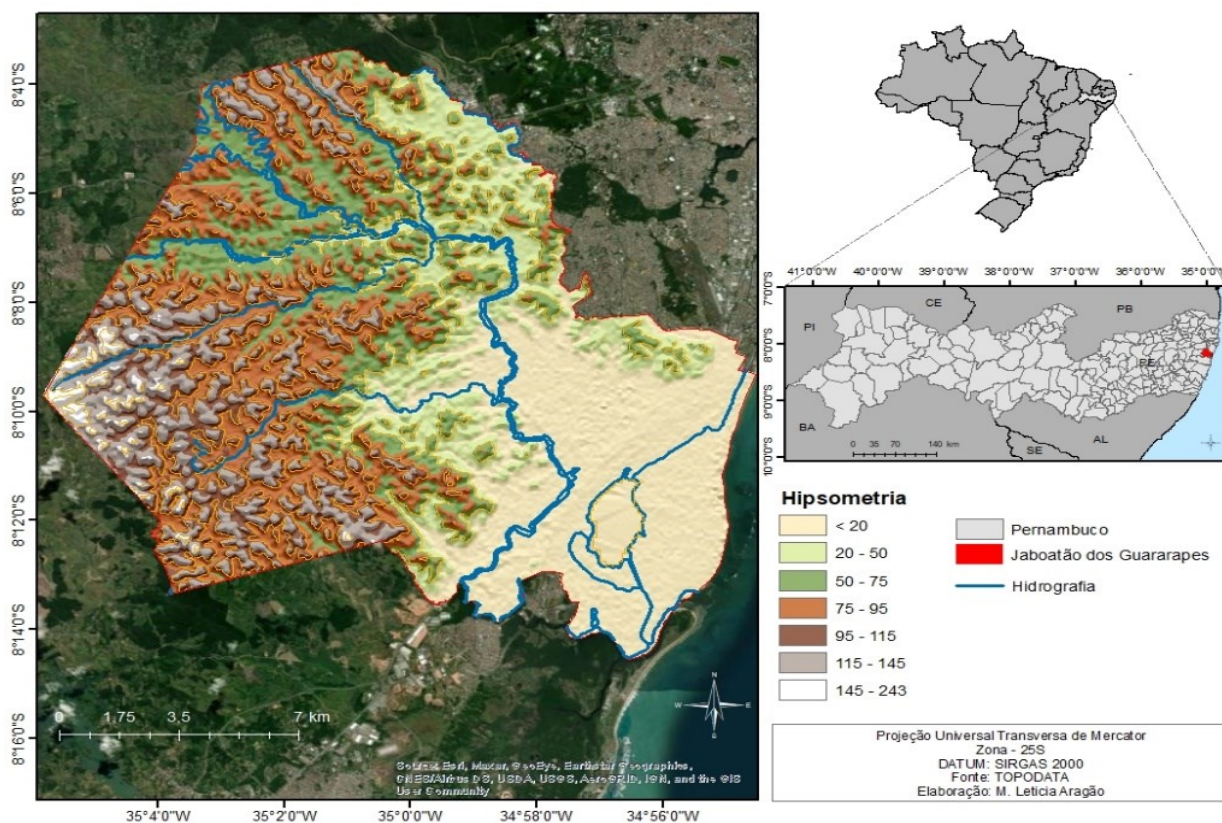


Figura 1. Mapa de Localização de Jaboatão

dos Guararapes – PE.

A nível diário e mensal, tendo em vista o ano de 2019, utilizou-se dados de seis estações automáticas do Cemaden - Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais - disponibilizadas em seu portal online. (<http://www.cemaden.gov.br/mapainterativo/#>), ver Tabela 1. Para a realização da análise sinótica do evento intenso identificado no ano de 2019 foram utilizadas imagens do satélite GOES-16 disponibilizadas gratuitamente pelo INPE (<http://satellite.cptec.inpe.br/acervo/goes16.formulario.logic>) e as cartas sinóticas da Marinha do Brasil (<https://www.marinha.mil.br/chm/dados-do-smm-cartas-sinoticas/cartas-sinoticas>).

As estações escolhidas para análise seguiram os seguintes critérios de escolha: localização espacial e integridade de valores da série. Ao fato que, sua heterogeneidade nos permite compreender o comportamento de atuação dos sistemas produtores de tempo para as áreas de maior ou menor concentração pluviométrica.

A fim de analisar os impactos para a sociedade decorrentes dos eventos de chuva,

utilizou-se informações concebidas pela Coordenadoria Municipal de Defesa Civil (COMDEC) e os arquivos digitais do Sistema Integrado de Informações de Desastres (S2ID) disponíveis online.

Metodologia

O caminho metodológico adotado no presente estudo consistiu em quatro etapas fundamentais: i) coleta e tratamento dos dados pluviométricos; ii) aplicação da técnica dos Quantis; iii) aplicação do Índice de Anomalia de Chuva (IAC) e correlação com as anomalias de temperatura da superfície do mar dos Oceanos Atlântico e Pacífico; e iv) análise dos impactos associados aos eventos extremos.

Para a análise climatológica dos eventos extremos de chuva aplicou-se a técnica dos Quantis para os dados anuais, mensais e diários, conforme trabalhado por Xavier, Silva e Rebello (2002) e aplicado em trabalhos recentes por Farias, Alves e Nóbrega (2012) e Duarte, Nóbrega e Coutinho (2015). A aplicação do Quantis para identificação dos extremos se deu a partir dos dados

pluviométricos já tratados e modelados no *software* Excel®. A escolha desta técnica se deve ao fato de sua eficiência, já verificada por trabalhos

anteriormente referenciados, na descrição de um fenômeno aleatório, neste caso, a chuva.

Tabela 1. Estações Pluviométricas utilizadas

Local	LAT	LONG	Nome	Fonte	Período
Jaboatão dos G.	-8,09	-34,970	Cavaleiro 2	Cemaden	Diário/Mensal
Jaboatão dos G.	-8,15	-34,914	Piedade	Cemaden	Diário/Mensal
Jaboatão dos G.	-8,11	-34,015	Centro	Cemaden	Diário/Mensal
Jaboatão dos G.	-8,08	-34,997	Curado II	Cemaden	Diário/Mensal
Jaboatão dos G.	-8,22	-34,932	Barra de Jangada	Cemaden	Diário/Mensal
Jaboatão dos G.	-8,19	-34,953	Prazeres	Cemaden	Diário/Mensal
Jaboatão dos G.	-8,09	-34,045	Barragem Duas Unas	APAC	Anual/Histórico

Os Quantis em definição, segundo Xavier, Silva e Rebello (2002), correspondem à equação cujo Q_p representa um limite do intervalo do quantil para uma determinada variável aleatória X , sendo p a probabilidade de ocorrência, tal que X seja menor que Q_p . Assim, a escolha do intervalo associado a um quantil deve satisfazer a seguinte relação:

$$\text{Prob}(X \leq Q_p) = p$$

A partir de sua aplicação, nos foi possível classificar os Quantis a nível anual, mensal e diário para a série analisada. Em destaque para os percentis 95%, ao considerá-los como eventos extremos de chuva e para os percentis 5%, enquanto eventos extremos de escassez hídrica. Para análise dos Quantis na escala diária foram considerados somente os dias com chuva acima de 5 mm/24h.

Para essa série, também se calculou o Índice de Anomalia de Chuva (IAC) a fim de correlacionar com os padrões de teleconexões dos Oceanos Atlântico e Pacífico representadas pelo TNA (Tropical Northern Atlantic Index), TSA (Tropical Southern Atlantic Index), baseados em Enfield et al. (1999) e Dipolo do Atlântico Sul (SAD, em inglês, Southern Atlantic Dipole) (Nnamchi et al., 2011) bem como as anomalias de temperatura da superfície do mar (ATSM) da região do NIÑO 3 e PDO (Pacífic Decadal Oscillation ou ODP – Oscilação Decadal do Pacífico). O IAC foi calculado *software* Excel® aplicando-se a seguinte equação:

$$IAC = 3 \times \left[\frac{(N - \bar{N})}{(\bar{M} - \bar{N})} \right] \text{Equação 1}$$

$$IAC = -3 \times \left[\frac{(N - \bar{N})}{(\bar{X} - \bar{N})} \right] \text{Equação 2}$$

Em que:

N é a precipitação anual (mm); $\bar{N}$ corresponde a precipitação média anual da série histórica (mm); M se refere a média das 10 maiores precipitações anuais da série (mm), e $\bar{X}$ compreende a média das 10 menores precipitações anuais da série (mm).

As anomalias positivas são indicadas por valores acima da média, ao passo que as negativas são indicadas por valores abaixo da média.

As séries mensais dos índices de teleconexões e anomalias de temperatura da superfície do mar foram obtidas com base na ferramenta gerada por Souza e Reboita (2021), que podem ser baixadas no site <https://meteorologia.unifei.edu.br/teleconexoes/> e pelo site do NOAA *Physical Sciences Laboratory* <https://psl.noaa.gov/data/climateindices/list/>.

Por fim, a análise dos impactos associados se deu por meio do entrecruzamento dos dados obtidos em relação ao contexto da área de estudo observada.

Resultados e discussão

Análise Anual

O presente estudo dedicou-se a compreender a distribuição pluviométrica do município de Jaboatão dos Guararapes entre os anos de 1997 a 2020, totalizando um período de 24 anos. Para análise climatológica desta série foi aplicada a técnica estatística dos Quantis para verificação da ordem quantílica do período e consequente classificação dos anos por intensidade de precipitação. No nível anual, foram utilizados os seguintes parâmetros: Extremamente seco (5%, para identificar os anos de estiagem hídrica extrema), Muito seco (15%), Seco (25%), Normal (65%), Chuvoso (85%), Muito Chuvoso (95%) e Extremamente Chuvoso (95%, para identificar os anos de precipitação extrema), conforme indica a

tabela 2. Assim, com base na ordem quantílica e nos dados de precipitação anual (mm) pode-se estabelecer a seguinte relação de probabilidade (Figura 2).

No período analisado foram constatados nove anos considerados “Normal”; dois anos “Seco”; dois anos “Muito seco”; cinco anos “Chuvoso” e dois anos “Muito chuvoso”. Para os anos extremos seco e chuvoso foram verificados dois anos de cada (Figura 2). Observa-se que o município possui um histórico de poucos anos secos, muito seco ou extremamente seco, os quais concentraram-se na década de 1990, principalmente, e 2000. De 2010 a 2020 concentraram-se os anos extremamente chuvosos (2011, 2013 e 2019) de toda a série histórica

Tabela 2. Ordem quantílica anual para a série (1997 - 2020)

CATEGORIAS	PROBABILIDADES
Extremamente seco	$X \leq 1165,36$
Muito seco	$1165,36 < X \leq 1193,89$
Seco	$1193,89 < X \leq 1296,65$
Normal	$1296,65 < X < 1913,70$
Chuvoso	$1913,70 \leq X < 2090,35$
Muito chuvoso	$2090,35 \leq X < 2396,36$
Extremamente chuvoso	$X \geq 2396,36$

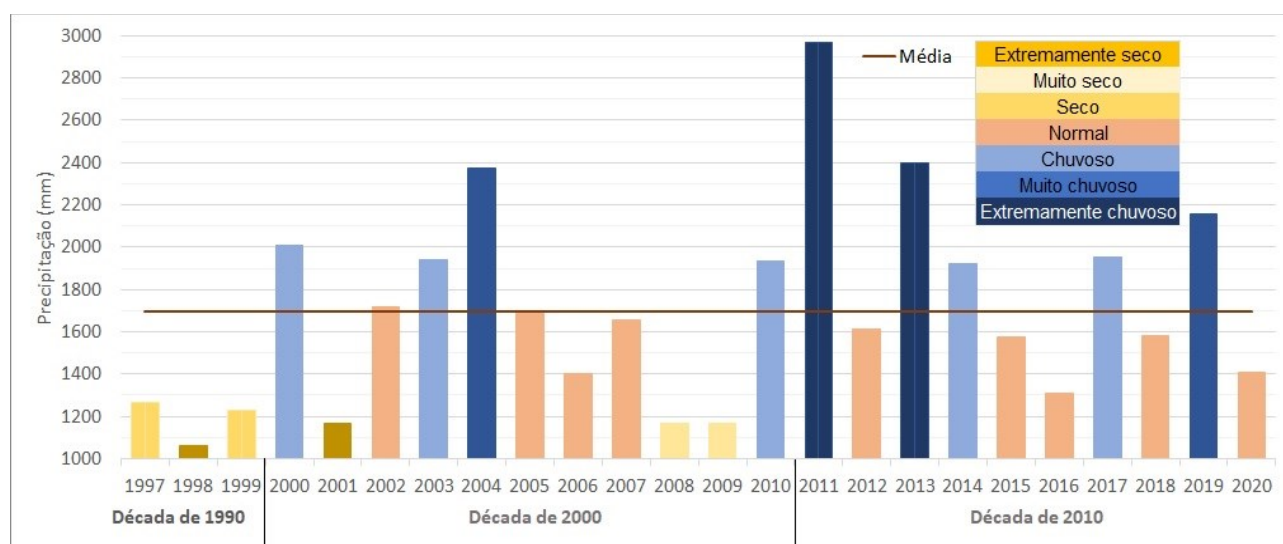


Figura 2. Série histórica de precipitação total anual classificada quanto aos intervalos quantílicos.

Para as escalas anual e mensal também foi calculado o Índice de Anomalia de Chuva (IAC). A partir desse índice pôde-se correlacionar com os padrões de teleconexões ligados a ATSM do Atlântico e Pacífico representadas pelo TNA (Tropical Northern Atlantic Index), TSA (Tropical Southern Atlantic Index), baseados em Enfield et al (1999) e Dipolo do Atlântico Sul (SAD, em inglês, Southern Atlantic Dipole) (Nnamchi et al., 2011) bem como da região do El Niño 3 (NIÑO3) e PDO (Pacific Decadal Oscillation). Em uma escala anual verificou-se uma fraca correlação negativa do TSA e positiva do TNA, isso indica que quando as temperaturas da porção leste do Atlântico Norte estão anormalmente mais aquecidas as chuvas aumentam no município do Jaboatão dos Guararapes, uma vez que impulsionam a ação dos alísios de sudeste para a costa leste do Nordeste, ao passo que quando as temperaturas na porção oeste do oceano Atlântico Sul, próximo a costa africana, estão mais aquecidas há uma diminuição das chuvas nesse município.

Esse padrão de sinais opostos leva a uma dinâmica na movimentação do Anticiclone Semifixo do Atlântico Sul (ASAS), com maior correlação no outono-inverno do hemisfério sul. Estes resultados corroboram com o encontrado para o Dipolo do Atlântico Sul (SAD). O SAD corresponde as anomalias de sinais opostos de temperatura da superfície do mar no Oceano Atlântico Sul (OAS) na porção sudoeste (PSW), na costa do Brasil e Uruguai e na porção nordeste PNE, a oeste da África. Configura-se um SAD positivo quando esta última está mais aquecida. Assim, na escala anual apresentou uma fraca correlação negativa e moderada no inverno.

Verificou-se uma forte correlação negativa com o NIÑO3, ou seja, quando se configura em um evento El Niño (temperaturas acima da média no Pacífico Equatorial) as chuvas estão abaixo da média no município, ao passo que em eventos de La Niña (temperaturas abaixo da média) as chuvas se intensificam no município, e uma forte correlação negativa com a ODP. Quando há uma

sobreposição das temperaturas da região do Niño 3 e da ODP de mesmo sinal, os eventos são intensificados, como ocorreram nos anos 2000 e 2013, em que os dois apresentaram sinais negativos, ou seja, uma configuração de La Niña e sinais negativos da ODP. Os eventos extremos, portanto, são intensificados quando há uma atuação de uma La Niña, uma ODP negativa e as temperaturas do oceano Atlântico Sul Tropical anormalmente positivas, como ocorreu no ano de 2000.

A exemplo disto, o ano de 2019, classificado como “Muito chuvoso”, foi acometido por um evento intenso de chuva durante cinco dias no mês de junho (13, 14, 16, 17 e 18), o qual se deu a partir da atuação de um Distúrbio Ondulatório de Leste, intensificado pelo SAD Positivo, ou seja, as águas do Oceano Atlântico na sua porção mais tropical estavam mais aquecidas. E um padrão na região do Niño 3 positivo, mas de baixa intensidade, considerado neutro. As chuvas concentradas apenas neste evento de 2019 foram responsáveis pelo acumulado de junho deste ano (458,8 mm) superar a média histórica do mês (308,6 mm), para o período analisado (1997-2020), em 32,7%. Desta feita, esse período de 2019 foi o escolhido, no presente artigo, para a análise detalhada do evento de chuva extrema e dos impactos associados.

Análise Mensal

Em escala mensal, aplicou-se a mesma ordem quantílica para identificação dos meses de maiores valores para os extremos seco (Q0,05) e chuvoso (Q0,95). Como é possível observar na figura 3, os meses mais secos são aqueles correspondentes às estações primavera - verão (SON - DJF), em destaque para o mês de novembro, e os mais chuvosos ao outono - inverno (MAM - JJA), especialmente o mês de junho. Dado este, que reitera a distribuição pluviométrica sazonal do município caracterizada por apresentar um inverno chuvoso devido, principalmente, à atuação de sistemas atmosféricos que interferem no regime de precipitação a partir da modulação por brisas marítimas, DOLs e sistemas convectivos produtores de chuva.

A partir da aplicação dos Quantis identificamos os valores máximos, associados ao Q0,95, de cada mês nos seguintes anos: janeiro 2004; fevereiro 2014; março 2002; abril 2018; maio 2011; junho 2010; julho 2011; agosto 2005; setembro 2000; outubro 2013; novembro 2002; dezembro 2013.

Os resultados da correlação entre as anomalias mensais de chuva em Jaboatão e as teleconexões podem ser resumidos, com base nos

sistemas atmosféricos produtores de tempo, da seguinte forma: i) Nos meses de verão (DJF) quando há a atuação mais ativa do VCAN, para que os eventos se tornem mais intensos há um aumento da temperatura da superfície do mar do Atlântico Subtropical próximo a costa brasileira e das TSM do Atlântico Norte em sua porção oeste, o que sugere uma maior atuação da borda do VCAN com maior nebulosidade sobre o Leste do NE. ii) Nos meses de outono (MAM), quando há uma maior atuação da ZCIT, os eventos de precipitação são intensificados quando as TSM do Atlântico Subtropical e o TSA estão mais aquecidas, mantendo a ZCIT mais ao Sul da sua posição climatológica, atingindo o Leste do NE. Podendo ser potencializado quando há uma atuação conjunta de um evento de La Niña e uma ODP também negativa. iii) Nos meses de maio, há uma transição da atuação de dois eventos: quando se configura na situação anterior, há uma maior atuação da ZCIT, no entanto, quando as TSM do Atlântico Norte estão anormalmente mais aquecidas e a TSM Atlântico Tropical a Oeste da costa africana, também com anomalias de temperatura positivas, há uma intensificação da atuação dos DOLs, potencializados pela TSM da região do Niño 3 e ODP negativas, ampliando a ação das FF sobre a costa do NE. Essa conjuntura também explica a ocorrência de invernos (JJA) mais chuvosos. Nos meses de primavera (SON), meses de transição, as TSM do Atlântico subtropical tendem a estarem mais aquecida, assim como o Atlântico Tropical Norte, intensificando a atuação dos ventos impulsionados pelo ASAS sobre a costa Leste do NE.

Análise Diária

Para a análise diária, foram considerados os Quantis dispostos na figura 4, para um limiar de 5mm/24h, sendo desconsiderado qualquer valor abaixo deste. Neste nível, observou-se a frequência de dias a partir da ordem quantílica categorizada por seu volume pluviométrico diário. Dentre os valores diários da série, apenas 7% destes apresentaram acumulado de 24h abaixo ou igual a 5mm. Para os dias cujo acumulado ultrapassou os 49,17 mm (Q0,95), obteve-se apenas 5% da série. Os dias mais frequentes foram aqueles que apresentaram volume de chuva acima de 11,7mm (Q0,5) até 49,17mm (Q0,95), totalizando 69% de toda a série.

Considerou-se como um dia extremamente chuvoso os montantes superiores a 49,17mm. Os maiores acumulados de precipitação em 24h de todo o período analisado (1997 - 2020) se concentram, em sua maioria, nos meses de maio, junho e julho. Neste trimestre (M-J-J), para os dias

correspondentes aos 5% acima do percentil Q0,95, pode-se verificar uma frequência de ocorrência de 9,88%, 33,33% e 8,64%, respectivamente. Totalizando cerca de 52% do total dos dias extremamente chuvosos, apenas nos referidos

meses, com destaque para o mês de junho. Os anos que apresentaram uma maior frequência de dias considerados extremamente chuvosos foram: 2005 (4), 2011 (8), 2017 (5) e 2019 (5).

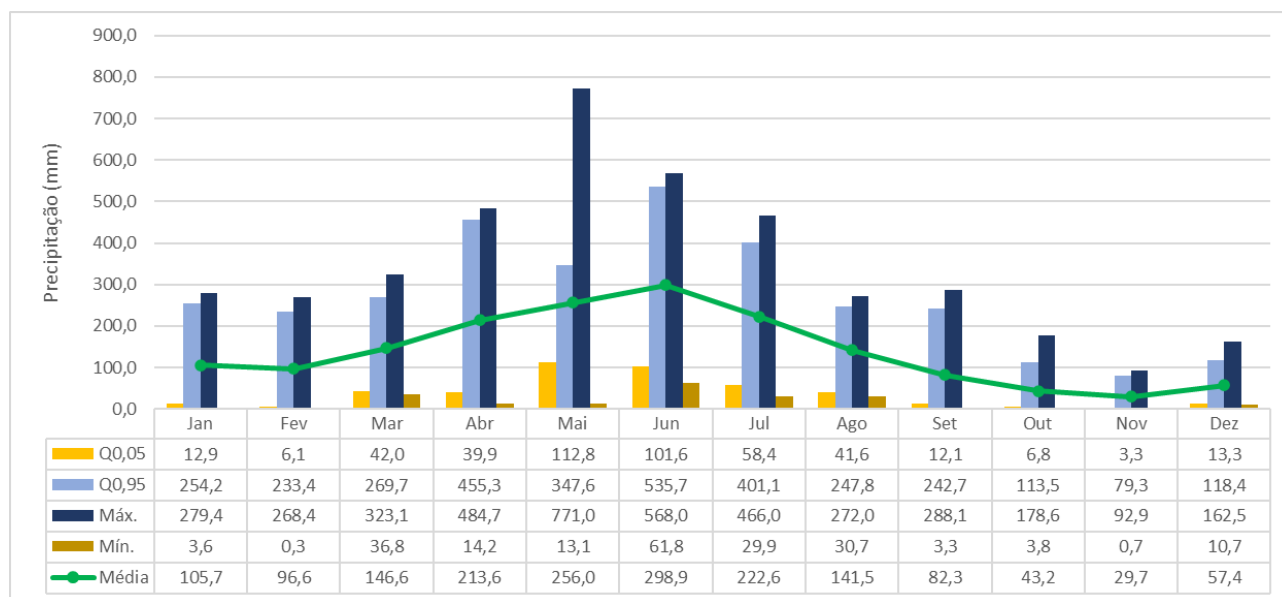


Figura 3. Distribuição dos Quantis mensais com a identificação dos meses de maiores valores para os extremos seco (Q0,05) e chuvoso (Q0,95) para a série histórica de 1997 a 2020.

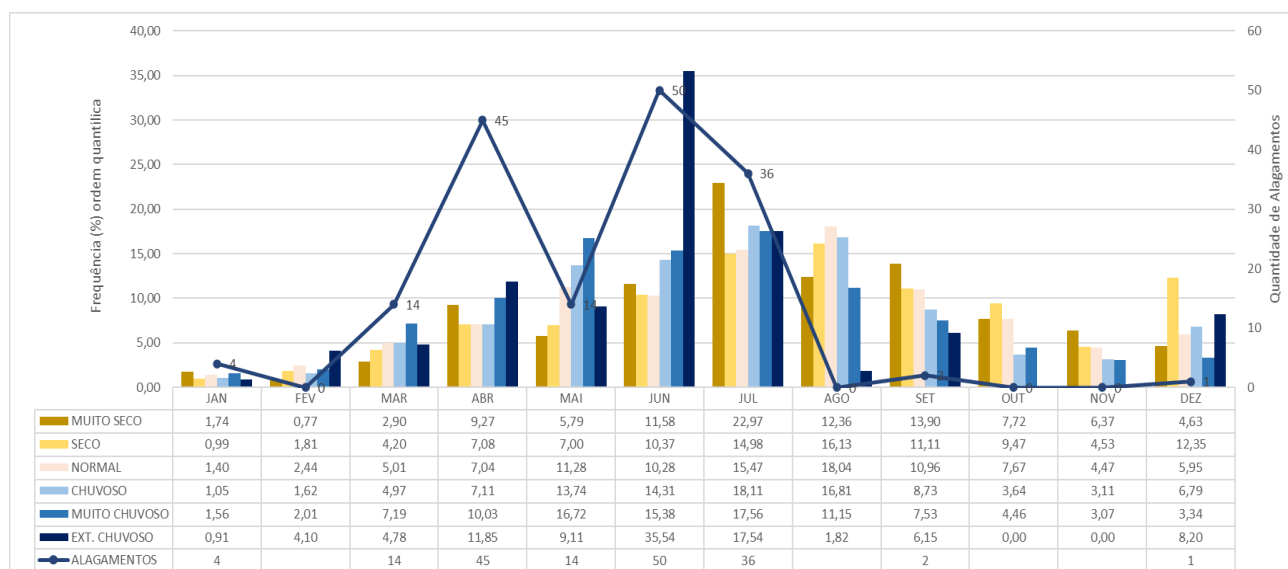


Figura 4 - Ordem quantílica diária para a série (1997 – 2020)..

Para um limiar de chuvas acima de 100mm/24h foram identificados sete eventos, sendo cinco deles ocorridos no mês de junho. Foram reconhecidos os limiares nos meses de maio de 2013 (133,8 mm); junho de 2000 (121,1 mm), 2002 (112,2 mm), 2010 (145 mm), 2015 (127 mm), 2019 (134,8 mm). O ano de 2019, acima mencionado, apresentou o segundo maior

acumulado diário da série chegando a 134,8 mm/24h, segundo dados da APAC. Este total foi responsável por danos severos nos centros urbanos do município causando impactos negativos tanto estruturais quanto danos humanos ligados aos desastres de natureza hidrometeorológica e geológica (deslizamentos).

Impactos associados aos eventos de chuva intensa e extremas

Os eventos de alagamento e inundação possuem uma identificação problemática, no que se refere a contabilização de pontos específicos atingidos, dada a sua vasta abrangência. Assim, de acordo com a planilha de notificações de ocorrências fornecida pela Defesa Civil do município (figura 5), durante o período de 2015 a 2020, foram notificadas 166 áreas afetadas por alagamentos, sendo o ano de 2018 o de maior registro de ocorrência. Deste quantitativo, 30% estão concentradas no mês de junho (50 ocorrências), 27% no mês de abril (45) e 22% no mês de julho (36), conforme a figura 5. Os meses que não aparecem na tabela, foram aqueles sem registros oficiais de ocorrência deste desastre. Fato este, que não exclui a possibilidade de ocorrência de alagamentos de menor proporção. Por esta razão faz-se necessário o contínuo monitoramento destas áreas durante os meses de maior frequência de chuvas extremas a fim de que impactos severos sejam evitados. Outro ponto a ser destacado é a subnotificação ou notificações erradas durante o período de ocorrência de desastres potencializados pela incidência de um evento extremo.

Na figura 7, observa-se a espacialização dos pontos de alagamentos, entre 2015 e 2020, e áreas de maior frequência de inundação segundo os bairros de Jaboatão dos Guararapes, complementado pela Figura 6. Verifica-se que, em sua maioria, as áreas mais atingidas são aquelas localizadas no centro urbano, próximo a faixa costeira na porção leste do município. A recorrência de registros nestas áreas, principalmente nos bairros de Candeias, Barra de Jangada e Piedade (Figura 6), retoma questões de caráter social e de planejamento urbano. Tendo em vista, sobretudo, a intensificação dos impactos desencadeados por eventos extremos de chuva em

razão aos fatores associados à infraestrutura urbana e aspectos socioambientais. Tais bairros possuem forte valor econômico, turístico e imobiliário, e estão cada vez mais suscetíveis à contínua ocupação de seus espaços e, consequente, aumento do aglomerado populacional. Destaca-se ainda, uma concentração de ocorrência em bairros, como a Muribeca (70), localizados próximos à corpos d'água sobre áreas identificadas como mais vulneráveis à inundação (Figuras 6 e 7).

Diante deste breve estudo, compreende-se que, bem como pontua Marengo (2009), é impossível atribuir eventos extremos isolados diretamente ou unicamente às mudanças climáticas antropogênicas por causa da natureza probabilística desses eventos. Deve-se, sobretudo, averiguar seu caráter temporal e observar a atuação destes eventos em interação com o ambiente modificado pelo homem. A identificação de extremos de chuva a partir da análise de distribuição pluviométrica é crucial para compreender estes fenômenos a nível local, numa perspectiva de redução do risco de desastre.

Estudo de caso: evento de chuva extrema em junho de 2019

O ano de 2019 (muito chuvoso) foi escolhido como aporte referencial para a realização de uma análise pormenorizada e sinótica do evento intenso identificado em junho deste mesmo ano.

Tendo sido, neste ano, os meses de maio-junho-julho os de maior concentração de chuvas, ou seja, o trimestre chuvoso para a região (out-inv). Somente neste período, a concentração de chuvas superou a média para todo o ano de 2019. Com destaque para o mês de junho que apresentou valor máximo superior à soma dos máximos deste mesmo trimestre (Figura 8).

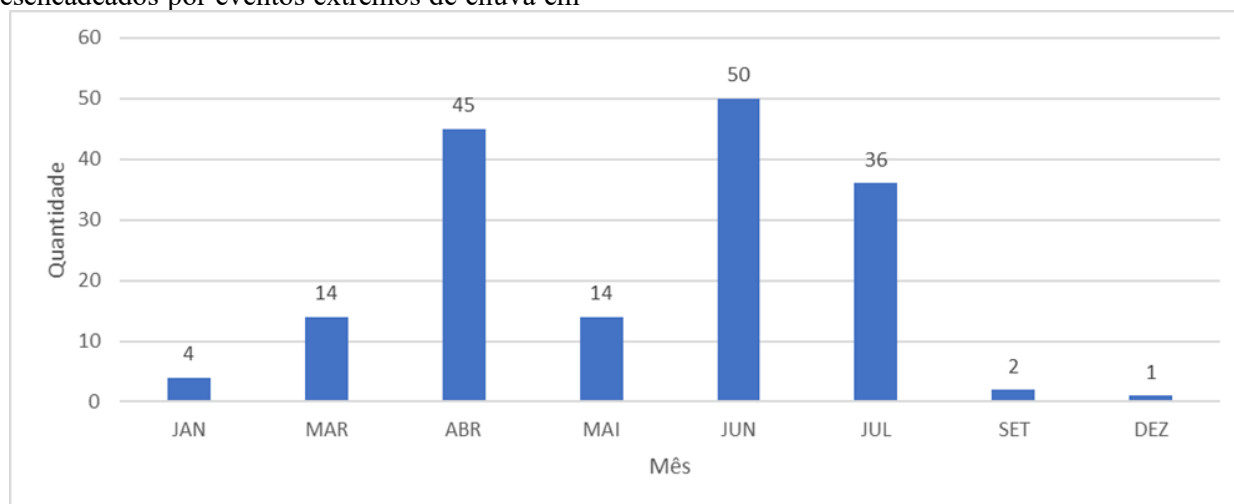


Figura 5. Frequência mensal de ocorrências de alagamentos/inundações no município do Jaboatão dos

Guararapes de 2015 a 2020. Fonte: Elaborado pelas autoras a partir dos dados da Defesa Civil do município do Jaboatão dos Guararapes.

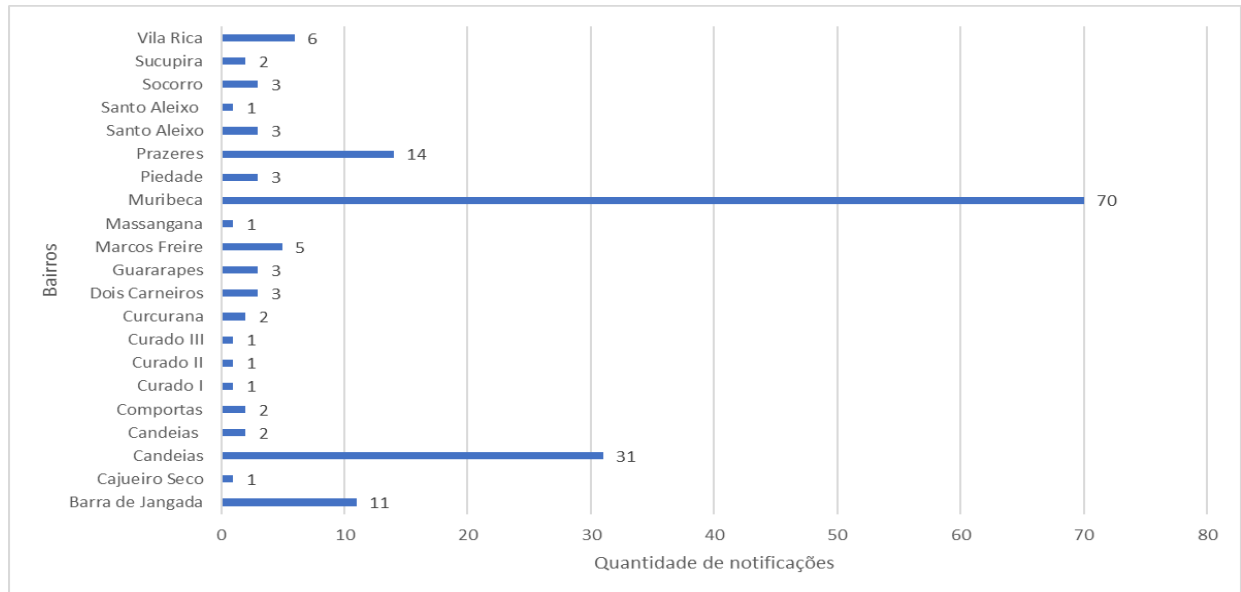


Figura 6. Quantidades de notificações de inundações/alagamentos por bairros do município do Jaboatão dos Guararapes de 2015 a 2020. Fonte: Elaborado pelas autoras a partir dos dados da Defesa Civil do município do Jaboatão dos Guararapes.

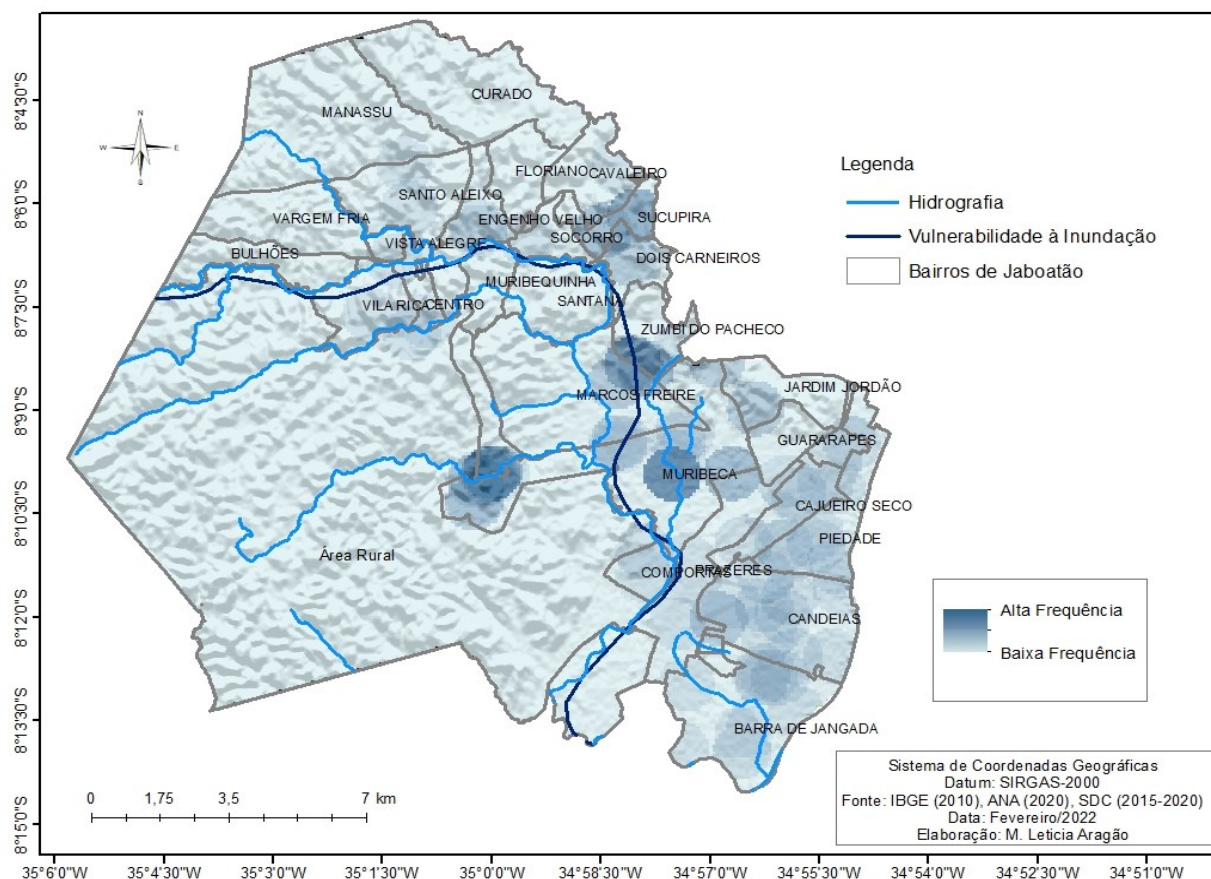


Figura 7. Distribuição espacial das notificações de inundações e alamentos no município do Jaboatão dos Guararapes de 2015 a 2020. Fonte: Elaborado pelas autoras a partir dos dados da Defesa Civil do município do Jaboatão dos Guararapes

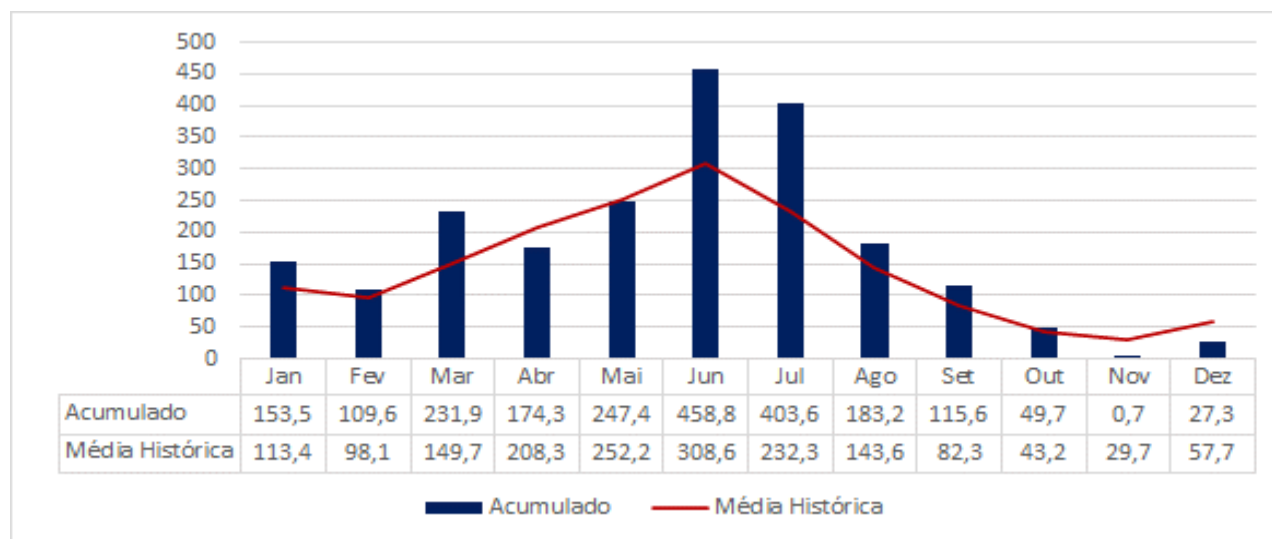


Figura 8. Distribuição da precipitação pluviométrica mensal para o ano de 2019 comparado à média histórica da série de 1997 a 2020. Fonte: Elaborado pelas autoras com base nos dados do pluviômetro da APAC.

Se considerarmos a variação sazonal de chuvas para este ano, os meses correspondentes ao período chuvoso se mantiveram equivalentes ao da série histórica. Além disso, nos cabe evidenciar a sua distribuição espacial no município do Jaboatão conforme ilustrado na figura 9. Percebe-se uma maior concentração das chuvas no verão e outono

na porção Norte deste, influenciada pela atuação da ZCIT, e uma maior concentração das chuvas na porção leste no inverno e primavera dada a atuação do escoamento de leste impulsionado pelo ASAS.

A fim de identificar os dias de maiores volumes de chuva, utilizamos os dados tanto da Apac quanto das estações do Cemaden para

estabelecer uma análise comparativa. Muito embora haja variações nos totais precipitados, o que pode ter influências do ambiente externo, nos é possível validar que as chuvas neste mês

estiveram concentradas em poucos dias. Com relação às estações do Cemaden temos os dias 13,14,16,17,18 (Figura 10).

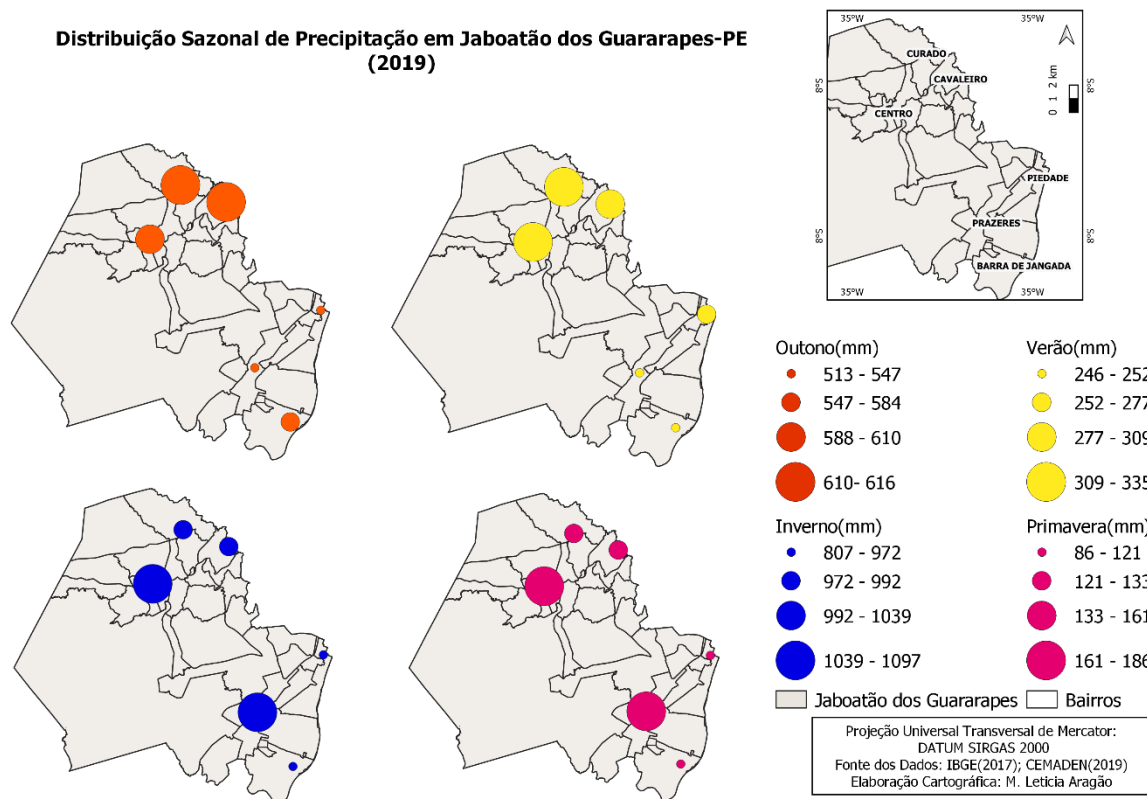


Figura 9. Distribuição espacial dos acumulados sazonais do ano de 2019 no município do Jaboatão dos Guararapes. Fonte: (Silva e Duarte, 2021).

A análise diária dos dados foi realizada a partir de cada uma das estações do Cemaden com base nos dias de maior total precipitado. Os dias analisados isoladamente foram 13, 14, 16 e 17. Tomando como base a estação “Centro”, localizada na porção noroeste do município, as chuvas tiveram atuação de alta intensidade em picos durante todo o dia, com total pluviométrico de 146,22mm. Ao longo do dia 14, as chuvas permaneceram com alta frequência, porém de baixa intensidade. Nos dias 16 e 17, no entanto, a frequência se manteve moderada ao longo de todos os dias, bem como sua intensidade. Esta frequência, quase que contínua, foi acompanhada por um período de alta nebulosidade em toda região metropolitana do Recife, a qual o município de Jaboatão está inserido.

O evento de chuva extrema que acometeu o Município esteve atrelado a condições atmosféricas características. Os elevados índices concentrados no período, tiveram forte influência da atuação do escoamento de leste e sudeste,

associado a um cavado em superfície, intensificado pelas condições de TSM da região do Niño 3 sob efeito de El Niño fraco e as anomalias de TSM do Atlântico Sul Tropical e Subtropical de sinal positivo, ampliando a capacidade evaporativa dos oceanos e o desenvolvimento vertical sobre a costa leste do Nordeste, levando a formação de um sistema convectivo causador das fortes chuvas sobre a região.

Durante este período, a defesa civil do Jaboatão dos Guararapes notificou casos graves de alagamentos e inundações, além de desastres em decorrência dos movimentos de massa. Vale destacar que as chuvas foram mais intensas no dia 14, provocando inundações e alagamentos. Entretanto, os deslizamentos foram mais significativos nos dias 17 e 18, haja vista a incidência de chuvas antecedentes sobre o solo para uma maior saturação deste e deflagrar um deslizamento. Nestes dias as autoridades locais, em declaração no diário oficial do município, solicitaram ajuda a todos os servidores públicos

decretando Situação de Emergência na região. Os meses de junho e julho deste ano apresentaram um

maior número de localidades afetadas por alagamentos.

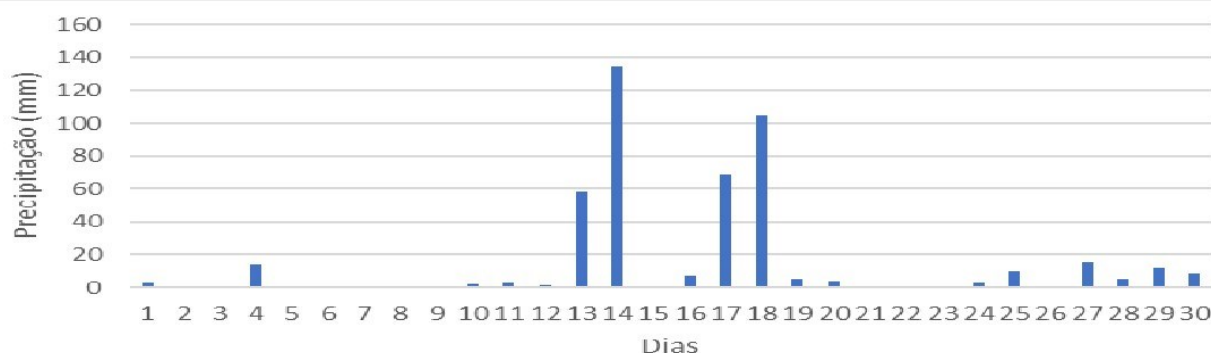


Figura 10. Distribuição diária das chuvas para o mês de junho de 2019. Fonte: Elaborado pelas autoras a partir dos dados da estação de (CEMADEN).

Desta feita, sugere-se, portanto, um estudo continuado sobre a dinâmica destes eventos para que, a partir de análise qualitativa e estatística, seja possível subsidiar agentes tomadores de decisão em medidas adaptativas para enfrentamento deste risco, tendo em vista, sobretudo, o aumento da resiliência no município.

No cenário de Jaboatão dos Guararapes, algumas intervenções adaptativas, com base no Guia de Ação Local pelo Clima (ICLEI, 2016), podem ser levadas em conta, como: “melhorias na infraestrutura do transporte público e energia e na qualidade das construções, com um foco especial nas comunidades mais vulneráveis, além do planejamento para as épocas propícias a chuvas intensas”. Por conseguinte, compreende-se, que a resiliência e redução de riscos de desastres devem fazer parte do desenho urbano e das estratégias para alcançar o desenvolvimento sustentável (Valdés et al., 2012).

Conclusões

O presente estudo teve como objetivo analisar a dinâmica climática do município de Jaboatão dos Guararapes, pertencente à Região Metropolitana do Recife, por meio da aplicação da técnica dos Quantis entre os anos de 1997 a 2020, totalizando 24 anos, considerando as escalas anual, mensal e diária. Também procurou-se correlacionar as anomalias de chuva às anomalias de TSM dos Oceanos Atlântico e Pacífico representadas pelo TNA (Tropical Northern Atlantic Index), TSA (Tropical Southern Atlantic Index) e Dipolo do Atlântico Sul (SAD, em inglês, Southern Atlantic Dipole), bem como da região do El Niño 3 (NIÑO3) e PDO (Pacífico Decadal Oscillation).

Na escala anual foi observado que o município apresenta um histórico de poucos anos secos, muito secos ou extremamente secos, concentrados nas décadas de 1990 e 2000, com destaque para os anos 1997, 1998, 1999 e 2001, ao passo que os anos chuvosos a extremamente chuvosos foram mais frequentes de 2010 a 2020, com destaque para os anos 2011, 2013 e 2019.

Para essa escala verificou-se uma fraca correlação negativa do TSA e positiva do TNA, indicando que as temperaturas da porção leste do Atlântico Norte estão anormalmente mais aquecidas, desta forma as chuvas aumentam no município do Jaboatão dos Guararapes, uma vez que impulsionam a ação dos alísios de sudeste para a costa Leste do Nordeste, ao passo que quando as temperaturas na porção leste do oceano Atlântico Sul, próximo à costa africana, estão mais aquecidas há uma diminuição das chuvas nesse município. Estes resultados corroboram com o encontrado para o Dipolo do Atlântico Sul (SAD), ou seja, o SAD apresentou uma moderada correlação negativa com as chuvas no município do Jaboatão, visto que as temperaturas na porção Nordeste (NEP) do Atlântico Sul estão com sinais positivos de temperatura e a porção sudoeste (SWP) do Atlântico com sinal negativo, configura-se em um padrão positivo do SAD, neste caso há uma tendência a diminuição das chuvas no município em análise. Esse padrão de sinais opostos leva a uma dinâmica na movimentação do Anticiclone Semifixo do Atlântico Sul (ASAS), com maior correlação no outono-inverno do hemisfério sul. Também se verificou uma forte correlação negativa

com o NIÑO3, ou seja, quando esta região passa por um período de anomalias positivas de temperatura, as chuvas em Jaboatão apresentam anomalias negativas. Quando há uma sobreposição das temperaturas da região do Niño 3 e da PDO de mesmo sinal, os eventos são intensificados.

A climatologia do município indica uma concentração do período chuvoso no município do Jaboatão dos Guararapes nos meses de outono-inverno, fato este que justifica uma maior correlação das supracitadas teleconexões no período de outono-inverno, principalmente pela intensificação ou inibição da atuação dos Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOLs), característico para o período, bem como uma maior frequência de ocorrência dos eventos extremos nos meses de maio, junho e julho, principalmente nos meses de junho, refletindo um maior número de ocorrências de inundações/alagamentos neste período.

A distribuição espacial das chuvas considerando os acumulados sazonais, corroboraram com a atuação sazonal dos principais sistemas atmosféricos sobre o município do Jaboatão dos Guararapes. Nos meses de verão e outono, há uma maior concentração das chuvas na porção Norte do município provocadas, respectivamente, pela atuação do VCAN e da ZCIT, ao passo que nos meses de inverno e primavera as chuvas são mais significativas na porção leste provocadas pelo escoamento de leste do ASAS e, conseqüentemente, a concentração dos DOLs, no inverno.

O ano de 2019 apresentou a segunda maior chuva acumulada em 24h para a série histórica (134,8 mm/24h). As chuvas concentradas nos dias 13 a 18 de junho, levaram o município a decretar Situação de Emergência, com diversas ocorrências de alagamentos e deslizamentos, atingindo os bairros constantemente afetados pela ocorrência de eventos intensos e extremos de chuva, com destaque para os bairros da Muribeca, Candeias, Prazeres e Barra de Jangada. O primeiro apresenta uma população de menor poder aquisitivo e maiores problemas estruturais, diferente dos demais bairros, mas que por características físicas e falta de obras eficientes de microdrenagem também ocasionam transtornos à população.

Portanto, os eventos intensos de chuva não são fenômenos isolados sem previsibilidade,

quanto ao período de sua maior sucessão. Estes, estão estritamente relacionados a sistemas atmosféricos e oceânicos que atuam associados a fenômenos meteorológicos, principalmente, de caráter interanual ou de variação sazonal. Ademais, os problemas de infraestrutura e a não implementação das políticas públicas ampliam os impactos provocados pelos desastres principalmente a população mais vulnerável.

Agradecimentos

As autoras agradecem ao Grupo de Estudos em Climatologia Tropical e Eventos Extremos (TROPOCLIMA) do Departamento de Ciências Geográficas da UFPE e à FACEPE pela concessão de bolsa de Iniciação Científica à primeira autora.

Referências

- Allan, R. P., Hawkins, E., Bellouin, N., & Collins, B., 2021. 2021. Summary for Policymakers. In: Masson-Delmotte V., P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan et al. Intergovernmental Panel on Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge.
- Andreoli, R. V., Kayano, M. T., 2007. A importância relativa do Atlântico Tropical Sul e Pacífico Leste na variabilidade de precipitação do Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Meteorologia*, [online] 22(1), 63-74. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0102-77862007000100007>. Acesso em: 12 nov. 2020.
- BRASIL. Ministério da Integração Nacional, 2012. COBRADE: codificação, classificação, definição e simbologia dos desastres. Brasília. Disponível em: <http://www.defesacivil.rj.gov.br/images/formulários/COBRADE.pdf>. Acesso em: 12 nov. 2020.
- BRASIL. Ministério da Integração Nacional, 2003. Manual de desastres. Brasília. Disponível em: https://www.campinas.sp.gov.br/governo/secretaria-de-governo/defesa-civil/desastres_naturais_voll.pdf Acesso em: 20 nov. 2020.
- Correa, M. D. J., Lima, K. C., Coutinho, M. D. L., 2019. Contribuição dos fluxos de umidade em evento de precipitação intensa ocorrido no leste do Nordeste do Brasil em maio de 2017: Um estudo de caso. *Revista Brasileira de Geografia Física*. [online] Disponível em:

- <https://doi.org/10.26848/rbgf.v12.5.p1703-1712>. Acesso em: 4 ago. 2021.
- Debortoli, N. S., Camarinha, P. I. M. et.al., 2016. Índice de vulnerabilidade aos desastres naturais no Brasil, no contexto de mudanças climáticas. Cap. 7. In: BRASIL, 2016. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Modelagem climática e vulnerabilidades Setoriais à mudança do clima no Brasil. [online] Brasília. Disponível em: <http://educaclima.mma.gov.br/wp-content/uploads/2020/03/Modelagem-clim%C3%A1tica-e-vulnerabilidade-mudan%C3%A7a-do-clima-Brasil-2016.pdf> . Acesso em: 30 mar. 2021.
- Duarte, C. C., Nóbrega, R. S., Coutinho, R. Q., 2015. Análise climatológica e dos eventos extremos de chuva no município do Ipojuca, Pernambuco. Revista de Geografia (UFPE), [online] 32(2). Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/revistageografia/article/viewFile/229222/23602> Acesso em: 10 nov. 2020.
- Enfield, D. B., Mestas-Núñez, A. M., Mayer, D. A., Cid-Serrano, L., 1999. How ubiquitous is the dipole relationship in tropical Atlantic sea surface temperatures?. Journal of Geophysical Research: Oceans, [online] 104(C4), 7841-7848. Disponível em: <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1029/1998JC900109> Acesso em: 10 nov. 2021.
- Farias, R. F. L., Alves, K. M. A. S., Nóbrega, R. S., 2012. Climatologia de ocorrência de eventos extremos de precipitação na mesorregião do Sertão Pernambucano. Revista Geonorte, [online] 3(8), 930-941. Disponível em: <https://www.periodicos.ufam.edu.br/index.php/revista-geonorte/article/view/2444> Acesso em: 30 de mar. 2021.
- França, R. S., Girão, O., Miranda, M. R. B., Rafael, L.M., 2016. Identificação de áreas inundáveis no município de Jaboatão dos Guararapes–Região Metropolitana do Recife/PE. OKARA: Geografia em debate, [online] 3-22. Disponível em: <https://periodicos.ufpb.br/ojs2/index.php/okara/article/view/27487> Acesso em: 5 set. 2021.
- Garces Junior, A. R., Brasileiro, F. M. G., Barbosa, L. N., Zanella, M. E., 2020. Análise comparativa dos eventos pluviométricos intensos em Fortaleza/CE e São Luís/MA no período de 1987 a 2017. Revista GeoUECE, [online] 9(17), 70-86. Disponível em: <https://revistas.uece.br/index.php/GeoUECE/article/view/2011> Acesso em: 5 set. 2021.
- Disponível em: <https://revistas.uece.br/index.php/GeoUECE/article/view/2011> Acesso em: 5 set. 2021.
- Gonçalves, N. M. S., 2013. Impactos pluviais e desorganização do espaço urbano em Salvador. In: Mendonça, F. & Monteiro, C. A. F. (Org.), 2013. Clima urbano. 2. ed. Editora Contexto: São Paulo.
- Grimm, A. M., 2009. Variabilidade Interanual do Clima no Brasil. In: Cavalcanti, I. F. A. et al., 2009. Tempo e Clima no Brasil. Oficina de Textos: São Paulo.
- ICLEI. Governos Locais pela Sustentabilidade, 2016. Programa Cidades Sustentáveis: Guia de Ação Local pelo Clima. Agência Brasileira do ISBN: São Paulo.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2018. População em Áreas de Risco no Brasil. Rio de Janeiro. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/apps/populacaoareasd-risco/> Acesso em: 23 abril 2020.
- IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change, 2021. Summary for Policymakers. In: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M. I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T. K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press. In Press.
- Kayano, M. T., Andreoli, Rita V., 2009. Clima da Região Nordeste do Brasil. In: Cavalcanti, I. F. A. et al., 2009. Tempo e Clima no Brasil. Oficina de Textos: São Paulo.
- Machado, L. A. T. et al., 2009. Distúrbios Ondulatórios de Leste. In: Cavalcanti, I. F. A. et al., 2009. Tempo e Clima no Brasil. Oficina de Textos: São Paulo.
- Marengo, J. A., 2009. Impactos de extremos relacionados com o tempo e o clima–Impactos sociais e econômicos. Boletim do Grupo de Pesquisa em Mudanças Climáticas–GPMC, Edição Especial. [online]. Disponível em: http://mudancasclimaticas.cptec.inpe.br/~rmcli ma/pdfs/newsletters/Boletim_No8_Port.pdf. Acesso em: 5 set. 2021
- Molion, L. C. B., Bernardo, S. D. O., 2002. Uma revisão da dinâmica das chuvas no nordeste brasileiro. Revista Brasileira de Meteorologia, 17(1), [online] 1-10. Disponível em: <https://pt.scribd.com/document/327219140/Um-a-revisao-da-dinamica-das-chuvas-no-Nordeste-brasileiro-pdf>. Acesso em: 5 set. 2021

- Molion, L. C. B., 2005. Aquecimento global, El Niños, manchas solares, vulcões e Oscilação Decadal do Pacífico. *Revista Climanalise*, [online] 3(1), 1-5. Disponível em: <http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/revista/pdf/molion0805.pdf>. Acesso em: 7 set. 2021.
- Moura, G. B. D. A., de Aragão, J. O., de Melo, J. S., da Silva, A. P., Giongo, P. R., Lacerda, F. F., 2009. Relação entre a precipitação do leste do Nordeste do Brasil e a temperatura dos oceanos. *Revista brasileira de Engenharia Agrícola e ambiental*, [online] 13, 462-469. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/pKpqTzbm8NrzpcfxdHywsNH/?lang=pt> Acesso em: 6 nov. 2021.
- Moura, A. D., Shukla, J., 1981. On the dynamics of droughts in northeast Brazil: Observations, theory and numerical experiments with a general circulation model. *Journal of the atmospheric sciences*, [online] 38(12), 2653-2675. Disponível em: https://journals.ametsoc.org/view/journals/atsc/38/12/1520-0469_1981_038_2653_otdodi_2_0_co_2.xml Acesso em: 6 nov. 2021.
- Nimer, E., 1989. *Climatologia do Brasil*. 2ed. IBGE: Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, Rio de Janeiro.
- Nóbrega, R. S., Farias, R. F. L., 2016. Eventos extremos pluviais em Jaboatão dos Guararapes: climatologia e estudo de caso. *Revista do Departamento de Geografia*, [online] 70-82. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/119635>. Acesso em: 7 nov. 2021.
- Nóbrega, R. S., Santiago, G. A. C. F., 2014. Tendência de temperatura na superfície do mar nos oceanos Atlântico e Pacífico e variabilidade de precipitação em Pernambuco. *Revista Mercator*. Fortaleza, 13, [online], 107-118. Disponível em: <https://badge.dimensions.ai/details/id/pub.1021036629>. Acesso em: 5 set. 2021.
- Nnamchi, H. C., Li, J., Anyadike, R. N., 2011. Does a dipole mode really exist in the South Atlantic Ocean?. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, [online], 116(D15). Disponível em: <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1029/2010JD015579>. Acesso em: 5 set. 2021.
- Santos, C. A. C. D., Manzi, A. O., 2011. Eventos extremos de precipitação no estado do Ceará e suas relações com a temperatura dos Oceanos Tropicais. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 26, [online] 157-165. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbmet/a/Cncqx6VcMcMhfjXwbFRwtWk/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 6 set. 2021.
- Santos, L. D. J., Gonçalves, R. B., Cabral, C. J., Girão, O., 2019. Vulnerabilidades a eventos pluviais de alta magnitude da cidade do Recife—Pernambuco/Brasil. *Revista de Geografia-PPGEO-UFJF*, 9(2), [online], 160-185. Disponível em: <https://doi.org/10.34019/2236-837X.2019.v9.18079>. Acesso em: 7 set. 2021.
- Sarewitz, D., Pielke JR., R., 2000. Extreme Events: developing a research agenda for the 21st Century: unpublished workshop report. [online]. Disponível em: <http://www.esig.ucar.edu/extremes/>. Acesso em: 6 fev. 2021.
- Silva, C. B., Oliveira, L. F. C., 2017. Relação intensidade-duração-frequência de chuvas extremas na região nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Climatologia*, [online] 20. Disponível em: <https://doi.org/10.5380/abclima.v20i0.49286>. Acesso em: 6 ago. 2021.
- Silva, M. L. A., Duarte, C. C., 2021. Análise da influência das Anomalias de Temperatura da Superfície do mar (ATSM) sobre o evento extremo de junho de 2019 no município do Jaboatão dos Guararapes, Pernambuco. In: *Anais*. 2021. XIV Congresso Brasileiro de Climatologia Geográfica. [online] Disponível em: https://www.xivsbcg.com/_files/ugd/9ff9b8_05290f37fcfb41e5abc21a1ae8aa8d40.pdf. Acesso em: 22 ago. 2022.
- Souza, I. A. de. et al., 1998. Variabilidade climática na bacia hidrográfica do rio Una-PE/Brasil e os seus efeitos na agricultura. *Anais: Congresso Brasileiro de Meteorologia*, 1998. In: *Atlas Brasileiro de Desastres Naturais 1991 a 2012*, 2013. Volume Pernambuco. CEPED UFRSC: Florianópolis. Disponível em: <https://sosgisbr.files.wordpress.com/2018/02/brasil.pdf>. Acesso em: 6 set. 2021.
- Souza, C. A., Reboita, M. S., 2021. Ferramenta para o Monitoramento dos Padrões de Telecomunicação na América do Sul. v. 17. [online]. Terrae Didática: Campinas, SP. Disponível em: <https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/td/article/view/8663474>. Acesso em: 7 set. 2021.
- Valdés, H. M. et al., 2012. *Como Construir Cidades Mais Resilientes: Um Guia para Gestores Públicos Locais*. UNISDR, Genebra. Disponível em: https://www.unisdr.org/files/26462_guiagestorpublicosweb.pdf. Acesso em: 7 set. 2021.

- Wanderley, L. S. A., Nóbrega, R. S., Moreira, A. B., Anjos, R. S., Almeida, C. A. P., 2018. As chuvas na cidade do Recife: uma climatologia de extremos. *Revista Brasileira de Climatologia*, 22. [online]. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v22i0.56034>. Acesso em: 7 set 2021.
- Wanderley, L. S. A., Nóbrega, R. S., Duarte, C. C., Moreira, A. B., Anjos, R. S. D., 2021. Tipos de Tempo Associados a Eventos Diários de Chuva Intensa na Cidade de Recife-PE, Brasil. *Sociedade & Natureza*, [online] 33. Disponível em: <https://doi.org/10.14393/SN-v33-2021-60520>. Acesso em: 4 ago. 2021.
- Xavier, T. M. B. S, Silva, J. F., Rebello, E.R.G., 2002. *A técnica dos Quantis e suas aplicações em meteorologia, climatologia e hidrologia, com ênfase para as regiões brasileiras*. Thesaurus Editora de Brasília Ltda. Brasília, DF.