

Jander Barbosa Monteiro

Doutor em Geografia pela Universidade Federal do Ceará. Mestre em Geografia pela Universidade Estadual do Ceará. Professor Adjunto do Curso de Geografia da Universidade Estadual Vale do Acaraú
jander_bm@hotmail.com

Maria Elisa Zanella

Doutora em Meio Ambiente e Desenvolvimento pela Universidade Federal do Paraná. Mestre em Organização do Espaço pela Universidade Estadual Paulista Rio Claro. Professora Doutora do Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal do Ceará
elizazv@terra.com.br

Eventos extremos no estado do Ceará, Brasil: uma análise estatística de episódios pluviométricos no mês de março de 2019

Resumo

Nesta investigação, foram analisados acumulados diários expressivos de precipitação pluvial que ocorreram em março de 2019 no estado do Ceará, com o intuito de identificar se os mesmos foram considerados extremos (a partir da Metodologia Estatística dos Máximos de Precipitação), além de analisar os sistemas atmosféricos que deflagraram tais eventos e possíveis danos ocasionados. Foram selecionados os dez maiores acumulados diários de março registrados nos postos da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos - FUNCEME e identificados os sistemas atmosféricos atuantes que contribuíram para tais episódios pluviométricos a partir de imagens de satélites disponibilizadas pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE. Os acumulados diários foram, ao menos, um dos três maiores já registrados nos postos (cinco foram recordes) e estavam associados à atuação conjunta de dois ou mais sistemas atmosféricos. As TSMs do Atlântico (próximo à costa) apresentaram um padrão favorável à ocorrência de precipitações. Os acumulados diários foram pontuais e contribuíram para um considerável aporte de água apenas em algumas reservas hídricas do estado, pois as chuvas não apresentaram uma distribuição espaço-temporal homogênea.

Palavras-Chave: Eventos Extremos, Metodologia dos Máximos de Precipitação, Inundações.

Abstract

EXTREME EVENTS IN THE STATE OF CEARÁ, BRAZIL: A STATISTICAL ANALYSIS OF RAINFALL EPISODES IN MARCH 2019

In this investigation, we analyzed expressive daily accumulated of pluvial precipitation that occurred in March 2019 in the State of Ceará, in order to identify if they were considered extreme (from the Statistical Methodology of the Maximum Precipitation), and to analyze the atmospheric systems that started such events and possible damage caused by them. The ten largest daily accumulations of March recorded in the posts of the Foundation for Meteorological and Hydric Resources of Ceará State (FUNCEME) were selected. At the same time, the atmospheric systems that contributed to these pluviometric episodes were identified from satellite images provided by the National Institute of Space Research (INPE). Daily accruals were at least one of the three largest already registered at the stations (five were records) and were associated with joint performance of two or more atmospheric systems. Atlantic TMSM (near the coast) showed a favorable pattern for precipitation. The daily accumulations were punctual and allowed a considerable contribution only in some water reserves of the Ceará State, because the rain did not present a homogeneous spatial/temporal distribution.

Key-words: Extreme Events, Precipitation Maximum Methodology, Floods.

1. Introdução

Os acumulados superiores de chuva, denominados de episódios pluviométricos extremos na literatura científica (GOODIN et al., 2004; IPCC, 2012; MARENGO et. al., 2009; MONTEIRO; ZANELLA, 2017; XAVIER; XAVIER; ALVES, 2007), geralmente possuem potencial deflagrador de desastres socionaturais, principalmente quando ocorrem em áreas onde habitam populações mais vulneráveis.

Estes eventos representam, em termos meteorológicos ou climatológicos, grandes desvios de um estado climático moderado (MARENGO, 2009), são eventos raros, de aparição extraordinária (MONTEIRO, 2016) e que podem ser incorporados tanto em concepções que englobam pontos de vista em uma perspectiva física/estatística, até aquelas que consideram uma visão mais social, ganhando notoriedade na mídia quando prejuízos materiais e humanos são verificados em decorrência de elevados acumulados de chuva ou quando esta praticamente não ocorre (seca prolongada).

Essa situação dúbia representada pelo binômio seca-enchente permeia o imaginário nordestino e, por muito tempo, o Nordeste brasileiro foi identificado como região-problema, em virtude das inúmeras notícias que veiculavam a penúria associada à seca em um ano e, no ano seguinte, os impactos deflagrados por eventos extremos de chuva.

A maioria das terras brasileiras encontram-se situadas na faixa tropical-equatorial do planeta, o que lhe confere uma grande variabilidade dos tipos de tempo. A tropicalidade apresenta-se como a característica mais marcante do território brasileiro, predominando, de forma geral, temperaturas elevadas e fortes chuvas que ocorrem, sobretudo, no verão. A distribuição temporal das chuvas no Brasil é marcada pela sazonalidade e por regimes pluviométricos diversificados e há que se destacar a importante influência de fatores climáticos (altitude, latitude, maritimidade, continentalidade, massas de ar etc.) nessa caracterização, o que acaba contribuindo para diferenças significativas em distintas porções do território (TORRES; MACHADO, 2011; MENDONÇA; DANNI-OLIVEIRA, 2007).

Ademais, enquanto observam-se chuvas abundantes durante todo o ano em algumas localidades brasileiras, em outras áreas do país a estação seca prolongada apresenta-se como uma característica marcante dos ambientes semiáridos. Porém, mesmo nestes ambientes, a atuação de sistemas atmosféricos em determinados períodos do ano pode contribuir para a ocorrência de episódios pluviométricos extremos.

O ditado popular conhecido no Ceará como “aquí é oito ou oitenta” parece verdade quando se fala em eventos extremos de chuva. Quem observou os inúmeros impactos provenientes das fortes chuvas em 2009 e as secas recorrentes nos anos seguintes pode confirmar o dito popular.

As chuvas no território cearense apresentam um comportamento irregular interanual e intra-anual. Os meses mais chuvosos compreendem o quadrimestre fevereiro-maio na ampla maioria dos 184 municípios cearenses, com destaque para os meses de março e abril, período em que geralmente verificam-se os acumulados mais expressivos em virtude da máxima atuação da Zona de Convergência Intertropical - ZCIT, o principal sistema atmosférico que ocasiona chuvas na porção setentrional do Nordeste brasileiro.

Ainda que acumulados expressivos no mês de março, por exemplo, não caracterizem necessariamente uma situação atípica, o referido mês

acabou ganhando destaque no ano de 2019, quando diversos acumulados de chuva de mais de 100 milímetros acumulados em 24 horas foram verificados em várias localidades do estado do Ceará.

Tais acumulados contribuíram para que a média histórica do mês fosse superada e o mês de março de 2019 considerado o mais chuvoso desde 2008. No intuito de esclarecer e desenvolver algumas análises nesta investigação, perguntas de partida são aqui elencadas: De um ponto de vista físico/estatístico, estes acumulados podem ser considerados como eventos extremos? Quais sistemas atmosféricos contribuíram para os acumulados diários mais expressivos verificados em algumas localidades?

Assim, este artigo objetivou analisar os dez maiores acumulados de chuva em 24 horas¹ que ocorreram no mês de março (em diferentes postos pluviométricos do estado do Ceará), com o intuito de verificar em termos estatísticos o que representam tais acumulados e se estes podem ser caracterizados como extremos (considerando todas as observações nos postos onde foram obtidos os registros)², além de identificar os sistemas atmosféricos que contribuíram para deflagrar tais eventos superiores de chuva.

A estimativa dos danos não foi aqui considerada em virtude da ausência de informações disponibilizadas pela Defesa Civil do Estado do Ceará. Os mesmos são informados nos Formulários de Identificação dos Desastres (FIDE) e disponibilizados no Sistema Integrado de Informações Sobre Desastres - S2ID. Os únicos danos mencionados só foram veiculados em jornais de circulação local e na mídia eletrônica.

O artigo contribui para a discussão em torno dos eventos extremos de chuva e impactos associados, atentando para a emergência da temática na atualidade, no intuito de fomentar análises (*a posteriori*) que possibilitem a tomada de decisões e atitudes positivas de resposta das comunidades e do poder público frente à ocorrência de episódios pluviométricos extremos.

2. O conceito de evento extremo: concepção social/integral e físico/estatística

Eventos extremos de chuva são aqueles episódios raros, de aparição extraordinária (MONTEIRO, 2016), correspondendo a acumulados

inferiores (quando praticamente não se verifica precipitação) e superiores (eventos máximos de precipitação).

Tais eventos podem contribuir para deflagrar danos materiais e humanos diversos. Porém, estes não podem ser justificados apenas em virtude dos acumulados expressivos ou ausência de chuva durante um período. Algumas variáveis que interferem/potencializam o dano devem ser consideradas neste processo, como a vulnerabilidade, a qual acaba desempenhando um papel importante nesta equação e encontra-se atrelada a uma “série de contingências sociais, políticas, econômicas, culturais, tecnológicas etc.” (MENDONÇA, 2011, p. 114) que originam e/ou potencializam os danos associados à ocorrência de eventos extremos de chuva.

Outras variáveis, como a resiliência, de acordo com diversos autores das geociências, geralmente associam-se à dificuldade que determinadas comunidades encontram em enfrentar ou adaptar-se, ainda que o termo apresente, em sua acepção original, uma conotação diferente, associado à capacidade de determinada população de recuperar-se, de retornar às “condições originais”, o que poderia levantar uma série de polêmicas, já que o cenário ideal não deveria apontar para o retorno da condição original, uma vez que essa “condição original” representa, em muitos casos, uma situação de risco já vivenciada por comunidades vulneráveis.

Nesse caso, o termo “ *coping* ”, em inglês, pode ser mais adequado, pois encontra-se associado a estratégias de lidar com, enfrentar ou adaptar-se (WISNER et al., 2003) a determinadas situações adversas.

Independentemente da forma como tais variáveis são interpretadas/empregadas em diferentes estudos relacionados a eventos extremos de chuva, observa-se nitidamente uma concepção mais social/integral, concebendo o evento extremo, por exemplo, como a ocorrência daquele episódio pluviométrico no qual se verificam danos materiais, humanos e econômicos importantes. Ora, a própria urbanização assume um papel importante na intensificação dos impactos, principalmente em países como o Brasil, onde a mesma ocorreu de forma acelerada e desordenada, acarretando em uma infraestrutura deficiente e recebendo um contingente populacional cada vez mais vulnerável e que não possui recursos de qualquer natureza para responder positivamente aos eventos adversos (DESCHAMPS, 2004; MENDONÇA, 2011).

Em uma outra vertente, os eventos extremos são compreendidos a partir de concepções mais físicas/estatísticas, no intuito de determinar, de forma mais operacional, limiares para episódios pluviométricos considerados extremos.

Nesse caso, os eventos superiores ganham maior destaque, representados por acumulados expressivos em um curto espaço de tempo e que ganham notoriedade na mídia devido às múltiplas ocorrências que são registradas.

No entanto, o comportamento da chuva varia de acordo com a localização geográfica/período e, em se tratando de grandes áreas territoriais (como no Brasil), fica difícil definir um limiar de chuva amplamente aceito pela comunidade científica para determinar um evento como extremo.

Claro que uma chuva torrencial de 120 mm acumulados em 24h, por exemplo, teria um potencial deflagrador de impactos diversos, principalmente se ocorrer em uma área densamente urbanizada. Alguns autores acreditam que até acumulados de chuva menores podem ocasionar transtornos em grandes cidades, principalmente se ocorrem em um curto espaço de tempo. Conti (2011), por exemplo, considera um acumulado de chuva como intenso a partir de 30 mm/h e crítico quando ultrapassa 50 mm/h.

Em síntese, um determinado evento pode ser compreendido de distintas formas, na medida em que ocorre em diferentes intervalos (de tempo e espaço). Nesse sentido, identificar o que seria considerado como “normal” (de um ponto de vista estatístico) para uma determinada região em análise pode ser um importante passo inicial na definição de um evento como extremo, subsidiando análises posteriores quanto aos fatores econômicos, ambientais, sociais etc.

Do ponto de vista físico, o evento extremo é compreendido como um episódio raro em um determinado lugar e época do ano. Tão ou mais raro que a ocorrência de um acumulado superior ou abaixo do limite inferior da gama de valores da variável observada. Goodin et al. (2004) admitem que os eventos extremos são raros em frequência, magnitude e/ou duração do ponto de vista estatístico e que a capacidade de reconhecer determinados episódios como extremos depende também da extensão dos registros climáticos.

O Painel Intergovernamental sobre Mudança Climática - IPCC, por exemplo, define evento extremo como:

A ocorrência de um valor de uma variável meteorológica ou climática acima (ou abaixo) de um valor limite próximo à extremidade superior (ou inferior) da faixa de valores observados da variável. Por uma questão de simplicidade, tanto os fenômenos meteorológicos extremos, como os fenômenos climáticos extremos mencionados neste relatório, serão denominados fenômenos climáticos extremos (IPCC, 2012, p. 4, tradução nossa)³.

As técnicas estatísticas estão, cada vez mais, obtendo aceitação crescente devido à sua habilidade de melhor quantificar as probabilidades de ocorrência de eventos raros, extremos. Acredita-se que a preocupação com a modelagem de eventos extremos data do século XVII em estudos de astronomia e, na década de 1930 e 1940, vários artigos surgiram com análises de inundações e níveis de chuva, contribuindo para a disseminação de técnicas estatísticas aplicadas aos estudos de extremos de chuva (MENDES, 2004).

Dentre as técnicas atualmente mais difundidas, estariam aquelas que consideram intervalos rigorosos ao analisar os registros históricos climáticos, com valores abaixo do percentil 10 ou acima do 90 da função de densidade de probabilidade observada (XAVIER; XAVIER; ALVES, 2007; IPCC, 2012).

A utilização do parâmetro percentil 99% é recomendado pelo *Expert Team on Climate Change Detection Monitoring and Indices* (ETCCDMI), representando assim 1% das precipitações mais significativas (considerando a série de dados utilizada). Muitos pesquisadores utilizaram este limiar de maneira satisfatória em suas regiões para identificar acumulados diários expressivos com potencial de deflagração de impactos diversos, dentre os quais podem ser citados os recentes estudos desenvolvidos por Goudard e Mendonça (2017), Paz e Sanches (2017) e Machado; Machado; Schiewaldt (2019).

No entanto, conforme destaca Monteiro (2016), ao considerar uma longa série histórica (maior que 30 anos) de dados diários em regiões que apresentam chuvas escassas, irregulares e mal distribuídas ao longo do ano, como no semiárido brasileiro, os inúmeros dias sem chuva ou com acumulados praticamente inexpressivos podem acabar dificultando a utilização do percentil 99%, acarretando em um resultado que não representaria um acumulado tão elevado e que, possivelmente, não teria potencial deflagrador de danos significativos.

Neste caso, outras técnicas estatísticas podem ser importantes aliadas no processo de determinar eventos como extremos. Inclusive, definindo

um limiar para que aqueles acumulados inexpressivos (2 mm ou 5 mm, por exemplo) não venham interferir na análise dos registros históricos, já que estes ocorrem com maior frequência (são mais comuns).

Gao, Jeremy e Filippo (2006), Frich, Alexander, Dellamarta et. al. (2002), Silva (2012) e Monteiro e Zanella (2017), por exemplo, consideram o limite inferior de 50 mm acumulados em 24 horas, além de estabelecer quatro intervalos de intensidade de eventos extremos de chuva (variando de intensidade pequena a intensidade muito grande), o que permite analisar com mais cautela e de forma objetiva/operacional longas séries históricas de uma determinada localidade a partir de uma metodologia estatística (Metodologia dos Máximos de Precipitação).

Ainda que outras variáveis como exposição e vulnerabilidade sejam importantes na análise do que poderia ser considerado como “extremo”, identificar tais eventos a partir de uma perspectiva estatística, utilizando longas séries históricas, pode subsidiar outras análises pertinentes, principalmente porque tem-se observado tendências significativas para precipitações cada vez mais intensas em determinadas regiões do planeta (IPCC, 2012), o que evidencia ainda mais a importância para a realização de estudos desta natureza.

3. Materiais e Métodos

Alguns procedimentos foram necessários para analisar os episódios pluviométricos extremos que ocorreram no mês de março de 2019 em termos estatísticos, além de identificar os sistemas atmosféricos atuantes no dia em que ocorreram tais acumulados superiores.

Primeiramente, foram selecionados os dez maiores acumulados registrados no mês de março de 2019 no estado do Ceará, de acordo com as informações disponibilizadas pela Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos - FUNCEME. Os mesmos foram dispostos em uma tabela, no intuito de evidenciar o posto pluviométrico (e o município de origem) onde foi verificado o registro, a série histórica considerada na análise (com pelo menos 30 anos de registros em 7 dos 10 postos utilizados⁴) e os três maiores acumulados da série histórica de cada posto (considerando os

acumulados registrados em toda a série histórica, destacando-se, inclusive, o acumulado identificado no mês de março).

Paralelamente foram tabuladas as informações de cada um dos dez postos selecionados, no intuito de definir os intervalos (limiares) de intensidade de eventos extremos para cada posto e a classificação de cada evento em uma das quatro classes de extremos, após aplicação da Metodologia dos Máximos de Precipitação que considera o desvio padrão e a média dos máximos de precipitação⁵ (figura 1).

Figura 1
FÓRMULAS PARA DETERMINAÇÃO DOS NÍVEIS DE INTENSIDADE DOS EVENTOS EXTREMOS DE CHUVA



Organização: autores (2019).

Em seguida, após esta etapa, foram selecionadas imagens do satélite METEOSAT disponibilizadas pelo Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos - CPTEC do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, as quais foram analisadas com o intuito de identificar os sistemas atmosféricos que influenciaram na ocorrência de acumulados de chuva tão expressivos. Ao todo, foram selecionadas cinco imagens de satélite, pois os dez eventos extremos (máximos) do mês foram identificados em apenas cinco dias do mês de março, em diferentes localidades do estado do Ceará.

As séries históricas do Instituto Nacional de Meteorologia - INMET e do Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais - CEMADEN também contribuíram para a escolha das imagens de satélite,

ainda que somente quatro das dez localidades consideradas possuísem informações sobre a intensidade da chuva⁶, permitindo assim a seleção da imagem de satélite que melhor representava os sistemas atmosféricos atuantes em um determinado período do dia, contribuindo para um acumulado expressivo.

Por fim, o Sistema Integrado de Informações sobre Desastres - S2ID, que integra diversos produtos da Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil – SEDEC, foi consultado, no intuito de obter informações sobre danos associados aos eventos extremos em março de 2019. Porém, só existia um registro sobre um evento ocorrido no mês de março de 2019. Os únicos registros sobre danos identificados só foram encontrados em jornais de circulação local e na mídia eletrônica, mas não foram profundamente explorados aqui, uma vez que não puderam ser mensurados com clareza e/ou não representam necessariamente a realidade local.

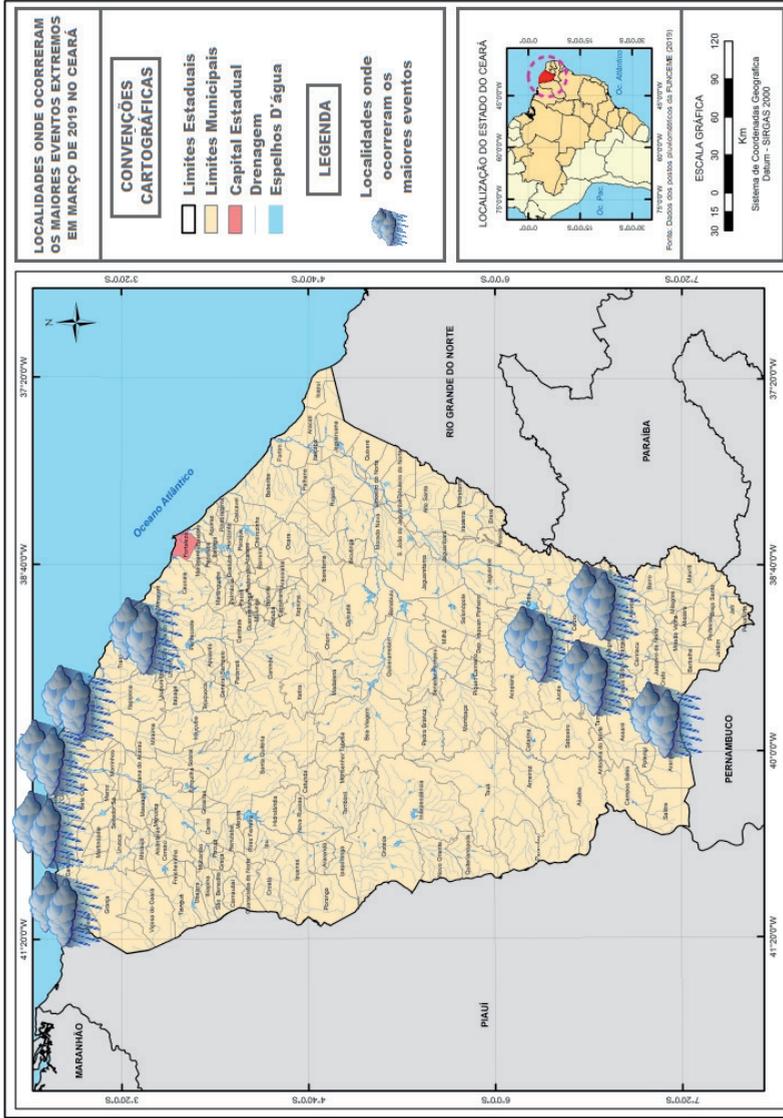
4. Resultados e Discussão

Os episódios pluviométricos extremos ocorridos no mês de março de 2019, no estado do Ceará, ganharam forte repercussão na mídia local em virtude dos danos deflagrados por tais eventos. Os expressivos acumulados contribuíram significativamente para que o mês de março do referido ano fosse considerado acima da média.

No entanto, há que se destacar o caráter pontual e concentrado destes eventos que ocorreram no mês de março. No sertão central do estado, por exemplo, muitos reservatórios ainda apresentavam um nível crítico até o final deste mês.

Algumas localidades do estado, como aquelas situadas mais ao norte, foram beneficiadas com as chuvas do mês, ampliando consideravelmente o volume de reservatórios que chegaram a níveis elevados, alguns extrapolando a capacidade máxima. Em porções mais meridionais do estado, também foram observados alguns acumulados expressivos no mês de março (figura 2).

Figura 2
ESTADO DO CEARÁ/BRASIL - LOCALIDADES ONDE FORAM REGISTRADOS OS EVENTOS PLUVIOMÉTRICOS EXTREMOS NO MÊS DE MARÇO DE 2019



Fonte: FUNCEME. Organização: autores (2019).

Após a identificação dos dez maiores acumulados registrados em 24h, bem como tabulação/análise da série histórica disponível de cada um dos dez postos selecionados, foi aplicada a Metodologia dos Máximos de Precipitação, no intuito de definir os intervalos para as classes de eventos extremos, permitindo identificar se os expressivos acumulados do mês de março de 2019 figuravam nas classes maiores de extremos. Assim, foram estabelecidos os limiares inferiores de cada classe, indicando o acumulado mínimo (em mm) para que um determinado episódio pluviométrico fosse classificado naquele respectivo nível (classe) de evento extremo (figura 3).

Figura 3

LIMIARES INFERIORES DE REFERÊNCIA (EM MILÍMETROS) PARA CLASSIFICAÇÃO DOS EVENTOS EXTREMOS DIÁRIOS DOS DEZ POSTOS ANALISADOS

MUNICÍPIO / POSTO (LOCALIDADE)				
	NÍVEL I	NÍVEL II	NÍVEL III	NÍVEL IV
Acaraú / Sede	74,1	99,2	124,2	149,3
Barroquinha / Sede	71,4	94,6	117,8	141,0
Cariús / Angico	73,8	102,7	131,6	160,5
Iguatu / Quixoa	75,1	97,8	120,5	143,2
Itarema / Sede	74,9	101,3	127,7	154,1
Jijoca de Jericoacoara / Sede	72,7	94,4	116,0	137,7
Lavras da Mangabeira / Iborepi	70,7	93,6	116,5	139,4
Lavras da Mangabeira / Sede	66,8	84,4	102,1	119,7
Paraipaba / Sede	71,8	97,6	123,3	149,0
Santana do Cariri / Sede	70,7	92,4	114,2	136,0

Organização: autores (2019).

O maior acumulado diário do mês ocorreu no dia 23 de março⁷ em Itarema, de acordo com registros do posto sede do município. Foram 212,0 milímetros acumulados em 24 horas, o maior acumulado da série histórica (1989-2019) do posto sede de Itarema, caracterizando-se como um evento extremo de Nível IV. Neste mesmo dia, o posto sede do município de Acaraú, localidade vizinha a Itarema (no extremo norte cearense), também registrou um evento extremo de Nível IV, com 150,0 milímetros acumulados. Além dos eventos em Itarema e Acaraú, outros seis acumulados (dos dez maiores em análise) foram registrados em dias próximos: 22, 24 e 25 de março, enquanto que outros dois eventos foram registrados no dia 31 de março⁸ (tabela 1).

Tabela 1

ESTADO DO CEARÁ/BRASIL – EXTREMOS PLUVIOMÉTRICOS DIÁRIOS EM MARÇO DE 2019

Município	Posto Pluviométrico	Série histórica observada do posto	Número de eventos extremos identificados (do ponto de vista estatístico)	Maiores acumulados na série histórica do posto (em mm)
Acaraú	Acaraú	1974 - 2019	67 eventos	1° 180,2 (29/03/1992) 2° 166,0 (26/03/1986) 3° 150,0 (23/03/2019)
Barroquinha	Barroquinha	1983 - 2019	47 eventos	1° 158,0 (29/01/2004) 2° 147,0 (13/04/2000) 3° 137,2 (22/03/2019)
Cariús	Angico	2001 - 2019	14 eventos	1° 210,0 (31/12/2006) 2° 147,0 (31/03/2019) 3° 110,0 (23/04/2009)
Iguatu	Quixoa	2000 - 2019	30 eventos	1° 156,0 (25/03/2019) 2° 131,0 (21/10/2011) 3° 119,0 (12/04/2014)
Itarema	Itarema	1989 - 2019	16 eventos	1° 212,0 (23/03/2019) 2° 178,0 (09.03/1994) 3° 166,0 (28/04/1994)
Jijoca de Jericoacoara	Jijoca de Jericoacoara	1983 - 2019	28 eventos	1° 150,0 (24/03/2019) 2° 131,0 (23/03/2019) 3° 129,2 (20/03/1988)
Lavras da Mangabeira	Iborepi	2000 - 2019	41 eventos	1° 181,0 (31/03/2019) 2° 132,0 (22/04/2006) 3° 130,0 (15/01/2008)
Lavras da Mangabeira	Lavras da Mangabeira	1974 - 2019	58 eventos	1° 148,6 (24/03/2019) 2° 129,5 (01/02/2011) 3° 123,3 (22/03/2016)
Paraipaba	Paraipaba	1989 - 2019	47 eventos	1° 233,0 (07/04/2016) 2° 172,5 (22/04/1991) 3° 160,0 (24/03/2019)
Santana do Cariri	Santana do Cariri	1979 - 2019	47 eventos	1° 179,0 (27/03/2011) 2° 160,0 (22/03/2019) 3° 139,0 (24/12/2018)

Fonte: Séries Históricas da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos.

Dos dez eventos observados no mês de março de 2019, cinco figuraram como os maiores acumulados já registrados nas séries históricas dos respectivos postos: Posto Sede em Itarema (212,0 mm); Posto Sede e Posto Iborepi em Lavras da Mangabeira (148,6 e 181,0 mm, respectivamente); Posto Quixoa em Iguatu (156,0 mm); Posto Sede em Jijoca de Jericoacoara (150,0 mm). Todos os cinco eventos foram considerados extremos de Nível IV (após aplicação da Metodologia dos Máximos de Precipitação). Dos outros cinco restantes, dois apresentaram o segundo maior acumulado da série histórica (Posto Sede em Santana do Cariri com 160,0 mm e Posto Angico em Cariús com 147,0 mm) e outros três apresentaram o terceiro maior acumulado da série histórica de seu respectivo posto (localizados nas sedes dos municípios de Paraipaba com 160,0 mm, Acaraú com 150,0 mm e Barroquinha com 137,2 mm). Estes também foram considerados extremos de Nível IV, exceto os eventos que ocorreram em Barroquinha e Cariús (caracterizados como extremos de Nível III).

O principal sistema atmosférico com potencial deflagrador de episódios pluviométricos extremos que atua neste período é a Zona de Convergência Intertropical - ZCIT, formada por uma banda de nuvens convectivas que se estende em uma faixa ao longo da região equatorial (MELO; CAVALCANTI; SOUZA, 2009), uma espécie de divisor entre as circulações atmosféricas de Hadley do Norte e Sul. É o sistema gerador de precipitação mais importante na porção setentrional do Nordeste brasileiro, geralmente atuando entre os meses de fevereiro e maio. Inclusive, quando a ZCIT atua conjuntamente com outros sistemas atmosféricos, geralmente ocorrem acumulados ainda mais expressivos.

Monteiro e Zanella (2017) já alertaram para a possibilidade de ocorrência de episódios pluviométricos extremos de grande magnitude associados à atuação conjunta de sistemas atmosféricos no estado do Ceará, principalmente no período que corresponde ao quadrimestre chuvoso (fevereiro-maio), fato que foi evidenciado mais de uma vez no mês de março de 2019.

Ao analisar as imagens de satélite dos dias 22, 23, 24 e 25 de março (figura 4), observa-se com maior destaque a atuação conjunta de dois sistemas atmosféricos na porção setentrional do Nordeste brasileiro: A Zona de Convergência Intertropical - ZCIT e um Vórtice Ciclônico de Altos Níveis - VCAN, proporcionando um cenário favorável à ocorrência destes eventos de grande magnitude caracterizados como extremos.

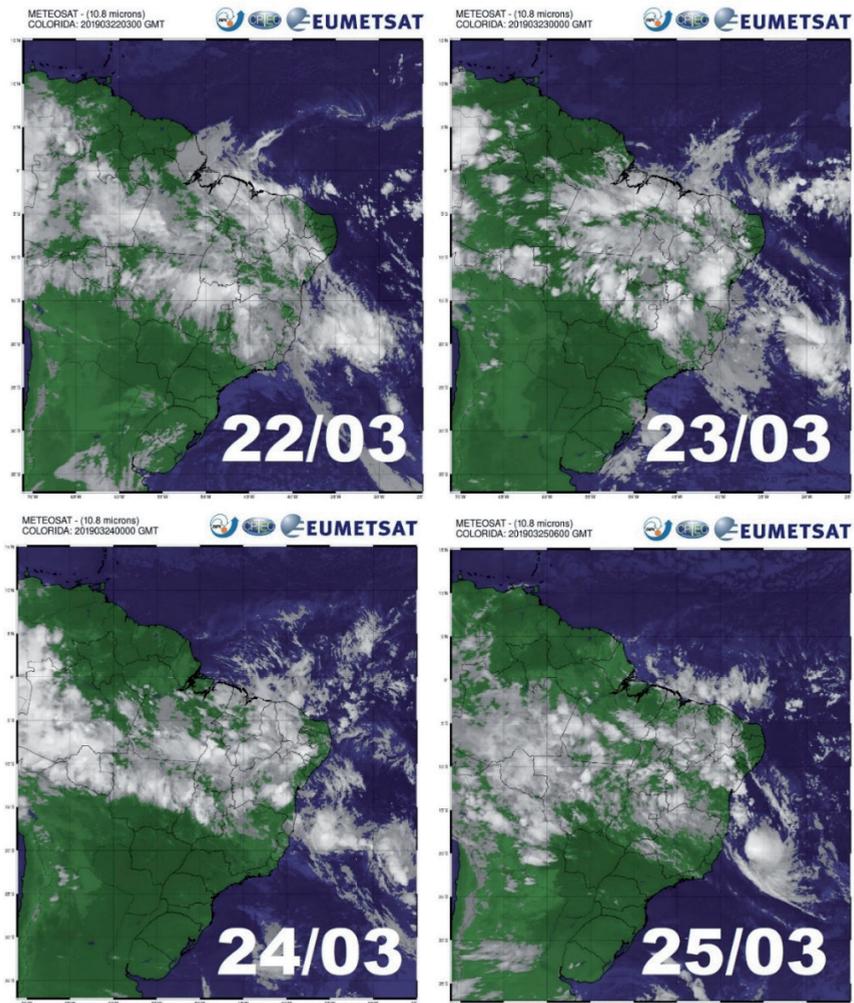
Os Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis - VCANs atuam na vizinhança do Nordeste brasileiro, geralmente entre os meses de dezembro e fevereiro (com maior frequência em janeiro), mas podendo ocorrer também em outros meses circunvizinhos (março, por exemplo). Chuvas extremas podem estar relacionadas à ocorrência destes sistemas meteorológicos que são quase estacionários, caracterizados por centros de pressão relativamente baixa que se originam na alta troposfera, movimentos subsidentes no centro e ascendentes na periferia, com nebulosidade acentuada na direção do seu deslocamento (FERREIRA; RAMIREZ; GAN, 2009).

Quando os VCANs atuam conjuntamente com a ZCIT geralmente desencadeiam acumulados de chuva expressivos com potencial deflagrador de desastres sicionaturais. Tal associação acaba por justificar os acumulados expressivos nos dias 22, 23, 24 e 25 de março de 2019, inclusive com a ocorrência de um terceiro sistema atuando próximo ao litoral cearense no dia 24/03/2019, um Complexo Convectivo de Mesoescala - CCM, que pode ter contribuído também para acumulados expressivos em Jijoca de Jericoacoara e Paraipaba.

Os Complexos Convectivos de Mesoescala - CCMs são formados por conjuntos de *cumulonimbus* cobertos por densa camada de *cirrus*, facilmente identificados em sequências de imagens de satélite devido ao seu aspecto circular e crescimento explosivo em poucas horas. Formam-se devido a condições locais favoráveis e provocam chuvas fortes, isoladas e de curta duração (FERREIRA; MELLO, 2005).

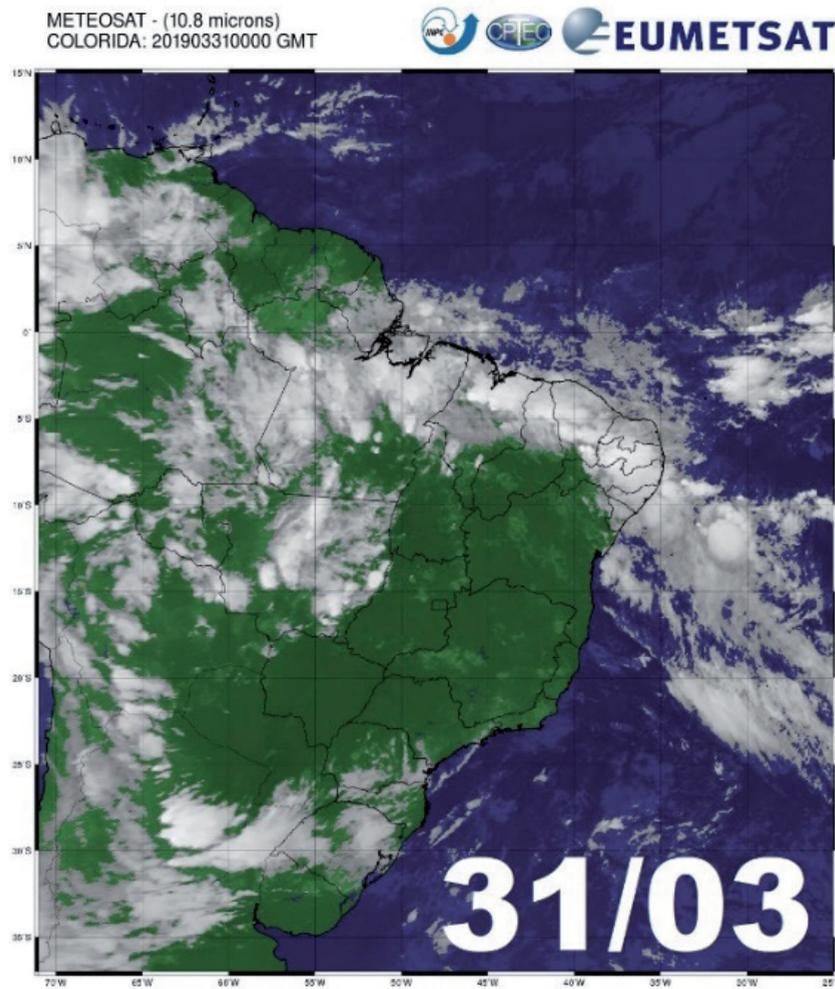
No dia 31 de março de 2019 (figura 5) foi possível identificar dois importantes eventos extremos no estado do Ceará, os quais ocorreram em municípios localizados em uma porção mais meridional do estado: Lavras da Mangabeira e Cariús. Analisando-se a imagem de satélite deste dia, é possível identificar, mais uma vez, dois sistemas atmosféricos atuando conjuntamente, a ZCIT e um Cavado em Altos Níveis - CAN, semelhante ao VCAN, mas que não apresenta aquela composição em espiral (na imagem de satélite) característica do VCAN. O CAN contribui para a concentração de umidade e formação de nuvens de chuva (baixa pressão). Inclusive, o VCAN geralmente inicia seu ciclo de vida como um cavado na média e alta troposfera.

Figura 4
IMAGENS DE SATÉLITE DOS DIAS 22, 23, 24 E 25 DE MARÇO DE 2019, RESPECTIVAMENTE



Fonte: CPTEC/INPE.

Figura 5
ATUAÇÃO DE ZCIT E CAN CONJUNTAMENTE NO DIA 31 DE MARÇO DE 2019



Fonte: CPTEC/INPE.

Quanto aos danos, foi identificado no Sistema Integrado de Informações sobre Desastres apenas um registro associado à chuva intensa, no dia 20 de março, em Tianguá-CE. Foram cerca de vinte mil pessoas afetadas, prejuízos verificados em três unidades habitacionais, danos em uma obra pública, poluição de águas e prejuízos econômicos públicos no sistema de esgoto e privados no comércio. Porém, cabe ressaltar que os acumulados diários de chuva registrados nos dois postos da FUNCEME localizados no município de Tianguá (Posto Pindoguaba e Posto Tianguá) foram de 18,0 mm e 29,0 mm, respectivamente, o que não caracterizaria um evento extremo do ponto de vista estatístico (se considerado o acumulado diário).

Neste caso, analisar o acumulado em horas e minutos pode ser uma estratégia importante para avaliar a intensidade do evento. Mas, como já mencionado, a FUNCEME só disponibiliza a informação do total acumulado em 24h e o município de Tianguá não apresenta estações do CEMADEN e INMET.

Assim, alguns danos identificados que ocorreram por ocasião destes episódios pluviométricos extremos no mês de março de 2019 só foram informados na mídia eletrônica e impressa. Dentre as matérias que tiveram maior repercussão, destacam-se: a destruição de uma estrada na zona rural de Santana do Cariri (SANTANA, 2019) e outras que dão acesso a praias conhecidas do litoral oeste; a inundação na sede de Itarema (figura 6) após o evento de 212,0 mm e dificuldades de acesso e interrupção da coleta de lixo em Jericoacoara (VEJA, 2019).

As chuvas pontuais, concentradas em alguns dias e mal distribuídas pelo território cearense não foram suficientes para provocar uma mudança tão significativa no cenário dos reservatórios do estado, pois muitos açudes ainda apresentavam volumes críticos. No Sertão Central, o cenário não foi animador. Muitos reservatórios com capacidade inferior aos 10% e chuvas abaixo da normal climatológica ainda apontavam uma situação preocupante para esta porção do estado influenciada pelo clima semiárido.

Figura 6
ITAREMA / CE - SEDE DO MUNICÍPIO INUNDADA



Fonte: Jornal Diário do Nordeste (VEJA, 2019).

5. Considerações Finais

Ainda que o cenário das reservas hídricas no território cearense não tenha apresentado transformações significativas por conta dos acumulados verificados nos meses iniciais do ano, os danos associados aos episódios pluviométricos extremos não devem ser ignorados ou minimizados em virtude das ocorrências pontuais em algumas localidades do estado.

Afinal, os próprios episódios pluviométricos expressivos observados no mês de março de 2019 (muitos destes superaram outros registros, tornando-se os maiores acumulados da série histórica de suas respectivas localidades) levantam um importante alerta para que pesquisadores, autoridades locais, órgãos públicos e a sociedade em geral atentem mais para eventos desta natureza, investindo no desenvolvimento de pesquisas para

compreender melhor a gênese, a ocorrência e os impactos associados a esses fenômenos, bem como estratégias que possibilitem uma maior capacidade para lidar com/adaptar-se (*coping* coletivo) a eventos desta natureza.

E a preocupação não para por aí. Nas últimas décadas, diversos estudiosos e interessados na temática apontaram tendências para uma maior frequência de eventos extremos de chuva, acreditando que estes podem ter relação com alguns dos efeitos (já evidentes para este grupo de pesquisadores) que estariam associados às mudanças climáticas. Inclusive, estes passaram a indagar sobre a magnitude destes eventos.

Estariam os eventos extremos cada vez “mais extremos”? Os episódios “recordes” em algumas localidades do estado do Ceará no mês de março de 2019 foram mera coincidência ou estão alinhados às evidências apontadas por estes estudiosos? E o que dizer dos eventos cada vez mais extremos nos últimos anos que vêm trazendo prejuízos vultosos nas regiões sudeste e sul do Brasil? Ainda que seja difícil apresentar respostas categóricas para tais questões polêmicas e que dividem opiniões, é fato que indagações desta natureza já ganham maior notoriedade e permeiam o debate entre diversos pesquisadores, inclusive nas conferências e relatórios que discutem as mudanças no clima (Conferência das Partes - COP, Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas - IPCC, dentre outros).

Os relatórios da Organização das Nações Unidas - ONU estão, cada vez mais, envolvendo um maior número de pesquisas e especialistas, os quais afirmam que os efeitos das mudanças climáticas já podem ser identificados. O derretimento das geleiras na Antártica já evidencia os efeitos provenientes do aquecimento do planeta. O Furacão Irma em 2017 chamou a atenção dos meteorologistas, sendo considerado por alguns especialistas o maior furacão (considerando-se a velocidade dos ventos e o diâmetro) já registrado no Oceano Atlântico. Ainda que condições locais e o próprio caminho percorrido no oceano pelo furacão tenham exercido considerável influência no seu desenvolvimento, as elevadas temperaturas oceânicas contribuíram significativamente para ampliar a tempestade. Seria outra mera coincidência?

Analisando-se os eventos extremos de chuva no mês de março de 2019 no estado do Ceará, parece que a ocorrência de um El Niño⁹ no Pacífico Equatorial não foi o suficiente para inibir a formação de nuvens de chuva

que desencadearam eventos de grande magnitude. O mesmo foi de fraca intensidade e, na verdade, foram as temperaturas do Atlântico que contribuíram significativamente para as precipitações do mês de março, pois o padrão identificado de águas mais aquecidas próximas à região Nordeste e mais frias em direção ao paralelo do equador contribuíram para a permanência/a aproximação da Zona de Convergência Intertropical - ZCIT, sistema importante para desencadear chuvas abundantes neste período.

Além do mais, desde o final do ano de 2018, a configuração do El Niño no Pacífico Equatorial apresentou um comportamento que tem intrigado muitos cientistas. A ocorrência de um padrão de aquecimento diferente do El Niño Clássico (Canônico), com Temperaturas da Superfície do Mar - TSMs mais aquecidas na porção central do Pacífico Equatorial, flanqueadas por um esfriamento anômalo no leste e no oeste do oceano, apontaram uma nova configuração batizada por asiáticos de El Niño Modoki, termo japonês que apresenta um significado confuso, o qual pode remeter a algo diferente, falso, mas ao mesmo tempo semelhante.

No entanto, a influência desse padrão de configuração do El Niño na ocorrência de eventos extremos (superiores e/ou inferiores) no Nordeste brasileiro ainda precisa ser mais estudada e esclarecida. De qualquer forma, muitos pesquisadores já destacam a possível relação dessas alterações verificadas nas anomalias das TSMs com as mudanças climáticas, podendo interferir, inclusive, na ocorrência de extremos de chuva. Tal preocupação evidencia, cada vez mais, a necessidade de pesquisas associadas a esta problemática, uma vez que tais eventos interferem diretamente na qualidade de vida de muitas populações.

Notas

- ¹ A Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos - FUNCEME não disponibiliza informações sobre o acumulado em horas ou minutos e o registro baseia-se no acumulado verificado entre 7 horas da manhã de um dia até às 7 horas da manhã do dia seguinte. Foram analisados apenas os dez maiores acumulados registrados em 24 horas, considerando todos os postos da FUNCEME.
- ² A maioria dos postos onde foram verificados os episódios pluviométricos extremos apresentavam, ao menos, 30 anos de observação, exceto aqueles postos que foram instalados em um período mais recente (caso do Posto Iborepi em Lavras da Mangabeira, Posto Quixoa em Iguatu e Posto Angico em Cariús).

- 3 "La ocurrencia de un valor de una variable meteorológica o climática por encima (o por debajo) de un valor de umbral cercano al extremo superior (o inferior) de la horquilla de valores observados de la variable. En aras de la simplicidad, tanto los fenómenos meteorológicos extremos como los fenómenos climáticos extremos a los que se hace referencia en el presente informe se denominarán fenómenos climáticos extremos" (IPCC, 2012, p. 4).
- 4 Os Postos Iborepi em Lavras da Mangabeira, Quixoa em Iguatu e Angico em Cariús não possuem 30 anos de observação. Assim, foram utilizados os acumulados registrados desde a instalação dos respectivos postos pluviométricos.
- 5 Foram considerados apenas os acumulados iguais ou superiores a 50 mm em cada posto, de acordo com a própria Metodologia dos Máximos de Precipitação.
- 6 Por essa razão, optou-se pela utilização das séries históricas disponibilizadas pela FUNCEME na realização dos cálculos estatísticos. Somente duas estações meteorológicas do INMET apresentavam informações sobre os acumulados nas localidades onde foram identificados os eventos superiores. Considerando as estações do CEMADEN, apenas quatro localidades possuíam registros, além de apresentarem informações somente de 2013-2019, o que seria insuficiente para aplicação da Metodologia dos Máximos de Precipitação. As informações do CEMADEN contribuíram para a seleção adequada das imagens de satélite, uma vez que possibilitaram identificar os horários com acumulados mais expressivos, apresentando informações de 1 posto no noroeste do estado e 3 na porção meridional (localidades onde ocorreram os dez maiores eventos de chuva extrema).
- 7 Cabe ressaltar que o registro é realizado pela FUNCEME da seguinte forma: o acumulado é observado entre as 7h da manhã do dia anterior (22/03/2019) e 7h da manhã do dia seguinte (23/03/2019). No entanto, o dia considerado para registro é o dia 23/03/2019.
- 8 Não foi possível realizar uma análise mais detalhada dos eventos utilizando-se da análise rítmica, uma vez que os registros disponíveis não eram suficientes. Não existia, por exemplo, informações sobre o acumulado por horas ou minutos, o que permitiria avaliar a intensidade dos episódios pluviométricos.
- 9 Inúmeros pesquisadores apontam que a ocorrência de anomalias positivas de Temperatura da Superfície do Mar - TSM no Pacífico Equatorial (El Niño) acabam por influenciar em um déficit de chuvas para a porção setentrional do Nordeste brasileiro, inclusive no período correspondente ao quadrimestre chuvoso (fevereiro-maio) no estado do Ceará.

Referências

- CONTI, J. B. **Clima e meio ambiente**. 7. ed. São Paulo: Atual, 2011. 96 p.
- DESCHAMPS, M. V. **Vulnerabilidade socioambiental na Região Metropolitana de Curitiba**. 2004. 192 f. Tese (Doutorado em Meio Ambiente e Desenvolvimento) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.
- FERREIRA, A. G.; MELLO, N. G. da S. Principais sistemas atmosféricos atuantes sobre a Região Nordeste do Brasil e a influência dos Oceanos Pacífico e Atlântico no clima da região. **Revista Brasileira de Climatologia**, Presidente Prudente, v. 1, n. 1, p. 15-28, 2005.
- FERREIRA, N. J.; RAMÍREZ, M. V.; GAN, M. A. Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis que atuam na vizinhança do Nordeste do Brasil. In: CAVALCANTI, I. F. de A.;

FERREIRA, N. J.; SILVA, M. G. A. J. da; SILVA DIAS, M. A. F. da. (Org.). **Tempo e Clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. p. 181-194.

FRICH, P.; ALEXANDER, L. V.; DELLA-MARTA, P.; GLEASON, B.; HAYLOCK, M.; KLEIN-TANK, A. M. G.; PETTERSON, T. Observed coherent changes in climatic extremes during the second half of the twentieth century. **Climate Research**, Norwich, v. 19, p 193-212, 2002.

GAO, X.; JEREMY S. P.; FILIPPO G. Projected changes in mean and extreme precipitation over the Mediterranean region from a high resolution Double nested RCM simulation. **Geophysical Research Letters**, Washington, v. 33, p. 1-4, 2006.

GOODIN, D.; BRAZEL, T.; FOUNTAIN, A.; HADLEY, J.; JUDAY, G.; KLOEPEL, B.; KNAPP, A.; LOSLEBEN, M.; SMITH, M. LTER Extreme Events Working Group. In: WORKSHOP HELP, 2004, Portland. **Anal...** 2004.

GOUDARD, G.; MENDONÇA, F. de A. Eventos Pluviais Extremos em Curitiba (Paraná): Entre antigos problemas e novos desafios. In: PEREZ FILHO, A.; AMORIM, R. R. (Org.). **Os desafios da Geografia Física na fronteira do conhecimento**. Campinas: Instituto de Geociências - UNICAMP, 2017. p. 1919-1930.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Gestión de los riesgos de fenómenos meteorológicos extremos y desastres para mejorar la adaptación al cambio climático**: Resumen para responsables de políticas. [S.I.]: Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, 2012.

MACHADO, J. P.; MACHADO, C. F. C.; SCHIEWALDT, C. B. Eventos Extremos de Precipitação no Município de Bauru-SP: Possibilidade de Ocorrências de Desastres Naturais? **Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ**, Rio de Janeiro, v. 42, n.1, p. 255-266, 2019.

MARENGO, J. A.; SCHAEFFER, R.; PINTO, H. S.; ZEE, D. M. W. (Org.). **Mudanças climáticas e eventos extremos no Brasil**. Rio de Janeiro: FBDS, 2009.

MARENGO, J. A. Mudanças climáticas, condições meteorológicas extremas e eventos climáticos no Brasil. In: MARENGO, J. A.; SCHAEFFER, R.; PINTO, H. S.; ZEE, D. M. W. (Org.). **Mudanças climáticas e eventos extremos no Brasil**. Rio de Janeiro: FBDS, 2009. p. 4-19.

MELO, A. B. C. de; CAVALCANTI, F. de. A; SOUZA, P. P. Zona de Convergência Intertropical do Atlântico. In: CAVALCANTI, I. de A.; FERREIRA, N. J.; SILVA, M. G. A. J. da; SILVA DIAS, M. A. F. da. (Org.). **Tempo e Clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. p. 25-41.

MENDES, B. V.de M. **Introdução à análise de eventos extremos**. Rio de Janeiro: E-papers Serviços Editoriais Ltda, 2004.

MENDONÇA, F. de A.; DANNI-OLIVEIRA, I. M. **Climatologia**: noções básicas e climas do Brasil. São Paulo: Oficina de Textos, 2007. 206 p.

MENDONÇA, F. de A. Riscos, vulnerabilidades e resiliência socioambientais urbanas: inovações na análise geográfica. **Revista da Anpege**, [S.l.], v.7, n. 1, número especial, p. 111-118, 2011.

MONTEIRO, J. B. **Desastres Naturais no Estado do Ceará**: uma análise de episódios pluviométricos extremos. 2016. 256f. Tese (Doutorado em Geografia) - Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2016.

MONTEIRO, J. B.; ZANELLA, M. E. A metodologia dos máximos de precipitação aplicada ao estudo de eventos extremos diários nos municípios de Crato, Fortaleza e Sobral-CE. **Geotextos (Online)**, v. 13, n. 2, p. 135-159, 2017.

PAZ, C. M. V.; SANCHES, F. de O. Ocorrência de eventos extremos de precipitação em Uberaba (1959-2015) e sua relação com as mudanças climáticas. In: PEREZ FILHO, A.; AMORIM, R. R. (Org.). **Os desafios da Geografia Física na fronteira do conhecimento**. Campinas, SP: Instituto de Geociências - UNICAMP, 2017, p. 2639-2642.

SANTANA do Cariri registra 2° maior volume de chuva na história do Município; precipitações causam danos. **O Povo Online**, Fortaleza, 22 mar. 2019. Disponível em: <https://www.opovo.com.br/noticias/ceara/2019/03/22/santana-do-cariri-registra-2---maior-volume-de-chuva-na-historia-do-municipio.html>. Acesso em: 02 jun. 2019.

SILVA, C. A. da. **Os desastres Pluviométricos nas Grandes e Médias Cidades do Paraná**. 2012. 144 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Programa de Pós Graduação em Geografia do Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

TORRES; F. T. P.; MACHADO, P. J. de O. **Introdução à Climatologia**. São Paulo: Cengage Learning, 2011. 256 p.

VEJA a destruição causada pela chuva no mês de março no Ceará. **Diário do Nordeste**, Fortaleza, 01 abr. 2019. Disponível em: <https://diariodonordeste.verdesmares.com.br/editorias/regiao/online/veja-a-destruicao-causada-pela-chuva-no-mes-de-marco-no-ceara-1.2081001>. Acesso em: 02 jun. 2019.

WISNER, B.; BLAIKIE, P.; CANNON, T.; DAVIS, I. At Risk: **Natural Hazards, people's vulnerability and disasters**. Second Edition. London: Routledge, 2003. 124 p.

XAVIER, T. de M. B. S.; XAVIER, A. F. S.; ALVES, J. M. B. **Quantis e eventos extremos**: aplicações em ciências da terra e ambientais. Fortaleza: RDS, 2007. 278 p.

Recebido em: 10/06/2019

Aceito em: 15/09/2019