

# Tempo de retorno e espacialização das precipitações máximas pelo método dos momentos para o estado da Bahia

*Return period and spatialization of maximum precipitations by the Moments method for the state of Bahia*

Janisson Batista de Jesus<sup>1\*</sup> , Yuri dos Santos Nascimento<sup>2</sup> 

## RESUMO

O estudo hidrológico das precipitações permite estimar, entre outras características, o tempo de recorrência de determinada chuva – a partir de bases históricas e cálculos probabilísticos –, que assume importância principalmente quando se trata de eventos extremos. Sendo assim, o objetivo do presente trabalho foi estimar a precipitação máxima diária provável para os períodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos segundo a distribuição de Gumbel, com base no método dos momentos, e analisar a espacialização desses eventos para todo o estado da Bahia, Brasil. Para isso, utilizou-se a série histórica das 28 estações pluviométricas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) de 1961 a 2015, aplicando o método de Gumbel por meio dos parâmetros obtidos das equações dos momentos, sendo os dados testados pelo método de Kolmogorov-Smirnov. Para a espacialização dos resultados, foi utilizado o ArcGIS 10.3 por intermédio da interpolação pela Ponderação do Inverso da Distância (IDW, na sigla em inglês) para cada tempo de retorno. As porções litorânea e central do estado têm maior predisposição à ocorrência de eventos extremos. O método dos momentos possibilitou estimar os parâmetros utilizados na equação de Gumbel, sendo possível espacializar e analisar as precipitações máximas para o estado estudado.

**Palavras-chave:** Gumbel; eventos hidrológicos; chuvas extremas.

## ABSTRACT

The hydrological study of precipitations allows estimating, among other characteristics, the time of recurrence of a certain rainfall, from historical bases and probabilistic calculations, which is especially important when it comes to extreme events. Thus, the objective of the present work was to estimate the probable maximum daily precipitation for the return periods of 2, 5, 10, 20, 50 and 100 years according to the Gumbel distribution, using the moments method, and to analyze the spatialization of these events for the entire state of Bahia, Brazil. The study used the historical series of the 28 rainfall stations of INMET from 1961 to 2015, applying the Gumbel method through the parameters obtained from the equations of the moments, being the data tested by the Kolmogorov-Smirnov method. For the spatialization of the results, ArcGIS 10.3 was used by means of Inverse Distance Weighting (IDW) interpolation for each return time. The coastal and central portion of the state is more predisposed to the occurrence of extreme events. The moments methods allowed to estimate the parameters used in the Gumbel equation, making it possible to spatialize and analyze the maximum precipitations for the studied state.

**Keywords:** Gumbel; hydrological events; extreme rainfall.

## INTRODUÇÃO

A grande diversidade de regimes pluviométricos que caracteriza o Nordeste do Brasil é consequência de vários fatores que atuam isoladamente ou em conjunto, determinando as condições climáticas da região (SANTOS *et al.*, 2016). Compreender a variabilidade das precipitações é fundamental para prever as suas consequências e auxiliar nos estudos de eventos climáticos extremos (SALTON *et al.*, 2016).

Essa região é compreendida por uma diversidade de regimes pluviométricos, resultado de fatores que podem atuar em conjunto ou isoladamente, definindo as condições do clima na região (SANTOS *et al.*, 2016). Até mesmo o semiárido tem sofrido com fatos climáticos extremos não só associados às secas, mas às cheias também, que devem ser previstos com o intuito de atenuar os impactos negativos causados por esses fenômenos (CABRAL *et al.*, 2016).

<sup>1</sup>Universidade Federal do Rio Grande do Sul - Porto Alegre (RS), Brasil.

<sup>2</sup>Faculdade Dom Luiz de Orleans e Bragança - Ribeira do Pombal (BA), Brasil.

\*Autor correspondente: janisson-batista-de-jesus@hotmail.com

Recebido: 23/05/2018 - Aceito: 12/12/2018 - Reg. ABES: 200508

Apesar de existirem vários métodos estatísticos para prever a ocorrência de eventos pluviométricos extremos, a distribuição de Gumbel é a que melhor se ajusta a esse tipo de fenômeno (HARTMANN; MOALA; MENDONÇA, 2011) e a mais adequada para estimar as probabilidades das precipitações máximas em diversas durações (HERSHFIELD; KOHLER, 1960), sendo a teoria de valores extremos comumente aplicada à análise estatística de variáveis como a precipitação máxima (BEIJO; MUNIZ; CASTRO NETO, 2005). Essas análises são cruciais para se estimar a recorrência de um determinado evento extremo, uma vez que o estudo de probabilidades fornece informações úteis sobre a chance probabilística de ele ocorrer novamente em determinado espaço de tempo, resultando no conhecimento do seu período de retorno (FREIRE *et al.*, 2012).

Sssim, o objetivo do presente trabalho é estimar a precipitação máxima diária provável para os períodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos segundo a distribuição de Gumbel, a partir do método dos momentos, e analisar a espacialização desses eventos para todo o estado da Bahia.

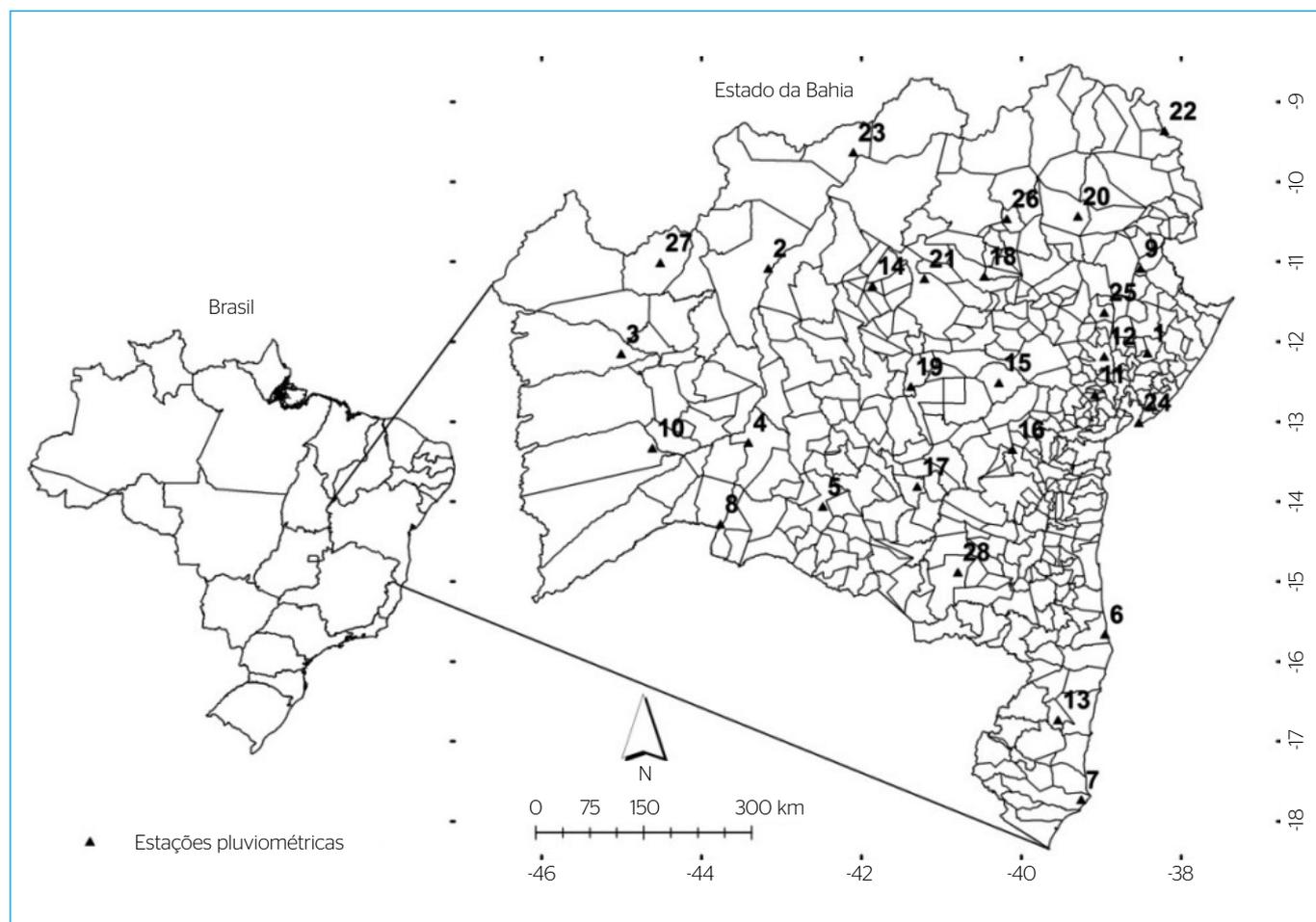
## MATERIAIS E MÉTODOS

### Área de estudo

O estudo foi realizado para todo o território do estado da Bahia, o qual está localizado no sul do Nordeste Brasileiro e é compreendido por 417 municípios, sendo o quarto maior estado do país, com área total de 564.092,669 km<sup>2</sup>, e aproximadamente 70% de sua extensão está inserida no semiárido (LIMA *et al.*, 2011).

No seu território, há a abrangência de 28 postos pluviométricos pertencentes à rede de estações meteorológicas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) (Figura 1), dos quais foram obtidos os dados para cada estação diretamente da base histórica do próprio instituto, com período de dados entre 1961 e 2015, e considerando apenas os anos com no mínimo 330 dias de dados, uma vez que a série anual não é completa em todas as estações ao longo dessa época.

Como para cada estação são fornecidos os respectivos dados identificadores e de localização, foi gerado o dado vetorial no ArcGIS 10.3 (ambiente SIG utilizado em todo o processo de análise geoespacial) do Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto da Universidade



**Figura 1** - Mapa de localização e distribuição das estações pluviométricas do Instituto Nacional de Meteorologia ao longo do estado da Bahia.

Federal do Rio Grande do Sul, com todas as informações para a espacialização por meio da interpolação pela Ponderação do Inverso da Distância (IDW, na sigla em inglês) para cada período de retorno.

### Análise probabilística

O conjunto de dados de precipitação pluvial máxima, representando uma amostra, é composto do maior valor diário registrado no mês para cada ano. No presente estudo, foi utilizada a equação de distribuição de probabilidade de Gumbel (1958), a qual é empregada às séries históricas de valores extremos, principalmente, a precipitação máxima diária mensal anual, representada pela Equação 1:

$$F(x) = \exp(-\exp(-\frac{x-\beta}{\alpha})) \quad (1)$$

Em que:

$\alpha$  = parâmetro de escala;

$\beta$  = parâmetro de posição;

$x$  = valores de precipitação máxima diária anual.

Transformando-se e relacionando a equação anterior com o tempo de retorno para se gerar a precipitação máxima para os anos analisados a partir da série histórica de cada estação, obtém-se a Equação 2:

$$X = \beta - \alpha \ln \left[ \ln \left( \frac{TR}{TR-1} \right) \right] \quad (2)$$

Os parâmetros da equação acima foram estimados com base no método dos momentos. Nos dados gerados, para cada tempo de retorno, foi aplicado o teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov ao nível de 1% de significância, a fim de avaliar a adequação da distribuição dos valores estimados pelo método de Gumbel, relacionando as distribuições empíricas acumuladas com as teóricas.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O ajuste das curvas para o método dos momentos foi de 99,81% de correlação com a variável estimada, considerando o valor  $X$  como o tempo de retorno para 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos em cada estação pluviométrica estudada, com os parâmetros  $\alpha$  e  $\beta$  estimados com base na curva logarítmica a qual está representada pela equação  $Y$  (Tabela 1). Essa condição mostra a alta correlação entre os valores da equação e da precipitação máxima diária em função do tempo de retorno considerado. Os dados também tiveram valores (inferiores a 0,2) abaixo do crítico (0,3) quando testados pelo método de aderência de Kolmogorov-Smirnov, indicando bom ajuste aos dados no período examinado.

Analisando a precipitação máxima provável e considerando os locais de cada estação pluviométrica, observa-se que existe um apontado padrão para esses eventos, tanto ao longo dos tempos de retorno

como dos municípios. Como é esperado, à medida que se aumentam os eventos de maiores magnitudes, o mesmo acontece com a temporada de recorrência, no qual claramente é verificado o acréscimo gradual do valor das precipitações em cada ponto analisado em função do alargamento dos seus retornos.

Tal condição é constatada em todos os municípios, até mesmo para Senhor do Bomfim, que apresentou o menor valor provável de precipitação ao longo do período estimado, enquanto os municípios de Salvador, Lençóis, Canavieira, Caravelas, Itaberaba, Irecê e Guaratinga tiveram os maiores valores de precipitação — com, respectivamente, 161,97; 148,33; 145,30; 145,06; 120,94; 120,94; e 120,87 mm —, considerando o retorno de 10 anos. Já ao fim da série temporal, destacam-se os

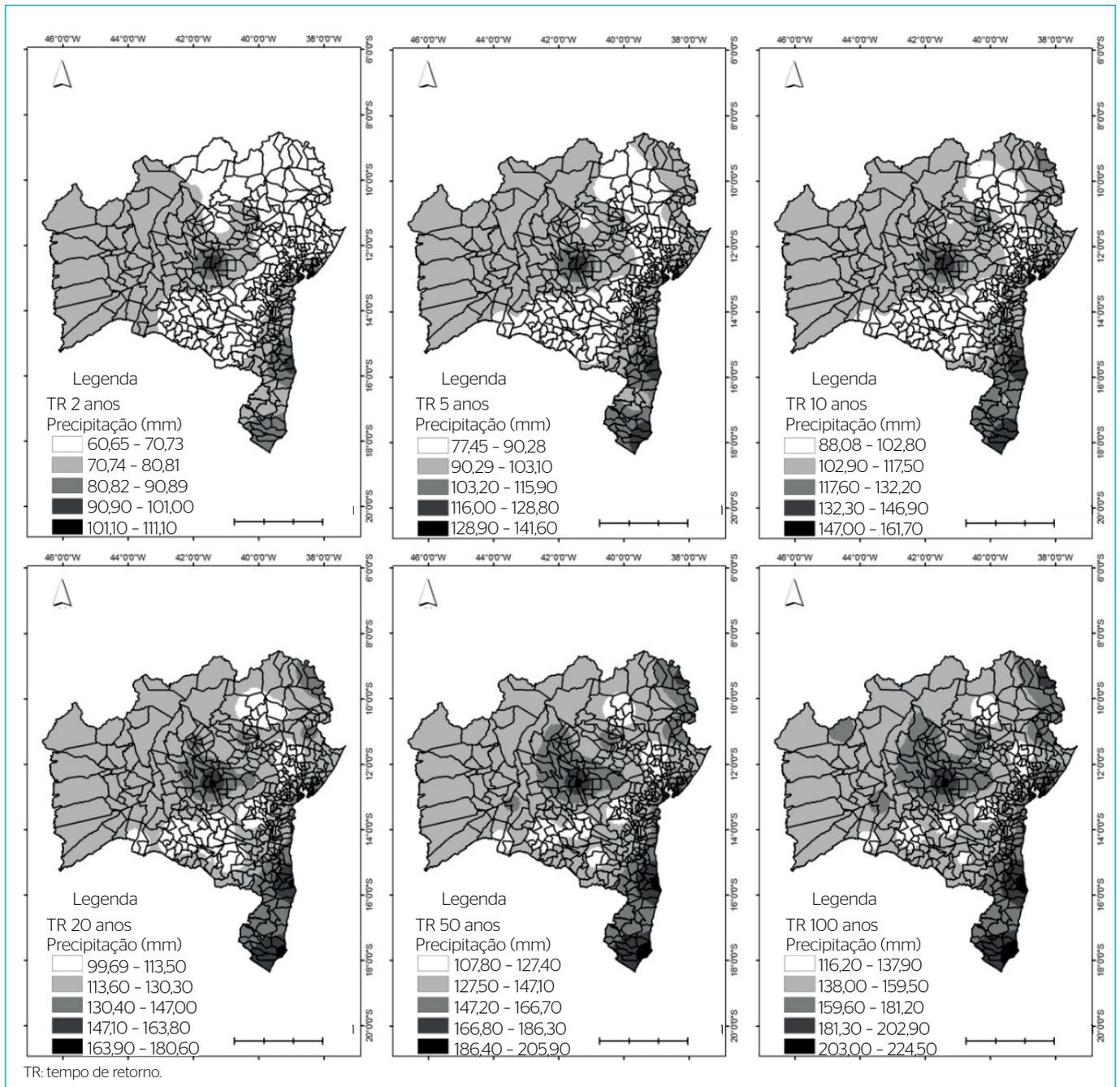
**Tabela 1 – Valores dos parâmetros  $\alpha$  e  $\beta$  e equação ( $Y$ ) do ajuste para o método dos momentos para as estações pluviométricas dos municípios estudados.**

Estação	Parâmetros		Equação
	$\alpha$	$\beta$	$Y$
Alagoinhas	56,555	23,371	25,076ln(x) + 50,154
Barra	64,229	22,077	23,687ln(x) + 58,183
Barreiras	70,512	19,096	20,488ln(x) + 65,282
Bom Jesus da Lapa	64,575	21,758	23,344ln(x) + 58,616
Caetite	61,460	14,986	16,079ln(x) + 57,356
Canavieira	83,855	27,306	29,298ln(x) + 76,376
Caravela	79,720	29,036	31,154ln(x) + 71,767
Cariranhã	66,665	14,697	15,768ln(x) + 62,64
Cipó	50,860	28,801	30,901ln(x) + 42,972
Correntina	72,831	16,303	17,826ln(x) + 67,688
Cruz das Almas	56,711	16,775	17,998ln(x) + 52,116
Feira de Santana	55,204	15,599	16,737ln(x) + 50,931
Guaratinga	66,673	22,098	23,71ln(x) + 60,621
Irecê	62,715	23,329	25,031ln(x) + 56,325
Itaberaba	62,748	23,704	25,433ln(x) + 56,256
Itiruçu	55,209	14,819	15,9ln(x) + 51,15
Ituaçu	59,108	15,766	16,916ln(x) + 54,789
Jacobina	71,465	21,616	23,192ln(x) + 65,544
Lençóis	88,330	25,717	27,592ln(x) + 81,286
Monte Santo	56,935	18,244	19,575ln(x) + 51,937
Morro do Chapéu	57,318	19,910	21,771ln(x) + 51,037
Paulo Afonso	59,516	28,426	30,499ln(x) + 51,729
Remanso	62,299	21,005	22,537ln(x) + 56,546
Salvador	101,660	26,802	28,756ln(x) + 94,321
Serrinha	50,827	25,369	27,219ln(x) + 43,878
Senhor do Bomfim	61,141	11,966	12,839ln(x) + 57,864
Santa Rita de Cássia	68,440	20,016	21,476ln(x) + 62,957
Vitória da Conquista	56,291	17,347	18,612ln(x) + 51,539

municípios de Paulo Afonso, Jacobina e Cipó, que exibem significativos aumentos nas estimativas de precipitações, com Salvador, Caravelas, Lençóis e Canavieira apresentando, respectivamente, os maiores valores prováveis desses eventos, comparando-se ambos os métodos.

As variações temporais da pluviosidade diária máxima na Bahia são evidenciadas também por Guimarães *et al.* (2015), ao analisarem o município de Cruz das Almas (BA) e constatarem os picos de precipitações entre os anos de 1971 e 2014, os quais apresentaram uma escala temporal média de oito anos.

Dessa maneira, é importante analisar a distribuição espacial desses regimes. Assim como nos valores estimados para cada estação pluviométrica, a espacialização das precipitações seguiu a mesma tendência, havendo, entretanto, relativa semelhança na distribuição espacial dos eventos máximos nos tempos de retorno, principalmente nas porções litorânea e central do Estado, onde se preveem maiores volumes precipitáveis, com expansão dos maiores valores abrangendo mais o território ao aumentar o período de retorno em ambos (Figura 2).



**Figura 2** - Distribuição espacial da precipitação máxima diária (mm) para o estado da Bahia nos tempos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos, obtida pelo método dos momentos.

Silva *et al.* (2013) indicam que há certa recorrência dos ciclos nos eventos pluviométricos, destacando a grande variabilidade na distribuição espacial da ocorrência da precipitação ao longo do território baiano, uma vez que o clima do estado está exposto a vários e complexos sistemas meteorológicos. Já Marcuzzo e Romero (2013) informam que as tendências de eventos extremos que atuam no Nordeste brasileiro e, portanto, na Bahia, são resultantes das alterações do comportamento climático ocasionadas pela ação do El Niño e da La Niña. Sendo assim, esses volumes de precipitações podem também estar associados ao regime natural de aquecimento e resfriamento das águas do pacífico.

## CONCLUSÕES

O método de Gumbel permitiu estimar as precipitações máximas diárias para o estado da Bahia, com base na série histórica analisada, com boa aderência da distribuição dos seus valores. No mesmo sentido, o método dos momentos possibilitou uma boa estimativa dos parâmetros utilizados na equação de Gumbel.

A espacialização dos valores estimados para todo o estado da Bahia indicou as regiões com maior predisposição à ocorrência das precipitações máximas diárias, com destaque às porções litorânea e central do território.

## REFERÊNCIAS

- BEIJO, L.A.; MUNIZ, J.A.; CASTRO NETO, P. (2005). Tempo de retorno das precipitações máximas em Lavras (MG) pela distribuição de valores extremos do Tipo I. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 29, n. 3, p. 657-667. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542005000300022>
- CABRAL, S.L.; CAMPOS, J.N.B.; SILVEIRA, C. da S.; PEREIRA, J.M.R. (2016) O intervalo de tempo para uma máxima previsibilidade da precipitação sobre o semiárido brasileiro. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 31, n. 2, p. 105-113. <http://dx.doi.org/10.1590/0102-778631220130034>
- FREIRE, F.G.C.; OLIVEIRA, A.M. de P.; ESPÍNOLA SOBRINHO, J.; BATISTA, R.O.; SANTOS, W. de O.; BARRETO, H.B.F. (2012) Estudo das precipitações máximas para o município de Mossoró-RN, Brasil. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, v. 6, n. 1, p. 3-7.
- GUIMARÃES, M.J.M.; LOPES, I.; SILVA, W.S. da; SILVA, A.S. da. (2015) Estudo das precipitações máximas para o município de Cruz das Almas, BA. *Magistra*, v. 27, n. 3-4, p. 326-332.
- GUMBEL, E.J. (1958) *Statistics of extremes*. Nova York: Columbia University. 375 p.
- HARTMANN, M.; MOALA, F.A.; MENDONÇA, M.A. (2011) Estudo das precipitações máximas anuais em Presidente Prudente. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 26, n. 4, p. 561-568. <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-77862011000400006>
- HERSHFIELD, D.M.; KOHLER, M.A. (1960) An empirical appraisal of the Gumbel extreme value procedure. *Journal of Geophysical Research*, v. 65, n. 6, p. 1737-1746. <https://doi.org/10.1029/JZ065i006p01737>
- LIMA, J.R.A.; NEVES, D.J.D.; ARAÚJO, L.E. de; AZEVEDO, P.V. de. (2011) Identificação de tendências climáticas no Estado da Bahia. *Revista de Geografia (UFPE)*, v. 28, n. 3, p. 172-187.
- MARCUZZO, F.F.N.; ROMERO, V. (2013) Influência do El Niño e La Niña na precipitação máxima diária do Estado de Goiás. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 28, n. 4, p. 429-440. <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-77862013000400009>
- SALTON, F.G.; MORAIS, H.; CARAMORI, P.H.; BORROZZINO, E. (2016) Climatologia dos Episódios de Precipitação em Três Localidades no Estado do Paraná. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 31, n. 4, supl. 1, p. 626-638. <http://dx.doi.org/10.1590/0102-7786312314b20150108>
- SANTOS, A.P.P. dos; ARAGÃO, M.R. da S.; CORREIA, M. de F.; SANTOS, S.R.Q. dos; SILVA, F.D. dos S.; ARAÚJO, H.A. de. (2016) Precipitação na cidade de Salvador: variabilidade temporal e classificação em quantis. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 31, n. 4, p. 454-467. <http://dx.doi.org/10.1590/0102-778631231420150048>
- SILVA, S.F. da; GENZ, F.; AGUIAR, W.; SILVA, N. de M.D. da; KIPERSTOK, A. (2013) Avaliação da ocorrência de secas na Bahia utilizando o Índice de Precipitação Padronizada (SPI). *Bahia Análise & Dados*, v. 23, n. 2, p. 461-473.

