

## XII ENCONTRO NACIONAL DE ÁGUAS URBANAS

### **ESTIMATIVA DE PRECIPITAÇÃO MÁXIMA DIÁRIA ANUAL E EQUAÇÃO DE CHUVAS INTENSAS PARA O MUNICÍPIO DE ATALAIA/AL A PARTIR DA DISTRIBUIÇÃO GEV**

*Wallisson Moreira de Carvalho*<sup>1</sup>; *Yan Ranny Machado Gomes*<sup>2</sup>; *Leticia Leite de França Lopes*<sup>3</sup> & *Carlos Ruberto Fragoço Júnior*.<sup>4</sup>

**RESUMO** – Com o objetivo de diminuir alagamentos, os dispositivos de drenagem são dimensionados para transportar águas decorrentes de eventos extremos máximos considerando uma determinada recorrência. Tal dimensionamento requer um estudo de precipitações máximas diárias, que são obtidas para cada local considerando uma duração e frequência (curva IDF). Este trabalho utilizou uma distribuição GEV para estimar a precipitação diária máxima anual do município de Atalaia/AL, considerando dois métodos para estimativas dos parâmetros: Método da Máxima Verossimilhança (MVS) e Momentos-L (MOML). O teste de Kolmogorov-Smirnov indicou que os dois métodos de estimativa dos parâmetros apresentam boa aderência dados observados (distribuição empírica). O método dos mínimos quadrados foi utilizado para determinar os coeficientes da curva IDF a partir da chuva diária desagregada para diferentes durações e frequência.

**ABSTRACT**– In order to reduce flooding, drainage systems are designed to transport water in consequence of extreme events with certain recurrence. Such design requires a study of maximum events for each location considering the duration and frequency (IDF equation). This study used the GEV distribution to estimate the maximum annual precipitation of Atalaia/AL, considering two methods for parameter estimation: Maximum Likelihood (MVS) and L-Moments (MOML). The Kolmogorov-Smirnov hypothesis test indicated that both methods presented good fit to the data (empiric distribution). The least squares method was used to determine the IDF coefficients from disaggregated precipitation for different duration and frequencies

**Palavras-Chave** – Intensidade-duração-frequência (IDF), drenagem urbana, tempo de retorno.

---

1) Universidade Federal de Alagoas, Centro de Tecnologia, Maceió, e-mail: wallissoncarvalho95@gmail.com

2) Universidade Federal de Pernambuco, Departamento de Engenharia Civil, Recife, e-mail: yanr.machado@gmail.com

3) Universidade Federal de Alagoas, Centro de Tecnologia, Maceió, e-mail: leticia.leitefl@gmail.com

4) Universidade Federal de Alagoas, Centro de Tecnologia, Maceió, e-mail: crubertofj@hotmail.com

## 1 - INTRODUÇÃO

Centros urbanos estabelecidos próximos aos corpos d'água são sujeitos à riscos de inundações, um fenômeno global que pode causar devastações, danos econômicos e perdas de vidas humanas. Segundo Jha et al. (2012), ao longo dos últimos anos, o número de eventos de inundações registrados vem aumentando significativamente. A quantidade de pessoas afetadas por inundações e os danos financeiros, econômicos e de ativos segurados também têm aumentado. Apenas em 2010, 178 milhões de pessoas foram afetadas pelas inundações. As perdas totais em anos excepcionais como 1988 e 2010 excederam 40 bilhões de dólares.

Com o objetivo de mitigar impactos socioeconômicos decorrentes das inundações, que são causadas por eventos hidrometeorológicos extremos, é fundamental o entendimento do comportamento hidrológico dos rios, incluindo a determinação das chuvas extremas de projeto. Tais precipitações extremas são obtidas através da equação de chuvas intensas (IDF) para um determinado local, relacionando intensidade da chuva, duração e tempo de retorno. Em geral, técnicas estatísticas (e.g. distribuições de frequência) são utilizadas para obtenção das curvas IDF inferindo sobre futuras probabilidades de ocorrência.

A distribuição Generalizada de Valores Extremos (GEV) ganhou popularidade nas últimas décadas, sendo conceitualmente apropriada e tecnicamente adequada para reproduzir com precisão a distribuição de frequência de amostras observadas em diferentes contextos geográficos ao redor do mundo (com Grimaldi et al., 2011). De acordo com Katz et al. (2002), a GEV tem ampla aplicação na hidrologia para representação das máximas anuais.

Existem diversas abordagens para estimar os parâmetros de uma distribuição de máximos. Dentre os métodos mais utilizados, destacam-se o Método da Máxima Verossimilhança (MVS) e Momentos-L (MOML).

O MVS apresenta bom desempenho em amostras grandes, que é geralmente encontrado nos registros hidrológicos disponíveis (Grimaldi et al, 2011). Além disso, o método MVS é considerado o método de estimação mais eficiente porque produz os estimadores de menor variância (Naghetini e Pinto, 2007).

A aplicação do MOML, introduzido por Hosking *et al.* (1990), tem a vantagem de ser uma técnica mais robusta de estimação de parâmetros com relação aos *outliers* e sofrer menos o efeito da variabilidade do tamanho da amostra, sendo este último um fator que restringe o uso da aplicação do MVS. Em geral, o MOML possui um desvio padrão próximo ao MVS para amostras de tamanho intermediário (i.e. entre 50 e 100 dados), mas reduz substancialmente o desvio padrão em comparação ao MVS para amostras de tamanhos pequenos (i.e. entre 15 e 25 dados) em distribuições GEV

(Hosking, 1985). O mesmo autor ainda afirma que Momentos-L possui maior tendenciosidade em relação ao MVS.

Em Alagoas, Lima et al (2013) estimou a IDF para as cidades de Maceió e Arapiraca. Silva & Oliveira (2017) geraram mapas temáticos dos parâmetros da IDF no Nordeste do Brasil a partir da distribuição de Gumbel. Uma vantagem da distribuição GEV em relação à Gumbel é a parametrização do fator de forma, podendo a distribuição ter uma cauda alongada ou não, ou seja, a densidade de probabilidade diminui a uma baixa taxa à medida que a magnitude da chuva aumenta.

No Sistema Integrado de Informações Sobre Desastres (S2iD) há registros de que o município de Atalaia/AL passou por estado de calamidade pública, causadas pelas inundações, nos anos de 1989, 2000 e 2010. Somente no ano de 2017, as inundações no município afetaram 2.105 pessoas. Além disso, o município ainda não possui estudos que determinam as precipitações extremas para diferentes períodos de recorrência e a estimativa da curva IDF.

Dessa forma, este artigo tem como objetivo determinar a relação IDF para o município de Atalaia/AL, considerando diferentes métodos para estimativa dos parâmetros da distribuição GEV.

## **2 - METODOLOGIA**

O município de Atalaia está localizado na parte baixa da bacia do Rio Paraíba do Meio, possuindo uma área de 533,26 km<sup>2</sup> (Figura 1). De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) em 2017, o município de Atalaia apresentava uma população total estimada de 47.744 habitantes.

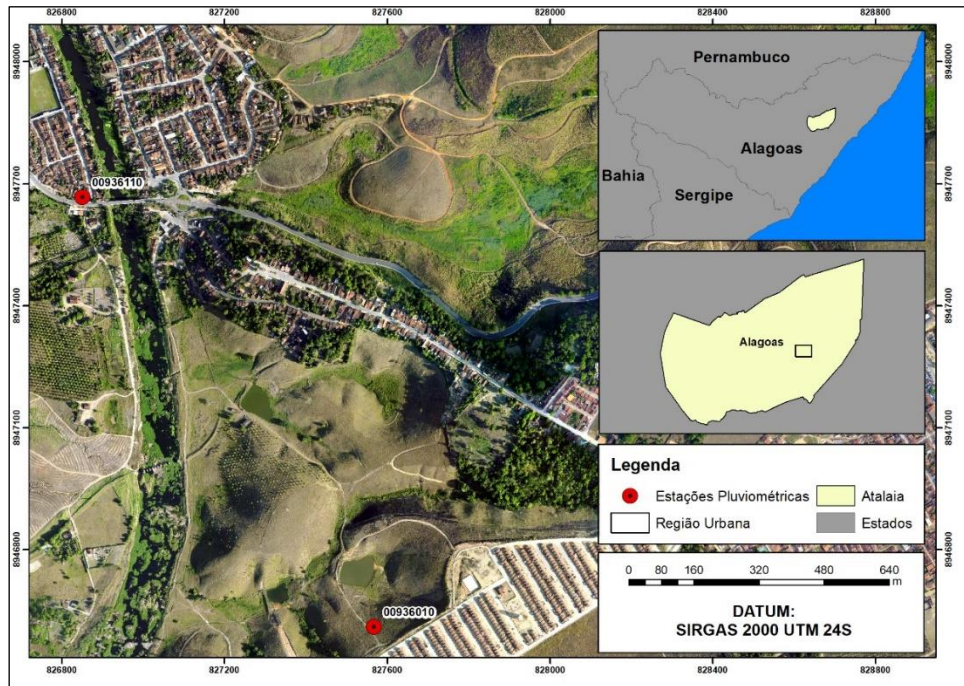


Figura 1 - Área de estudo.

Os dados de precipitação diária no município foram obtidos, a partir das estações pluviométricas apresentadas na Figura 1, através da plataforma Hidroweb (ANA, 2005). As estações foram escolhidas devido à extensão e continuidade dos dados. A estação 00936010 apresenta dados referentes ao período de dezembro de 1912 a agosto de 1995, enquanto a estação 00836110 apresenta registros de agosto de 1989 a dezembro de 2017. Os anos hidrológicos que possuíam mais de seis meses com ausência de mais de 15 dados em cada, foram retirados da análise.

A distribuição generalizada de valores extremos (GEV) é uma função que relaciona a probabilidade de ocorrência com a magnitude. Na hidrologia, o uso da GEV se aplica a máximas anuais (Katz *et al.*, 2002) e se pode derivar três modelos de distribuição de probabilidades a partir da GEV: Gumbel, Fréchet e Weibull. A distribuição GEV possui a forma acumulada descrita na equação abaixo (Naghettini & Pinto, 2007).

$$F(y) = \exp \left\{ - \left[ 1 - \kappa \left( \frac{y - \mu}{\alpha} \right)^{1/\kappa} \right] \right\} \quad (1)$$

onde  $\mu$  é o parâmetro de posição,  $\alpha$  o de escala e  $\kappa$  o de forma. Para estimar os parâmetros, foram considerados o MVS e o MOML.

O MVS se baseia em resolver um sistema de equações que maximizam a função verossimilhança. Dada uma amostra aleatória de  $n$  observações que pertencem a uma dada distribuição  $F(X|\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_k)$  a função verossimilhança é dada pela equação abaixo.

$$L(\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_k) = \prod_{i=1}^n F(x_i | \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_k) \quad (2)$$

Para maximizar a função verossimilhança iguala-se as derivadas parciais à zero, ou seja, deve-se resolver o sistema de equações com k incógnitas como expresso na equação 3.

$$\frac{\partial L(\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_k)}{\partial \theta_j} = 0, j = 1, 2, \dots, k \quad (3)$$

O método MOML é baseado na combinação linear dos momentos ponderados por probabilidade  $\alpha_r$  e  $\beta_s$  conforme Greenwood (1979). Os momentos-L de ordem r são denotados por  $\lambda_r$  e possuem os primeiros momentos definidos pela equação 4. Sendo assim, os momentos-L amostrais são calculados para a definição dos parâmetros a partir dos coeficientes  $\lambda_r$ .

$$\begin{aligned} \lambda_1 &= \alpha_0 = \beta_0 \\ \lambda_2 &= \alpha_0 - 2\alpha_1 = 2\beta_1 - \beta_0 \\ \lambda_3 &= \alpha_0 - 6\alpha_1 + 6\alpha_2 = 6\beta_2 - 6\beta_1 + \beta_0 \\ \lambda_4 &= \alpha_0 - 12\alpha_1 + 30\alpha_2 - 20\alpha_3 = 20\beta_3 - 30\beta_2 + 12\beta_1 - \beta_0 \end{aligned} \quad (4)$$

Para identificação do melhor método de estimativa dos parâmetros utilizou-se o teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov. Este teste avalia a diferença máxima entre as funções de probabilidade acumuladas empírica e teórica. Essa diferença é comparada com um dado valor crítico, definido pelo nível de significância  $\alpha$ . A hipótese nula ( $h_0$ ) é testada tal que os dados seguem uma distribuição teórica.

O método de desagregação de chuvas (CETESB, 1986) foi aplicado para determinar a precipitação máxima para diferentes durações (e.g. 24h, 12h, 10h, 8h, 6h, 1h, 30 min, 25 min, 20 min, 15 min, 10 min e 5 min) a partir da precipitação máxima diária obtida por GEV (Tabela 1).

Tabela 1: Constantes para desagregação de chuva

Relação (t1/t2)	Constante (k)
5min/30min	0,34
10min/30min	0,54
15min/30min	0,7
20min/30min	0,81
25min/30min	0,91
30min/1h	0,74
1h/24h	0,42
6h/24h	0,72
8h/24h	0,78
10h/24h	0,82
12h/24h	0,85
1dia/24h	1,14

Fonte: Adaptado de CETESB (1986)

A partir dos valores encontrados pela desagregação, os coeficientes da equação IDF (equação 5, ver Tucci, 2002) foram obtidos utilizando o método de mínimos quadrados não linear.

$$I = \frac{kT_r^a}{(t + b)^c} \quad (5)$$

onde,  $I$  é a intensidade de precipitação, dada em milímetros por hora,  $T_r$  é o tempo de recorrência em anos,  $t$  é a duração da chuva em minutos e  $a$ ,  $b$ ,  $c$  e  $k$  são parâmetros adimensionais que descrevem as características do local.

### 3 - RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após a coleta dos dados no Hidroweb (ANA, 2005), foi identificado a ausência de dados entre o período de tempo de maio de 1990 a dezembro de 1993 na estação 00936010. Já na estação 00936110, foram identificadas 45 dias com falhas em toda a série histórica. Considerando que as duas estações distam aproximadamente 1,3 km e que as características hidrometeorológicas podem ser consideradas semelhantes, as duas séries de dados foram mescladas, resultando em uma série precipitação diária com 105 anos de dados com apenas 24 dias de falhas.

A partir da definição do ano hidrológico, a série de máxima diária anual foi obtida (Figura 2). Em seguida, os parâmetros da distribuição GEV para cada método de estimativa dos parâmetros foram obtidos, os quais podem ser observados na Tabela 2.

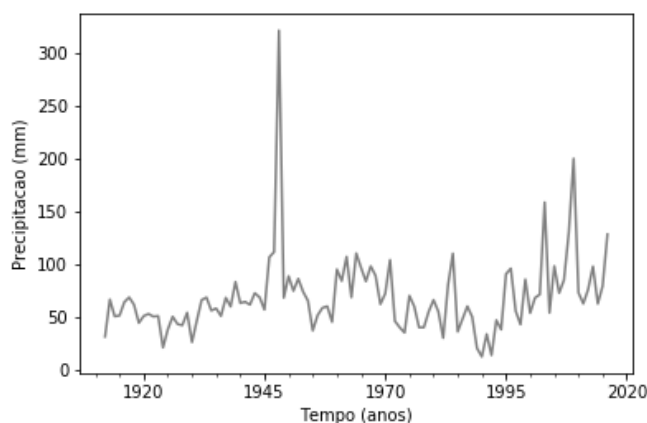


Figura 2: Série de precipitação máxima anual na cidade de Atalaia/AL

Tabela 2: Parâmetros estimados

	$\mu$	$\alpha$	$\kappa$
<b>MVS</b>	53,434	23,512	0,068
<b>MOML</b>	52,861	21,494	23,512



A Figura 3 apresenta as curvas de distribuição de probabilidades, com os parâmetros da distribuição GEV estimados pelo método MVS e pelo método MOML. Observa-se uma boa correspondência entre as curvas.

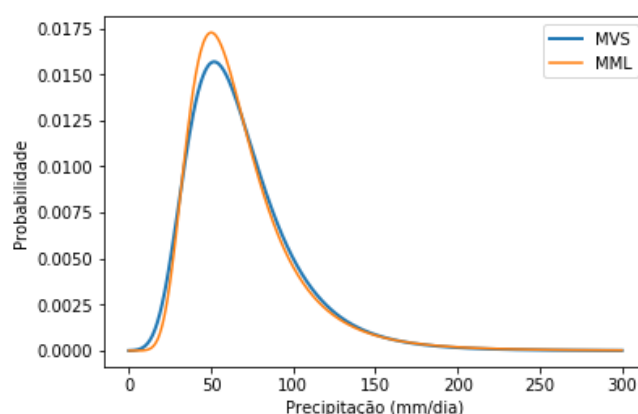


Figura 3: Distribuições a partir da estimação de parâmetros por MVS e MOML

O teste de Kolmogorov-Smirnov foi aplicado para verificar a aderência dos valores estimados por GEV em relação à distribuição empírica. O valor crítico encontrado para um nível de significância  $\alpha=0,05$  e tamanho da amostra  $N=105$  foi de 0,1325. Os valores obtidos no teste de aderência para os métodos MVS e MOML são inferiores ao valor crítico, indicado que ambos os métodos aderem bem a distribuição empírica. Ao comparar os resultados do teste de aderência para os dois métodos, é possível identificar que o MVS obteve melhor desempenho em relação ao MOML. Dessa forma, os parâmetros estimados por este método foram escolhidos para obter a curva IDF para o município de Atalaia.

Tabela 3: Resultados numéricos para o teste de Kolmogorov-Smirnov

	<b>Estatística de teste</b>	<b>Valor p</b>
<b>MVS</b>	0,0759	0,5661
<b>MOML</b>	0,0805	0,4862

Utilizando a função inversa da distribuição de probabilidades as magnitudes para determinados tempos de retorno foram calculadas para ambos os conjuntos de parâmetros (Tabela 4). Nota-se uma pequena diferença entre os dois métodos e um esperado aumento na diferença para tempos de retorno maiores devido às incertezas envolvidas.

Tabela 4: Magnitudes para diferentes tempos de retorno

Tempo de Retorno (anos)	Magnitude (mm/dia)		Δ
	MVS	MOML	
2	62,2	60,9	1,2
5	90,6	88,6	1,9
10	110,6	109,5	1,1
20	130,8	131,6	0,8
25	137,4	139,1	1,7
50	158,5	163,7	5,2
100	180,4	190,5	10,2

Em seguida, o método de desagregação de chuva foi utilizado para estimar a precipitação máxima para diferentes durações. Os valores das intensidades de precipitação para cada duração e frequência são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 - Chuvas desagregadas para diferentes tempos de recorrência e duração.

TR	Precipitação (mm/d)	Duração (minutos)											
		1440	720	600	480	360	60	30	25	20	15	10	5
2	62.2	70.9	60.2	58.1	55.3	51.0	29.8	22.0	20.0	17.8	15.4	11.9	7.5
5	90.6	103.2	87.7	84.7	80.5	74.3	43.4	32.1	29.2	26.0	22.5	17.3	10.9
10	110.6	126.1	107.2	103.4	98.3	90.8	53.0	39.2	35.7	31.7	27.4	21.2	13.3
20	130.8	149.1	126.7	122.3	116.3	107.4	62.6	46.3	42.2	37.5	32.4	25.0	15.8
25	137.4	156.7	133.2	128.5	122.2	112.8	65.8	48.7	44.3	39.4	34.1	26.3	16.6
50	158.5	180.6	153.5	148.1	140.9	130.1	75.9	56.1	51.1	45.5	39.3	30.3	19.1
100	180.4	205.6	174.8	168.6	160.4	148.0	86.4	63.9	58.2	51.8	44.7	34.5	21.7

Utilizando o método dos mínimos quadrados não linear os valores de precipitação foram ajustados para obter equação IDF do município de Atalaia, conforme mostrado abaixo:

$$I = \frac{619,712 T_r^{0,2411}}{(9,791 + t)^{0,7243}} \quad (6)$$

A Figura 4 apresenta o ajuste dos valores de intensidade máxima estimados pela equação e a partir dos dados observados desagregados. O coeficiente de determinação R<sup>2</sup> mostra o bom ajuste da equação igual a 0,9961.



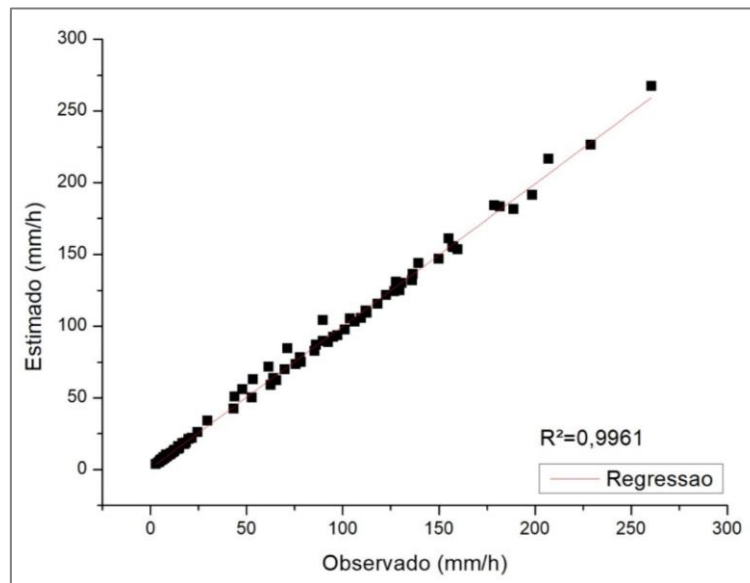


Figura 4 - Relação entre intensidade máxima de precipitação desagregada e calculada pela equação IDF.

#### 4 - CONCLUSÕES

Neste estudo, utilizou-se a distribuição GEV e os estimadores de máxima verossimilhança e momentos-L, que são amplamente recomendados na literatura. O teste de Kolmogorov-Smirnov indicou uma boa aderência dos valores estimados pela distribuição GEV em relação à distribuição empírica. Foi observado que os métodos de estimativa dos parâmetros MVS e MOML produzem estimativas de precipitação máxima muito semelhantes.

A partir da escolha do método de máxima verossimilhança, a desagregação de chuvas foi aplicada e a curva IDF calculada, obtendo um bom coeficiente de determinação quando comparados dados observados e calculados.

Sendo assim, este trabalho fornece subsídios para dimensionamento de projetos envolvendo recursos hídricos na cidade de Atalaia/AL.

#### 5 - REFERÊNCIAS

- ANA. HidroWeb – “*Sistema de Informações Hidrológicas*”, 2005. Disponível em: <[www.http://hidroweb.ana.gov.br/](http://hidroweb.ana.gov.br/)>. Acesso em março de 2018.
- CETESB. “*Drenagem Urbana: manual de projeto*”. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, São Paulo, 464 p. 1986.
- GRIMALDI, S. et al. “*Statistical Hydrology*”. Treatise on Water Science. 479-517, 2011.

- HOSKING, J. R. M. *et al.* “Estimation of the generalized extreme-value distribution by the method of probability weighted moment. *Technometrics*”, v. 27, p. 251-261, 1985.
- HOSKING, J. R. M. “L-moments: analysis and estimation of distribution using linear combinations of order statistics”. *Journal of Royal Statistical Society – Series B* v. 52, p. 105-124, 1990.
- JHA, A.K.; Bloch, R.; Lamond, J. “*Cidades e Inundações: Um guia para a Gestão Integrada do Risco de Inundação Urbana para o Século XX*”. The World Bank, Washington,D.C., 49 p., 2012.
- KATZ, R. W.; PARLANGE, M. B.; NAVEAU, P. “Statistics of extremes in hydrology”. *Advances in water resources*, v. 25, p. 1287-1304, 2002.
- LIMA, T. P; FERRAZ, F. T; FRANÇA, L. C. J; GOMES, G. S. L; SILVA, J. B. L. “Equações de chuvas intensas para os municípios de Maceió e Arapiraca – AL”. In: IV Congresso Nordestino de Engenharia Florestal. Anais... Bahia, 2013.
- NAGHETTINI, M & PINTO, E. J. A., “*Hidrologia Estatística*”. Ed. CPRM, 2007.
- TUCCI, C. E. M. “*Hidrologia: ciência e aplicação*”. In: TUCCI, C. E. M. (Org.). *Hidrologia: ciência e aplicação*. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS: ABRH, 2001. 2. ed.
- SILVA, C. B & OLIVEIRA, L. F. C. “*Relação Intensidade-Duração-Frequência de chuvas extremas na região Nordeste do Brasil*”. *Revista Brasileira de Climatologia*, 20, p. 267-283, 2017.