



Periódico da Universidade Vale do Rio Verde

ISSN: 2526-690X
v. 4 | n. 2 | 2020

Alice Raquel CAMINHA *

Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária.
Mestranda em Recursos Hídricos, UFLA
alicercazinha@gmail.com

Gabriela Rezende de SOUZA

Mestre em Recursos Hídricos. Doutoranda em
Recursos Hídricos, UFLA
gabriela.souza2@estudante.ufla.br

Luiz Fernando Coutinho de OLIVEIRA

Doutor em Engenharia Agrícola. Professor do
Departamento de Recursos Hídricos, UFLA
coutinho@ufla.br

DESEMPENHO DO MÉTODO DE DESAGREGAÇÃO DE CHUVAS PARA DETERMINAÇÃO DAS RELAÇÕES INTENSIDADE-DURAÇÃO-FREQUÊNCIA DAS PRECIPITAÇÕES EM ALGUMAS LOCALIDADES DE MINAS GERAIS

Resumo: As chuvas intensas são eventos naturais, em geral caracterizados por forte precipitação contínua em um curto espaço de tempo. A precipitação pode ser caracterizada por três grandezas: sua intensidade, duração e frequência. A relação entre essas grandezas pode ser expressa por modelos matemáticos denominados relação IDF. O objetivo do presente trabalho foi avaliar o desempenho das relações IDF geradas a partir da função de distribuição de Gumbel, empregando, para tal, a técnica da desagregação das informações coletadas em pluviômetros, comparando-as com as relações IDF ajustadas por Pinto (1995) a partir de registros pluviográficos, para 28 estações no estado de Minas Gerais. Os registros pluviométricos utilizados para estabelecer as relações IDF foram obtidos no sistema de informação HIDROWEB, disponível no site da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. A aderência da distribuição de Gumbel aos dados observados foi verificada pela aplicação dos testes de Kolmogorov-Smirnov e Anderson-Darling. Para a comparação pareada entre as intensidades de precipitação estimadas pelas relações IDF geradas neste trabalho e as obtidas por Pinto (1995), empregou-se o teste F de variância. As intensidades estimadas pelas relações IDF geradas apresentaram bom desempenho quando comparadas com as propostas por Pinto (1995) para os períodos de retorno de 5 e 10 anos e tempo de duração de até 60 minutos. Para os períodos de retorno de 25 e 100 anos, verificou-se um bom desempenho para tempos de duração de até 10 minutos e para o período de retorno de 50 anos, até 25 minutos.

Palavras-chave: Chuvas intensas. Distribuição de Gumbel. Equações IDF. Hidrologia.

PERFORMANCE OF THE DAILY RAINFALL DISAGGREGATION METHOD FOR DETERMINING THE INTENSITY-DURATION- FREQUENCY RELATIONSHIPS IN SOME LOCATIONS OF MINAS GERAIS

Abstract: Heavy rainfalls are natural events, in general characterized by strong continuous precipitation over a short period. Precipitation can be characterized by three variables: intensity, duration and frequency. The relationship between them can be expressed by mathematical models called IDF equations. This work aims to evaluate the performance IDF equations generated from daily rainfall disaggregation technique using Gumbel distribution function, comparing them with the IDF equations adjusted by Pinto (1995) from recording rain gauges, for 28 rain gauge stations in the state of Minas Gerais. Daily rainfall used to establish the IDF

relationships were obtained in the HIDROWEB information system, available on the website of the National Water and Sanitation Agency. The adequacy of the Gumbel distribution to the observed data was verified by applying Kolmogorov-Smirnov and Anderson-Darling tests. For the paired comparison between the precipitation intensities estimated by the IDF equations generated in this work and those obtained by Pinto (1995), the F test of variance was used. The intensities estimated by the generated IDF relations performed well when compared to the ones proposed by Pinto (1995) for the return periods of 5 and 10 years and duration of up to 60 minutes. For the return periods of 25 and 100 years, a good performance was found for times of up to 10 minutes and for the return period of 50 years, up to 25 minutes.

Keywords: Heavy rainfall. Gumbel Distribution. IDF equations. Hydrology.

Recebido em: 25/09/2020 - Aprovado em: 17/12/2020 - Disponibilizado em: 30/12/2020

INTRODUÇÃO

As chuvas intensas são eventos caracterizados pela ocorrência de elevados volumes de precipitação em curto intervalo de tempo, apresentando distribuição irregular tanto espacialmente, quanto temporalmente (ARAÚJO et al., 2008). A análise dos impactos gerados por eventos extremos de chuva é de suma importância para a sociedade no que diz respeito a processos de erosão do solo, transporte de sedimentos e identificações de áreas de risco para a ocupação humana (MELLO; VIOLA, 2013).

As precipitações podem ser caracterizadas pela sua duração, intensidade e frequência de ocorrência para determinado período de retorno, relação comumente conhecida pelas curvas intensidade-duração-frequência (IDF), as quais são obtidas por meio de

dados pluviográficos (CECÍLIO; PRUSKI, 2003; SOUZA et al., 2012). As curvas IDF são fundamentais para o dimensionamento de obras hidráulicas urbanas e rurais, como projetos de drenagem, barragens, sistemas de terraceamento agrícola e obras de proteção contra cheias, de maneira que a estrutura seja projetada para resistir a esses eventos adequadamente (OLIVEIRA et al., 2008; BACK, 2009; MESQUITA et al., 2009).

Devido à baixa densidade da rede de pluviógrafos e do pequeno período de observações comumente disponíveis, a determinação de equações IDF a partir de pluviogramas se torna um processo difícil. Dessa forma, em algumas regiões com escassez de dados pluviográficos, obras hidráulicas são projetadas utilizando informações dos postos de monitoramento pluviométrico mais próximos aos locais

onde os empreendimentos são realizados, gerando estimativas pouco confiáveis, visto que dados de precipitação são caracterizados por grande variabilidade espacial (SILVA et al., 2012).

Ainda, como alternativa à baixa disponibilidade de dados pluviográficos, é possível gerar informações para o estudo de chuvas intensas aplicando-se relações médias entre lâminas precipitadas com diferentes durações (BORGES; THEBALDI, 2016). Um dos métodos mais conhecidos é o de desagregação de chuvas diárias, proposto pela CETESB (1986), que consiste em desagregar totais diários de chuva para durações menores a partir de coeficientes de desagregação. No Brasil, o método da desagregação de chuvas utilizando os coeficientes propostos pela CETESB (1986) é amplamente utilizado e apresenta bons resultados, como nos estudos de Garcia et al. (2011), Silva et al. (2012), Souza et al. (2012), Aragão et al. (2013), Lorenzoni et al. (2013), Campos et al. (2014), Teodoro et al. (2014), Campos et al. (2015) e Souza et al. (2019).

Um dos trabalhos pioneiros do estudo de chuvas intensas no estado de Minas Gerais foi desenvolvido por Pinto (1995). Em seu trabalho, o autor empregou as distribuições de probabilidade de Gumbel, Log-Normal com dois e três parâmetros, Pearson e

Log-Pearson III para dados de séries de 29 estações pluviográficas, com tempos de duração da chuva variando entre 5 e 1440 minutos. Verificando a aderência das distribuições de probabilidade pelo teste de Kolmogorov-Smirnov, o autor concluiu que a distribuição de Gumbel foi a que melhor se ajustou aos dados observados.

Vários autores têm utilizado a distribuição de Gumbel para a análise de frequência das precipitações máximas diárias anuais. Back; Pola (2016) verificaram a aderência da distribuição de Gumbel na estimativa de chuvas máximas anuais com duração de 5 até 1440 minutos para o município de Videira, SC. Os autores verificaram que a distribuição de Gumbel se mostrou adequada e as relações IDF ajustadas forneceram estimativas de valores muito próximos aos observados. Borges; Thebaldi (2016) estimaram a precipitação máxima diária anual e a relação IDF para o município de Formiga, MG, e, pelo teste Qui-quadrado, foi identificado que o modelo de distribuição probabilística de Gumbel aderiu melhor às frequências dos dados observados.

Nesse contexto, esse estudo objetivou avaliar o desempenho do método de desagregação de chuvas diárias coletadas em pluviômetros para obtenção das relações IDF de 28 estações no estado

de Minas Gerais, em comparação com as relações IDF ajustadas por Pinto (1995) a partir de dados pluviográficos.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido para o estado de Minas Gerais que, segundo Mello et al. (2003), apresenta, em suas regiões, chuvas distribuídas de forma irregular, com cerca de 90% do total precipitado e das chuvas intensas concentrados nos meses de outubro a março. A região Norte do estado apresenta clima com classificação Aw e As, e, geograficamente, está localizada em latitudes inferiores a 18°S. A região Sul apresenta clima Cwb em sua maior parte, localizando-se em latitudes superiores a

21°S e longitudes entre 43 e 46°W. A região Central apresenta classificação climática Cwa e Cwb, localizando-se, aproximadamente, entre as coordenadas geográficas 18 e 21°S e 43 e 46°W. A região do Triângulo Mineiro apresenta classificação climática predominante Aw, com algumas porções classificadas em Cwa e Cwb, localizando-se entre as coordenadas geográficas 18 e 20°S e 46 e 50°W. A região Leste apresenta as classificações climáticas Aw, Cwa e Cwb e está localizada entre as coordenadas geográficas 18 e 21°S e 41 e 43°W. Todos os climas das regiões apresentadas acima seguiram a classificação de Köppen (ALVARES et al., 2013).

Figura 1 – Mapa do estado de Minas Gerais dividido em regiões hidrologicamente homogêneas



Fonte: Adaptado de Mello et al. (2003).

As relações IDF geradas a partir de registros pluviográficos disponíveis para o estado de Minas Gerais foram

determinadas por Pinto (1995), para o período de 1983 a 1993, as quais foram empregadas neste estudo como base

comparativa. As equações IDF determinadas por Pinto (1995) constituíram a referência para a análise das respostas oferecidas pelas equações desenvolvidas nesse trabalho, por meio da técnica de desagregação de chuvas e distribuição de probabilidade de Gumbel. Para o método de desagregação de chuvas, séries de precipitação máxima diária anual foram obtidas no Hidroweb (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO, 2019), para 28 das estações com os mesmos anos de observações empregados por Pinto (1995). A partir das chuvas de 1 dia, foram aplicados os coeficientes propostos pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB, 1986) para os tempos de duração de 5, 10, 15, 20, 25, 30, 60, 360, 480, 600, 720 e 1440 min (Tabela 1). Em seguida, foram estimados os parâmetros da distribuição de probabilidade de Gumbel para cada uma das estações, empregando o método dos momentos. A adequação da distribuição de Gumbel foi verificada pelos testes de Kolmogorov-Smirnov e Anderson-Darling, ao nível de significância de 5%. A probabilidade de um evento de chuva extremo ocorrer ou ser superado pode ser obtida a partir de uma função de distribuição probabilística, sendo possível a extrapolação para um número maior que

os anos de observação (OLIVEIRA et al., 2005). A distribuição de Gumbel é considerada a que melhor se ajusta a eventos extremos, principalmente precipitações máximas (ARAÚJO et al., 2008; PENNER; LIMA, 2016). Dessa forma, levando-se em consideração a hipótese de que a média e o desvio padrão das intensidades de precipitação média máxima das chuvas variem de acordo com a duração, a distribuição de Gumbel pode ser escrita conforme a Equação 1 (OLIVEIRA et al., 2008; SANTOS et al., 2009; OLIVEIRA et al., 2011).

$$I_{TR} = \alpha - \beta \text{Ln} \left[\text{Ln} \left(\frac{TR}{TR-1} \right) \right] \quad (1)$$

Em que, ITR é a intensidade pluviométrica associada a um período de retorno TR, mm e α e β são os parâmetros da distribuição de Gumbel, obtidas pelo método dos momentos (Equações 2 e 3).

$$E(I) = \alpha + 0,577\beta \quad (2)$$

$$\text{Var}(I) = 1,645\beta^2 \quad (3)$$

Em que: E(I) = valor esperado, estimado pela média dos valores das intensidades das precipitações máximas anuais e, Var(I) = variância das intensidades das precipitações máximas anuais.

Tabela 1 – Relação entre as alturas pluviométricas de chuvas de mesma frequência com tempos de duração diferentes

Relação entre os tempos de duração	Coefficientes de desagregação	Relação entre os tempos de duração	Coefficientes de desagregação
5 min/30 min	0,34	2 h/ 24 h	0,48
10 min/30 min	0,54	3 h / 24 h	0,54
15 min/30 min	0,70	6 h/ 24 h	0,72
20 min/30 min	0,81	8 h/ 24 h	0,78
25 min/ 30 min	0,91	10 h/ 24 h	0,82
30 min/ 1 h	0,74	12 h/ 24 h	0,85
1 h/ 24 h	0,42	24 h/ 1 dia	1,14

Fonte: Cetesb (1986).

Após a verificação da aderência da distribuição de Gumbel, foram estimadas as intensidades de precipitação média máxima para os períodos de retorno de 5, 10, 25, 50 e 100 anos. Com as estimativas das intensidades das chuvas para os diferentes períodos de retorno e tempos de duração, foram ajustados os parâmetros das relações IDF empregando a forma geral dada pela Equação 4 (OLIVEIRA, 2019).

$$I = \frac{K T^a}{(t + b)^c} \quad (4)$$

Em que, I = intensidade média máxima (mm h⁻¹); T = período de retorno (anos); t = duração da chuva (minutos) e K, a, b e c = parâmetros de ajuste para cada localidade.

No ajuste do modelo descrito pela Equação 4, foi utilizada a programação não linear (PNL), aplicada com o auxílio

da ferramenta Solver, disponível no software Microsoft Excel®. Estabeleceu-se uma função objetivo que buscasse minimizar a soma dos quadrados dos desvios entre os valores das intensidades de precipitação observados e os estimados. A fim de se garantir a determinação do ótimo global, foram testados diferentes valores iniciais para os parâmetros K, a, b e c. De uma iteração para outra, os valores iniciais dos referidos parâmetros foram aleatoriamente modificados. O processo de iteração, conduzido com o auxílio da PNL, foi repetido 10 vezes, sendo utilizadas as médias das dez iterações de cada parâmetro. A qualidade do ajuste foi avaliada pelo coeficiente de determinação (R²).

Para a comparação entre as intensidades de precipitação estimadas neste trabalho e as estimadas utilizando as relações IDF ajustadas por Pinto (1995),

empregou-se o teste F de variância a 5% de significância. As amostras representam as intensidades de precipitações estimadas pelas diferentes relações IDF para um mesmo tempo de duração e período de retorno. A hipótese nula (H_0) representa a equivalência entre as variâncias das intensidades de precipitação estimadas pelos modelos comparados. Para a utilização do teste, verificou-se, primeiramente, a normalidade de cada uma das amostras analisadas, empregando-se, para tal, os testes de Doornik-Hansen, Shapiro-Wilk, Lilliefors e Jarque-Bera, para o nível de significância de 5%.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 2 são sumarizados os parâmetros da distribuição de

probabilidade de Gumbel para as intensidades das chuvas com duração de 24h para as 28 estações analisadas e verificação pelo teste de Kolmogorov-Smirnov e Anderson-Darling a nível de significância de 5%. O teste de Kolmogorov-Smirnov apresentou 100% das distribuições consideradas adequadas, o que corrobora com os resultados apresentados por Teodoro et al. (2014) e Braga et al. (2017). O teste de Kolmogorov-Smirnov tem sido comumente utilizado em análises estatísticas de chuvas intensas (NETO et al., 2017; DORNELES et al., 2019; MARTINS et al., 2019). Pelo teste de Anderson-Darling, a distribuição de Gumbel foi classificada como inadequada em 14,28% das estações.

Tabela 2 – Parâmetros da distribuição de Gumbel (α e β) e adequação do teste de Kolmogorov-Smirnov e Anderson-Darling para as intensidades da chuva de 24h das 28 estações estudadas.

Região	Estação	α	β	Kolmogorov-Smirnov	Anderson-Darling
Norte	Arinos	2,996	0,496	Adequada	Adequada
	Diamantina	3,617	1,296	Adequada	Adequada
	Espinosa	2,834	0,661	Adequada	Adequada
	Formoso	3,687	0,692	Adequada	Adequada
	Januária	3,291	0,879	Adequada	Inadequada
	João Pinheiro	3,095	0,778	Adequada	Adequada
	Montes Claros	2,643	0,689	Adequada	Adequada
	Paracatu	3,918	0,692	Adequada	Adequada
	Pirapora	3,650	0,780	Adequada	Adequada
	Salinas	2,727	0,841	Adequada	Adequada
	Teófilo Otoni	2,607	1,099	Adequada	Adequada
Unai	3,658	0,856	Adequada	Adequada	

Sul	Barbacena	3,321	0,539	Adequada	Adequada
	Caxambu	2,879	0,731	Adequada	Inadequada
	Lavras	3,600	1,315	Adequada	Adequada
	Machado	2,946	0,916	Adequada	Adequada
Leste	Aimorés	3,490	0,819	Adequada	Adequada
	Caratinga	3,169	0,564	Adequada	Inadequada
	Governador Valadares	3,560	1,538	Adequada	Adequada
	Viçosa	3,233	1,207	Adequada	Adequada
Triângulo Mineiro	Araxá	3,101	0,712	Adequada	Adequada
	Capinópolis	4,278	0,596	Adequada	Adequada
	Patos de Minas	3,896	0,939	Adequada	Adequada
	Uberaba	4,050	1,077	Adequada	Adequada
	Uberlândia	3,717	0,856	Adequada	Inadequada
Centro	Bambuí	3,497	0,938	Adequada	Adequada
	Belo Horizonte	4,013	0,936	Adequada	Adequada
	Sete Lagoas	3,389	0,839	Adequada	Adequada

Fonte: Dos autores (2020).

Tais resultados diferem dos apresentados por Back (2020), em que ambos os testes verificaram boa aderência da distribuição de Gumbel aos dados de precipitação máxima para o município de Piên, no estado do Paraná. Segundo Mello; Silva (2013), o teste de Anderson-Darling é de grande aplicação em ocorrências de dados com assimetria em suas distribuições de frequência. Entre os dois testes de aderência empregados neste estudo, foi possível observar uma maior

restrição pelo teste de Anderson-Darling, que, de acordo com Franco et al. (2014), analisa o comportamento dos ajustes dando maior peso aos valores das caudas das distribuições, sendo relevante para a análise de dados assintóticos, como os de precipitações máximas diárias anuais.

A Tabela 3 reúne os parâmetros de ajuste da relação IDF obtidos pelo método de minimização dos quadrados dos desvios.

Tabela 3 – Parâmetros de ajuste da relação IDF para as 28 estações analisadas.

Região	Estação	K	a	b	c	R ²
Norte	Arinos	665,7767	0,1134	9,7128	0,7225	0,9996
	Diamantina	915,2727	0,1759	9,7393	0,7232	0,9991
	Espinosa	659,7670	0,1401	9,7551	0,7234	0,9994
	Formoso	831,3109	0,1231	9,7325	0,7228	0,9995
	Januária	780,9792	0,1514	9,7258	0,7229	0,9993
	João Pinheiro	728,2848	0,1463	9,7483	0,7233	0,9994
	Montes Claros	625,6665	0,1494	9,7459	0,7232	0,9994
	Paracatu	874,2528	0,1182	9,6949	0,7219	0,9996
	Pirapora	841,9882	0,1331	9,7842	0,7242	0,9995

	Salinas	672,8783	0,1632	9,8124	0,7251	0,9993
	Teófilo Otoni	692,5636	0,1892	9,7827	0,7242	0,9989
	Unaí	849,1892	0,1406	9,7342	0,7227	0,9995
Sul	Barbacena	739,6669	0,1119	9,7480	0,7234	0,9996
	Caxambu	679,2711	0,1472	9,7529	0,7235	0,9994
	Lavras	975,7847	0,1776	10,2420	0,7348	0,9991
	Machado	724,1314	0,1639	9,7752	0,7240	0,9993
Leste	Aimorés	804,1802	0,1391	9,7376	0,7226	0,9995
	Caratinga	712,2680	0,1188	9,7500	0,7234	0,9996
	Governador Valadares	946,7398	0,1912	9,7301	0,7228	0,9989
	Viçosa	828,6043	0,1792	9,7610	0,7236	0,9991
Triângulo Mineiro	Araxá	718,8450	0,1390	9,7423	0,7230	0,9995
	Capinópolis	944,7637	0,1008	9,7832	0,7241	0,9997
	Patos de Minas	914,2143	0,1428	9,7786	0,7241	0,9995
	Uberaba	964,9728	0,1510	9,7674	0,7238	0,9994
	Uberlândia	862,9791	0,1392	9,7485	0,7233	0,9995
Centro	BambuÍ	834,6286	0,1517	9,7729	0,7239	0,9994
	Belo Horizonte	932,6366	0,1402	9,7374	0,7231	0,9995
	Sete Lagoas	799,0404	0,1450	9,7836	0,7242	0,9994

Fonte: Dos autores (2020).

Observa-se um bom ajuste das relações IDF, com coeficientes de determinação (R^2) acima de 0,998, refletindo a qualidade do ajuste. Resultados semelhantes aos valores de coeficientes de determinação foram obtidos por Silva et al. (2012), em que, ao ajustarem relações IDF para o estado de Pernambuco pelo método de desagregação de chuvas, encontraram coeficientes de determinação acima de 99%.

O teste F foi aplicado para análise da comparação pareada entre as intensidades de precipitações estimadas a partir das relações IDF estabelecidas neste trabalho e aquelas estimadas a partir das relações obtidas por Pinto (1995). Como condição básica para o emprego do teste F

de variância, todas as amostras formadas pelas intensidades de precipitação estimadas apresentaram distribuição normal, por, pelo menos, um dos testes de normalidade empregados, ao nível de significância de 5%, para todos períodos de retorno e tempos de duração considerados.

A partir dos resultados obtidos, verificaram-se equivalências entre as intensidades pluviométricas estimadas pelas relações IDF geradas nesse trabalho e ajustadas por Pinto (1995) para os períodos de retorno de 5 e 10 anos com tempos de duração de até 60 minutos. Para o período de retorno de 25 anos, as equivalências estatísticas entre os métodos pareados foram observadas para tempos

de duração de até 10 minutos. Para o período de retorno de 50 anos, até 25 minutos e para o período de retorno de 100 anos, até 10 minutos. Tais resultados se contrastam com os obtidos por Almeida et al., (2015) que observaram equivalência apenas para durações superiores a 30 minutos e períodos de retorno maiores que 10 anos, em resposta à comparação pareada entre intensidades pluviométricas estimadas a partir de equações ajustadas pelo método de Chow-Gumbel e aquelas estimadas empregando relações IDF estabelecidas por Silva et al., (2002) para o estado da Bahia, a partir de dados pluviográficos.

Neste estudo, como os dados analisados têm um intervalo de observação pequeno, a tendência das funções teóricas utilizadas é não distanciar tanto as intensidades observadas das estimadas. Quando se utiliza períodos de retorno maiores, a tendência dessas funções é aumentar ainda mais os desvios, fato verificado pelo mau desempenho das equivalências estatísticas e as rejeições da hipótese H_0 para os períodos de 50 e 100 anos. Os eventos extremos com menores tempos de retorno ocorrerem com maior frequência, e, dessa forma, são captados na série histórica. Eventos associados a tempos de retorno maiores, como 50 e 100 anos, não estão incluídos nos dados observados das

séries, uma vez que, geralmente, compreendem períodos menores (MELLO; VIOLA, 2013).

Rodrigues et al. (2008) analisaram eventos de intensidades máximas estimados pela distribuição de Gumbel associados a tempos de retorno diferentes para as cidades de Fortaleza e Pentecoste no Estado do Ceará e verificaram a aproximação aos valores obtidos a partir de equações geradas por meio de dados pluviográficos, com exceção do período de retorno de 100 anos e duração de 5 minutos, que apresentou um desvio de 20,6%. Nesse caso, o desvio foi crescente com o aumento do período de retorno, significando que o valor ajustado é aproximadamente 21% menor que o observado.

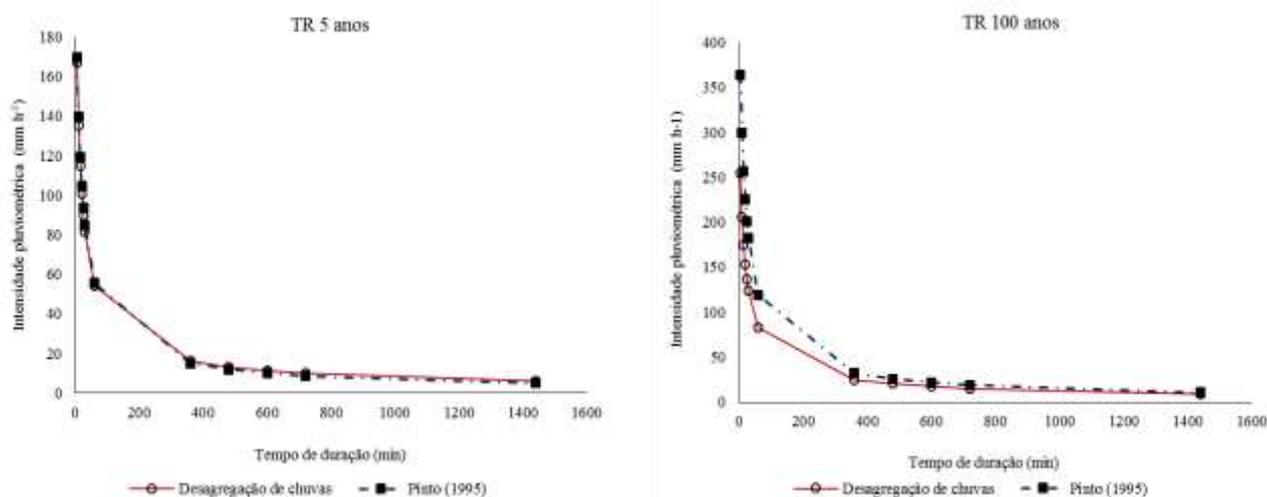
A Figura 2 apresenta as intensidades pluviométricas (mm h^{-1}) estimadas para a estação de Belo Horizonte por meio da relação IDF obtida neste trabalho a partir do método de desagregação de chuvas e as estimadas a partir equação estabelecida por Pinto (1995) a partir de dados pluviográficos, para os períodos de retorno de 5 e 100 anos. Conforme mencionado, observa-se que para o maior período de retorno, a relação IDF subestima as intensidades pluviométricas quando comparadas com as obtidas pela relação estabelecida por Pinto (1995). Segundo Almeida et al.

(2015), é importante notabilizar que maiores intensidades pluviométricas podem produzir estimativas de vazões mais conservadoras utilizadas para compor medidas estruturais e não estruturais no controle de inundações.

Nesse contexto, Back, (2020), propõe ajustar mais de uma equação para diferentes tempos de duração e períodos

de retorno como alternativa para diminuir o erro de estimativa. Entretanto, tal alternativa apresenta, como desvantagem, uma função mais difícil de ser ajustada, além da possibilidade de criar descontinuidade entre as equações.

Figura 2 – Intensidades pluviométricas estimadas a partir da relação IDF obtida pelo método de desagregação de chuvas e estimadas a partir da equação estabelecida por Pinto (1995) a partir de dados pluviográficos, para a estação de Belo Horizonte, considerando os períodos de retorno de 5 e 100 anos



Fonte: Dos autores (2020).

CONCLUSÕES

A metodologia utilizada neste estudo possibilitou gerar a relação IDF a partir de dados pluviométricos, utilizando o método da desagregação de chuvas. Essa metodologia se mostrou adequada, sendo possível sua utilização em locais onde não há dados pluviográficos

disponíveis. As intensidades estimadas pelas relações IDF geradas neste trabalho apresentaram bom desempenho, quando comparadas com as propostas por Pinto (1995) a partir de dados pluviográficos, para os períodos de retorno de 5 e 10 anos e tempo de duração de até 60 minutos. Para os demais períodos de retorno estudados, apresentaram bom desempenho

apenas para tempos de duração de até 10 minutos para os períodos de retorno de 25

e 100 anos e 25 minutos para 50 anos.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Hidroweb**. Disponível em: <<http://www.snirh.gov.br/hidroweb/series/historicas>>. Acesso em: 2 nov. 2019.

ALMEIDA, K. N. et al. Avaliação do desempenho dos métodos expeditos de determinação de equações de chuvas intensas. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, v. 35, p. 63–77, 2015.

ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.

ARAGÃO, R. et al. Intense rainfall for the state of Sergipe based on disaggregated daily rainfall data. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 3, p. 243–252, 2013.

ARAÚJO, L. E. et al. Análise estatística de chuvas intensas na bacia hidrográfica do Rio Paraíba. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 23, n. 2, p. 162–169, 2008.

BACK, Á. J. Alternative model of intense rainfall equation obtained from daily rainfall disaggregation. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 25, n. 2, p. 1–11, 2020.

BACK, Á. J. Relações entre precipitações intensas de diferentes durações ocorridas no município de Urussanga, SC. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, n. 2, p. 170–175, 2009.

BACK, Á. J.; POLA, A. C. Relações Entre Precipitações Intensas De Diferentes Durações De Videira, Santa Catarina. **Revista Tecnologia e Ambiente**, v. 22, p. 125–135, 2016.

BORGES, G. M. R.; THEBALDI, M. S. Estimativa da precipitação máxima diária anual e equação de chuvas intensas para o município de Formiga, MG, Brasil. **Revista Ambiente e Água**, v. 11, n. 4, 2016.

BRAGA, R. N. DE S. et al. Determinação e interpolação dos coeficientes das equações de chuvas intensas para cidade do Rio de Janeiro. **Revista Ambiente e Água**, v. 13, n. 1, 2017.

CAMPOS, A. R. et al. Equações de intensidade de chuvas para o estado do Maranhão. **Engenharia na Agricultura - Viçosa**, v. 23, n. 5, p. 435–447, 2015.

CAMPOS, A. R. et al. Equações de intensidade-duração-frequência de chuvas para o estado do Piauí. **Revista Ciência Agronômica**, v. 45, n. 3, p. 488–498, 2014.

CECÍLIO, R. A.; PRUSKI, F. F. Interpolação dos parâmetros da equação de chuvas intensas com uso do inverso de potências da distância. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 7, n. 3, p. 501–504, 2003.

CETESB. **Drenagem Urbana: manual de projeto**. São Paulo: DAEE/CETESB, 1986.

- DENARDIN, J. E. et al. Características fundamentais da chuva no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 15, n. 4, p. 419–421, 1980.
- DORNELES, V. R. et al. Modeling of probability in obtaining intensity-duration-frequency relationships of rainfall occurrence for Pelotas, RS, Brazil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 23, n. 7, p. 499–505, 2019.
- FRANCO, C. S. et al. Distribuição de probabilidades para precipitação máxima diária na Bacia Hidrográfica do Rio Verde, Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 7, p. 735–741, 2014.
- GARCIA, S. S. et al. Determination of the intensity-duration-frequency equation for three meteorological stations in Mato Grosso State. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 6, p. 575–581, 2011.
- LORENZONI, M. Z. et al. Chuvas intensas para a microrregião de Cianorte/PR, Brasil: uma avaliação a partir da desagregação de chuvas diárias. **ENCICLOPÉDIA BIOSFERA**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v. 9, n. 17, p. 656–669, 2013.
- MARTINS, D. et al. Disaggregation of daily rainfall data for the caraguatatuba city, in São Paulo State, Brazil. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 24, p. 1–8, 2019.
- MELLO, C. R. et al. Modelos matemáticos para predição da chuva de projeto para regiões do Estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 7, n. 1, p. 121–128, 2003.
- MELLO, C. R.; VIOLA, M. R. Mapeamento de chuvas intensas no estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, n. 1, p. 37–44, 2013.
- MELLO, C. R.; SILVA, A. M. **Hidrologia: princípios e aplicações em sistemas agrícolas**. Lavras: UFLA, 2013.
- MESQUITA, W. O. et al. Precipitações máximas diárias esperadas para as regiões central e sudeste de Goiás. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 39, n. 2, p. 73–81, 2009.
- NETO, V. L. S. et al. Daily rainfall disaggregation for Tocantins State, Brazil. **Revista Ambiente e Água**, v. 12, n. 4, 2017.
- OLIVEIRA, L. F. C. **Chuvas Extremas No Brasil: modelos e aplicações**. Lavras: UFLA, 2019. 388 p.
- OLIVEIRA, L. F. C. et al. Modelos de predição de chuvas intensas para o estado do Mato Grosso, Brasil. **Revista Ambiente e Água**, v. 6, n. 3, p. 274–290, 2011.
- OLIVEIRA, L. F. C. et al. Estimativa de chuvas intensas para o estado de Goiás. **Engenharia Agrícola, Jaboticabal**, v. 28, n. 1, p. 22–33, 2008.
- OLIVEIRA, L. F. C. et al. Intensidade-Duração-Frequência de chuvas intensas para localidades no estado de Goiás e Distrito Federal. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 35, n. 1, p. 13–18, 2005.
- PENNER, G. C.; LIMA, M. P. Comparação entre métodos de

determinação da equação de chuvas intensas para a cidade de Ribeirão Preto. **Geociências**, v. 35, n. 4, p. 542–559, 2016.

PINTO, F.A. **Chuvas intensas no Estado de Minas Gerais: análises e modelos**. 1995. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1995.

RODRIGUES, J. O. et al. Equações de intensidade – duração – frequência de chuvas para as localidades de Fortaleza e Pentecoste, Ceará. **Scientia Agraria**, Curitiba. v. 9, n. 4, p. 511-519, 2008.

SANTOS, G. G. et al. Intensidade-duração-frequência de chuvas para o Estado de Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, p. 899–905, 2009.

SILVA, B. et al. Chuvas intensas em localidades do Estado de Pernambuco.

Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 17, n. 3, p. 135–147, 2012.

SILVA, D. D. et al. Chuvas intensas no Estado da Bahia. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 6, n. 2, p. 362–367, 2002.

SOUZA, G. R. et al. Heavy rainfall maps in Brazil to 5 year return period ARTICLES. **Revista Ambiente Água**, v. 14, n. 5, p. 445–458, 2019.

SOUZA, R. O. R. de M. et al. Intense rainfall equations for the State of Pará, Brazil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 9, p. 999–1005, 2012.

TEODORO, P. E. et al. Influência de diferentes coeficientes de desagregação na determinação de equações IDF para Aquidauana/MS. **Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, v. 9, n. 2, p. 1–9, 2014.