

Determinação da equação intensidade-duração-frequência da precipitação para a cidade de Itabuna, Bahia (Brasil)

Lorena Lima Ferraz^{1*}, Juliana Rocha Duarte Neves², Lorena Júlio Gonçalves³, Lucas Farias de Sousa⁴, Laís Barbosa Oliveira⁵

¹Pós-graduanda em Engenharia Ambiental Urbana, Universidade Federal do Sul da Bahia, Brasil. (lorenalferraz@gmail.com)

²Mestre em Clima e Ambiente, Professora da Universidade Federal do Sul da Bahia, Brasil.

³Mestranda em Fitotecnia, Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Brasil.

⁴Doutorando em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Estadual de Santa Cruz, Brasil.

⁵Pós-graduanda em Engenharia Ambiental Urbana, Universidade Federal do Sul da Bahia, Brasil.

Histórico do Artigo: Submetido em: 25/12/2019 – Revisado em: 20/01/2020 – Aceito em: 11/04/2020

RESUMO

Para a construção de barragens, dimensionamento de sistemas de drenagem de águas pluviais, obras hidráulicas e de contenção de cheias, garantindo projetos seguros e economicamente viáveis, é necessário o conhecimento da relação intensidade, a duração e a frequência (IDF) das chuvas, sendo primordial a realização de estudos hidrológicos baseados em longas séries históricas de dados adquiridos através de estações pluviométricas para determinação dessa relação. Dessa forma, o presente trabalho teve como objetivo modelar as relações IDF das chuvas para a cidade de Itabuna, localizada no Sul da Bahia, visando oferecer suporte ao planejamento urbano e gestão de recursos hídricos na região em estudo. Foi utilizada uma série histórica diária de 26 anos de dados pluviométricos disponíveis na plataforma de informações hidrológicas da Agência Nacional de Águas. Para estimar a intensidade de precipitação, foram considerados os tempos de retorno de 2, 10, 20, 50 e 100 anos, e as durações de 5, 10, 15, 20, 30, 60, 360 e 1440 minutos, aplicando a distribuição probabilística de Gumbel, com aderência aos dados previamente checada pelo teste Kolmogorov-Smirnov a 5% de probabilidade. O estudo permitiu a estimativa dos parâmetros da equação de chuvas intensas através do método Gradiente Reduzido Generalizado e a determinação das curvas IDF para a região analisada. A equação calibrada apresentou alta confiabilidade segundo os coeficientes estatísticos de desempenho, podendo ser empregada na estimativa da precipitação máxima utilizada para elaboração de projetos de estruturas hidráulicas a serem implantados na região urbana do município de Itabuna.

Palavras-Chaves: Chuvas intensas, hidrologia, modelagem ambiental.

Determination of intensity-duration-frequency equation for the city of Itabuna, Bahia

ABSTRACT

For the construction of dams, dimensioning of rainwater drainage systems, hydraulic works and flood containment, ensuring safe and economically viable projects, it is necessary to know the relationship between intensity, duration and frequency (IDF) of the rains, being it is essential to carry out hydrological studies based on long historical series of data acquired through pluviometric stations to determine this relationship. Thus, the present study aimed to model the rainfall IDF relationships for the city of Itabuna, located in the south of Bahia, aiming to support urban planning and water resources management in the region under study. We used a 26-year continuous historical series of rainfall data available on the National Water Agency's hydrological information platform. To estimate the precipitation intensity, the return times of 2, 10, 20, 50 and 100 years were considered, and the durations of 5, 10, 15, 20, 30, 60, 360 and 1440 minutes, applying the probabilistic distribution of Gumbel, with adherence to data previously checked by the Kolmogorov-Smirnov test at 5% probability. The study allowed the estimation of the parameters of the intense rainfall equation through the Generalized Reduced Gradient method and the determination of the IDF curves for the analyzed region. The calibrated equation showed high reliability according to the statistical coefficients of performance, and can be used to estimate the maximum rainfall used to design hydraulic structures projects to be implemented in the urban region of Itabuna.

Keywords: Intense rainfall, hydrology, environmental modeling.

1. Introdução

A expansão desordenada das áreas urbanas motivada pelo intenso crescimento populacional observado nos últimos anos tem aumentado cada vez mais a preocupação com abastecimento, drenagem das águas urbanas e principalmente ocupações irregulares (Carvalho et al., 2019). A falta de planejamento adequado para suprir todas essas demandas faz com que as influências antrópicas sobre o território produzam impactos ambientais severos, como aumento dos picos de vazão devido à impermeabilização do solo, poluição dos corpos hídricos e descarte inadequado de resíduos sólidos, afetando diretamente a qualidade de vida da população e causando diversos prejuízos materiais e imateriais (Alves; Formiga, 2019).

Dentre os diversos impactos ambientais no meio urbano, destacam-se aqueles cujo agente deflagrador é a chuva intensa, que é todo evento cuja lâmina precipitada ou sua intensidade supere um valor médio em função do tempo de duração da chuva (Bertoni; Tucci, 2013). Estes eventos podem causar alagamentos e inundações, além de ser o principal responsável pelo desprendimento e arraste de partículas de solo. Nas áreas não urbanas, as chuvas intensas podem ocasionar danos à agricultura, estrutura de barragens e outras obras hidráulicas (Tucci, 2013).

Em geral, a infiltração da água proveniente dessas chuvas é reduzida devido à impermeabilização do solo e ao alto nível de lâmina d'água que atinge a superfície e, conseqüentemente, o volume de escoamento superficial se torna elevado (Tucci, 2013). Dessa forma, além da redução da recarga dos aquíferos subterrâneos, há uma maior propensão à ocorrência de erosão hídrica (Dornelles; Collischonn, 2016).

É evidente, então, que os problemas se apresentam quando a precipitação ocorre em situações extremas de intensidade, duração e frequência, sendo fundamental dispor de informações que não só forneçam suporte ao estabelecimento de diretrizes na ocorrência de chuvas intensas, mas também que subsidie futuros planos de gestão municipal. Assim, o conhecimento das variáveis hidrológicas se mostra de grande relevância para a delimitação de estratégias e implementação de medidas para mitigação dos impactos ambientais decorrentes da alta intensidade de precipitação (Londe, et al., 2014).

Além disso, para o dimensionamento de sistemas de drenagem de águas pluviais, obras hidráulicas e de contenção de cheias, garantindo projetos seguros e economicamente viáveis, é necessário o conhecimento das três variáveis que caracterizam uma precipitação para cada região: a intensidade, a duração e a frequência (IDF) (Pereira et al., 2007). Para isso, são aplicados diferentes princípios de probabilidade nas séries históricas de dados pluviométricos e os parâmetros das equações IDF são ajustados através de métodos estatísticos com o objetivo de explicar a relação entre essas três grandezas (Aragão et al., 2013; Lorenzoni et al., 2013). Segundo Pruski et al. (2006), a equação IDF também pode trazer a denominação de “modelo de chuvas intensas”.

Diversos estudos relacionados a esta temática vêm contribuindo para a consolidação do modelo de chuvas intensas e possibilitando a sua utilização para dimensionamentos de estruturas de drenagem e outras obras hidráulicas, como visto em Petrucci e Oliveira (2019), que calibraram a equação IDF para Uberlândia/MG, Marcuzzo e Goularte (2013) que estudaram e estabeleceram índices de anomalias de chuvas, Viola et al. (2014) pela observação do comportamento do Fator R da equação universal de perdas do solo (USLE) mediante chuvas intensas e Souza et al. (2012) que determinaram a relação IDF para o Estado do Pará.

Diante do exposto, este trabalho teve como objetivo avaliar a ocorrência de chuvas intensas na cidade de Itabuna através da determinação da equação IDF, a partir da desagregação dos dados diários de chuvas, monitorados por uma estação pluviométrica localizada na área urbana da cidade.

2. Material e Métodos

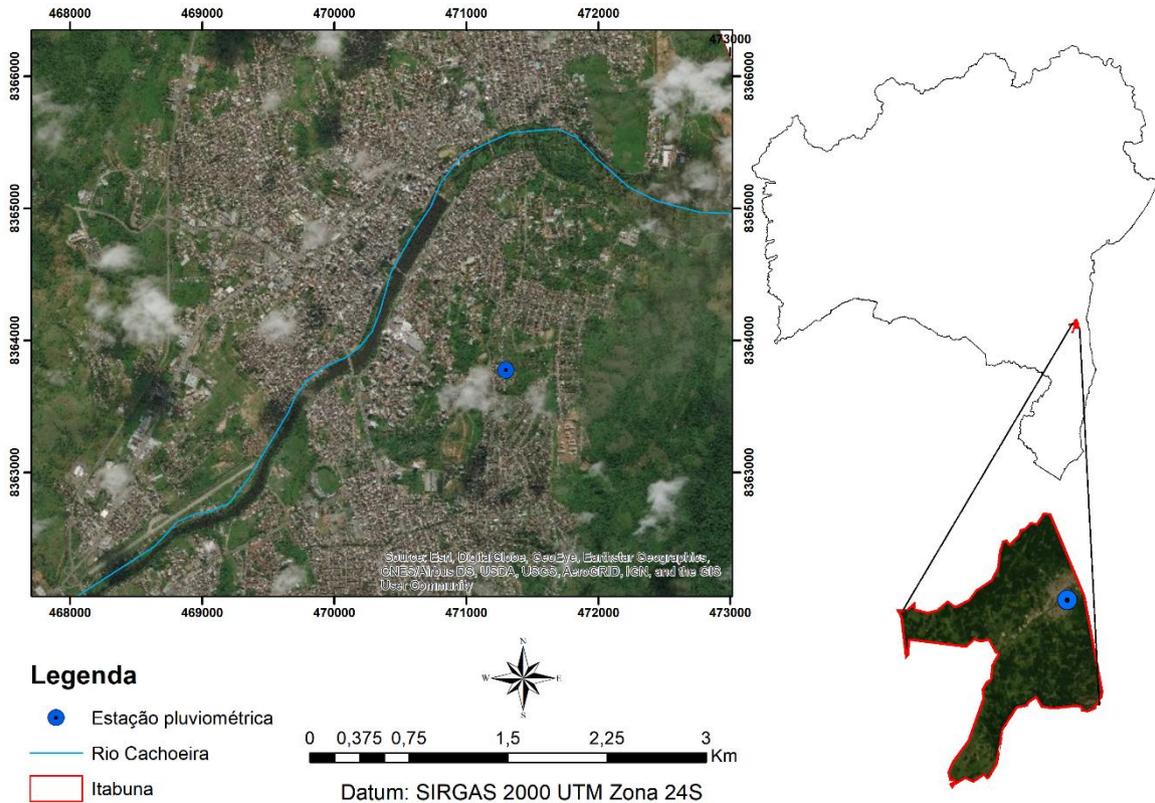
2.1 Localização da área de estudo

O município de Itabuna (Figura 1) localiza-se na Mesorregião Sul do estado da Bahia e Microrregião Ilhéus-Itabuna, com sua sede municipal nas coordenadas 14° 47' 08" S e 39° 16' 49" W. Possui área total de

443,09 km² e população de 204.667 habitantes segundo IBGE (2018). A cidade está inserida na área da bacia hidrográfica do Rio Cachoeira, distante 30km da sua foz, no Oceano Atlântico.

Conforme a classificação de Koppen (1931), o município apresenta o clima Tropical de Floresta (Af), com valores pluviométricos anuais em torno de 1900 a 2000 mm. Este tipo climático é caracterizado pela ausência de estação seca, com precipitações maiores que 60 mm no mês mais seco e maior volume de chuvas entre os meses de março e agosto, atingindo temperatura média de 24 a 25 °C nos meses mais quentes (janeiro e fevereiro).

Figura 1 – Localização da cidade de Itabuna e estação pluviométrica utilizada



Os dados pluviométricos da estação código 1439019-ANA, localizada na área urbana da cidade, foram obtidos através da plataforma Hidroweb da Agência Nacional de Águas, devendo, segundo Silva e Oliveira (2017), possuir no mínimo 15 anos de observações. Para obtenção da precipitação máxima diária anual, os dados de 26 anos (1980 a 2006) foram organizados em planilhas eletrônicas para análise de ausência de informações. As falhas foram completadas utilizando a grade climática de Xavier, King e Scanlon (2015), que desenvolveram uma rede de alta resolução (0,25° × 0,25°) de precipitação diária, velocidade do vento, umidade relativa, radiação solar, temperaturas máximas e mínimas no Brasil. Os autores testaram seis esquemas de interpolação diferentes para criar grades para essas variáveis, simulando estações meteorológicas para utilização em estudos de modelagem ambiental em regiões com escassez de dados. Este gerador climático foi desenvolvido a partir de dados obtidos de 3625 pluviômetros e 735 estações meteorológicas para o período de 1980 a 2015.

2.2 Análise estatística e modelos utilizados

Para ajuste de valores da precipitação máxima diária anual foi utilizada a distribuição de Gumbel, uma das distribuições de probabilidade mais empregadas em hidrologia para análise de frequência de eventos extremos (Abreu et al., 2018).

Os dados obtidos pela plataforma digital da ANA representam uma estação pluviométrica convencional, não apresentando dados horários de precipitação. Dessa forma, foi realizada a desagregação dos valores diários para intervalos de 1440, 360, 60, 30, 20, 15, 10 e 5 minutos de precipitação, como proposto pelo DAEE/CETESB (1980) na Tabela 1.

Tabela 1 – Coeficientes de desagregação para diferentes durações de chuva

Relação entre as alturas pluviométricas	Coefficiente de desagregação
10 min para 30 min	0,54
20 min para 30 min	0,81
30 min para 1h	0,74
1h para 24h	0,42
2h para 24h	0,48
3h para 24h	0,54
6h para 24h	0,72
8h para 24h	0,78
10h para 24h	0,82
12h para 24h	0,85

Fonte: CETESB (1980)

Utilizando a Equação de Kimbal (Villela; Mattos, 1975), disposta a seguir, foram calculadas as frequências observadas:

$$F = \frac{m}{n + 1} \quad (1)$$

Onde a variável F é a frequência observada, m é o número de ordem da chuva máxima anual, e n é o número total de anos da série histórica.

O tempo de retorno (TR) foi obtido pela seguinte equação:

$$TR = \frac{1}{P_{(X \geq xi)}} \quad (2)$$

Após a desagregação das chuvas em durações menores que um dia, as intensidades máximas de precipitação foram estimadas para cada duração e períodos de retorno de 2, 10, 20, 50 e 100 anos aplicando a

distribuição probabilística de Gumbel (Equações 3 e 4), com aderência aos dados previamente checada pelo software *Statistica* utilizando o teste Kolmogorov-Smirnov a 5% de probabilidade.

$$P_x = 1 - \exp[-\exp(Y_{TR})] \quad (3)$$

$$Y_{TR} = -\ln \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{TR} \right) \right] \quad (4)$$

Para estimar o evento a ser observado em função do período de retorno, a Equação 5 foi utilizada (Chow, 1964):

$$X = \bar{X} + \frac{\sigma_x}{\sigma_n} (y - \bar{y}_n) \quad (5)$$

Em que X é a intensidade máxima de chuvas para o respectivo TR, em mm; \bar{X} e σ_x são a média aritmética e desvio padrão, respectivamente, das intensidades de precipitação da série em mm; σ_n e \bar{y}_n são o desvio padrão reduzido e a média da variável reduzida, respectivamente.

Por fim, o modelo utilizado para relacionar a intensidade, duração e frequência da precipitação conforme proposto por Villela e Mattos (1975) foi:

$$i = \frac{K \cdot TR^a}{(t + b)^c} \quad (6)$$

Em que i é a intensidade máxima média de chuva, mm.h-1; TR é o tempo de retorno em anos; t representa a duração da chuva em minutos; e K, a, b e c são os parâmetros empíricos que dependem da estação pluviométrica. Estes parâmetros foram ajustados por meio de regressão não linear aplicando o método de interação de Gradação Reduzida Generalizada (GRG), proposto por Lasdon et al. (1978), utilizando a ferramenta Solver do Microsoft Excel. O Solver trata-se uma ferramenta de teste de hipóteses, a partir do qual é possível identificar um valor ideal para uma equação inserida em uma célula denominada de objetivo, levando-se em consideração determinadas regras que limitam e/ou restringem os valores das variáveis. Seu uso justifica-se pela facilidade de implementação, pois o respectivo algoritmo encarrega-se de testar as diversas possibilidades e apontar a melhor combinação possível de valores para as células objetivo (Sousa; Paula, 2018).

2.3 Análise de desempenho

A análise de desempenho das equações foi realizada por meio do coeficiente de determinação R², além do índice de concordância de Willmott (d) (Willmott et al., 1985), representado pela Equação 7, pelo coeficiente de correlação de Pearson (r) (Camargo; Sentelhas, 1997), com sua fórmula destacada na Equação 8 e pelo coeficiente de desempenho (Equação 9). Este último é o resultado do produto entre o coeficiente de correlação de Pearson e o índice de Willmott.

$$d = 1 - \frac{\sum(x_i y_i)^2}{\sum(|x_i - \bar{y}| + |y_i - \bar{y}|)^2} \quad (7)$$

$$r = \frac{\sum(x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y})}{\sqrt{(\sum(x_i - \bar{x})^2) \cdot (\sum(y_i - \bar{y})^2)}} \quad (8)$$

$$c' = d \cdot r \quad (9)$$

Onde d é o índice de concordância; r é o coeficiente de correlação; c' é o coeficiente de desempenho; yi a intensidade observada do método dos momentos; xi é a intensidade predita pelo modelo e \bar{y} é a média da intensidade do método.

Para avaliar o desempenho da modelagem com base nos coeficientes estatísticos descritos, foram utilizados os critérios propostos por Cohen (1998) para o coeficiente de Pearson (c), e Camargo e Sentelhas (1997) para o coeficiente de desempenho (c') e Moriasi et al. (2015) para o R², conforme descrito na Tabela 2.

Tabela 2 – Critérios de avaliação de desempenho do modelo

Coeficiente de Pearson (r)	Classificação	Coeficiente de desempenho (c')	Classificação	R²	Classificação
0,9-1,0	Quase perfeito	>0,85	Ótimo	>0,85	Muito bom
0,7-0,9	Muito alto	0,76-0,85	Muito bom	0,75-0,85	Ótimo
0,5-0,7	Alto	0,66-0,75	Bom	0,61-0,75	Bom
0,3-0,5	Moderado	0,64-0,65	Mediano	0,51-0,60	Satisfatório
0,1-0,3	Baixo	0,51-0,60	Baixo	0,40-0,50	Insatisfatório
0,0-0,1	Muito baixo	<0,51	Péssimo	<0,4	Péssimo

Fonte: Cohen (1998); Camargo e Sentelhas (1997); Moriasi et al. (2015)

3. Resultados e Discussão

Os valores de intensidades da chuva para as respectivas durações e TR na região urbana de Itabuna podem ser observados na Tabela 3. Como esperado, é possível constatar um aumento na intensidade de precipitação conforme o tempo de retorno aumenta e a duração das chuvas diminui. O maior valor de intensidade de precipitação foi de 265,62 mm.h⁻¹ com 5 minutos de duração e TR de 100 anos, e o menor equivaliu a 2,72 mm.h⁻¹ em 1440 minutos e TR de 2 anos. Este comportamento também foi observado em estudos realizados por Dorneles et al. (2019), Abreu et al. (2018) e Teodoro et al. (2014) em diferentes áreas de estudo.

Tabela 3 – Intensidades de chuva (mm.h⁻¹) para as diferentes durações (min) e tempos de retorno (anos) para o município de Itabuna, Bahia.

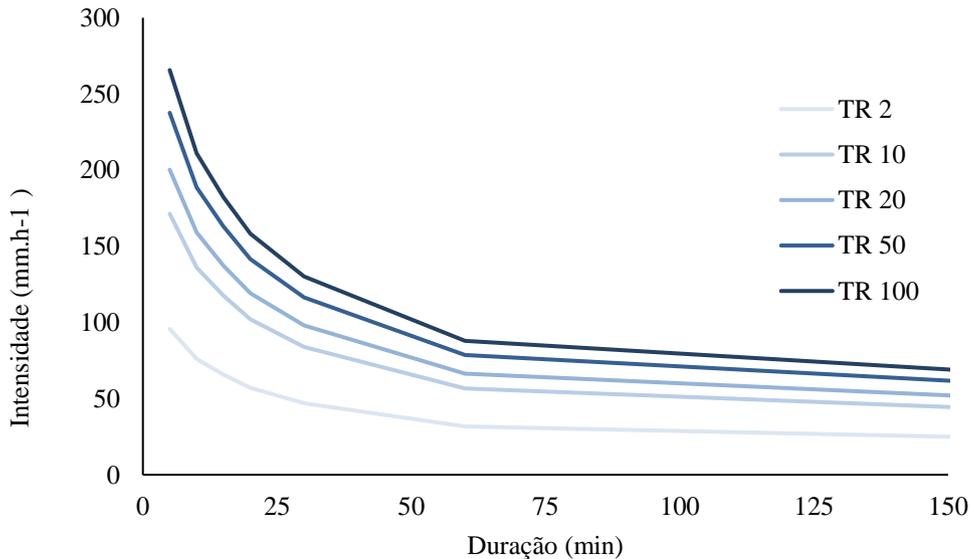
TR	min							
	1440	360	60	30	20	15	10	5
2	2,72	9,06	31,72	46,95	57,04	65,72	76,05	95,77
10	5,31	16,22	56,75	84,00	102,05	117,59	136,07	171,35
20	6,30	18,95	66,32	98,15	119,25	137,41	159,00	200,23
50	7,58	22,49	78,70	116,48	141,52	163,07	188,69	237,61

100	8,54	25,14	87,98	130,21	158,20	182,29	210,94	265,62
------------	------	-------	-------	--------	--------	--------	--------	--------

Para todos os períodos de retorno a precipitação é mais intensa nos primeiros 5 minutos, sendo que, analisando o TR de 2 anos a chuva é menos intensa comparada ao TR de 100 anos. Analisando as curvas IDF (Figura 2), é possível observar a relação inversamente proporcional entre intensidade e duração das chuvas, sendo que os maiores valores de intensidade de precipitação estão relacionados às menores durações em todos os tempos de retorno. À medida que a duração da precipitação aumenta, também é perceptível a menor variação da intensidade em todos os TR.

O padrão das curvas IDF para a região urbana de Itabuna segue o comportamento esperado, como demonstrado por Nascimento e Jesus (2017), que observaram pequena variação nos valores de intensidade conforme a duração da precipitação aumenta. Oliveira et al. (2005) analisaram a curva IDF para alguns municípios de Goiás e Aragão et al. (2013), estudando as curvas em Sergipe, apresentaram resultados com comportamentos semelhantes.

Figura 2 – Comparativo das curvas intensidade-duração-frequência para 2, 10, 20, 50 e 100 anos de tempo de retorno para o município de Itabuna, Bahia.



A determinação dos parâmetros K , a , b e c da equação de chuvas intensas para a cidade de Itabuna foi realizada ajustando a equação geral aos dados pluviométricos mediante desagregação. O ajuste dos dados foi executado por meio do Método do Gradiente Reduzido Generalizado, obtendo o modelo de IDF específico para a localidade, representado pela Equação 10. A Tabela 4 apresenta os parâmetros da equação bem como os valores dos coeficientes estatísticos que descrevem o desempenho da simulação.

Tabela 4 – Parâmetros da equação IDF e valores dos coeficientes estatísticos da modelagem

Município	Código da estação	Parâmetros da equação IDF				Coeficientes estatísticos			
		K	a	b	c	R ²	r	d	c'

Itabuna	1439019	627,2586	0,2289	9,2918	0,7088	0,9920	0,9960	0,9981	0,9941
---------	---------	----------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------

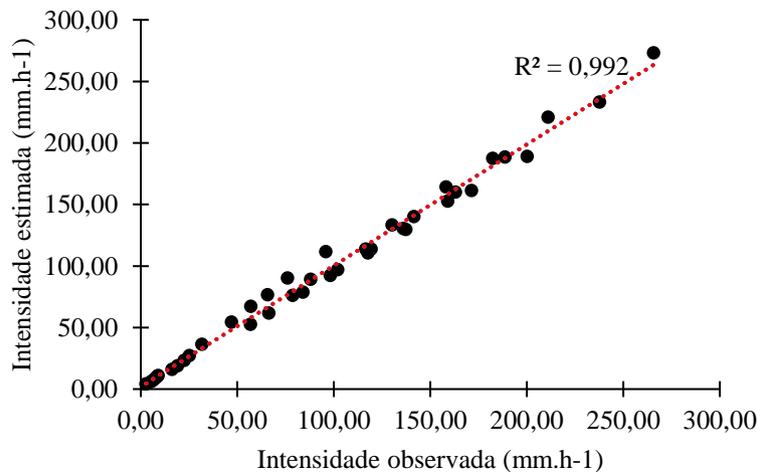
$$i = \frac{627,2586 \cdot TR^{0,2289}}{(t + 9,2917)^{0,7088}} \quad (10)$$

Os valores dos parâmetros “K” e “a” variam por localidade visto que estes possuem relação com alta variabilidade espacial das chuvas e diferenças entre as condições climáticas de cada região. No presente estudo, as variáveis apresentaram valores de 627,25 e 0,2289, respectivamente, e *b* e *c* se comportaram de forma semelhante aos estudos anteriormente citados. O município de Itabuna possui clima tropical de floresta (Af), segundo a classificação de Koppen (1931), cujas características contribuem para maiores valores de precipitação anual que as demais cidades da região, e, conseqüentemente, maiores valores de K. Esta diferença pode ser observada quando comparada a cidade de Ituaçu, por exemplo, que possui clima seco de caatinga (BSwh) com K = 605,20 (Gonçalves et al., 2018).

Gonçalves et al. (2019) encontraram os valores de K e *a* de 876,93 e 0,200 para o município de Canavieiras, nesta ordem, e 540,37 e 0,2346, para a cidade de Monte Santo, localizado em região de clima semi-árido (BSwh), com índices de precipitação que não excedem 900 mm anuais. Santos et al. (2019), realizando o mesmo estudo para algumas cidades no sudeste do Ceará, observou o parâmetro K variando entre 407,99 e 449,96, constatando também pequena alteração dos parâmetros *b* e *c*. A variação entre os valores de K e *a* para diferentes regiões reforça a necessidade da calibração da equação IDF para cada localidade, garantindo projetos hidráulicos seguros que consideram as especificidades de cada área.

Foram utilizadas quatro estatísticas de desempenho para avaliação da simulação. O coeficiente de determinação (R²), cuja representação gráfica e linha de tendência encontra-se na Figura 3, apresentou valor de 0,9920, considerado “muito bom” conforme critério proposto por Moriasi et al. (2015) e exposto na Tabela 2. O coeficiente de correlação de Pearson (r) e o índice de Willmott (d) apresentaram um desempenho “quase perfeito” segundo as classificações de Willmott et al. (1985) e Cohen (1988). O índice de desempenho (c’) apresentou valor de 0,9941, considerado “ótimo” por Camargo e Sentelhas (1997).

Figura 3 – Relação entre intensidade máxima de precipitação observada e estimada, linha de tendência e o valor de R², correspondentes aos dados do município de Itabuna, Bahia.



Os resultados da boa correlação da equação ajustada para a área de estudo corroboram com os obtidos por Pereira, Duarte e Sarmiento (2017) e Arboit, Mancuso e Fioreze (2017), que realizaram estudos semelhantes para os municípios de Ipameri/GO e Iraí/RS obtendo, respectivamente, coeficientes de determinação médios de 0,9986 e 0,9971. De forma semelhante, Campos et al. (2014) e Dorneles et al. (2019) também obtiveram R^2 acima de 0,99 para ajuste das IDF por regressão não linear, para o Estado do Piauí e município de Pelotas/RS, respectivamente.

4. Conclusão

A presente pesquisa possibilitou a elaboração das curvas intensidade-duração-frequência da precipitação para a cidade de Itabuna, evidenciando a relação entre as três grandezas e permitindo o cálculo da intensidade das chuvas baseada no tempo de retorno e na duração escolhida.

A equação calibrada possui alta confiabilidade segundo os coeficientes estatísticos de desempenho, podendo ser empregada na estimativa da precipitação máxima utilizada para elaboração de projetos de estruturas hidráulicas a serem implantados na região urbana do município de Itabuna.

A diferença entre os parâmetros obtidos no presente estudo e os encontrados na literatura para outras localidades evidenciam a necessidade de se estudar as relações IDF para cada região devido à alta variabilidade espacial das chuvas, sendo necessária a maior distribuição de pluviômetros para incrementar o banco de dados de informações de precipitação.

Dessa forma, a metodologia empregada possibilitou a obtenção de resultados satisfatórios mesmo diante da ausência de dados atualizados, sendo indispensável a atualização deste estudo à medida que novas informações sejam disponibilizadas, e, apesar da equação desenvolvida neste trabalho apresentar limitações por se basear em uma análise probabilística, ela representa uma ferramenta útil para auxílio no planejamento urbano, dimensionamento de estruturas de drenagem e diversas obras hidráulicas na região estudada.

5. Referências

Abreu, M. C.; Cecílio, R. A.; Pruski, F. F.; Santos, G. R.; Almeida, L. T.; Zanetti, S. S. (2018). Critérios para Escolha de Distribuições de Probabilidades em Estudos de Eventos Extremos de Precipitação. **Revista Brasileira de Meteorologia**, 33(4), 601–613.

Alves, P. L.; Formiga, K. T. M. (2019). Efeitos da arborização urbana na redução do escoamento pluvial superficial e no atraso do pico de vazão. **Ciência Florestal**, 29(1), 193-207.

Aragão, R.; Santana, G. R.; Costa, C. E. F. F.; Cruz, M. A. S.; Figueiredo, E. E.; Srinivasan, V. (2013). Chuvas intensas para o Estado de Sergipe com base em dados desagregados de chuva diária. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 17(3), 243-252.

Arboit, N. K. S.; Mancuso, M. A.; Fioreze, M. (2017). Ajuste de Equação IDF por Desagregação de Chuvas Diárias para o Município de Iraí. **Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ**, 40(1), 248–253.

Bertoni, J. C.; Tucci, C. E. M. (2013). **Precipitação**. In: TUCCI, C. E. M. (Org.). Hidrologia: ciência e aplicação (4a ed.). Porto Alegre: ABRH.

Camargo, A. P.; Sentelhas, P. C. (1997). Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, 5(1), 89-97.

Campos, A. R.; Santos, G. G.; Silva, J. B. L.; Irene Filho, J.; Loura, D. S. (2014). Equações de Intensidade-duração-frequência de chuvas para o Estado do Piauí. **Revista Ciência Agronômica**, 45(3), 488-498.

Carvalhais, R. M.; Moraes, N. A.; Silva, H. F.; Bernardes, I. M. M. (2019). Deslizamento de encostas devido a ocupações irregulares. **Brazilian Journal of Development**, 5(7), 9765-9772.

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. (1980). **Drenagem urbana: manual de projeto** (2a ed.). São Paulo: DAEE/CETESB.

Chow, V. T. (1964). *Handbook of applied hydrology* (1a ed.). New York: McGraw Hill.

Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences* (1a ed.). New Jersey: Lawrence Erlbaum.

Damé, R. C. F.; Teixeira-Gandra, C. F. A.; Guedes, H. A. S.; Silva, G. M.; Silveira, S. C. R. (2016). Intensity-duration-frequency relationships: stochastic modeling and disaggregation of daily rainfall in the Lagoa Mirim watershed, Rio Grande do Sul, Brazil. **Engenharia Agrícola**, 36(3), 492-502.

Dorneles, V. R.; Damé, R. C. F.; Gandra, C. F. A. T.; Méllo, L. B.; Ramirez, M. A. A.; Manke, E. B. (2019). Intensity-duration-frequency relationships of rainfall through the technique of disaggregation of daily rainfall. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 23(7) 506-510.

Dornelles, F.; Collischonn, W. (2016). **Hidrologia para engenharias e ciências ambientais** (2a ed.). Porto Alegre: ABRH.

Gonçalves, L. J.; Tagliaferre, C.; Filho, M. N. C.; Neto, R. L. B.; Silva, B. L.; Rocha, F. A. (2019). Determinação da equação intensidade-duração-frequência para algumas localidades do estado da Bahia. **Irriga**, 1(1), 109-115.

Gonçalves, L. J.; Tagliaferre, C.; Filho, M. N. C.; Neto, R. L. B.; Nascimento, F. M. (2018). Equação intensidade-duração-frequência das precipitações de algumas localidades do estado da Bahia. **SEEFOR-BA**, Vitória da Conquista, Bahia, 6.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2018). **Estimativa da população**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9103-estimativas-de-populacao.html?=&t=downloads>. Acesso em 23/08/2019.

Köppen, W. (1931). **Grundriss der Klimakunde: Outline of climate Science** (1a ed.). Berlin: Walter de Gruyter.

Lasdon, L. S.; Waren, A. D.; Jain, A.; Ratner, M. (1978). Design and testing of a generalized reduced gradient code for nonlinear programming. **ACM Transactions on Mathematical Software**, 4(1), 34-50.

Lorenzoni, M. Z.; Prado, G.; Rezende, R.; Maller, A.; Oliveira, J. M. (2013). Chuvas intensas para a macrorregião de Cianorte/PR, Brasil: Uma avaliação a partir de desagregação de chuvas diárias. **Enciclopédia Biosfera**, 9(17), 656-669.

Londe, L. R.; Coutinho, M. P.; Gregório, L. T.; Santos, L. B. L.; Soriano, E. (2014). Desastres relacionados à água no Brasil: perspectivas e recomendações. **Ambiente & Sociedade**, 17(4), 133-152.

Marcuzzo, F. e Goularte, E. (2013). Índice de anomalia de chuvas do estado do Tocantins. **Geoambiente Online**, 19 (1), 01-17.

Moriasi, D. N.; Gitau, M. W.; Pai, N.; Daggupati, P. (2015). Hydrologic and water quality models: Performance measures and evaluation criteria. **Trans. ASABE**, 58(6), 1763-1785.

Nascimento, Y. S.; Jesus, J. B. (2017). Relações intensidade-duração-frequência de precipitações para o município de Tucano, Bahia. **Agropecuária Científica no Semiárido**, 13(4), 302-306.

Oliveira, L. F. C. de; Cortês, F. C.; Wehr, T. R.; Borges, L. B.; Sarmiento, P. H. P.; Griebeler, N. P. (2005). Intensidade-duração-frequência de chuvas intensas para algumas localidades no Estado de Goiás e Distrito Federal. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, 35(1), 13-18.

Pereira, D. C.; Duarte, L. R.; Sarmiento, A. P. (2017). Determinação da curva de intensidade, duração e frequência do município de Ipameri – Goiás. **Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, 13(2), 233-246.

Pereira, S. B.; Fietz, C. R.; Peixoto, P. P. P.; Sobrinho, T. A.; Santos, F. M. (2007). Equação de Intensidade, Duração e Frequência da Precipitação para a Região de Dourados, MS (1a ed.). Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste.

Petrucci, E.; Oliveira, L. A. (2019). Relações entre intensidade, duração e frequência das precipitações máximas de 24 horas e equação de chuvas intensas para a cidade de Uberlândia-MG. **Revista Brasileira de climatologia**, 25(1), 337-354.

Pruski, F. F.; Silva, D. D.; Teixeira, A. F.; Cecílio, R. A.; Silva, J. M. A.; Griebeler, N. P. (2006). **Hídros: dimensionamento de sistemas hidrográficos** (1a ed.). Viçosa: UFV.

Santos, D. L.; Palácio, H. A. Q.; Moura, M. M. S.; Filho, J. C. R.; Costa, G. B. R. (2019). Determinação das equações de intensidade, duração e frequência de precipitação para cidades do sudeste do estado do Ceará. **Revista Científica Rural**, 21(2), 16-30.

Silva, K. B. (2016). **Caracterização das bacias dos Rios Colônia, Salgado e Cachoeira e suas contribuições para estudos de confluências**. Dissertação de mestrado, Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus, BA, Brasil.

Silva, C. B.; Oliveira, L. F. C. (2017). Relação intensidade-duração-frequência de chuvas extremas na região nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, 20(1), 267-283.

Sousa, F. R. C. de; Paula, D. P. de. (2018). Uso da equação de intensidade-duração-frequência de chuvas para bacia do rio Coreaú (Ceará, Brasil). **Revista Eletrônica do PRODEMA**, 12(1), 96-109.

Souza, R. O. R. D. M.; Scaramussa, P. H. M.; Amaral, M. A. C. M. D.; Pereira Neto, J. A.; Pantoja, A. V. et al. (2012). Equações de chuvas intensas para o estado do Pará. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 16(1), 999-1005.

Teodoro, P. E.; Neivock, M. P.; Marques, J. R. F.; Flores, A. M. F.; Rodrigues, C. C. B. (2014). Influência de diferentes coeficientes de desagregação na determinação de equações IDF para Aquidauana/MS. **Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, 9(2), 1-9.

Tucci, C. E. M. (2013). **Hidrologia: ciência e aplicação** (4a ed.). Porto Alegre: ABRH.

Villela, S.M.; Mattos, A. (1975). **Hidrologia aplicada** (1a ed.). São Paulo: Mcgraw-Hill do Brasil,

Viola, M. R.; Avanzi, J. C.; Mello, C. R. D.; Lima, S. D. O.; Alves, M. V. G. (2014). Distribuição e potencial erosivo das chuvas no Estado do Tocantins. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 49(1), 125-135.

Willmot, C. J.; Ackleson, S. G.; Davis, J. J.; Feddema, K.; Klink, D. R. (1985). Statistics for the evaluation and comparison of models. **Journal of Geophysical Research**, 90(5), 8995- 9005.

Xavier, A. C.; King, C. W.; Scanlon, B. R. (2015). Daily gridded meteorological variables in Brazil (1980–2013). **International Journal of Climatology**, 36(6), 2644-2659.

Informações adicionais

Contribuições dos autores: Todos os autores contribuíram de forma igualitária na construção e desenvolvimento deste artigo.

Como referenciar este artigo: Ferraz, L. L., Neves, J. R. D., Gonçalves, L. J., Sousa, L. F., Oliveira, L. B. (2020). Determinação da equação intensidade-duração-frequência da precipitação para a cidade de Itabuna, Bahia (Brasil). **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, v.8, n.2, p.87-98.



Direitos do Autor. A Revista Brasileira de Meio Ambiente utiliza a licença Creative Commons - CC Atribuição Não Comercial 4.0 CC-BY-NC (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>), no qual, os artigos podem ser compartilhados desde que o devido crédito seja aplicado de forma integral ao autor (es) e não seja usado para fins comerciais.