

ESTIMATIVA DOS PARÂMETROS DE EQUAÇÕES DE INTENSIDADE-DURAÇÃO-FREQUÊNCIA DE CHUVAS INTENSAS PARA O ESTADO DA BAHIA, BRASIL

ESTIMATION OF THE PARAMETERS OF INTENSITY-DURATION-FREQUENCY RAINS EQUATIONS FOR THE STATE OF BAHIA, BRAZIL

ESTIMACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE ECUACIONES DE LLUVIA DE INTENSIDAD-DURACIÓN-FRECUENCIA PARA EL ESTADO DE BAHIA, BRASIL

Patrick Gomes Moreira¹
João Batista Lopes da Silva²
Nicole Lopes Bento³
Danilo Paulúcio da Silva⁴
Brenda Santana de Souza⁴

RESUMO:

O entendimento das características das chuvas intensas é fundamental tanto no que diz respeito ao planejamento de áreas urbanas e agrícolas, como para projetos e obras de engenharia. Objetivou-se neste estudo, determinar os parâmetros das equações (K, a, b, c) de intensidade duração e frequência (IDF) para 279 municípios do Estado da Bahia, através de 622 estações pluviométricas com dados disponíveis na Agência Nacional das Águas (ANA). Procedeu-se inicialmente um estudo de consistência das séries de dados, seguido pela desagregação das chuvas máximas de um dia em durações de 5; 10; 15; 20; 25; 30; 60; 360; 480; 600; 720 e 1.440 minutos e estimadas as chuvas máximas através de modelos probabilísticos para cada duração e período de retorno de 5; 10; 25; 50 e 100 anos. Posteriormente procedeu-se o ajuste dos parâmetros (K, a, b, c) através do emprego de regressão não linear, com valores de R² consideráveis acima de 0,96 para todas as estações de estudo, com consideração de uma estação por município, com representação de 67% dos municípios baianos (279 municípios), maior do que a representação anterior, somente 4,5% dos municípios tinham equações ajustadas (19 municípios). Por fim foram calculadas as intensidades de precipitação máximas para os períodos de retorno de 10 e 50 anos e durações dos eventos de precipitação de 10 e 30 minutos e realizada a espacialização das informações por métodos geostatísticos para todo o Estado com maiores valores observados no litoral sudeste e sul e menores intensidades no centro do Estado da Bahia.

Palavras-chave: Equações IDF. Hidrologia. Precipitação.

ABSTRACT:

Understand the rainfall characteristics is important for urban and agricultural planning, as well as for engineering projects and works. The aims of this study was to determine the parameters of intensity duration and frequency equations (K, a, b, c) for 279 municipalities of the State of Bahia, Brazil, through 622 rainfall stations with data available from the National Water Agency of Brazil (ANA). Initially, a data series consistency study was carried out, followed by the breakdown of the maximum one-day rains into durations of 5; 10; 15; 20; 25; 30; 60; 360; 480; 600; 720 and 1,440 minutes and estimated maximum rainfall through probabilistic models for each duration and return period of 5; 10; 25; 50 and 100 years. Subsequently, the parameters (K, a, b, c) were adjusted using non-linear regression, with considerable R² values above 0.96 for all study stations, considering

¹Universidade Federal do Sul da Bahia (UFSB). patrickinho123@gmail.com

²Universidade Federal do Sul da Bahia (UFSB). silvajbl@ufsb.edu.br

³Universidade Federal de Lavras (UFLA). nicolelbento@gmail.com

⁴Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB). danielopaulucio@gmail.com

⁵Universidade Federal do Sul da Bahia (UFSB). brendasdsouza18@gmail.com

MOREIRA, P. G. et al.

one station per municipality. With representation of 67% of Bahia municipalities (279 municipalities), greater than the previous representation, only 4.5% of municipalities had adjusted equations (19 municipalities). Finally, the maximum precipitation intensities for the 10 and 50 year return periods and the duration of the 10 and 30 minute precipitation events were calculated and the spatialization of the information by geostatistical methods for the entire state with higher values observed in the southeast coast. and south and lower intensities in the center of the state of Bahia.

Keywords: IDF equations. Hydrology. Precipitation.

RESUMEN:

Comprender las características de las fuertes lluvias es fundamental tanto para la planificación urbana y agrícola como para los proyectos y obras de ingeniería. El objetivo de este estudio fue determinar los parámetros de duración de intensidad y ecuaciones de frecuencia (K, a, b, c) para 279 municipios del Estado de Bahia, Brasil, a través de 622 estaciones de lluvia con datos disponibles de la Agencia Nacional del Agua de Brasil (ANA). Inicialmente, se realizó un estudio de consistencia de la serie de datos, seguido por el desglose de las lluvias máximas de un día en duraciones de 5; 10; 15; 20; 25; 30; 60; 360; 480; 600; 720 y 1,440 minutos y precipitación máxima estimada a través de modelos probabilísticos para cada duración y período de retorno de 5; 10; 25; 50 y 100 años. Posteriormente, los parámetros (K, a, b, c) se ajustaron mediante regresión no lineal, con valores considerables de R^2 superiores a 0,96 para todas las estaciones de estudio, considerando una estación por municipio. Con una representación del 67% de los municipios bahianos (279 municipios), mayor que la representación anterior, solo el 4,5% de los municipios tenían ecuaciones ajustadas (19 municipios). Finalmente, se calcularon las intensidades máximas de precipitación para los períodos de retorno de 10 y 50 años y la duración de los eventos de precipitación de 10 y 30 minutos y la especialización de la información por métodos geoestadísticos para todo el estado con valores más altos observados en la costa sureste e intensidades sur e inferiores en el centro del estado de Bahia.

Palabras-clave: Ecuaciones IDF. Hidrología. Precipitación..

1 INTRODUÇÃO

A precipitação refere-se a principal variável de entrada no ciclo hidrológico, deste modo o entendimento da sua dinâmica e interações com o meio físico é fundamental para o planejamento de atividades humanas (NASCIMENTO E JESUS, 2017). Estas precipitações, chuvas, são fenômenos aleatórios distribuídos irregularmente no tempo e no espaço (BATISTA et al., 2018), como as chuvas intensas, que por sua vez são aquelas que apresentam grandes lâminas precipitadas em reduzido intervalo de tempo (ARAÚJO, 2008), necessitando um estudo mais aprimorado, visto o risco de grandes prejuízos em áreas urbanas, e/ou agrícolas, provenientes de grandes escoamentos superficiais.

A caracterização de chuvas intensas pode ser descrita por intermédio de equações empíricas denominadas como equações de chuvas intensas, ou equações IDF (Intensidade-Duração-Frequência), as quais relacionam os parâmetros de intensidade, duração e frequência de ocorrência de um evento em determinado período de retorno (SOUZA et al., 2012). O ajuste dos parâmetros das equações IDF ocorre com base em estudo de dados de estações pluviométricas, distribuídas geograficamente, ajustadas por meio do emprego de regressão linear, ou de regressão não linear, extraídos da série de dados pluviométricos da estação (ARAGÃO et al., 2013). O estudo dessas grandezas como variáveis hidrológicas permite, portanto, planejamento mais confiável de atividades agrícolas e elaboração de

MOREIRA, P. G. et al.

projetos de engenharia, nos quais ressaltam-se controle de erosão, estruturas hidráulicas como galerias, bueiros, barragens e pontes, uma vez que servem de base teórica e prática para o dimensionamento de diversos sistemas desta natureza (BASSO et al., 2016), auxiliando principalmente na estimativa de vazões máximas de projeto.

Os primeiros estudos deste tema desenvolvidos no Brasil foram realizados por Pfafstetter (1957) e Denardin e Freitas (1982), com o ajuste de equações IDF de 80 estações distribuídas em todo o país. Trabalhos mais recentes remontam ajustes realizados para o Estado de Goiás e Distrito Federal por Oliveira et al. (2005), Estado do Mato Grosso do Sul por Santos et al. (2009), Estado de Sergipe por Aragão et al. (2013), Estado do Piauí por Campos et al. (2014), Estado da Paraíba por Campos et al. (2017) e para o Estado do Rio Grande do Norte por Silva et al. (2018).

No Estado da Bahia, existem somente 19 equações, ajustadas por Pfafstetter (1957), Denardin e Freitas (1982) e Silva et al. (2002), que relacionam a intensidade, duração e frequência da precipitação máxima, para os seguintes municípios e localidades: Barreiras; Brotas de Macaúbas; Cândido Sales; Carinhanha; Cocos; Ibipeba; Formosa do Rio Preto; Ipiaú; Itamaraju; Itapebi; Ituberá; Juazeiro; Medeiros Neto; Morpará; Salvador; Santa Cruz da Vitória; Santa Maria da Vitória; Rafael Jambeiro; e Teodoro Sampaio.

A carência de informações com base nas equações de chuvas intensas para a maior parte das localidades do Estado da Bahia, busca como alternativa a utilização de informações contidas de equações de postos pluviográficos, próximos as localidades nas quais o projeto será desenvolvido. Conduzem, porém, a estimativas pouco seguras, com base na variabilidade espacial dos dados de precipitação pluvial (SILVA, 2002). Devido a importância que representa o conhecimento da equação que relaciona intensidade, duração e frequência da precipitação pluvial para a realização de projetos de drenagem, torna-se importante a atualização das equações, uma vez que as 19 equações existentes já denotam 15 anos. Além disto, outro fato importante além da distância geográfica das localidades com equações é também as mudanças das características das precipitações, observadas frente às mudanças do clima.

Assim, objetivou-se neste estudo, determinar os parâmetros das equações (K , a , b , c) de intensidade duração e frequência (IDF) para 279 municípios do Estado da Bahia, através de 622 estações pluviométricas com dados disponíveis na Agência Nacional das Águas (ANA), assim como gerar as intensidades de precipitação para diferentes durações e frequências, especializando-as por métodos geoestatísticos para todo o Estado.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O Estado da Bahia compreende uma área total correspondente a 564.693 km², com um total de 417 municípios. A classificação climática predominante é de zona tropical, seguido por zona seca e zona subtropical úmida segundo Köppen (1901), com irregularidade na distribuição pluviométrica durante todo o ano, normalmente com ausência de estação chuvosa definida, podendo ocorrer ainda incidência de chuvas intensas. Segundo Aouad (1982) uma dificuldade imposta à análise da dinâmi-

MOREIRA, P. G. et al.

ca do clima no Estado da Bahia é a sua própria posição geográfica, em face dos principais sistemas atmosféricos que ali atuam, nos quais citam-se os alísios de sudeste, correntes perturbadas de leste, correntes do sul, além das características inerentes a sua grande extensão territorial. Conforme ainda exposto por Silva et al. (2002) o caráter transicional de seu espaço traz a dificuldades de identificação dos sistemas meteorológicos que atingem o Estado visto que o território baiano é atingido por diferentes correntes de circulação, sendo que as de atuação mais efetivas se referem ao anticiclone semifixo do Atlântico Sul, com periferia mais seca (alísios de sudeste), responsável, em parte, pela tendência à aridez no Estado da Bahia.

Foram utilizados dados pluviográficos disponíveis no banco da Agência Nacional de Águas (ANA, 2016), com mais de 20 anos de observações diárias, distribuídas nos municípios do Estado da Bahia. Inicialmente foi realizada uma correção e busca por dados inconsistentes nas séries históricas das estações, assim foram selecionadas somente as estações que apresentaram mais de 20 anos de dados consistentes e com séries de dados que apresentassem registros a partir de 1980 (Figura 1).

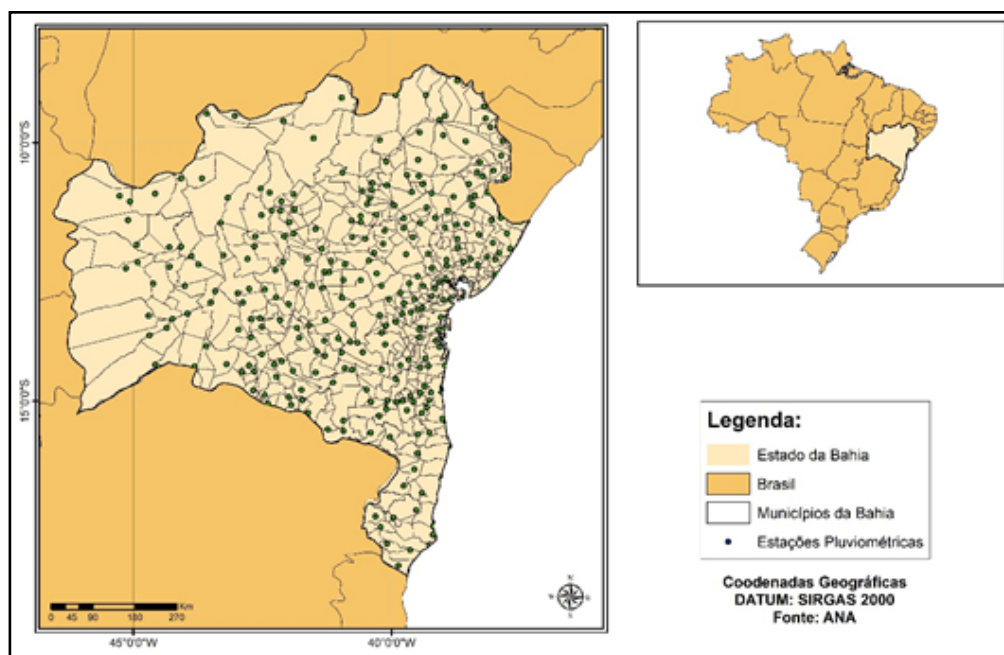


Figura 1. Localização da área de estudo juntamente com as suas estações pluviométricas identificadas.

Fonte: Elaboração dos autores.

A variação da intensidade com a frequência se relaciona com a probabilidade de ocorrência ou superação do evento chuva, sendo obtida por uma função de distribuição de probabilidade a qual permite a extrapolação para um número maior em anos em relação ao número de anos de observação (OLIVEIRA et al., 2005). Nesse trabalho, para cada estação de estudo foi obtida as séries de precipitação máxima de 1 dia, para os seguintes períodos de retorno (TR): 5, 10, 15, 25, 50 e 100 anos, que foram obtidas a partir de distribuições de probabilidade. As distribuições de probabilidade utilizadas foram: Gumbel; Log-Normal II; Log-Normal III; Pearson III; Log-Pearson III (NAGHETTINI E PINTO, 2007).

Para cada estação foram selecionadas as precipitações máximas em que os dados da série

MOREIRA, P. G. et al.

apresentaram maior aderência ao modelo probabilístico pelo teste de Kolmogorov-Smirnov, sendo selecionado após o teste de aderência o modelo de distribuição que apresentar menor erro padrão médio apresentado. Todas estas etapas foram realizadas com auxílio do software SisCAH (SOUSA et al., 2009).

Em seguida foi realizada a desagregação da precipitação de um dia em intervalos menores de 5, 10, 15, 20, 25, 30, 60, 360, 480, 600, 720 e 1440 minutos utilizando-se o método de desagregação da chuva proposta pela Cetesb (1979), empregando os coeficientes apresentados na Tabela 1. Após a desagregação da precipitação em intervalos menores foram determinadas para cada estação os parâmetros K, a, b, e c da equação de intensidade-duração-frequência (1).

Intervalo de transformação	Coefficientes	Intervalo de transformação	Coefficientes
1 dia para 24 h	1,14	1 h para 30 min	0,74
1 dia para 12 h	0,85	1 h para 25 min	0,91
24 h para 10 h	0,82	1 h para 20 min	0,81
24 h para 8 h	0,78	1 h para 15 min	0,70
24 h para 6 h	0,72	1 h para 10 min	0,54
24 h para 1 h	0,42	1 h para 5 min	0,34

Tabela 1 - Coeficientes de desagregação da precipitação para intervalos de tempo menores.

Fonte: Cetesb (1979).

$$IDF = \frac{K \cdot TR^a}{(t+b)^c} \quad (\text{Equação 1})$$

em que,

IDF - representa a intensidade, duração e frequência máxima média de precipitação, mm h⁻¹;

TR - período de retorno, anos;

t - duração da precipitação, min;

K, a, b, e c - parâmetros ajustados com base nos dados pluviométricos da localidade.

O ajuste dos parâmetros da equação IDF foi realizado por meio de regressão múltipla não linear, com base no método de iteração de Gradação Reduzida Generalizada (GRG) não linear (SOLVER, 2010), com a avaliação do ajuste realizada pelo coeficiente de determinação (R²). Realizou-se ainda, a avaliação do ajuste dos dados pela equação de regressão dos dados observados aos dados estimados, observando o coeficiente angular da reta. Estas etapas foram realizadas com auxílio do pacote de ferramentas do Solver para o Excel (SOLVER, 2010).

Devido à grande quantidade de equações ajustadas, muitos municípios apresentaram mais de uma equação, assim, optou-se por apresentar somente uma equação por município, com a exclusão seguindo os critérios em ordem: i) maior série histórica de dados; ii) presença de dados mais recentes; iii) maior R²; iv) coeficiente angular da reta mais próximo de 1,000.

Com os parâmetros da IDF ajustado, foram realizadas as estimativas das intensidades máximas de precipitação para duração de 10 e 30 minutos¹ e período de retorno de 10 e 50 anos² e realizada a espacialização para toda área territorial do Estado. A espacialização foi realizada no programa

¹A escolha destes valores na duração das precipitações é devido a características das chuvas que causam grandes estragos, pois elas não duram muito, geralmente em torno de 10 a 30 minutos.

²A escolha destes valores de período de retorno, 10 e 50 anos, é porque são valores mais usuais para estimativa de projetos, seja para bueiros, como para pequenas barragens de terra.

MOREIRA, P. G. et al.

R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, Viena, AT) com auxílio do pacote geoR (RIBEIRO JUNIOR E DIGGLE, 2001) por meio do ajuste de semivariogramas e análises de tendência. O método de interpolação utilizado foi a Krigagem Ordinária a qual trata-se de uma técnica de estimativa linear para uma variável regionalizada (SILVESTRE, et al., 2016). De posse a tais informações os mapas com informações especializadas foram desenvolvidos em ambiente SIG com o auxílio do software ArcGIS 10.6 (ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE, Redlands, CA, EUA).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O Estado da Bahia possui 1212 estações pluviométricas, fez-se, portanto, a verificação de estações com mais de 20 anos de dados e com informações a partir 1980. Foram descartadas desta forma 590 estações no total, por ausência de dados ou por não atender aos critérios mínimos de registro. Assim, procedeu-se o ajuste de 622 estações pluviométricas para estimativa dos parâmetros da IDF.

Com os dados das estações com séries com mais de 20 anos de dados fez-se a análise da precipitação máxima diária, associada a um período de retorno de 5, 10, 15, 25, 50 e 100 anos. Foram aplicadas as distribuições estatísticas aceitáveis de acordo com a precipitação associada ao período de retorno sendo obtida a precipitação relacionada ao período de retorno, a distribuição estatística com o melhor ajuste e o erro padrão da média. Nesta análise da precipitação máxima associada a um período de retorno, todos os dados apresentaram aderência ao teste de Kolmogorov-Smirnov, com grande predominância na distribuição probabilística de Log-Normal 3.

O Erro Padrão Médio apresentou seu menor valor para a estação de Itapicuru (código 01138006), 1,0091. Para o ajuste da precipitação associada ao tempo de retorno de cinco anos, o valor obtido foi de 78,19 e Distribuição Probabilística Log-normal 3, enquanto o maior valor de Erro Padrão Médio foi obtido para a estação de Itapicuru (Rio dos Anjos, código 01038013), 8,1338. Para o ajuste da precipitação associada ao tempo de retorno de 100 anos foi obtido o valor de 361,5 e Distribuição Probabilística Gumbel.

Com as precipitações máximas obtidas para período de retorno fez-se a desagregação das precipitações e com as precipitações desagregadas fez-se o ajuste dos parâmetros da equação IDF por meio de regressão múltipla não linear, pelo método de iteração de Gradação Reduzida Generalizada (GRG) Não Linear (SOLVER, 2010). Devido ao grande número de equações, optou-se por apresentar apenas uma por município, desta forma, das 622 estações ajustadas, faz-se a apresentação somente de 279 estações, contemplando aproximadamente 67% dos municípios baianos (Quadro 1). Ressalta-se que anteriormente, na literatura, tinha-se somente 19 municípios e localidades com equações ajustadas, o que representava somente 4,5% dos municípios baianos.

MOREIRA, P. G. et al.

Município	K	a	B	c	R ²	Município	K	a	b	c	R ²
Abaré	886.623	0.137	12.539	0.773	0.999	Iitororó	966.276	0.087	13.023	0.778	0.998
Adustina	901.432	0.133	13.745	0.785	0.998	Ituaçu	949.901	0.123	13.309	0.781	0.998
Água Fria	799.218	0.137	13.486	0.783	0.998	Ituberá	1010.693	0.147	10.956	0.757	0.999
Alagoinhas	829.668	0.166	12.856	0.776	0.999	Jaborandi	1053.962	0.135	12.501	0.773	0.999
Alcobaça	1324.985	0.147	13.662	0.784	0.998	Jacaraci	1036.439	0.193	14.207	0.789	0.997
Amargosa	821.849	0.213	10.626	0.754	0.999	Jacobina	954.378	0.167	11.767	0.766	0.999
Anagé	1015.101	0.117	12.974	0.778	0.999	Jaguaguara	735.564	0.255	13.327	0.781	0.998
Andaraí	1066.601	0.205	11.046	0.758	0.999	Jaguarari	1166.516	0.262	17.803	0.821	0.991
Angical	973.683	0.127	13.389	0.782	0.998	Jandaira	1159.974	0.155	12.620	0.774	0.999
Antas	899.695	0.279	19.126	0.833	0.990	Jequié	704.078	0.162	11.492	0.763	0.999
Araçás	958.603	0.161	12.867	0.777	0.999	Jeremoabo	590.539	0.233	9.532	0.742	0.997
Aracatú	1001.643	0.125	14.422	0.791	0.998	Juazeiro	970.943	0.243	16.865	0.813	0.993
Araci	808.426	0.178	12.965	0.778	0.999	Jussara	520.590	0.251	7.310	0.716	0.991
Arataca	918.750	0.154	12.746	0.775	0.999	Jussiape	906.716	0.173	14.907	0.796	0.997
Aratuípe	922.037	0.154	11.046	0.758	0.999	Lafaiete Coutinho	1059.884	0.177	13.504	0.783	0.998
Baianópolis	982.747	0.182	13.522	0.783	0.998	Laje	1233.535	0.112	13.500	0.783	0.998
Baixa Grande	1083.082	0.122	13.182	0.780	0.998	Lajedinho	869.720	0.221	12.312	0.771	0.998
Barra	986.863	0.185	13.352	0.781	0.998	Lençóis	971.926	0.208	13.035	0.778	0.998
Barra da Estiva	785.274	0.171	11.368	0.762	0.999	Macajuba	1291.366	0.146	13.685	0.784	0.998
Barra do Mendes	931.507	0.170	12.919	0.777	0.998	Macarani	1041.495	0.081	12.701	0.775	0.999
Barreiras	1122.188	0.094	12.837	0.776	0.999	Macaúba	1053.335	0.104	14.119	0.789	0.998
Belmonte	1087.555	0.171	13.159	0.779	0.998	Macaúbas	932.669	0.136	12.712	0.775	0.999
Biritinga	895.585	0.280	18.383	0.826	0.992	Macururé	909.703	0.170	12.902	0.777	0.999
Boa Nova	1176.773	0.081	12.989	0.778	0.999	Mairi	911.602	0.165	11.729	0.765	0.999
Boa Vista do Tupim	1004.160	0.236	16.052	0.806	0.994	Malhada	1003.498	0.186	14.750	0.794	0.996
Bom Jesus da Lapa	920.787	0.191	13.286	0.781	0.998	Malhada de Pedras	720.117	0.210	10.326	0.751	0.998
Boninal	752.606	0.125	13.188	0.780	0.998	Manoel Vitorino	961.160	0.160	13.244	0.780	0.998
Bonito	871.621	0.182	11.999	0.768	0.999	Mansidão	948.750	0.142	13.217	0.780	0.998
Boquira	907.078	0.194	13.251	0.780	0.998	Maracás	944.433	0.174	13.230	0.780	0.998
Botuporã	853.317	0.129	11.439	0.762	0.999	Marcionílio Souza	1007.181	0.144	12.595	0.774	0.999
Brejões	1075.963	0.089	13.034	0.778	0.998	Mascote	984.909	0.205	13.513	0.783	0.998
Brejolândia	856.611	0.139	11.243	0.760	0.999	Mata de São João	1189.057	0.284	11.559	0.764	0.998
Brotas de Macaúbas	881.353	0.192	14.061	0.788	0.998	Medeiros Neto	772.191	0.209	10.972	0.757	0.999
Brumado	763.859	0.194	13.239	0.780	0.998	Miguel Calmon	904.534	0.181	13.060	0.778	0.999
Buerarema	1045.236	0.124	13.197	0.780	0.998	Milagres	1061.380	0.120	13.471	0.782	0.998
Buritirama	1137.128	0.111	11.867	0.767	0.999	Mirangaba	958.627	0.184	11.038	0.758	0.999
Caatiba	1143.507	0.156	13.994	0.787	0.997	Mirante	918.800	0.175	13.538	0.783	0.998
Caçulé	979.107	0.126	13.168	0.779	0.998	Monte Santo	782.002	0.189	11.521	0.763	0.999
Caém	1193.081	0.244	16.639	0.811	0.994	Morpará	1078.328	0.178	13.075	0.779	0.998
Caetanos	935.151	0.097	12.753	0.775	0.999	Morro do Chapéu	775.178	0.217	9.532	0.742	0.997
Caetitê	922.875	0.135	13.893	0.786	0.998	Mortugaba	889.862	0.228	12.039	0.768	0.998
Cafarnaum	974.352	0.205	13.355	0.781	0.998	Mucugê	1071.927	0.141	13.958	0.787	0.997
Caldeirão Grande	979.965	0.135	13.331	0.781	0.998	Mucuri	954.807	0.203	14.395	0.791	0.997
Camacan	992.952	0.105	14.593	0.793	0.998	Mundo Novo	984.661	0.149	11.451	0.762	0.999
Camacari	1004.023	0.162	9.941	0.747	0.999	Muquém de São Francisco	1042.885	0.192	14.051	0.788	0.998
Camamu	1506.656	0.156	12.424	0.772	0.999	Muritiba	689.434	0.228	10.248	0.750	0.999
Campo Alegre de Lourdes	948.344	0.130	11.092	0.759	0.999	Mutuipe	923.081	0.135	13.339	0.781	0.998
Campo Formoso	677.366	0.240	13.120	0.779	0.998	Nazaré	1164.644	0.136	13.340	0.781	0.998
Canarana	1087.475	0.101	12.817	0.776	0.999	Nilo Peçanha	943.564	0.152	13.707	0.785	0.998
Candiba	1218.629	0.134	13.211	0.780	0.998	Nordestina	406.516	0.260	9.953	0.747	0.997
Cândido Sales	1000.485	0.090	12.754	0.775	0.999	Nova Canaã	996.227	0.137	13.702	0.785	0.998
Cansanção	670.926	0.221	12.454	0.773	0.999	Nova Itarana	1041.170	0.103	14.221	0.789	0.998
Canudos	819.506	0.210	13.009	0.778	0.999	Nova Soure	774.416	0.170	12.952	0.777	0.999
Capim Grosso	649.998	0.237	9.208	0.739	0.996	Nova Viçosa	1045.057	0.178	13.621	0.784	0.998
Caravelas	1105.872	0.176	12.939	0.777	0.999	Oliveira dos Brejinhos	987.024	0.109	14.627	0.793	0.998
Cardeal da Silva	964.790	0.174	13.008	0.778	0.999	Palmas de Monte Alto	940.730	0.167	11.381	0.762	0.999
Carinhanha	992.520	0.094	12.984	0.778	0.999	Paramirim	982.818	0.085	13.568	0.783	0.998
Casa Nova	1114.899	0.237	16.866	0.813	0.992	Paratinga	935.946	0.110	12.244	0.770	0.999
Castro Alves	1101.464	0.119	13.409	0.782	0.998	Paripiranga	762.496	0.182	12.849	0.776	0.999
Catolândia	1086.771	0.129	12.484	0.773	0.999	Paulo Afonso	1114.939	0.288	17.130	0.816	0.992
Catu	1070.743	0.097	13.076	0.779	0.998	Pé de Serra	793.277	0.272	13.211	0.780	0.995
Central	931.337	0.126	13.277	0.781	0.998	Pedro Alexandre	867.911	0.139	15.282	0.799	0.997
Chorrochó	656.546	0.211	10.053	0.748	0.998	Piatã	861.861	0.161	12.902	0.777	0.999
Cícero Dantas	786.618	0.197	11.342	0.761	0.998	Pilão Arcado	1046.719	0.123	13.049	0.778	0.998
Cipó	902.697	0.229	15.279	0.799	0.996	Pindaí	868.632	0.146	11.514	0.763	0.999
Cocos	1037.432	0.158	12.847	0.776	0.999	Pindobaçu	1172.684	0.131	13.177	0.780	0.998
Conceição do Almeida	992.400	0.169	12.162	0.770	0.998	Piripá	1076.848	0.093	12.567	0.774	0.999
Conceição do Coite	955.292	0.231	14.538	0.792	0.996	Piritiba	811.224	0.215	11.487	0.763	0.999
Conde	1181.800	0.137	13.463	0.782	0.998	Planaltino	987.054	0.182	14.071	0.788	0.997
Condeúba	867.650	0.143	11.711	0.765	0.999	Planalto	1003.366	0.091	12.877	0.777	0.999
Contendas do Sincora	796.958	0.200	10.593	0.753	1.000	Poções	1045.136	0.108	14.164	0.789	0.998
Cordeiros	1080.474	0.127	13.144	0.779	0.998	Porto Seguro	1332.021	0.125	13.080	0.779	0.998
Coribe	1012.250	0.166	11.978	0.768	0.999	Prado	836.072	0.223	10.806	0.756	0.999
Coronel João Sá	812.282	0.244	15.299	0.799	0.996	Presidente Jânio Quadros	851.558	0.307	19.163	0.833	0.990
Correntina	856.016	0.152	11.426	0.762	0.999	Queimadas	713.614	0.232	12.809	0.776	0.997

MOREIRA, P. G. et al.

Cotegipe	1256,846	0,153	13,199	0,780	0,998	Quijingue	928,422	0,178	14,229	0,790	0,997
Crisópolis	1052,644	0,175	13,822	0,786	0,997	Rafael Jambeiro	609,311	0,228	10,287	0,750	0,999
Cruz das Almas	1006,691	0,111	13,202	0,780	0,998	Remanso	858,359	0,179	11,877	0,767	0,999
Curaçá	1069,251	0,247	16,563	0,811	0,994	Riachão das Neves	979,116	0,148	12,669	0,775	0,999
Dom Basílio	840,508	0,129	12,819	0,776	0,999	Riachão do Jacuípe	998,419	0,125	13,440	0,782	0,998
Encruzilhada	817,276	0,257	12,070	0,769	0,998	Riacho de Santana	988,537	0,141	13,324	0,781	0,999
Entre Rios	1137,017	0,118	13,282	0,781	0,998	Ribeira do Amparo	860,956	0,139	13,938	0,787	0,997
Esplanada	911,793	0,184	11,301	0,761	0,999	Ribeira do Pombal	905,154	0,159	13,996	0,787	0,997
Euclides da Cunha	877,182	0,200	14,107	0,788	0,998	Rio de Contas	880,789	0,155	13,007	0,778	0,999
Eunápolis	888,605	0,137	11,416	0,762	0,999	Rio do Antônio	1086,244	0,177	12,955	0,777	0,999
Feira de Santana	856,630	0,199	14,009	0,788	0,998	Rio do Pires	935,609	0,182	13,802	0,786	0,998
Firmino Alves	873,161	0,293	14,198	0,789	0,989	Rio Real	642,655	0,174	11,206	0,760	0,999
Floresta Azul	874,788	0,124	13,098	0,779	0,998	Rodelas	1238,955	0,145	13,724	0,785	0,998
Formosa do Rio Preto	907,734	0,124	11,452	0,762	1,000	Ruy Barbosa	925,266	0,231	11,253	0,760	0,999
Gandu	948,406	0,170	13,414	0,782	0,999	Salvador	1453,825	0,147	12,683	0,775	0,999
Gavião	1120,413	0,149	17,565	0,819	0,991	Santa Brigida	851,188	0,108	12,999	0,778	0,999
Gentio do Ouro	812,751	0,150	10,984	0,758	0,999	Santa Cruz da Vitória	933,464	0,172	12,990	0,778	0,999
Glória	1012,940	0,164	14,150	0,789	0,997	Santa Inês	877,880	0,118	13,361	0,781	0,998
Gongogi	1033,461	0,250	17,142	0,816	0,994	Santa Maria da Vitória	1069,834	0,177	13,398	0,782	0,998
Guanambi	1076,362	0,168	13,189	0,780	0,998	Santa Rita de Cássia	815,859	0,152	11,257	0,760	0,999
Guaratinga	1305,673	0,096	13,043	0,778	0,998	Santa Teresinha	968,273	0,137	13,642	0,784	0,998
Heliópolis	724,530	0,197	12,222	0,770	0,999	Santaluz	803,895	0,263	12,211	0,770	0,996
Iaçu	973,484	0,155	13,618	0,784	0,998	Santana	1157,596	0,228	16,087	0,807	0,994
Ibiassucê	991,319	0,156	13,821	0,786	0,997	Santo Antônio de Jesus	932,633	0,161	13,756	0,785	0,998
Ibicaraí	1028,879	0,112	13,132	0,779	0,998	Santo Estevão	932,471	0,180	14,287	0,790	0,997
Ibicoara	958,722	0,112	13,018	0,778	0,998	São Desidério	1090,872	0,108	13,812	0,786	0,998
Ibipeba	816,987	0,313	13,721	0,785	0,987	São Félix	916,556	0,173	12,032	0,768	0,999
Ibipitanga	928,872	0,097	12,769	0,776	0,999	São Francisco do Conde	1346,433	0,151	11,889	0,767	0,999
Ibiquera	785,367	0,216	12,025	0,768	0,999	São Gonçalo dos Campos	838,500	0,180	11,219	0,760	0,999
Ibirapitanga	1064,180	0,138	13,532	0,783	0,998	São José da Vitória	951,813	0,133	12,483	0,773	0,999
Ibirapuá	1039,815	0,178	13,251	0,780	0,998	Satiro Dias	978,094	0,258	13,507	0,783	0,996
Ibitiara	497,229	0,177	13,621	0,784	0,998	Saúde	1067,674	0,169	11,717	0,765	0,999
Ibitita	865,152	0,178	11,575	0,764	0,999	Seabra	749,575	0,186	12,006	0,768	0,999
Ibotirama	866,272	0,139	11,524	0,763	0,999	Senhor do Bonfim	963,465	0,130	13,287	0,781	0,998
Igaporã	987,239	0,161	13,416	0,782	0,998	Sento Sé	1016,426	0,143	13,901	0,786	0,997
Iguai	1008,686	0,169	12,061	0,769	0,999	Serra Dourada	1004,889	0,161	12,836	0,776	0,999
Ilhéus	1064,180	0,138	13,532	0,783	0,998	Serra Preta	978,404	0,132	13,965	0,781	0,998
Inhambupe	777,196	0,228	13,155	0,779	0,998	Serrinha	864,034	0,174	13,045	0,778	0,999
Ipiaú	814,772	0,154	11,197	0,760	0,999	Serrolândia	1280,568	0,164	14,145	0,789	0,997
Ipirá	967,497	0,227	15,922	0,805	0,995	Sítio do Mato	992,988	0,180	13,695	0,785	0,998
Ipupiara	727,231	0,212	10,476	0,752	0,998	Tabocas do Brejo Velho	939,549	0,173	12,965	0,778	0,999
Iramaia	997,454	0,116	14,509	0,792	0,998	Tanhaçu	626,438	0,201	10,390	0,751	0,998
Iraquara	945,441	0,176	13,779	0,785	0,998	Tanque Novo	948,674	0,154	12,473	0,773	0,999
Irará	887,476	0,183	13,208	0,780	0,998	Tapiramutá	757,621	0,257	10,640	0,754	0,999
Irecê	886,182	0,181	11,242	0,760	0,999	Teodoro Sampaio	918,086	0,159	11,407	0,762	0,999
Itabela	597,406	0,266	9,606	0,743	0,998	Teolândia	1208,252	0,174	12,863	0,777	0,999
Itaberaba	923,603	0,161	12,031	0,768	0,999	Tremedal	1035,735	0,127	13,058	0,778	0,999
Itabuna	728,683	0,246	11,158	0,759	0,999	Tucano	530,290	0,243	9,166	0,738	0,996
Itacaré	1344,291	0,146	12,671	0,775	0,999	Uauá	986,642	0,128	13,133	0,779	0,998
Itaeté	877,334	0,180	11,231	0,760	0,999	Ubaíra	1104,737	0,132	13,576	0,783	0,998
Itagiba	1319,575	0,152	12,583	0,774	0,998	Ubaitaba	1809,551	0,365	24,034	0,871	0,971
Itaguaçu da Bahia	815,515	0,135	11,094	0,759	0,999	Uibai	1195,151	0,122	13,157	0,779	0,998
Itajá da Colônia	928,780	0,185	13,322	0,781	0,998	Una	1335,719	0,211	13,688	0,784	0,998
Itajuípe	1100,215	0,160	13,076	0,779	0,999	Urandi	794,715	0,150	12,682	0,775	0,999
Itamaraju	973,565	0,164	12,898	0,777	0,999	Utinga	922,358	0,192	13,164	0,779	0,998
Itanagra	1024,167	0,231	10,412	0,752	0,999	Valença	1067,020	0,247	16,209	0,808	0,994
Itanhém	961,315	0,168	13,120	0,779	0,998	Valente	802,084	0,230	10,848	0,756	0,999
Itapé	1212,832	0,045	12,269	0,771	0,999	Vera Cruz	1071,081	0,159	13,770	0,785	0,998
Itapebi	1030,536	0,154	13,985	0,787	0,998	Vereda	1021,642	0,077	12,768	0,776	0,999
Itapetinga	1154,556	0,097	12,730	0,775	0,999	Vitória da Conquista	1014,128	0,130	13,156	0,779	0,998
Itapicuru	2237,529	0,378	28,938	0,907	0,961	Wagner	1032,222	0,195	13,497	0,783	0,998
Itaquara	791,885	0,236	12,740	0,775	0,998	Wanderley	1003,980	0,143	10,947	0,757	0,999
Itarantim	800,716	0,185	14,360	0,791	0,997	Wenceslau Guimarães	922,223	0,186	13,502	0,783	0,998
Itiruçu	917,908	0,134	13,205	0,780	0,998	Xique-Xique	1159,425	0,098	12,732	0,775	0,999
Itiúba	822,923	0,123	13,379	0,782	0,998						

Quadro 1 - Valores ajustados para parâmetros da equação intensidade-duração-frequência (IDF) e respectivo coeficiente de determinação (R^2) para cada estação pluviométrica estudada no Estado da Bahia, Brasil.

Fonte: Elaboração dos autores.

Todos os ajustes das equações apresentaram coeficiente de determinação (R^2) maiores que 0,96 e com média (R^2) de 0,9978, resultado semelhante aos encontrados por Souza et al. (2012) e Silva et al. (2018), onde os parâmetros da IDF apresentaram variação de uma estação para outra

MOREIRA, P. G. et al.

com R^2 superiores a 0,98. Desta forma, para todas as estações analisadas os parâmetros da equação IDF apresentaram-se com “correlação muito forte”, a qual também pode ser observada pela equação de regressão dos dados observados com os ajustados, onde o coeficiente angular da reta foi próximo de 1,0 para todas as estações

Segundo Almeida et al. (2013) em seu estudo sobre os parâmetros da equação de chuvas intensas nos municípios de Viçosa e Palmeira dos Índios do Estado de Alagoas, obteve o resultado com os valores R^2 também acima de 0,99, onde os parâmetros de ajuste das equações apresentaram alta variabilidade de uma estação para outra, semelhante ao resultado encontrado no presente trabalho. Como também nos resultados encontrados por Lima et al. (2013) em seu estudo das equações de chuvas intensas para os municípios de Maceió e Arapiraca, Alagoas, também apresentarem variação de uma estação para a outra, com R^2 superior a 0,99. Para o Estado do Piauí conforme evidenciado por Campos et al. (2014) o ajuste tanto por regressão linear quanto por regressão não linear apresentou coeficientes de determinação superiores a 0,98 e grande variação entre os parâmetros estudados. Já conforme Silva et al. (2018) no ajuste dos parâmetros da equação IDF para o Estado do Rio Grande do Norte apenas 11 estações apresentaram coeficientes de determinação (R^2) inferior a 0,99, sendo o ajuste dos parâmetros destas estações superior a 0,91 e variabilidade entre os parâmetros analisados.

Em estudo proposto por Campos et al. (2014) sugeriu-se a existência de interação entre os parâmetros da equação de chuvas intensas, sendo que os parâmetros são influenciados uns pelos outros, proporcionando resultados eficientes aos modelos de previsão de IDF. Neste estudo constatou-se, entretanto, uma elevada variação aos parâmetros de ajuste entre uma estação e outra, o que pode ser justificado pela grande variabilidade da distribuição espacial e quantitativa das precipitações para o Estado da Bahia (SILVA et al., 2012).

Verificou-se inicialmente que apesar do valor de R^2 ter sido relativamente elevado na estação de Buritirama (código 01043009) de 0,9991, o valor do parâmetro ‘a’ encontra-se muito acima dos valores das demais estações, o que sugere que os dados simulados superestimaram os dados reais. O mesmo ocorre para o parâmetro ‘b’, porém de maneira inversa, com valor do parâmetro muito abaixo dos valores das demais estações, o que sugere que os dados simulados subestimam os dados reais. Deste modo, os parâmetros ajustados para esta estação foram descartados, devido principalmente aos valores dos parâmetros ‘a’ e ‘b’. No que diz respeito aos parâmetros da equação de chuvas intensas o parâmetro ‘a’ possui amplitude variando de 0,045 a 0,378, tendo seu menor valor no município Itapé (código 01439086) e maior valor no município de Itapicuru (Rio dos Anjos – código 01038013). Já o parâmetro ‘b’ possui valores que variam de 7,3105 a 28,9383, com menor valor para o município de Jussara (código 01141008) e maiores valores concentrados nos municípios de Ubaitaba (código 01439043) e Itapicuru (Rio dos Anjos – código 01038013). Os valores do parâmetro ‘c’ apresentaram menor variação entre as estações, com valores entre 0,7165 e 0,9065 para os municípios de Jussara (código 01141008) e Itapicuru (Rio dos Anjos – código 01038013) respectivamente. O parâmetro ‘K’ variou de 406,52 a 2237,53 com menor encontrado para o município de Nordestina (código 01039008) e maior valor encontrado para o município de Itapicuru (Rio dos Anjos – código 01038013).

Observa-se, portanto, uma grande variabilidade nos valores dos parâmetros, tanto entre os

MOREIRA, P. G. et al.

valores para um mesmo parâmetro, quanto para entre os parâmetros entre si, com verificação de grande amplitude entre os valores encontrados, exceto para o parâmetro ‘c’, com menor variação de amplitude encontrada. Essa grande variação nos parâmetros da equação IDF também foram evidenciadas por Silva et al. (2002), Santos et al. (2009), Silva et al. (2012), Campos et al. (2014) e Silva et al. (2018). Não foram constatados valores negativos para nenhum dos parâmetros avaliados.

Comparando as equações ajustadas neste estudo com o ajuste realizado por Silva et al. (2012) de 19 equações para o Estado da Bahia (Tabela 2), constatou-se que todos os ajustes foram superiores, uma vez que apresentaram coeficiente de determinação (R²) com valores acima dos descritos na literatura, evidenciando o bom ajuste dos parâmetros determinados neste estudo. Destaca-se ainda o aumento significativo no número de equações ajustadas, com maior quantidade de municípios atendidos no Estado da Bahia, de 19 municípios para 279 municípios atendidos, ou seja, a cobertura do Estado de 4,5% para 67%, favorecendo a aplicabilidade de estudos e de projetos e obras hidráulicas com base nos resultados descritos neste estudo.

Código	Município	Equação Ajustada	R ²	Equação Literatura	R ² *
01239000	Rafeal Jambeiro (Argoim)	$IDF = \frac{609,311 \cdot TR^{0,227}}{(\tau + 10,286)^{0,750}}$	0,997	$IDF = \frac{8999,000 \cdot TR^{0,245}}{(\tau + 56,068)^{1,119}}$	0,99
01244011	Barreiras	$IDF = \frac{1122,188 \cdot TR^{0,094}}{(\tau + 12,837)^{0,776}}$	0,999	$IDF = \frac{1525,758 \cdot TR^{0,178}}{(\tau + 19,457)^{0,820}}$	0,992
01242015	Brotas de Macaúbas	$IDF = \frac{881,353 \cdot TR^{0,192}}{(\tau + 14,061)^{0,788}}$	0,998	$IDF = \frac{4210,017 \cdot TR^{0,192}}{(\tau + 32,453)^{1,042}}$	0,995
01541001	Cândido Sales	$IDF = \frac{1000,485 \cdot TR^{0,090}}{(\tau + 12,754)^{0,775}}$	0,999	$IDF = \frac{2828,391 \cdot TR^{0,204}}{(\tau + 34,463)^{0,956}}$	0,995
01443002	Carinhanha	$IDF = \frac{992,520 \cdot TR^{0,094}}{(\tau + 12,984)^{0,778}}$	0,999	$IDF = \frac{2718,147 \cdot TR^{0,214}}{(\tau + 21,193)^{0,987}}$	0,996
01444017	Cocos	$IDF = \frac{1037,432 \cdot TR^{0,158}}{(\tau + 12,847)^{0,776}}$	0,999	$IDF = \frac{2500,00 \cdot TR^{0,184}}{(\tau + 34,478)^{0,902}}$	0,996
01142020	Ibipêba (Fazenda Refrigério)	$IDF = \frac{1048,430 \cdot TR^{0,240}}{(\tau + 14,543)^{0,792}}$	0,996	$IDF = \frac{3950,000 \cdot TR^{0,222}}{(\tau + 33,862)^{1,028}}$	0,993
01145001	Formosa do Rio Preto	$IDF = \frac{97,734 \cdot TR^{0,124}}{(\tau + 11,452)^{0,762}}$	1,000	$IDF = \frac{1719,054 \cdot TR^{0,174}}{(\tau + 20,021)^{0,865}}$	0,994
01439014	Ipiaú	$IDF = \frac{814,772 \cdot TR^{0,154}}{(\tau + 11,197)^{0,760}}$	0,999	$IDF = \frac{2194,929 \cdot TR^{0,232}}{(\tau + 32,891)^{0,882}}$	0,991
01739005	Itamaraju	$IDF = \frac{972,565 \cdot TR^{0,164}}{(\tau + 12,898)^{0,777}}$	0,999	$IDF = \frac{4023,860 \cdot TR^{0,211}}{(\tau + 28,605)^{1,060}}$	0,997
01539006	Itapebi	$IDF = \frac{1030,536 \cdot TR^{0,154}}{(\tau + 13,985)^{0,787}}$	0,998	$IDF = \frac{3586,860 \cdot TR^{0,204}}{(\tau + 39,135)^{0,937}}$	0,996
01339012	Ituberá	$IDF = \frac{1010,693 \cdot TR^{0,147}}{(\tau + 10,956)^{0,757}}$	0,999	$IDF = \frac{3228,481 \cdot TR^{0,207}}{(\tau + 45,386)^{0,948}}$	0,900
00940024	Juazeiro	$IDF = \frac{960,943 \cdot TR^{0,243}}{(\tau + 16,865)^{0,813}}$	0,993	$IDF = \frac{5592,554 \cdot TR^{0,242}}{(\tau + 40,039)^{1,093}}$	0,992
01740005	Medeiros Neto	$IDF = \frac{772,191 \cdot TR^{0,209}}{(\tau + 10,972)^{0,752}}$	0,999	$IDF = \frac{6899,271 \cdot TR^{0,227}}{(\tau + 40,913)^{1,107}}$	0,997
01143002	Morpará	$IDF = \frac{1078,328 \cdot TR^{0,178}}{(\tau + 13,075)^{0,779}}$	0,998	$IDF = \frac{1121,260 \cdot TR^{0,223}}{(\tau + 19,746)^{0,783}}$	0,990
01145013	Barreiras (Ponte Serafim)	$IDF = \frac{951,589 \cdot TR^{0,151}}{(\tau + 12,782)^{0,775}}$	0,998	$IDF = \frac{4073,933 \cdot TR^{0,181}}{(\tau + 27,902)^{1,073}}$	0,994
01439044	Santa Cruz da Vitória	$IDF = \frac{933,464 \cdot TR^{0,176}}{(\tau + 12,990)^{0,778}}$	0,999	$IDF = \frac{3450,000 \cdot TR^{0,239}}{(\tau + 34,012)^{0,989}}$	0,993
01344017	Santa Maria da Vitória	$IDF = \frac{1069,834 \cdot TR^{0,177}}{(\tau + 13,398)^{0,782}}$	0,998	$IDF = \frac{2873,405 \cdot TR^{0,216}}{(\tau + 29,656)^{0,946}}$	0,994
01238051	Teodoro Sampaio	$IDF = \frac{918,086 \cdot TR^{0,159}}{(\tau + 11,407)^{0,762}}$	0,999	$IDF = \frac{5850,000 \cdot TR^{0,212}}{(\tau + 51,820)^{1,021}}$	0,994

Tabela 2 - Comparação entre as equações de precipitação máxima ajustadas e com as da literatura.

* R2 (coeficientes de determinação) obtidos por Silva et al. (2002).

Fonte: Elaboração dos autores.

MOREIRA, P. G. et al.

A espacialização das intensidades máximas prováveis para as precipitações com tempos de retorno (TR) igual a 10 anos e 50 anos e duração de 10 e 30 minutos encontram-se apresentadas na Figura 2. De acordo com os valores de intensidade máxima estimados com as IDF ajustadas por regressão não linear pode se observar que as estações que apresentaram os menores e maiores valores foram respectivamente as estações 01242011 localizada no município de Ibitiara e 01238041 localizada no município de Mata de São João para o período de retorno de 10 anos, e as estações 01242011 localizada no município de Ibitiara e 01038013 para o município de Itapicuru para o período de retorno de 50 anos.

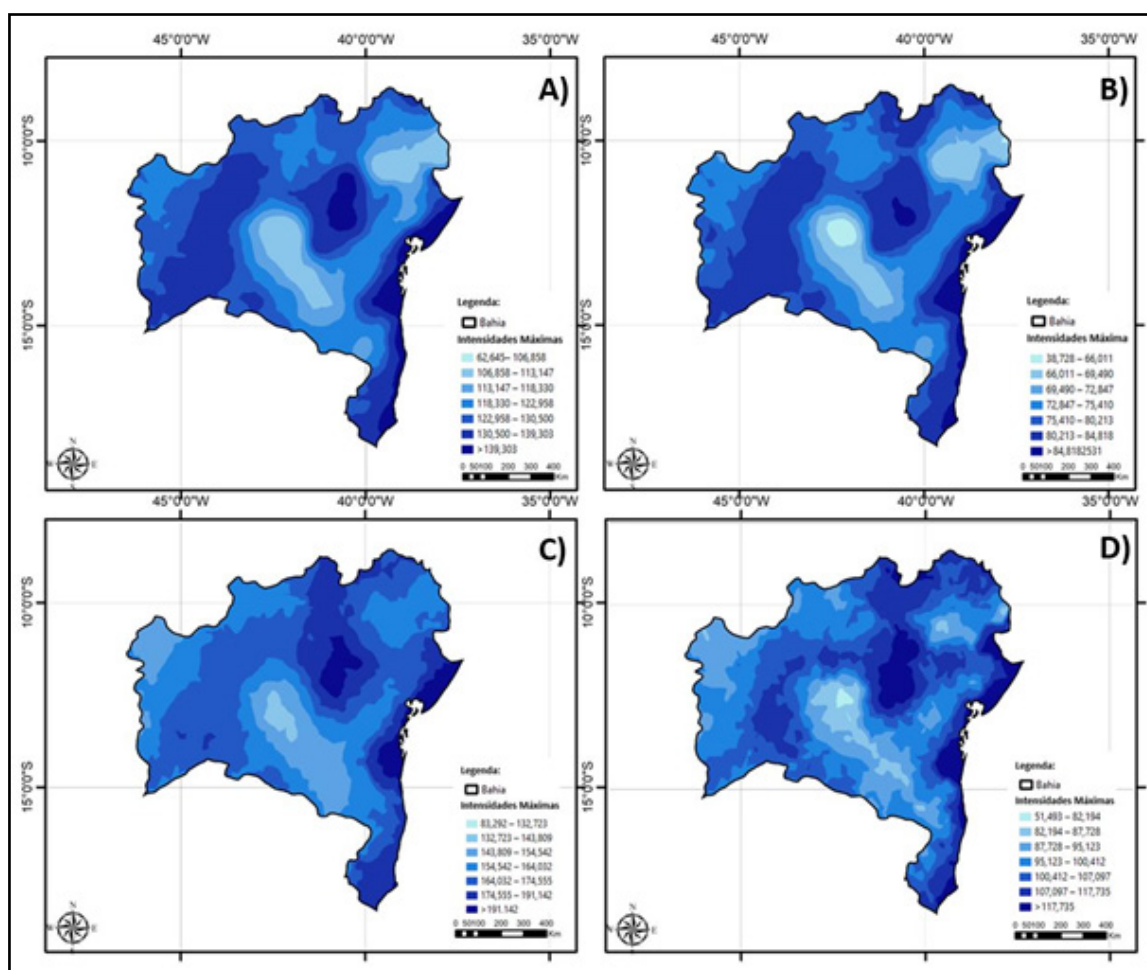


Figura 2 - Espacialização das intensidades máximas prováveis estimadas para o Estado da Bahia, com período de retorno igual a 10 anos e durações de 10 min (A), 30 min (B) e período de retorno de 50 anos e durações de 10 min (C) e 30 min (D). **Fonte:** Elaboração dos autores.

Verifica-se que essa grandeza aumenta à medida que se aumenta o tempo de retorno da precipitação, e reduz quanto se aumenta a duração da chuva, com os maiores valores de intensidade de 354,431 mm h⁻¹ com período de retorno de 50 anos e duração de 10 minutos, e de intensidade de 38,728 mm h⁻¹ com um período de retorno de 10 anos e duração de 30 minutos. Essa condição de maiores intensidades nas menores durações também foi observada em estudos de Teodoro et al. (2014), Martinotto et al. (2016) e Nascimento e Jesus (2017).

As espacializações para o período de retorno de 10 anos apresentam comportamento simi-

MOREIRA, P. G. et al.

lar de distribuição espacial no Estado para diferentes durações de estudo (Figura 2 - A e B), diferentemente do observado para a espacialização para o período de retorno de 50 anos (Figura 2 - C e D), que mesmo com maior proximidade dos valores extremos, apresenta distribuição espacial mais variável de classes, principalmente para a duração de 30 minutos.

A espacialização da intensidade máxima da chuva possibilitou demonstrar que as maiores intensidades, independentemente da duração, ocorrem nas mesorregiões do litoral Sul Baiano e Recôncavo Baiano e as menores intensidades ocorrem principalmente no Centro Sul e Centro Norte Baiano. Esse comportamento pode ser explicado pela distribuição espacial das chuvas no Estado, em que os maiores valores de pluviosidade se concentram na faixa leste do Estado, que abrange as regiões do Recôncavo, Nordeste e Sul e menores valores de pluviosidade nas regiões Centro-oeste do Estado (INEMA, 2019). Esses resultados corroboram com a localização dos municípios com menores e maiores valores encontrados de intensidade de precipitação, uma vez que o município de Ibitiara se encontra localizado na região da Chapada Diamantina com reduzidos níveis pluviométricos e decretos de estiagem e os municípios de Mata de São João localizado na região Metropolitana de Salvador e Itapicuru localizado no Nordeste Baiano, com maiores níveis pluviométricos.

4 CONCLUSÕES

O modelo de distribuição Log-Normal 3 apresentou melhor ajuste à série de dados, para a determinação da precipitação máxima para diferentes períodos de retorno nos municípios estudados do Estado da Bahia.

Do total de 1212 estações pluviométricas somente 622 estações pluviométricas possuíram series históricas com dados suficientes para a estimativa dos parâmetros (K, a, b, c) da equação de intensidade-duração-frequência da precipitação máxima para o Estado da Bahia, sendo apresentadas uma estação por município, com representação de 67% dos municípios baianos, com R superiores à 0,96 para todos os municípios estudados.

Os parâmetros das equações IDF apresentaram grandes variações entre estações, notadamente o parâmetro K, evidenciando a necessidade de estimativa individual para cada estação de estudo do Estado.

A intensidade de precipitação máxima obtida com base nas estimativas das equações IDF aumenta conforme o aumento do período de retorno e reduz conforme se aumenta a duração da chuva sendo que a espacialização da intensidade de precipitação máxima mostra que as maiores intensidades ocorrem no litoral e as menores intensidades no centro do Estado da Bahia.

Os resultados permitem concluir que a metodologia empregada proporciona um bom ajuste dos parâmetros das equações IDF, bem como permite o cálculo das intensidades de precipitação máxima, o que proporciona segurança na sua utilização tanto em projetos de engenharia como em prevenções às épocas de chuvas de maiores intensidades. Teve-se um grande aumento do número de municípios com equações ajustadas, de 19 para 279 municípios com equações, auxiliando na concepção destes projetos de drenagem.

MOREIRA, P. G. et al.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, K. N. S., de SOUZA, K. B., GOMES, G. S. L., da SILVA, J. B. L., & PIRES, L. C. **Parâmetros da Equação de Chuvas Intensas dos Municípios de Viçosa e Palmeira dos Índios- AL. IV CONEFOR – III SEEFOR/ Vitória da Conquista (BA), 2013.**
- ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Hidroweb** – Sistemas de Informações Hidrológicas. 2015. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br>>. Acesso em: 29 jun 2015.
- AOUAD, M.S. **Tentativa de classificação climática para o Estado da Bahia: uma análise quantitativa dos atributos locais, associada à análise qualitativa do processo genético.** Rio de Janeiro: IBGE. 80p. 1982.
- ARAGÃO, R., DE SANTANA, G. R., DA COSTA, C. E., CRUZ, M. A., DE FIGUEIREDO, E. E., & SRINIVASAN, V. S. Chuvas intensas para o estado de Sergipe com base em dados desagregados de chuva diária. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental-Agriambi**, 17(3), 2013.
- ARAÚJO, L. E. Análise estatística de chuvas intensas da bacia hidrográfica do Rio Paraíba. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 23, n. 2, p. 162-169, 2008.
- BASSO, R. E., ALLASIA, D. G., TASSI, R., & PICKBRENNER, K. Revisão das isozonas de chuvas intensas do Brasil. **Eng. Sanit. Ambient.**, Rio de Janeiro, v. 21, n. 4, p. 635-641, 2016.
- BATISTA, T. L.; ALVES, F. D. M.; TAVARES, P. R. L. Use of pluviometric data for the development of IDF equations of the metropolitan region of Fortaleza-CE, Brazil. **Revista DAE**, v. 66, n. 211, 2018.
- CAMPOS, A. R.; SANTOS, G. G.; SILVA, J. B. L.; IRENE, J.; LOURA, D. S. Equações de intensidade-duração-frequência de chuvas para o estado do Piauí. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 45, n. 3, p. 488-498, 2014.
- CAMPOS, A. R.; SILVA, J. B. da.; SANTOS, G. G.; RATKE, R. F.; AQUINO, I. O. de. Estimate of intense rainfall equation parameters for rainfall stations of the Paraíba State, Brazil. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 47, n. 1, p. 15-21, 2017.
- CETESB - COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Drenagem urbana: manual de projeto.** São Paulo. 476 p, 1979.
- DENARDIN, J.; FREITAS, P. L. Características fundamentais da chuva no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v. 17, p. 1409-1416, 1982.
- ESRI, A. ArcGIS 10.1. **Environmental Systems Research Institute**, Redlands, CA, USA, 2012.
- INEMA - Instituto de Meio Ambiente e Recursos Hídricos. CLIMATEMPO BA. **Prognóstico Climático para o Estado da Bahia.** 2019.
- KÖPPEN, W. Versuch einer Klassifikation der Klimate, vorzugweise nach ihren Beziehungen zur Pflanzenwelt. **Meteorol.** v. 18, p. 106–120, 1901.
- LIMA, T. P.; FERRAZ, F. T.; FRANÇA, L. C. de J.; GOMES, G. S. L.; SILVA, J. B. L. da. **Equações de Chuvas Intensas para os Municípios de Maceió e Arapiraca – AL. IV CONEFOR – III SEEFOR/ Vitória da Conquista (BA), 2013.**
- MARTINOTTO, T. T.; BERTOLDI, L.; SANTOS, A. T. dos; LEZONIER, L. S. Análise hidrológica da região de São Miguel do Oeste para obtenção de uma equação de chuvas intensas (IDF). **Unoesc & Ciência - ACET**, v. 7, n. 2, p. 145-154, 2016.
- NAGHETTINI, M.; PINTO, E. J. A. **Hidrologia Estatística.** Belo Horizonte: CPRM, 552 p. 2007.

MOREIRA, P. G. et al.

NASCIMENTO, B. Y. d. S.; JESUS, J. B. d. **Relações intensidade-duração-frequência de precipitações para o município de Tucano, Bahia**. ACSA, Agropecuária Científica no Semiárido Centro de Saúde e Tecnologia Rural, Patos-PB, v.13, n.4, p.302-306, 2017.

OLIVEIRA, L. F. C.; CORTÊS, F. C.; WEHR, T. R.; BORGES, L. B.; SARMENTO, P. H. P.; GRIEBELER, N. P. Intensidade-duração-frequência de chuvas intensas para algumas localidades no estado de Goiás e Distrito Federal. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.35, n.1, p.13-18, 2005.

PFAFSTETTER, O. **Chuvas intensas no Brasil**. Brasília: Departamento Nacional de Obras e Saneamento. 246 p, 1957.

R Development Core Team. R: **A language and environment for statistical computing**. R foundation for statistical computing, (2005). Vienna, Austria. <<http://www.R-project.org>>. 10 Jan. 2009.

RIBEIRO J. R. P. J.; DIGGLE P. J. geoR: A package for geostatistical analysis. **R-NEWS**, v.1, n.2, p.15-18, 2001.

SANTOS, G. G., FIGUEIREDO, C. C. D., OLIVEIRA, L. F. C. D., & GRIEBELER, N. P. 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. M., MONTENEGRO, S. M. G. L., SILVA, F. D., & ARAÚJO FILHO, P. D. Chuvas Intensas em localidades do Estado de Pernambuco. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 17, n. 3, p. 135-147, 2012.

SILVA, D. D.; FILHO, R. R. G.; PRUSKI, F. F.; PEREIRA, S. B.; NOVAES, L. F. Chuvas intensas no Estado da Bahia. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.6, n.2, p.362-367, 2002.

SILVA, J. B. da.; CÂNDIDO, F. A.; PIRES, L. C.; FRANÇA, L. C. de. J. Equações de Intensidade, Duração e Frequência de Chuvas Máximas para o Estado do Rio Grande do Norte, Brasil. **Engenharia na Agricultura**, v.26, n.2, p. 160-170, 2018.

SILVESTRE, M. R.; FLORES, E.F.; SANT'ANNA N.J.L. **Geoestatística Aplicada à Especialização da Precipitação**. p. 317-338, 2016.

SOLVER. **User Guide**. Versão 11.5. Frontline Systems. 2010.

SOUSA, H. T. et al. SisCAH - **Sistema Computacional para Análise Hidrológica**. Versão 1.0. GPRH. 2009.

SOUZA, R. O. R. de M.; SCARAMUSSA, P. H. M.; AMARAL, M. A. C. M. do; NETO, J. A. P.; PANTOJA, A. V.; SADECK, L. W. R. Equações de chuvas intensas para o estado do Pará. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 9, p. 999-1005, 2012.

TEODORO, P. E.; NEIVOCK, M. P.; MARQUES, J. R. F.; FLORES, A. M. F.; RODRIGUES, C. C. B. Influência de diferentes coeficientes de desagregação na determinação de equações idf para Aquidauana/MS. v. 9, n. 2, p. 1-9, 2014.