

IX-043 – ELABORAÇÃO DA EQUAÇÃO INTENSIDADE, DURAÇÃO E FREQUÊNCIA PARA CHUVAS INTENSAS DO MUNICÍPIO DE ITAPIPOCA - CE

José Nilton de Abreu Costa⁽¹⁾

Engenheiro Civil pela Universidade Federal do Ceará. Licenciado em Matemática pela Universidade Estadual do Ceará (UECE). Doutor em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Ceará (UFC). Professor assistente da Universidade Estadual vale do Acaraú (UVA).

Rômulo Sousa Lima⁽²⁾

Engenheiro Civil pela Universidade Estadual vale do Acaraú (UVA).

Luís Henrique Magalhães Costa⁽³⁾

Engenheiro Civil pela Universidade Federal do Ceará. Pós-Doutor em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Ceará (UFC). Professor adjunto da Universidade Estadual vale do Acaraú (UVA).

Endereço⁽¹⁾: Avenida da Universidade, 850 – Campus Betânia – Sobral-CE – CEP: 62040-370 - Brasil - Tel: (88) 3677-4271 - e-mail: nilton_deha@yahoo.com.br

RESUMO

As relações de intensidade, duração e frequência de chuvas intensas apresentam-se como uma característica de imensurável relevância no dimensionamento de estruturas hidráulicas e obras de drenagem. O presente trabalho apresenta a determinação dos parâmetros da equação de chuvas intensas para um posto pluviométrico situado na cidade de Itapipoca. Definido o ano hidrológico e a série total das precipitações do local, aplicou-se a distribuição de Gumbel para diversos tempos de retorno e o método das relações das durações para doze intervalos, com finalidade de se definir as curvas de chuvas máximas. Os parâmetros a , b , c e d foram obtidos com auxílio do Solver do Excel, e a equação apresentou bons resultados com base nos critérios utilizados para avaliá-la.

PALAVRAS-CHAVE: Equação IDF, Chuvas Intensas, Distribuição de Gumbel.

INTRODUÇÃO

Os dados de vazão máxima são informações necessárias para o adequado dimensionamento de obras hidráulicas e dispositivos de drenagem e, quando não se dispõe desses dados registrados em séries históricas suficientemente longas, a solução mais viável é fazer o estudo das chuvas intensas desta região. Para se conhecer as vazões de projeto, utilizam-se as equações de intensidade-duração-frequência, obtidas a partir de séries históricas provenientes de medições pluviométricas da região.

A falta de monitoramento dos eventos de chuva e inexistência de equações de chuvas intensas obriga os projetistas a utilizarem equações de regiões vizinhas que apresentem regimes meteorológicos semelhantes, mesmo que estas não representem a realidade local. A carência de informações de vazões máximas nas cidades do interior do Brasil é amenizada com a obtenção de relações IDF através da desagregação de eventos de chuva diária, desde que estas passem por refinamentos em seus coeficientes para que o valor ajustado consiga representar de forma admissível os eventos observados. Além disso, é necessário que sempre se faça atualizar os coeficientes das equações de chuvas intensas, pois estes sofrem variações ao longo do tempo, deste modo, quanto mais dados estiverem disponíveis, maior a acurácia.

Zahed Filho e Marcellini (2015) comentam que a precipitação máxima pontual pode ser determinada através de relações intensidade-duração-frequência, sendo que a intensidade da chuva é maior à medida que aumenta tempo de retorno e menor quanto maior for a duração. Tomando a tormenta de projeto como parâmetro indispensável para a execução de obras de drenagem, a correta determinação das equações IDF é fundamental para que se faça um bom balanceamento entre a probabilidade de ocorrência da tormenta a ser superada e o risco que se está admitindo.

Devido à impossibilidade de se prever o comportamento exato dos fenômenos hidrológicos, utiliza-se das leis da probabilidade na intenção de se determinar prováveis variações que permitam o desenvolvimento de estudos com base no risco admissível. Dessa forma, a hidrologia estatística recorre a séries históricas para efetuar uma projeção do comportamento de um fenômeno para um período de tempo maior. No caso do estudo de previsão de chuvas máximas, utilizam-se métodos probabilísticos que buscam definir uma relação entre alturas pluviométricas e tempo de retorno, baseando-se na premissa de que os fenômenos de chuvas máximas apresentam comportamento repetitivo e, portanto, aquelas intensidades verificadas em eventos passados poderão ocorrer novamente em um tempo futuro.

OBJETIVOS

O objetivo do presente trabalho é determinar os parâmetros para elaboração da equação de chuvas intensas para um período de retorno de até 100 anos para o município de Itapipoca, situada no litoral oeste cearense, a partir de dados obtidos do posto pluviométrico Itapipoca, monitorado pela Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME).

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O ciclo hidrológico compreende o fenômeno da movimentação das massas de água nos 3 estados físicos da matéria de forma cíclica e fechada entre a atmosfera e a superfície da Terra. Jabôr (2016) o denomina como um ciclo completo de evaporação, condensação, precipitação e escoamento, composto por duas fases, uma atmosférica e uma terrestre, ambas caracterizadas por armazenamento temporário, transporte e mudança de estado da água.

A precipitação é entendida em hidrologia como toda água proveniente do meio atmosférico que atinge a superfície terrestre (BERTONI; TUCCI, 2001). No Brasil, a principal forma de precipitação é a chuva, ocorrendo também na forma de granizo e neve em alguns pontos da região Sul do país. Existem quatro grandezas que caracterizam uma chuva, são elas:

- Altura pluviométrica: corresponde a espessura média da lâmina d'água precipitada que recobriria a região atingida pela precipitação, considerando que não haja perda de água por infiltração, retenção, evaporação ou escoamento para fora da região considerada;
- Duração: É o intervalo de tempo que compreende o início ao fim da chuva;
- Intensidade: Corresponde a proporção com que a precipitação ocorre ao longo de sua duração. É expressa pela razão altura pluviométrica-duração;
- Frequência de probabilidade e tempo de recorrência: O tempo de retorno é compreendido como o tempo necessário para que um evento de chuva seja igualado ou superado. A frequência é o inverso do tempo de retorno, indicando a probabilidade de ocorrer uma precipitação igual ou superior à analisada.

Collischonn e Tassi (2010) afirmam que as chuvas que causam cheias e que, conseqüentemente, podem ocasionar prejuízos à sociedade e ao meio ambiente são chamadas de chuvas intensas e por estes motivos é de interesse conhecer suas propriedades para o adequado projeto de estruturas hidráulicas como bueiros, pontes, canais e vertedores. A forma mais comum para análise das chuvas intensas são as curvas intensidade-duração-frequência (curvas IDF), sendo estas obtidas através da análise de séries históricas monitoradas por postos pluviométricos. As equações empíricas para determinação de intensidades máximas podem ser apresentadas de diversas formas, sendo uma das formas genéricas mostrada na equação 1.

$$I = \frac{a(Tr)^b}{(c+t)^d} \quad \text{equação (1)}$$

Destaca-se que I é a intensidade da chuva medida em mm/h; a , b , c e d são parâmetros característicos de cada local; Tr é o tempo de retorno, medido em anos; e t é a duração da precipitação em minutos.

Afirmam Zahed Filho e Marcellini (2015) que no Brasil existem equações para curvas IDF para as capitais dos estados e algumas cidades do interior, tendo sido o trabalho do engenheiro Otto Pfafstetter pioneiro em 1957. Seu trabalho *Chuva intensas no Brasil*, publicado em 1982, é considerado o mais significativo para diferentes regiões brasileiras, onde foram analisados 98 postos pluviométricos.

Em todo país, diversos trabalhos foram realizados para elaboração e atualização das equações de chuvas intensas de forma a garantir maior segurança à elaboração de estruturas hidráulicas e obras de drenagem. Citam-se como exemplos nacionais os trabalhos de Martins (2015) e Leite (2017) para a cidade de Sobral-CE, Pereira (2017) para a cidade de Ipameri-GO, Garcia et al. (2011) para 3 postos meteorológicas do estado do Mato Grosso e de Batista (2018), que elaborou os parâmetros de curvas IDF para todos os municípios do estado do Ceará com auxílio de um programa computacional.

METODOLOGIA

Itapipoca é uma cidade localizada na região Litoral Oeste – Vale do Curu, está situada entre a latitude 3° 21' 42"S e longitude 39° 49' 54"W, a 126 km em linha reta da capital do estado do Ceará, Fortaleza. Apresenta aspectos climáticos do tipo tropical quente semi-árido e tropical quente semi-árido brando, pluviosidade anual de 1130,4 mm e temperaturas médias variando de 26° a 28 °. No censo de 2010, possuía 116.065 habitantes, destes 57,65% residindo em zona urbana (IPECE, 2016).

Colocada como a 12ª cidade mais rica do estado, é considerada uma cidade polo, destacando-se como grande centro regional de compras e negócios das cidades vizinhas e reunindo as condições necessárias para exercer sua liderança regional (PREFEITURA MUNICIPAL DE ITAPIPOCA, 2018). O município é monitorado por 6 postos pluviométricos e o posto pluviométrico de nome Itapipoca, situado nas coordenadas latitude 3,49°S e longitude 39,58°W, é o que apresenta série histórica mais longa, sendo este, portanto, o escolhido para definição da equação IDF da cidade.

Foram obtidas no site da FUNCEME as séries históricas das precipitações diárias do posto pluviométrico denominado Itapipoca correspondentes ao período de 1974 a 2018. A princípio, tirou-se a média das chuvas acumuladas para cada mês durante os anos analisados, a fim de se determinar a estação chuvosa e seca e definir o ano hidrológico da região. O ano hidrológico inicia-se na estação chuvosa, delimitada pelos seis meses consecutivos com maior média de chuvas acumuladas, e termina com os seis meses consecutivos com menor média precipitada acumulada.

O Gráfico 1 mostra que março é o mês com maior média de precipitação anual (282,36 mm), seguido por abril (256,51 mm), fevereiro (184,53), janeiro (127,80 mm), maio (118,70 mm) e junho (48,55 mm). O mês de menor média de precipitação é outubro (0,82 mm), seguido por setembro (1,93 mm), novembro (1,95 mm), agosto (4,29 mm), julho (19,98 mm) e dezembro (29,17 mm). Conclui-se que o ano hidrológico de Itapipoca, tomando como parâmetro o posto analisado, inicia-se em janeiro e encerra em dezembro.

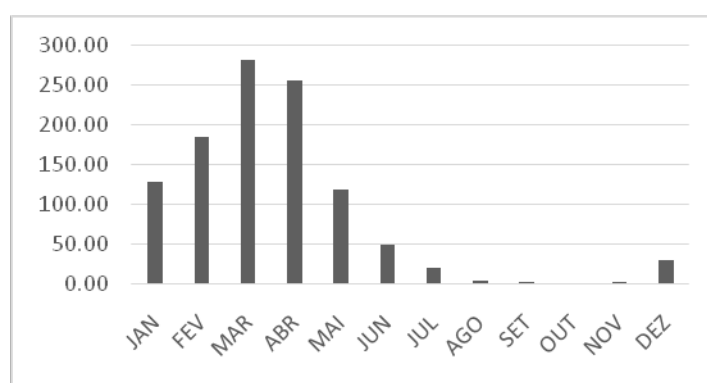


Figura 1: Média dos valores de precipitação mensal para o posto Itapipoca, no período de 1974 a 2018.

Foram coletados dados de precipitações de 01 de janeiro de 1974 a 31 de agosto de 2018, observando para cada ano a maior precipitação registrada. Verificou-se que no ano de 2010 havia uma falha na série decorrente do não preenchimento dos dados pluviométricos para os meses de agosto a outubro, porém, após a análise dos outros anos e ter sido constatado que em nenhum deles a maior precipitação anual ocorreu nestes meses, optou-se por não descartar a série, adotando-se a chuva de 01 de maio de 2010 como a maior daquele ano. De modo análogo, para o ano de 2018, cujas informações existiam do período de 01 de janeiro a 31 de agosto, adotou-se a chuva do dia 31 de março como a chuva máxima anual, antes mesmo do fim do ano hidrológico.

Após a análise das séries de chuvas diárias para cada ano, emprega-se a distribuição de Gumbel (equação 2) para se obter as precipitações máximas passíveis de ser igualadas ou superadas para determinados tempos de retorno. Foram calculadas a média aritmética e o desvio padrão para as chuvas máximas, prosseguindo-se para a obtenção das alturas pluviométricas para os tempos de retorno de 5, 10, 15, 25, 50 e 100 anos. Para cálculo da média e desvio padrão, utilizaram-se as equações 3 e 4, respectivamente.

$$x = \bar{x} - s \left\{ 0,45 + 0,7797 \ln \left[\ln \left(\frac{T_r}{T_r - 1} \right) \right] \right\} \quad \text{equação (2)}$$

Destaca-se que:

x = altura de precipitação máxima ajustada (mm);

\bar{x} = média dos valores de chuvas máxima coletados (mm);

s = desvio padrão das precipitações máximas anuais (mm);

T_r = tempo de recorrência (anos).

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad \text{equação (3)}$$

Sendo:

\bar{x} = média dos valores de chuvas máxima coletados (mm);

x_i = alturas de chuva observados (mm);

n = número de anos observados.

$$s = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad \text{equação (4)}$$

Na qual:

s = desvio padrão;

\bar{x} = média dos valores de chuvas máxima coletados (mm);

x_i = alturas de chuva observados (mm);

n = número de anos observados.

Após a obtenção das estimativas de precipitação diária para os tempos de retorno, desagrega-se a chuva diária para durações de 24h, 12h, 10h, 6h, 1h, 30 minutos, 25 minutos, 20 minutos, 15 minutos, 10 minutos e 5 minutos. Para isso, multiplicam-se os coeficientes obtidos pelo método de relações de durações propostos pela CETESB (1986), presentes na tabela 1.

Tabela 1: Coeficientes para Desagregação de Chuva em Intervalos de Tempo Menores pelo Método das Relações de Durações.

| Duração Original | Duração Final | Relação Pluviométrica |
|------------------|---------------|-----------------------|
| 1 dia | 24 horas | 1,14 |
| 24 horas | 12 horas | 0,85 |
| 24 horas | 10 horas | 0,82 |
| 24 horas | 8 horas | 0,78 |
| 24 horas | 6 horas | 0,72 |
| 24 horas | 1 hora | 0,42 |
| 1 hora | 30 minutos | 0,74 |
| 30 minutos | 25 minutos | 0,91 |
| 30 minutos | 20 minutos | 0,81 |
| 30 minutos | 15 minutos | 0,70 |
| 30 minutos | 10 minutos | 0,54 |
| 30 minutos | 5 minutos | 0,34 |

Fonte: CETESB (1986)

Após obter a altura de chuva para cada duração e tempo de retorno, divide-se a altura pluviométrica (em milímetro de chuva) pela sua duração (em horas), afim de se determinar a intensidade de chuva. Dessa forma,

será possível obter e comparar os parâmetros a , b , c , d da equação IDF proposta com a duração, a intensidade e a frequência observada a partir da distribuição de Gumbel.

Para determinação dos parâmetros a , b , c e d , foi utilizado a ferramenta Solver, suplemento disponível dentro do programa Excel que testa hipóteses para se atingir um objetivo enquanto altera variáveis, podendo-se estabelecer metas e restrições. Neste trabalho, a tentativa era de fazer com que a equação IDF fosse capaz de retornar valores de intensidade de chuva para o mais próximo possível daqueles obtidos através da distribuição de Gumbel e da desagregação das chuvas através do método das relações de durações. Foi utilizado no Solver o método do Gradiente Reduzido Generalizado (GRG), útil para otimização de problemas não lineares.

A interface do Solver solicita a entrada de pelo menos 3 dados. Primeiramente deve-se informar a célula objetivo, a meta desejada e quais células devem variar para que esta seja atingida. No caso da tabela criada para se obter as intensidades de chuvas máximas através da equação IDF, as células variantes correspondiam aos parâmetros a , b , c e d , enquanto o objetivo foi definido de forma análoga ao proposto por Martins (2015) ao elaborar uma equação IDF para o município de Sobral.

Para avaliar a qualidade da equação, calculou-se com auxílio do Excel o coeficiente de determinação R^2 , uma vez que ele é um parâmetro estatístico capaz de verificar se um modelo é capaz de representar um fenômeno observado. Variando de 0 a 1, quanto maior for o valor de R^2 , melhor a qualidade do ajuste do modelo. Entretanto, o coeficiente de determinação não pode ser a única ferramenta para se verificar a correlação entre os dados coletados e os dados obtidos no modelo, uma vez que ele tende a ser maior, quanto maior for a amplitude dos dados, fato observado em questão. Para aumentar a confiabilidade dos parâmetros obtidos, além do coeficiente de determinação, também foi obtido o coeficiente de correlação R com auxílio do Excel e calculou-se o somatório dos módulos das diferenças relativas entre os dados obtidos pela distribuição de Gumbel e os dados retornados pela equação IDF (equação 5). Dessa forma, arbitrou-se que diferenças percentuais superiores a 5% não representavam com fidelidade os valores da distribuição de Gumbel. Complementarmente, para avaliar a equação IDF, calculam-se o índice de concordância de Willmott (Equação 6) e o coeficiente de confiança (equação 7) utilizados por Pereira (2017).

$$\sum e = \sum \frac{|P_{idf} - P_{dg}|}{P_{dg}} * 100\% \quad \text{equação (5)}$$

Em que:

$\sum e$ = somatório dos erros relativos (%);

P_{idf} = valor de intensidade retornada pela equação IDF (mm/h);

P_{dg} = valor de intensidade obtido pela distribuição de Gumbel (mm/h);

$$d = 1 - \left[\frac{\sum (P_{idf} - P_{dg})^2}{\sum (|P_{idf} - \overline{P_{dg}}| + |P_{dg} - \overline{P_{dg}}|)^2} \right] \quad \text{equação (6)}$$

Sendo:

d = Índice de concordância de Willmott;

P_{idf} = valor de intensidade retornada pela equação IDF (mm/h);

P_{dg} = valor de intensidade obtido pela distribuição de Gumbel (mm/h);

$\overline{P_{dg}}$ = média das intensidades obtidas na distribuição de Gumbel (mm/h).

$$I_c = R * d \quad \text{equação (7)}$$

Na qual:

I_c = índice de confiança;

R = coeficiente de correlação;

d = coeficiente de concordância de Willmott.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Analisados 45 anos hidrológicos, observa-se que a maior chuva diária que foi registrada no posto, desde o início do monitoramento por parte da FUNCEME, ocorreu em 1994, com altura pluviométrica de 188,00 mm. Também se destacam os anos 1996 e 2006 por apresentarem chuvas máximas com alturas superiores a 140,00 mm. O ano com menor chuva máxima diária foi 1987, quando a maior chuva do ano hidrológico apresentou altura de apenas 36 mm.

Dispondo das alturas de chuva para os anos em estudos, calculou-se a média aritmética e o desvio padrão da amostra, obtendo-se respectivamente 76,258 mm e 30,498 mm. De posse desses dados, aplicou-se a distribuição de Gumbel para estimar a altura máxima de precipitação de 1 dia para os tempos de retorno de 5, 10, 15, 25, 50 e 100 anos. A tabela 2 mostra as alturas estimadas.

Tabela 2: Alturas de Chuva Obtidas pela Distribuição de Gumbel para o Posto Itapipoca.

| Tempo de retorno (anos) | Altura de chuva (mm) |
|-------------------------|----------------------|
| 5 | 98,20 |
| 10 | 116,05 |
| 15 | 126,11 |
| 25 | 138,59 |
| 50 | 155,32 |
| 100 | 171,92 |

Fonte: Autor (2018)

Para a elaboração das curvas intensidade, duração e frequência, tomaram-se as alturas de chuva encontradas na tabela 2 e multiplicou-se pelos coeficientes de desagregação do método das relações de duração da tabela 1 para se obter as alturas pluviométricas para chuvas de duração inferiores a um dia. Posterior a isto, divide-se as alturas de chuva por suas respectivas durações em horas a fim de se obter a intensidade da chuva. A figura 2 exibe as curvas IDF para o município de Itapipoca, em que o eixo das abscissas informa a duração do evento, o eixo das ordenadas indica a intensidade da precipitação e cada curva representa um tempo de retorno.

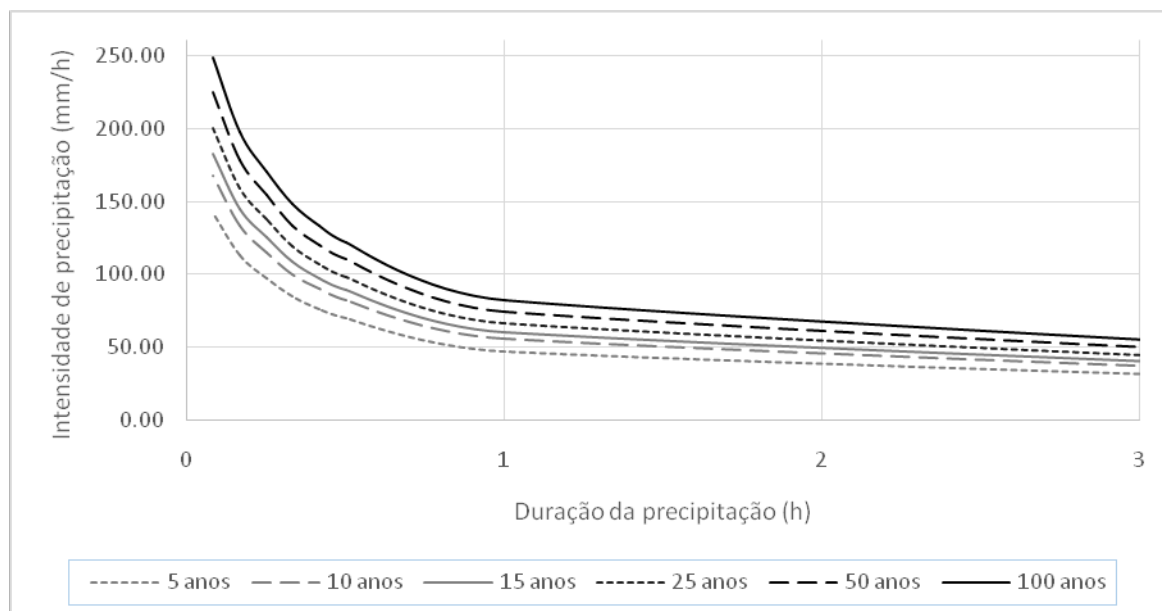


Figura 2: Curvas IDF para o posto Itapipoca.

Para garantir a máxima exatidão da equação IDF, foram utilizados alguns parâmetros na definição dos coeficientes a , b , c , d a fim de garantir que o modelo teórico representasse os dados empíricos observados. Com esta finalidade, esperava-se maximizar os valores dos coeficientes de correlação R e determinação R^2 e minimizar as diferenças relativas entre as intensidades provenientes da distribuição de Gumbel e aqueles

encontrados pela equação IDF. Devido ao método GRG utilizado no Solver retornar valores diferentes a partir dos dados inseridos inicialmente no campo das variáveis, foram executadas diversas tentativas até se obter a melhor equação de chuvas intensas.

Seguindo a forma genérica das equações de curvas IDF, atribuindo o objetivo no Solver de minimizar o somatório do módulo dos erros relativos, os melhores valores para os parâmetros foram 923,08414 para a , 0,18146 para b , 11,92462 para c e 0,75928 para d . De tal forma, a equação IDF para Itapipoca é apresentada na equação 8.

$$I = \frac{923,08414 \cdot T^{0,18146}}{(t + 11,92462)^{0,75928}} \quad \text{equação (8)}$$

Na verificação da qualidade da equação proposta, obtiveram-se os seguintes valores para os indicadores utilizados: coeficiente de correlação igual a 0,99937; coeficiente de determinação igual a 0,99874; somatório do módulo das diferenças relativas de 130,55%; índice de concordância de Willmott de 0,99968; e coeficiente de confiança na ordem de 0,99905. Aferidos os parâmetros propostos e verificado o bom desempenho destes, pode-se afirmar que a equação neste trabalho apresentada consegue representar com boa fidelidade os eventos máximos de chuva para o posto pluviométrico analisado.

Tabela 3: Intensidade de Chuvas após Distribuição de Gumbel e Desagregação pelo Método das relações de Durações

| Duração | Tempo de retorno (anos) | | | | | |
|------------------------|-------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 5 | 10 | 15 | 25 | 50 | 100 |
| 24h ou 1440 min | 4,66 | 5,51 | 5,99 | 6,58 | 7,38 | 8,17 |
| 12h ou 720 min | 7,93 | 9,37 | 10,18 | 11,19 | 12,54 | 13,88 |
| 10h ou 600 min | 9,18 | 10,85 | 11,79 | 12,96 | 14,52 | 16,07 |
| 8h ou 480 min | 10,92 | 12,90 | 14,02 | 15,40 | 17,26 | 19,11 |
| 6h ou 360 min | 13,43 | 15,88 | 17,25 | 18,96 | 21,25 | 23,52 |
| 1h ou 60 min | 47,02 | 55,56 | 60,38 | 66,36 | 74,37 | 82,32 |
| 30 min | 69,59 | 82,23 | 89,37 | 98,21 | 110,06 | 121,83 |
| 25 min | 75,99 | 89,80 | 97,59 | 107,25 | 120,19 | 133,04 |
| 20 min | 84,55 | 99,91 | 108,58 | 119,33 | 133,73 | 148,02 |
| 15 min | 97,42 | 115,13 | 125,11 | 137,49 | 154,09 | 170,56 |
| 10 min | 112,73 | 133,22 | 144,77 | 159,10 | 178,30 | 197,36 |
| 5 min | 141,96 | 167,76 | 182,31 | 200,35 | 224,53 | 248,53 |

Fonte: Autor (2018)

Tabela 4: Intensidades Encontradas pela Equação IDF Proposta

| Duração | Tempo de retorno (anos) | | | | | |
|-----------------|-------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 5 | 10 | 15 | 25 | 50 | 100 |
| 24h ou 1440 min | 4,91 | 5,57 | 6,00 | 6,58 | 7,46 | 8,46 |
| 12h ou 720 min | 8,26 | 9,37 | 10,09 | 11,07 | 12,55 | 14,23 |
| 10h ou 600 min | 9,47 | 10,74 | 11,56 | 12,68 | 14,38 | 16,30 |
| 8h ou 480 min | 11,17 | 12,67 | 13,64 | 14,96 | 16,97 | 19,24 |
| 6h ou 360 min | 13,82 | 15,67 | 16,86 | 18,50 | 20,98 | 23,79 |
| 1h ou 60 min | 48,10 | 54,55 | 58,72 | 64,42 | 73,05 | 82,85 |
| 30 min | 72,47 | 82,19 | 88,46 | 97,05 | 110,06 | 124,81 |
| 25 min | 79,81 | 90,50 | 97,41 | 106,88 | 121,20 | 137,45 |
| 20 min | 89,13 | 101,08 | 108,79 | 119,36 | 135,36 | 153,50 |
| 15 min | 101,44 | 115,03 | 123,81 | 135,84 | 154,05 | 174,69 |
| 10 min | 118,56 | 134,45 | 144,72 | 158,77 | 180,05 | 204,18 |
| 5 min | 144,31 | 163,65 | 176,14 | 193,25 | 219,15 | 248,53 |

Fonte: Autor (2018)

Tabela 5: Módulos dos Erros Relativos entre as Intensidades Obtidas pela Distribuição de Gumbel e pela Equação Proposta

| Duração | Tempo de retorno (anos) | | | | | |
|-----------------|-------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 5 | 10 | 15 | 25 | 50 | 100 |
| 24h ou 1440 min | <u>5,31%</u> | 1,06% | 0,09% | 0,07% | 1,12% | 3,59% |
| 12h ou 720 min | 4,20% | 0,00% | 0,96% | 1,12% | 0,06% | 2,51% |
| 10h ou 600 min | 3,12% | 1,04% | 1,98% | 2,15% | 0,98% | 1,44% |
| 8h ou 480 min | 2,36% | 1,77% | 2,71% | 2,87% | 1,71% | 0,70% |
| 6h ou 360 min | 2,84% | 1,31% | 2,25% | 2,41% | 1,25% | 1,17% |
| 1h ou 60 min | 2,31% | 1,82% | 2,76% | 2,92% | 1,76% | 0,64% |
| 30 min | 4,14% | 0,06% | 1,01% | 1,18% | 0,00% | 2,45% |
| 25 min | <u>5,02%</u> | 0,79% | 0,18% | 0,34% | 0,84% | 3,31% |
| 20 min | <u>5,42%</u> | 1,16% | 0,20% | 0,03% | 1,22% | 3,70% |
| 15 min | 4,12% | 0,08% | 1,04% | 1,20% | 0,03% | 2,42% |
| 10 min | <u>5,17%</u> | 0,93% | 0,04% | 0,21% | 0,98% | 3,46% |
| 5 min | 1,65% | 2,45% | 3,38% | 3,54% | 2,39% | 0,00% |

Fonte: Autor (2018)

CONCLUSÕES

A ausência de equações de chuvas intensas no interior dos estados brasileiros é fator limitante no desenvolvimento de obras hidráulicas, de drenagem e investimento em projetos agrícolas afetados pela incerteza quanto à segurança e confiabilidade na estimativa de eventos máximos de chuvas. Dessa forma, a elaboração de equações IDF é essencial para que projetistas possam fazer uma adequada análise quanto ao risco que se admite em uma obra e o quanto se pode gastar.

O presente trabalho apresentou uma metodologia que permite a determinação dos parâmetros de relações intensidade, duração e frequência que conseguem representar de forma bastante satisfatória os eventos de chuva obtidos através da distribuição de Gumbel e pode ser aplicada para regiões que não possuam estações pluviográficas, mas possuam estações pluviométricas. No caso dos parâmetros encontrados para o município de Itapipoca, estes podem ser replicados para regiões circunvizinhas do município que possuam características geográficas semelhantes.

Ressalta-se a necessidade de periódica revisão dos parâmetros obtidos, uma vez que, à medida que o tempo passa, mais dados de chuvas são adicionados às séries, o que gera variação nas curvas de intensidade, duração e frequência. A não atualização dos parâmetros pode ocasionar o dimensionamento inadequado de estruturas e pôr em risco vidas humanas, o meio ambiente e o patrimônio material.

Para futuros trabalhos, sugere-se a atualização dos parâmetros, bem como o uso de metodologias alternativas para obtenção da equação de chuvas intensas, com posterior comparação entre as curvas obtidas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BATISTA, T. L. Geração de equações IDF dos municípios cearenses pelo método de desagregação por isozonas implementado em um programa computacional. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – Recursos Hídricos, Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2018.
2. BERTONI, J. C.; TUCCI, C. E. M. Precipitação. In: TUCCI, C. E. M (Org). Hidrologia: ciência e aplicação. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS: ABRH. 2001.
3. CETESB. Drenagem Urbana: Manual de Projeto. 3 ed. São Paulo: CETESB, 1986.
4. COLLISCHONN, W.; TASSI, R. Introduzindo Hidrologia. Rio Grande do Sul. IPH UFRGS, Apostila. v. 8, 2010.
5. FUNCEME - Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. Disponível em <www.funceme.br/app/calendario/produto/municipios/maxima/diario>. Acesso em: 4 ago. 2018.
6. FUNCEME. Séries históricas. Disponível em: < http://www.funceme.br/produtos/script/chuvas/Download_de_series_historicas/DownloadChuvasPublico.php>. Acesso em: 4 ago. 2018.
7. GARCIA, S. G; AMORIM, R. S. S; COUTO, E. G; STOPA, W. H. Determinação da equação intensidade-duração-frequência para três estações meteorológicas do Estado de Mato Grosso. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.15, n.6, p.575–581, 2011.
8. IPECE. Perfil Básico Municipal 2016: Itapipoca. Disponível em: <www.ipece.ce.gov.br/perfil_basico_municipal/2016/Itapipoca.pdf>. Acesso em: 29 set. 2018.
9. LEITE, S. S. Elaboração da equação de chuvas intensas para a cidade de Sobral por meio do método analítico. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil). Curso de Engenharia Civil. Universidade Estadual Vale do Acaraú, Sobral – CE.
10. MARTINS, I. L. A. Elaboração da equação IDF de chuvas intensas para a cidade de Sobral. 2015. 105 f. Trabalho de Conclusão de Curso - Curso de Bacharel em Engenharia Civil, Universidade Estadual do Vale Acaraú, Sobral, 2015.
11. PEREIRA, D. C. Determinação da curva de intensidade, duração e frequência do município de Ipameri – Goiás. Revista Eletrônica de Engenharia Civil, Goiânia, v. 13, n. 2, p. 233-246. 2017.
12. PFAFSTETTER, O. Chuvas Intensas no Brasil. 2 ed. Rio de Janeiro: DNOS, 1982.
13. PREFEITURA MUNICIPAL DE ITAPIPOCA. Dados Gerais. Disponível em: <http://www.itapipoca.ce.gov.br/index.php?st=info&cod_info=1>. Acesso em: 29 set. 2018.
14. ZAHED FILHO, K; MARCELLINI, S. S. Precipitações máximas. In: TUCCI, C. E. M; PORTO, R. R; BARROS, M. T. (Org.) Drenagem Urbana. Porto Alegre: ABRH, 2015. P. 37-76.