

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL-REI CAMPUS ALTO PARAOPEBA

## CAROLINE COELHO DE MACEDO WILIAM APARECIDO RODRIGUES PEIXOTO

# CURVA DE INTENSIDADE, DURAÇÃO E FREQUÊNCIA PARA O MUNICÍPIO DE CONSELHEIRO LAFAIETE-MG

OURO BRANCO-MG OUTUBRO-2021



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL-REI CAMPUS ALTO PARAOPEBA

## CAROLINE COELHO DE MACEDO WILIAM APARECIDO RODRIGUES PEIXOTO

# CURVA DE INTENSIDADE, DURAÇÃO E FREQUÊNCIA PARA O MUNICÍPIO DE CONSELHEIRO LAFAIETE-MG

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do Curso de Graduação em Engenharia Civil, da Universidade Federal de São João del-Rei, *Campus* Alto Paraopeba, como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil

Orientador: Eliane Prado Cunha Costa dos Santos

OURO BRANCO-MG OUTUBRO-2021

### CAROLINE COELHO DE MACEDO WILIAM APARECIDO RODRIGUES PEIXOTO

# CURVA DE INTENSIDADE, DURAÇÃO E FREQUÊNCIA PARA O MUNICÍPIO DE CONSELHEIRO LAFAIETE-MG

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do Curso de Graduação em Engenharia Civil, da Universidade Federal de São João del-Rei, Campus Alto Paraopeba, como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

 $Aprovado \ em \ 21 \ / \ 10 \ / \ 2021$ 

COMISSÃO EXAMINADORA:

Eliane Prado Cunha Costa dos Santos

Emmanuel Kennedy da Costa Teixeira

Aline de Araújo Nunes

### CURVA DE INTENSIDADE, DURAÇÃO E FREQUÊNCIA PARA O MUNICÍPIO DE CONSELHEIRO LAFAIETE-MG

Wiliam Aparecido Rodrigues Peixoto Universidade Federal de São João del-Rei Caroline Coelho de Macedo Universidade Federal de São João del-Rei Eliane Prado Cunha C. dos Santos Universidade Federal de São João del-Rei

#### RESUMO

Ao realizar estudos hidrológicos é necessário conhecer as precipitações máximas observadas nas séries históricas, bem como as precipitações máximas estimadas que possam vir a ocorrer. Esta estimativa pode ser obtida a partir da análise dos dados das chuvas intensas durante um determinado período que represente a possibilidade de ocorrência de eventos extremos. Os dados de precipitação caracterizam a duração, a intensidade e a frequência ou tempo de retorno das chuvas. O presente trabalho teve como objetivo determinar tais relações para o município de Conselheiros Lafaiete, Minas Gerais. Os dados de precipitação para o estudo foram obtidos por meio da Rede Hidrometetorológica Nacional no site da Agência Nacional de Águas. As distribuições Gumbel, Log-Normal e Pearson Tipo 3 foram ajustadas para os dados de precipitação, de forma a obter os valores de precipitação máxima para os períodos de retorno de 2, 5, 10, 15, 20, 25, 50 e 100 anos. Em seguida, realizaram-se os testes de aderência de Kolmogorov-Smirnov, Anderson-Darling e Qui-Quadrado, considerando um nível de significância de 5%. A distribuição obtida com melhor ajuste foi a Log-Normal, que foi utilizada para desagregação dos valores de precipitação máxima em durações menores que 24 horas pelo método das Relações de Durações. Foram obtidos resultados satisfatórios das relações IDF, refletindo a qualidade dos ajustes, cálculos de chuvas de projeto com mais confiabilidade, respeitando as características de chuva específicas do município.

Palavras-chave: Desagregação de dados; Chuvas Intensas; Testes de aderência; Precipitação.

#### 1. INTRODUÇÃO

A escassez de dados de precipitação em várias regiões do Brasil interfere na precisão dos estudos hidrológicos, que por sua vez são fundamentais para a previsão de vazão em obras de engenharia. Esses dados são frequentemente usados em estudos hidrológicos para projetos de irrigação, drenagem urbana, abastecimento de água, navegação, controle de erosão, produção de energia, entre outros.

Quando as séries de dados de uma determinada rede hidrológica apresentam falhas, pode-se recorrer aos dados disponíveis nas estações vizinhas com regime similar de funcionamento (LOPES, 2017). Desta forma, pode-se obter os dados faltantes para a série desejada por meio da utilização de métodos de preenchimento de falhas em séries de precipitação e em séries de vazão, tais como média aritmética, ponderação regional, inverso da distância, regressão linear, correlação entre uma ou várias séries, e modelos chuva-vazão (LOPES, 2017).

Os dados de precipitação obtidos após o preenchimento das falhas podem ser utilizados como informação de entrada para modelos de precipitação, acompanhados pela caracterização de vários modelos probabilísticos. O uso de modelos de probabilidade em estudos hidrológicos é extremamente importante no que se que refere à previsão de eventos extremos associados a um período de retorno ou a determinada frequência de ocorrência, como as vazões mínimas ou máximas (LOPES *et al.*, 2016).

Para tanto, são necessárias análises de eventos hidrológicos que envolvem basicamente os seguintes passos: a definição de funções densidade de probabilidade (FDP) a serem testadas, a estimativa dos parâmetros dessas distribuições, a escolha da

FDP mais adequada por meio de testes de aderência e a verificação das incertezas que o modelo proporciona (ZENG *et al.*, 2015).

Dentro das principais distribuições probabilísticas empregada, pode-se citar: Generalizada de Eventos Extremos (GEV), Gumbel (GUM), Log-normal a 2 parâmetros (LN2), Log-normal a 3 parâmetros, Pearson a 3 parâmetros, Exponencial, Normal, Generalizada Logística, Gamma, Weibull e Log-Pearson a 3 parâmetros (ABREU *et al.*, 2018).

Após o ajuste das distribuições de probabilidade, geralmente utilizam-se de testes de aderência para dar suporte à tomada de decisão sobre a qualidade do ajuste de uma FDP à série de dados hidrológicos (MARQUES *et al.*, 2014). Os testes de aderência mais comumente utilizados são o de Kolmogorov-Smirnov (KS), o Qui-quadrado ( $\chi^2$ ), o de Filliben (Fi) e o de Anderson-Darling (AD) (ABREU *et al.*, 2018).

Os testes de aderência podem ser utilizados para comparar as probabilidades empíricas de uma variável com as probabilidades teóricas estimadas de determinada função de distribuição avaliada, verificando se os valores da amostra seguem aquela distribuição teórica (ASSIS *et al.*, 2016). Cada teste de aderência apresenta o seu poder, os quais irão interferir no rigor destes em rejeitar ou não a hipótese nula de aderência da distribuição à série de dados.

Em estudos hidrológicos, diversos autores utilizam um ou mais testes de aderência como critério de escolha da melhor distribuição de probabilidade (FRANCO *et al.*, 2014; PEREIRA *et al.*, 2014; DAMÉ *et al.*, 2016; LOPES *et al.*, 2016). Já outros testam a aderência em rejeitar ou não à hipótese da distribuição à série de dados (BESKOW *et al.*, 2015; JUNQUEIRA JÚNIOR *et al.*, 2015; ZENG *et al.*, 2015).

Ao obter os dados de precipitação diária, associados aos períodos de retorno de interesse com a finalidade de determinar os parâmetros da equação intensidade-densidade-frequência (IDF), utilizam-se metodologias que permitem extrair a partir dos dados existentes as informações que possibilitam a estimativa da chuva de projeto. Dentre as metodologias utilizadas pode-se citar o Método de Desagregação de Chuva, o qual relaciona a precipitação de um dia a diferentes tempos de duração. A precipitação de um dia é calculada a partir de uma distribuição estatística de uma série de precipitação diária anual máxima, considerando precipitação de 24 horas (FILHO *et al.*, 2020). Este método pode ser utilizado para a obter eventos de precipitação com determinada duração a partir de outros eventos com durações distintas, a fim de desagregar os dados diários em escalas subdiárias (FREITAS, 2016).

No Brasil, em geral, a disponibilidade de dados pluviográficos é bem menor do que a dos dados pluviométricos, assim como os intervalos de séries históricas. Por essa razão, muitos trabalhos utilizam os coeficientes do método de desagregação das precipitações diárias com precipitações de menores durações, como publicado pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo - CETESB (1986) (COUTINHO *et al.*, 2019; CAMPOS *et al.*, 2017).

A elaboração da curva de intensidade, duração e frequência – Curva IDF – permite calcular a intensidade da precipitação, que por sua vez é utilizada no dimensionamento da vazão máxima de projeto em áreas urbanas. A Curva IDF é uma representação gráfica de probabilidade, na qual uma intensidade de chuva pode ocorrer dentro de um intervalo de tempo, ou seja, tempo de recorrência (DUPONT; ALLEN, 2000). Desta forma, a curva IDF tem como objetivo a determinação da denominada chuva de projeto, que está relacionada ao período de retorno de uma chuva intensa em um determinado local, a ser utilizada como entrada em modelos de simulação chuva-vazão (WESCHENFELDER, 2017).

A relação entre a intensidade, a duração e a frequência das precipitações varia de local para local e pode ser determinada empiricamente por meio de análise estatística de observação de longas séries. No que tange à intensidade e duração de chuvas, verifica-se que quanto mais intensa for a precipitação, menor será a duração. A curva IDF resulta da união de pontos representativos da intensidade em intervalos de diferentes durações, e que correspondem a uma mesma frequência ou período de retorno (TUCCI, 2013).

No Brasil há vários estudos nos quais foram determinadas curvas IDF de diferentes cidades. Pereira, Duarte e Sarmento (2017) obtiveram os parâmetros da curva de IDF do município de Ipamerí, em Goiás. Para tal, os autores avaliaram a qualidade do ajuste à distribuição estatística utilizando os testes de aderência de Qui-Quadrado, Kolmogorov-Smirnov e Anderson-Darling. A desagregação dos valores de precipitação máxima de 24 h para durações menores que 24 h foi feita utilizando o método de CETESB (1986). Foram encontrados os parâmetros da equação de chuvas intensas por meio do método do Gradiente Reduzido Generalizado e, sem seguida, feita a avaliação da equação IDF por meio do coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>), o índice de concordância de Willmott (d) e o índice de confiança (Ic) que apresentaram boa qualidade no ajuste da equação.

Neto e Blanco (2020) utilizaram os dados obtidos no período de 1985 a 2013 da estação pluviométrica de Newton Belo, localizada no município de Governados Newton Belo no Estado do Maranhão, para calcular os parâmetros da equação IDF, cujos tempos de retorno foram de 5, 10, 15, 25, 50 e 100 anos. Para ajustar uma curva representativa das precipitações máximas diárias em função da probabilidade de ocorrência, os autores utilizaram a distribuição de probabilidade de Gumbel e a metodologia dos Mínimos Quadrados. Por fim, foram obtidos os parâmetros k, a, b e c da equação de chuvas intensas.

SILVA *et. al.* (2012) fizeram uma comparação de curvas IDF no estado de Pernambuco a fim de avaliar a qualidade dessas a partir dos dados de precipitação. Foram utilizadas 23 estações, dentre elas 12 pluviográficas e 11 pluviométricas, com série de dados de 8 a 14 e 10 a 34 anos de observação, respectivamente. Esse estudo concluiu que equações de curvas IDF podem ser geradas no estado de Pernambuco com dados pluviométricos quando houver ausência de dados pluviográficos sem perder a qualidade.

Historicamente, o município de Conselheiro Lafaiete/MG é assolado por inundações, enxurradas, alagamentos, deslizamentos e corridas de solo nas áreas no qual está inserido, devido às chuvas intensas e alto acumulado de precipitação que colocam em risco a proteção das pessoas e provocam prejuízos à cidade. Nesse contexto, devido à escassez de equações IDF ajustadas para a região de Conselheiro Lafaiete/MG, atualmente, o dimensionamento de projetos agrícolas e de obras hidráulicas que necessitam de dados de chuvas intensas tem sido realizado com informações de outros locais, procedimento que pode resultar em estimativas pouco confiáveis. As dificuldades para a obtenção das equações IDF decorrem de limitações de dados disponíveis, tanto em termos de densidade da rede pluviográfica, como em relação ao pequeno período de observação disponível.

Assim, o presente trabalho tem como objetivo estabelecer a relação entre intensidade, duração e frequência da precipitação para a região de Conselheiro Lafaiete.

#### 2. METODOLOGIA

Para realizar o trabalho, a metodologia foi dividida nas seguintes etapas: (i) caracterização da área de estudo, (ii) coleta e seleção dos dados hidrológicos, (iii) ajuste à distribuição estatística, (iv) teste de aderência, (v) desa gregação de chuva, (vi) determinação dos parâmetros da curva IDF, (vii) avaliação da curva IDF.

#### 2.1 Caracterização da área de estudo

O município de Conselheiro Lafaiete situa-se na mesorregião Metropolitana de Belo Horizonte, estado de Minas Gerais, cujo bioma característico é a Mata Atlântica (IBGE, 2021). De acordo com a estimativa do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), em 2020 a cidade tinha 129.606 habitantes. Pertencente ao Quadrilátero Ferrífero, a região é responsável por 60% da produção do minério nacional (UFOP, 2018). A Figura 1 apresenta a cidade de Conselheiro Lafaiete no mapa de MG, tal como a localização da estação pluviométrica de código 02043005 cujos dados foram tratados para o presente estudo.



Figura 1- Localização da área de estudo e da estação pluviométrica

#### 2.2 Coleta e seleção dos dados hidrológicos

Para determinar a Equação IDF da cidade de Conselheiro Lafaiete – MG foram utilizados os dados da estação pluviométrica de código 02043005, de responsabilidade da Agência Nacional das Águas (ANA), localizada na cidade, cujas coordenadas são: Lat. -20°63's e Lon. -43°75'w.

No presente trabalho, o ano hidrológico, correspondente a um intervalo fixo de 12 meses, com início no período chuvoso e fim no período seco, foi definido por meio do *software* Microsoft Excel (2016), fazendo-se o cálculo das médias mensais dos anos entre 1940 e 2020.

Conforme pode ser observado na Figura 2, o período chuvoso corresponde aos meses de outubro a março. Já o período de seca teve início em abril e término em setembro.



Figura 2 - Média de precipitação mensal para o município de Conselheiro Lafaiete

Após definir o período do ano hidrológico, separou-se os anos hidrológicos completos, sendo estes os anos que possuem todos os valores de precipitação diária. Ao final, a série estudada foi constituída de 53 anos com dados completos, variando entre 1941 e 2014. Para cada ano hidrológico, determinou-se a precipitação máxima diária anual, ou seja, igual ao maior valor de precipitação ocorrido em um dia ao longo de cada ano correspondente.

#### 2.3 Ajuste a distribuição estatística

A partir dos valores obtidos de precipitação máxima diária, fez-se o ajuste dos dados para as seguintes distribuições: Gumbel, Log-normal e Pearson 3. Estas distribuições foram escolhidas por serem comumente utilizadas ao se trabalhar com dados extremos máximos (NAGHETTINI; PORTELA, 2007).

A função inversa da Função Acumulada de Probabilidade (FAP) de Gumbel ou função de quantis é expressa pela Equação 01 (NAGHETTINI; PORTELA, 2007).

$$y(T) = \beta - \alpha * \ln\left[-\ln(1 - \frac{1}{T})\right]$$
(Equação 01)

Em que:

- y(T) é a função inversa da FAP de distribuição Gumbel;
- *T* é o período de retorno em anos;
- β é o parâmetro de escala da distribuição Gumbel;
- α é o parâmetro de posição da distribuição Gumbel.

Os parâmetros de escala ( $\beta$ ) e de posição ( $\alpha$ ) da distribuição de Gumbel foram calculados pelo Método dos Momentos (MOM) aplicando as Equações 02 e 03 (NAGHETTINI; PORTELA, 2007).

$$\beta = \bar{x} - 0.45 S_x \tag{Equação 02}$$

Em que:

- β é o parâmetro de escala da distribuição Gumbel;
- $\bar{x}$  é a média dos valores de precipitação máxima diária anual da série (mm);
- $S_x$  é o desvio padrão dos valores de precipitação máxima diária anual da série (mm).

$$\alpha = 0,7797 S_x \tag{Equação 03}$$

Em que:

• α é o parâmetro de posição da distribuição Gumbel.

Substituindo as Equações 02 e 03 na Equação 01 obteve-se a Equação 04, que determina a altura máxima de precipitação de 1 dia para diferentes tempos de recorrência, utilizando-se dos parâmetros de média e desvio padrão dos valores de precipitação máxima.

$$y(T) = \bar{x} - S_x \{0,45 + 0,7797 * \ln\left[-\ln\left(1 - \frac{1}{T}\right)\right]\}$$
 (Equação 04)

O valor da função inversa da FAP para Log-Normal foi obtido pela função INV.LOGNORMAL do *software* Microsoft Excel (2016). Essa função retorna o inverso da função de distribuição cumulativa Log-Normal de x, em que ln(x) é composta com os parâmetros média e desvio padrão (MICROSOFT, 2021).

Para o cálculo da função de quantis para Pearson Tipo 3, adotou-se o método de Chow (1954), utilizando a Equação 05, o qual permite o cálculo dos quantis com a utilização de fatores de probabilidade.

$$X_F = \bar{x} + K_{DIST}^F * S_x \tag{Equação 05}$$

Em que:

- X<sub>F</sub> é a função de quantis para distribuição Pearson Tipo 3;
- $K_{DIST}^F$  fator de probabilidade para a distribuição.

O fator de probabilidade para distribuição Pearson Tipo 3 (Equação 06) foi obtido pela transformação de Wilson-Hilferty (WILSON; HILFERTY, 1931).

$$K_{Pearson}^{F} = \frac{2}{g_{x}} * \left\{ \left[ \left( K_{Normal}^{F} - \frac{g_{x}}{6} \right) \frac{g_{x}}{6} + 1 \right]^{3} - 1 \right\}$$
(Equação 06)

Em que:

- *K*<sup>*F*</sup><sub>*Pearson*</sub> fator de probabilidade para distribuição Pearson Tipo 3;
- $g_x$  é o coeficiente de assimetria dos valores de precipitação máxima diária anual da série (mm);
- $K_{Normal}^{F}$  fator de probabilidade para distribuição Normal.

Tanto o coeficiente de assimetria, quanto o fator de probabilidade para distribuição normal, foram obtidos com auxílio do *software* Microsoft Excel (2016), utilizando a função DISTORÇÃO, a qual retorna a distorção dessa distribuição. Esse valor encontrado caracteriza o grau de assimetria de uma distribuição em torno de sua média. Já a função INV.NORMP retorna o inverso da distribuição cumulativa normal padrão (MICROSOFT, 2021).

Os tempos de recorrência adotados no estudo foram de 2, 5, 10, 15, 20, 25, 50 e 100 anos, sendo estes valores frequentemente utilizados para determinação da equação de chuvas intensas (LORENZONI *et al.*, 2013; CAMPOS *et al.*, 2017; ARAGÃO *et al.*, 2013; PEREIRA *et al.*, 2014).

#### 2.4 Teste de aderência

Para avaliar o ajuste dos dados de precipitação máxima às distribuições de Gumbel, Log-Normal e Pearson Tipo 3 utilizaram-se os testes de aderência: Qui-Quadrado, Kolmogorov-Smirnov (K-S) e Anderson-Darling. Estes testes estão entre os mais empregados na hidrologia estatística (NAGHETTINI e PORTELA, 2007).

A distribuição empírica de probabilidade para cada precipitação máxima anual foi calculada pelo método California, utilizando a Equação 07.

$$F_N(x_i) = \frac{M}{N}$$
(Equação 07)

Em que

•  $F_N(x_i)$  é a frequência de ocorrência;

- M é a ordem do evento;
- N é o número de observações.

Para realizar o teste Qui-Quadrado, adotou-se o número de classe (r) igual ao número inteiro mais próximo da raiz do tamanho da amostra. Os limites de cada classe foram obtidos pela metodologia apresentada por Chow (1954) (Equação 05).

O fator de probabilidade para Gumbel foi calculado por meio da Equação 08 (NAGHETTINI; PORTELA, 2007).

$$K_{Gumbel}^{F} = -\frac{\sqrt{6}}{\pi} * \left\{ 0,577216 + ln \left[ ln \left( \frac{1}{f} \right) \right] \right\}$$
(Equação 08)

Em que:

- *K*<sup>*F*</sup><sub>*Gumbel*</sub> é o fator de probabilidade para distribuição Gumbel;
- f é a partição do domínio da função distribuição de probabilidade.

A estatística de teste Qui-Quadrado foi calculada pela Equação 09 (NAGHETTINI; PORTELA, 2007).

$$\chi^{2} = \sum_{i=1}^{r} \frac{(O_{I} - E_{I})^{2}}{O_{I}}$$
(Equação 09)

Em que:

- $\chi^2$  é o valor da estatística de teste Qui-Quadrado;
- $O_I$  representa a quantidade observada dentro de cada intervalo de classe;
- $E_I$  representa a quantidade estimada dentro de cada intervalo de classe, igual M/N para todas as classes.

O teste Kolmogorov-Smirnov se baseia na diferença máxima entre as funções de probabilidades acumuladas, empírica e teórica, de variáveis aleatórias contínuas. A estatística do teste K-S foi calculada pela Equação 10, conforme Naghettini e Portela (2007).

$$D_N = \sup_{-\infty < x < \infty} |F_N(x_i) - F_X(x_i)|$$
 (Equação 10)

Em que:

- $D_N$  é a estatística do teste de Kolmogorov-Smirnov;
- $F_N(x_i)$  é a frequência empírica de ocorrência (Equação 07);
- $F_X(x_i)$  é a frequência teórica de ocorrência.

A frequência teórica de ocorrência ou função de probabilidades acumuladas da distribuição de Gumbel foi obtida utilizando a Equação 11, de acordo com Naghettini e Portela (2007).

$$F_X(x_i) = 1 - e^{-e^{\frac{y-\beta}{\alpha}}}$$
(Equação 11)

Em que:

•  $F_X(x_i)$  é a frequência teórica de ocorrência;

- *e* é a base dos logaritmos neperianos;
- y é o valor da precipitação máxima diária anual para a frequência (mm);
- β é o parâmetro de escala da distribuição;
- α é o parâmetro de posição da distribuição.

Para o cálculo da função de probabilidade acumulada (frequência teórica de ocorrência) da distribuição Log-Normal utilizou-se a função DIST.LOGNORMAL.N do *software* Microsoft Excel (2016). A função retorna à distribuição Log-Normal de x, sendo que ln(x) é distribuído utilizando-se a média de parâmetros e desvio padrão (MICROSOFT, 2021).

A distribuição Pearson Tipo 3 se origina da distribuição Gama, tendo como diferença o parâmetro de posição ( $\gamma$ ) não nulo (NAGHETTINI e PORTELA, 2007). Por isso, para o cálculo da distribuição de Pearson Tipo 3, utilizou-se a função DIST.GAMA do *software* Microsoft Excel (2016), que retorna a distribuição cumulativa Gama (MICROSOFT, 2021).

A sintaxe da função DIST.GAMA é em razão do parâmetro forma ( $\beta$ ) e parâmetro de escala ( $\alpha$ ) para a distribuição Gama. Estes parâmetros foram ajustados de acordo com o parâmetro de posição para que assim os resultados representassem a distribuição Pearson Tipo 3 (Equações 12 e 13) (NAGHETTINI; PORTELA, 2007).

$$\beta = \frac{4}{\gamma^2}$$
(Equação 12)

Em que:

- $\beta$  é o parâmetro de forma da distribuição Pearson Tipo 3;
- γ é o parâmetro de posição da distribuição, igual ao coeficiente de assimetria dos valores de precipitação máxima diária anual da série (mm).

$$\alpha = \frac{\bar{x} - S_x}{\beta}$$
(Equação 13)

Em que:

- $\alpha$  é o parâmetro de escala da distribuição Pearson Tipo 3;
- $\bar{x}$  é a média dos valores de precipitação máxima diária anual da série (mm);
- $S_x$  é o desvio padrão dos valores de precipitação máxima diária anual da série (mm);
- β é o parâmetro de forma da distribuição Pearson Tipo 3.

A estatística de teste Anderson-Darling utiliza parâmetros semelhantes ao teste K-S. O valor da estatística foi calculado pela Equação 14.

$$A^{2} = -N - \sum_{i=1}^{N} \frac{(2i-1)\{lnF_{x}(x_{(i)}) + ln[1 - F_{x}(x_{(N-i+1)})]\}}{N}$$
(Equação 14)

Em que:

- $A^2$  é o valor da estatística de teste Anderson-Darling;
- N é o número de observações;
- $F_x(x_{(i)})$  é a frequência teórica de ocorrência.

#### 2.5 Desagregação da chuva

Para o cálculo da curva IDF é necessário fazer a desagregação da chuva. Um dos métodos mais utilizados no Brasil é o de desagregação de chuvas diárias, proposto pela CETESB (1986), o qual consiste em relacionar, inicialmente, a chuva de 1 dia, obtida em pluviômetros, com a chuva de um período de 24 horas e, a partir da chuva de 24 horas, calcular os valores de precipitações para tempos menores por meio do emprego de coeficientes de desagregação (ARAGÃO et al., 2013).

O método da desagregação de chuvas desenvolvido pela CETESB adota o fator médio de 1,14 para a transformação de chuva máxima de 1 dia em chuva de 24 horas; para reduzir a chuva de 24 horas em chuvas de 12h, 10h, 8h, 6h e 1h são utilizados os fatores 0,85; 0,82; 0,78; 0,72 e 0,42 (COUTINHO et al., 2019). A precipitação de 24 horas representa o total máximo precipitado equivalente a um período contínuo de 24 horas (BERTONI e TUCCI, 2004).

Este método foi escolhido devido a simplicidade com que pode ser aplicado, oferecendo resultados satisfatórios na determinação de alturas de precipitação com duração inferior a 1 dia. Os coeficientes e suas transformações correspondentes são apresentados na Tabela 1. De acordo com a CETESB (1986) as relações apresentadas foram obtidas para uma média nacional, devido à escassez de dados pluviográficos no país.

rabela 1 - Coencientes de desagreg	ação de chuva de 24 horas
Relação entre alturas pluviométricas	Coeficiente de desagregação
5 min para 30 min	0,34
10 min para 30 min	0,54
15 min para 30 min	0,70
20 min para 30 min	0,81
25 min para 30 min	0,91
30 min para 1 h	0,74
1h para 24 h	0,42
2h para 24 h	0,48
3h para 24 h	0,54
6h para 24 h	0,72
8h para 24 h	0,78
10h para 24 h	0,82
12h para 24 h	0,85
24h para 1 dia	1,14

Tabala 1 Conficientes de desegregação de chuve de 24 horas

Fonte: CETESB (1986) apud ARAGÃO et al. (2013).

As durações de precipitação utilizadas foram 5, 10, 15, 20, 25, 30, 60, 120, 180, 360, 480, 600, 720 e 1440 minutos. A chuva de 30 minutos foi obtida multiplicando-se a chuva de 1 hora por 0,74; e para obter as chuvas de 25 min, 20 min, 15 min, 10min e 5 min, multiplicou-se a chuva de 30 min por 0,91; 0,81; 0,70; 0,54 e 0,34, respectivamente. O procedimento foi feito para cada tempo de recorrência separadamente, obtendo para cada um deles a lâmina de precipitação para diferentes durações.

Para o método de desagregação de chuvas, as séries de precipitações máximas diárias anuais foram obtidas por meio de consulta ao site da ANA.

Conforme CETESB (1986), valores mínimos de precipitação devem ser atendidos de acordo com a duração correspondente, conforme apresentados na Tabela 2. Se ao desagregar a chuva forem obtidos valores inferiores aos mínimos tabelados, deve-se adotar os mínimos.

Duração (minutos)	Precipitação adotada (mm)
5	8
10	10
15	15
20	15
30	20
45	23
60	25
120	30
180	33
240	35
360	40
480	40
720	47
1440	55
Fonte:	CETESB (1986).

Tabela 2 - Valores mínimos de precipitação

Pode-se obter as respectivas intensidades dividindo os valores de precipitação pelo tempo de duração da chuva correspondentes. Encontrando-se as intensidades é gerada a curva IDF.

#### 2.6 Determinação dos parâmetros da curva IDF

Após estimar as intensidades de chuvas para os diferentes períodos de retorno e tempos de duração, foram feitos os ajustes dos parâmetros para determinação da curva IDF empregando a forma geral dada pela Equação 15, conforme Villela e Mattos (1975), Souza *et al.* (2012), Cardoso *et al.* (2014) e Campos *et al.* (2017).

$$I = \frac{K * T^a}{(t+b)^c}$$
(Equação 15)

Em que:

- I é a intensidade máxima média de chuva (mm.h<sup>-1</sup>);
- T é o tempo de retorno em anos;
- t representa a duração da chuva em minutos;
- K, b e c são os parâmetros que descrevem características locais (adimensional).
- a é o parâmetro regional constante (adimensional).

Estes parâmetros foram ajustados por meio de regressão não linear utilizando a ferramenta Solver do Microsoft Excel<sup>®</sup>. De acordo com Ferraz *et al.* (2020), o Solver é uma ferramenta de teste de hipóteses, que pode ser utilizada para 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.

Com a finalidade de aplicar o Solver para determinar os parâmetros da equação, calculou-se a soma quadrática total (SQT), resultante da adição entre a soma dos quadrados dos resíduos ( $SQR_{es}$ ) e a soma dos quadrados da regressão ( $SQR_{eg}$ ). Para obter a soma dos quadrados total (SQT), subtraiu-se a média dos valores observados dos valores observados e, em sequência,

elevou-se esse resultado ao quadrado, somando-se todos os termos. A soma dos quadrados devido à regressão ( $SQR_{eg}$ ) foi feita da mesma forma, porém foram utilizados os valores estimados. A partir da soma dos quadrados da subtração dos valores estimados pelos valores observados, obteve-se a soma dos quadrados dos resíduos ( $SQR_{es}$ ).

Desta forma, estabeleceu-se uma função objetivo que buscasse minimizar a soma dos quadrados dos desvios entre os valores das intensidades de precipitação observados e os estimados.

Determinados os valores da SQT,  $SQR_{eg}$  e da  $SQR_{es}$ , aplicou-se o GRG por meio do Solver, de forma que o objetivo  $SQT = SQR_{eg} + SQR_{es}$  fosse nulo.

Além da função objetivo, foram definidas as células variáveis para resolução do Solver, que são os parâmetros que podem ser alterados para alcançar o objetivo proposto. Neste caso os parâmetros variáveis foram K, a, b e c da equação de chuvas intensas.

O *SQRes* foi restringido a um valor nulo (ou próximo de zero), pois quanto mais próximo de zero for o valor do S*QRes*, melhor a qualidade do ajuste.

#### 2.7 Avaliação da equação IDF

A avaliação da equação IDF foi realizada por meio: *(i)* do coeficiente de determinação R<sup>2</sup>; *(ii)* do índice de concordância de Willmott (d), conforme WILLMOTT *et al.*, (1985), representado pela Equação 16; *(iii)* do coeficiente de correlação de Pearson (r), segundo Camargo e Sentelhas (1997) conforme Equação 17 e *(iv)* pelo coeficiente de desempenho (I<sub>C</sub>), conforme Equação 18. Este último é o resultado do produto entre o coeficiente de correlação de Pearson e o índice de Willmott.

O R<sup>2</sup> foi obtido pela divisão da *SQReg* pela *SQT*, sendo que este valor pode variar de 0 e 1 e deve ser sempre positivo. Este coeficiente é utilizado na avaliação do ajuste dos parâmetros da equação de chuvas intensas.

Já o índice de concordância de Wilmott (d) determina a precisão do método utilizado, e avalia o grau de afastamento entre os valores estimados e observados, variando também entre 0 e 1 (PEREIRA *et al.*, 2017).

\_ .

$$d = 1 - \frac{\sum (E_i * O_i)^2}{\sum (|E_i - \bar{O}| + |O_i - \bar{O}|)^2}$$
(Equação 16)

$$r = \frac{\sum(O_i - O) * (E_i - E)}{\sqrt{\sum(O_i - \bar{O})^2 * \sum(E_i - E)^2}}$$
(Equação 17)

$$I_c = r * d \tag{Equação 18}$$

Em que:

- d é o índice de concordância;
- r é o coeficiente de correlação;
- Ic é o coeficiente de desempenho;
- Oi é a intensidade observada (mm.h<sup>-1</sup>);
- Ei é a intensidade estimada pelo modelo (mm.h<sup>-1</sup>);
- $\overline{O}$  é a média do valor observado (mm.h<sup>-1</sup>);
- $\overline{E}$  é a média do valor estimado (mm.h<sup>-1</sup>).

Para avaliar o desempenho da equação com base nestes coeficientes, foram utilizados os critérios propostos por Cohen (1998) para o coeficiente de Pearson (r), Camargo e Sentelhas (1997) para o coeficiente de desempenho (Ic) e Moriasi *et al.* (2015) para o R<sup>2</sup>, conforme descrito na Tabela 3.

Coeficiente de Pearson (r)	Classificação	Classificação Desempenho (Ic)		R <sup>2</sup>	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

Tabela 3 - Critérios de avaliação de desempenho

Fonte: Cohen (1998); Camargo e Sentelhas (1997); Moriasi et al. (2015) apud Ferraz et al. (2020).

#### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados obtidos da estação 02043005 possibilitaram obter os 53 anos hidrológicos completos. A precipitação máxima diária anual para cada ano hidrológico é apresentada na Tabela 4. Pode-se observar que os anos hidrológicos no período de 1941/1942, 1942/1943, 2003/2004 e 2008/2009 apresentaram precipitação superior a 100 mm.

	Precipitação máxima	Ano	Precipitação máxima	4.00	Precipitação máxima
Allu	diária anual	Allu	diária anual	Allo	diária anual
1941 - 1942	105,10	1978 - 1979	63,60	1996 - 1997	88,50
1942 - 1943	107,10	1979 - 1980	42,60	1997 - 1998	82,10
1943 - 1944	57,60	1980 - 1981	49,30	1998 - 1999	75,50
1944 - 1945	52,00	1981 - 1982	72,50	1999 - 2000	77,70
1945 - 1946	68,40	1982 - 1983	91,60	2000 - 2001	96,40
1965 - 1966	84,30	1983 - 1984	56,20	2001 - 2002	90,50
1966 - 1967	87,60	1984 - 1985	91,20	2002 - 2003	77,20
1967 - 1968	58,80	1985 - 1986	42,30	2003 - 2004	100,00
1968 - 1969	75,40	1986 - 1987	84,50	2004 - 2005	76,00
1969 - 1970	84,00	1987 - 1988	49,30	2005 - 2006	63,70
1970 - 1971	60,00	1988 - 1989	35,40	2006 - 2007	94,50
1971 - 1972	78,30	1989 - 1990	84,60	2007 - 2008	72,50
1972 - 1973	75,00	1990 - 1991	56,30	2008 - 2009	148,70
1973 - 1974	48,00	1991 - 1992	77,60	2009 - 2010	49,30
1974 - 1975	50,20	1992 - 1993	70,30	2010 - 2011	62,50
1975 - 1976	40,80	1993 - 1994	56,50	2011 - 2012	82,10
1976 - 1977	50,20	1994 - 1995	66,00	2013 - 2014	54,70
1977 - 1978	69,20	1995 - 1996	52,50		

Tabela 4 - Precipitação máxima diária anual em mm

#### 3.1 Ajuste a distribuição estatística

Para o ajuste da estimativa da precipitação máxima à distribuição estatística de Gumbel foi necessário determinar os valores de média e desvio padrão referentes as máximas precipitações anuais presentes na Tabela 4. Os valores de média e desvio padrão obtidos foram, respectivamente, de 71,44 mm e 20,78 mm.

Para a distribuição de Pearson Tipo 3, além destes parâmetros, foi necessário obter o coeficiente de assimetria dos valores de máximas precipitações anuais, igual a 0,923.

Para a distribuição Log-Normal utilizou-se da média e desvio padrão do logaritmo das precipitações máximas anuais. Os valores obtidos foram, respectivamente, de 4,23 mm e 0,29 mm. Os resultados para os tempos de recorrência adotados de 2, 5, 10, 15, 20, 25, 50 e 100 anos para cada distribuição são apresentados na Tabela 5.

#### Tabela 5 - Estimativa da precipitação máxima para diferentes distribuições estatísticas e tempo de recorrência

Tr (anos)	Precipi	Precipitação máxima de 1 dia (mm)								
	Gumbel	Log-Normal	Pearson Tipo 3							
2	68,03	68,63	68,32							
5	86,39	87,35	87,29							
10	98,54	99,10	99,17							
15	105,40	105,54	105,63							
20	110,20	109,98	110,06							
25	113,90	113,36	113,43							
50	125,30	123,66	123,57							
100	136,61	133,71	133,34							

#### 3.2 Teste de aderência

Os testes de aderência Qui-Quadrado, Kolmogorov-Smirnov e Andreson-Darling foram utilizados para avaliar o ajuste dos dados de precipitação máxima às distribuições e também como fator decisório sobre qual distribuição melhor se ajustou a série estudada. A Figura 3 apresenta as curvas de distribuição estimada por Gumbel, Log-Normal e Pearson Tipo 3 juntamente com a frequência de precipitação observada, encontrada pelo método de Califórnia.

### Figura 3 - Distribuição dos valores máximos de precipitação anual observados e estimados para diferentes distribuições estatísticas



Pode-se observar graficamente que os valores estimados são próximos entre si em todas as distribuições e que há aderência entre os dados observados e estimados.

Nos testes de aderência realizados foram considerados valores críticos com 5% de significância. Os resultados da estatística e valor crítico para cada teste e distribuição são apresentados na Tabela 6.

rablia 0 - resultatios dos testes de aderencia										
	Ç	Qui-Quadrado			Kolmogorov-Smirnov			Anderson-Darling		
Distribuição	$\chi^2$	$\chi^2_{crit,0,05}$	Folga (%)	$D_N$	<b>D</b> <sub>crit,0,05</sub>	Folga (%)	<i>A</i> <sup>2</sup>	$A_{crit,0,05}^2$	Folga (%)	
Gumbel	6,0377	9,4877	36,36	0,0901	0,1900	52,60	0,5509	0,7570	27,23	
Log-normal	6,0377	9,4877	36,36	0,0745	0,1900	60,81	0,3775	0,7520	49,80	
Pearson 3	6,0377	7,8147	22,74	0,0810	0,1900	57,35	0,5328	0,7520	29,15	

Tabela 6 - Resultados dos testes de aderência

No teste de aderência de Qui-Quadrado foram obtidos sete intervalos de classe. A estatística de teste foi verificada com quatro graus de liberdade para as distribuições de Gumbel e Log-Normal e 3 graus de liberdade para a distribuição Pearson Tipo 3.

Para o teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov o valor crítico da estatística foi de 0,19 obtido em função do tamanho da amostra com 53 dados e do nível de significância 5%, conforme recomendado por NAGHETTINI; PINTO (2007).

O teste de Anderson-Darling exige que o valor da estatística obtido pela Equação 13 seja corrigido de acordo com a distribuição que está sendo testada. Para as distribuições Log Normal e Pearson Tipo 3 o fator de correção é dado por  $\left(1 + \frac{0.75}{\sqrt{N}} + \frac{2.25}{N^2}\right)$ . Já para a distribuição Gumbel o fator de correção é dado por  $\left(1 + \frac{0.2}{\sqrt{N}}\right)$ . Os valores críticos da estatística também variam de acordo com a distribuição, sendo iguais a 0,7570 para distribuição Gumbel e 0,7520 para distribuições Log-Normal e Pearson Tipo 3 (NAGHETTINI; PINTO, 2007).

Por fim, calculou-se a relação entre o valor calculado e o valor crítico da estatística. Percebe-se que a distribuição Log-Normal possui uma maior folga do valor crítico em relação à estatística de teste e, sendo a folga calculada por meio da distância entre o valor crítico e a estatística de teste. Desta forma, quanto maior a folga, melhor a aderência dos dados estimados em relação aos dados observados. Portanto, a distribuição Log-Normal foi escolhida para ser utilizada na obtenção da equação IDF de Conselheiro Lafaiete/MG.

#### 3.3 Desagregação da chuva diária

Por meio dos valores de precipitação máxima diária, obteve-se os valores de precipitação para durações inferiores a um dia, correspondentes a cada tempo de recorrência utilizado.

Observou-se que quanto maior a duração da chuva, maior o volume precipitado. Da mesma forma, quanto maior o tempo de recorrência, maior o volume precipitado. Os valores de intensidades da chuva para as respectivas durações e TR no município de Conselheiro Lafaiete podem ser observados no Quadro 1.

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 193,29 mm.h<sup>-1</sup> com 5 minutos de duração e TR de 100 anos, e o menor equivaleu a 3,26 mm.h<sup>-1</sup> em 1440 minutos e TR de 2 anos.

		-						
Tempo (min)	TR = 2	TR = 5	$\mathbf{TR}=10$	TR = 15	$\mathbf{TR}=20$	$\mathbf{TR}=25$	$\mathbf{TR}=50$	$\mathbf{TR}=100$
5	99,21	126,28	143,25	152,56	158,98	163,88	178,76	193,29
10	78,78	100,28	113,76	121,15	126,25	130,14	141,95	153,49
15	68,08	86,66	98,31	104,70	109,10	112,47	122,68	132,65
20	59,09	75,21	85,32	90,86	94,69	97,60	106,46	115,12
25	53,10	67,60	76,68	81,66	85,10	87,72	95,69	103,47
30	48,63	61,90	70,22	74,78	77,93	80,33	87,63	94,75
60	32,86	41,83	47,45	50,53	52,66	54,28	59,21	64,02
120	18,78	23,90	27,11	28,87	30,09	31,02	33,83	36,58
180	14,08	17,93	20,33	21,66	22,57	23,26	25,37	27,44
360	9,39	11,95	13,56	14,44	15,04	15,51	16,92	18,29
480	7,63	9,71	11,01	11,73	12,22	12,60	13,74	14,86
600	6,42	8,17	9,26	9,87	10,28	10,60	11,56	12,50
720	5,54	7,05	8,00	8,52	8,88	9,15	9,99	10,80
1440	3,26	4,15	4,71	5,01	5,22	5,38	5,87	6,35
	1							

Quadro 1 - Intensidades de chuva (mm.h<sup>-1</sup>) para as diferentes durações (min) e tempos de retorno (anos) para o município de Conselheiro Lafaiete - MG

Para todos os períodos de retorno a precipitação é mais intensa nos primeiros 5 minutos. Analisando o TR de 2 anos a chuva é menos intensa comparada ao TR de 100 anos. Observando as curvas IDF da Figura 4, percebe-se 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.





#### 3.4 Determinação dos parâmetros IDF

A determinação dos parâmetros K, a, b e c da equação de chuvas intensas para a cidade de Conselheiro Lafaiete 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. A equação foi obtida tendo-se como base a utilização de todas as durações, as quais variam de 5 a 1440 minutos, além de serem empregados valores significativos de tempo de recorrência (2, 5, 10, 15, 20, 25, 50 e 100 anos). Substituindo os parâmetros estimados na equação de chuvas intensas (Equação 15), admitindo-se três casas decimais, obtém-se a equação IDF específica para o município de Conselheiro Lafaiete (Equação 19).

$$I = \frac{767,997 * T^{0,154}}{(t+10,550)^{0,753}}$$
(Equação 19)

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 767,997 e 0,154, respectivamente. O município de Conselheiro Lafaiete possui clima subtropical úmido, segundo a classificação de Koppen-Geiger (1931), cujas características contribuem para maiores valores de precipitação anual que as demais cidades da região, e, consequentemente, maiores valores de K.

A Tabela 7 apresenta os parâmetros da equação bem como os valores dos coeficientes estatísticos que descrevem o desempenho da simulação. Foram utilizados três indicadores para avaliação da equação de chuvas intensas proposta neste trabalho. O coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>), cuja representação gráfica e linha de tendência encontra-se na Figura 5, apresentou valor de R<sup>2</sup> igual a 0,9974, considerado "muito bom" conforme critério proposto por Moriasi *et* al. (2015) e exposto na Tabela

3. 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 (Ic) apresentou valor de 0,9980, considerado "ótimo" por Camargo e Sentelhas (1997).

		Parâmetros da equação IDF				Coeficientes estatísticos			
Município	Código da Estação	K	a	b	c	R <sup>2</sup>	r	d	Ic
Conselheiro Lafaiete	2043005	767,997	0,154	10,550	0,753	0,9974	0,9987	0,9993	0,9980

Tabela 7 - Parâmetros da equação IDF e valores dos coeficientes estatísticos da modelagem

Figura 5 - Relação entre intensidade máxima de precipitação observada e estimada, linha de tendência e o valor de R<sup>2</sup>, correspondentes aos dados do município de Conselheiro Lafaiete - MG



Observa-se um bom ajuste das relações IDF, com coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>) igual a 0,9974, refletindo a qualidade do ajuste. Resultados semelhantes aos valores de coeficientes de determinação foram obtidos por Silva *et al.* (2012), em que, ao ajustarem relações IDF para o estado de Pernambuco pelo método de desagregação de chuvas, encontraram coeficientes de determinação acima de 99%. Os resultados da boa correlação da equação ajustada para a área de estudo corroboram com os obtidos por Pereira, Duarte e Sarmento (2017), que realizaram estudos semelhantes para o município de Ipameri/GO obtendo coeficiente de determinação igual a 0,9986. De forma semelhante, Campos *et al.* (2014) e Dorneles *et al.* (2019) também obtiveram R<sup>2</sup> acima de 0,99 para ajuste das IDF por regressão não linear, para o Estado do Piauí e município de Pelotas/RS, respectivamente.

A equação IDF determinada neste trabalho poderá contribuir significativamente para o dimensionamento de projetos hidráulicos no município de Conselheiro Lafaiete/MG. Uma vez especializados, os parâmetros podem ser empregados em obras hidráulicas em locais em que não existem dados disponíveis.

#### 4. CONCLUSÃO

A partir da curva IDF e com a equação geral ajustada para o posto pluviométrico podem ser geradas as chuvas de projeto com mais confiabilidade e respeitando as características de chuva específicas da região no entorno do posto em questão. Os resultados dos ajustes das equações foram satisfatórios com alto grau de correlação, evidenciando a confiabilidade nos resultados. A curva IDF para o município de Conselheiro Lafaiete/MG pode ser utilizada em projetos de sistemas de drenagem urbana para controle de inundações, dimensionamento de extravasores de barragens, garantindo assim a segurança da população local e de outras estruturas civis. Outro uso é prevenção de desastres naturais causados por chuvas intensas. Essas aplicações demonstram a importância da metodologia aplicada no âmbito de projetos de engenharia hidráulica e de recursos hídricos. Todavia, o trabalho se limita à região do município de Conselheiro Lafaiete, pois os dados de chuva analisados são referentes a essa região.

#### REFERÊNCIAS

ABREU, Marcel Carvalho *et al.* Critérios para Escolha de Distribuições de Probabilidades em Estudos de Eventos Extremos de Precipitação. **Revista Brasileira de Meteorologia** [online]. 2018, v. 33, n. 4 [Acessado 20 Julho 2021], pp. 601-613. Disponível em: <a href="https://doi.org/10.1590/0102-7786334004">https://doi.org/10.1590/0102-7786334004</a>>. ISSN 1982-4351. https://doi.org/10.1590/0102-7786334004.

ARAGÃO, Ricardo de *et al.* Chuvas intensas para o estado de Sergipe com base em dados desagregados de chuva diária. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** [online]. 2013, v. 17, n. 3 [Acessado 20 Julho 2021], pp. 243-252. Disponível em: <a href="https://doi.org/10.1590/S1415-43662013000300001">https://doi.org/10.1590/S1415-43662013000300001</a>>. Epub 15 Mar 2013. ISSN 1807-1929. https://doi.org/10.1590/S1415-43662013000300001.

ASSIS, J. P.; *et al.* Distribuições de probabilidade para séries históricas mensais de pressão atmosférica no município de Mossoró-RN. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**. Pombal, PB. V.11, nº3, p. 135-142, 2016.

BERTONI, J. C.; TUCCI, C. E. M. Precipitação. In: Tucci, C. E. M. Hidrologia: Ciência e aplicação. Porto Alegre: UFRGS: ABRH, 2004. v. 4, 943 p.

BESKOW, S.; *et al.* Multiparameter probability distributions for heavy rainfall modeling in extreme southern Brazil. Journal of Hydrology: Regional Studies, 4B, 123-133, 2015.

CAMARGO, A. P; SENTELHAS, P. C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativas da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.5, n.1, p.89-97, 1997.

CAMPOS, A. R.; *et al.* Estimate of intense rainfall equation parameters for rainfall stations of the Paraíba State, Brazil. **Pesquisa** Agropecuária Tropical, v.47, n.1, p.15-21, 2017.

CARDOSO, C. O.; *et al.* Generation of intensity duration frequency curves and intensity temporal variability pattern of intense rainfall for Lages/SC. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v.57, n.2, p.274-283. 2014.

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Drenagem urbana: manual de projeto. 1.ed. São Paulo: DAEE/CETESB, 1986. 466p.

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

COUTINHO, Artur Paiva; *et al.* O efeito do método de desagregação de chuva no hidrograma de projeto para uma bacia hidrográfica rural no semiárido nordestino. Journal of Environmental Analysis and Progress, v. 4, n. 2, p. 146-156, 2019.

DUPONT, B.S.; ALLEN, D.L. Revision of the Rainfall Intensity Duration Curves for the Commonwealth of Kentucky. Kentucky Transportation Center, College of Engineering, University of Kentucky, USA (2000).

FERRAZ, L. L.; *et al.* 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, 2020. Disponível em: doi: 10.5281/zenodo.3782627.

FILHO, D. F. F.; *et al.* Application of different methods for determining intensity-duration-frequency curves in Belterra in the state of Pará, Brazil. **Research, Society and Development**, *[S. l.]*, v. 9, n. 2, p. e77922073, 2020. DOI: 10.33448/rsd-v9i2.2073. Disponível em: https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/2073. Acesso em: 20 jul. 2021.

FRANCO, C.S.; *et al.* Distribuição de probabilidades para precipitação máxima diária na bacia hidrográfica do rio Verde, Minas Gerais, Minas Gerais. **Rev. bras. eng. agríc. Ambient.**, v. 18, n. 7, p. 735–735, 2014.

FREITAS, E. da S. Determinação e comparação de curvas IDF com dados pluviógrafos e pluviométricos na bacia hidrográfica experimental do Riacho Guaraíra – PB. Trabalho de Conclusão de Curso. Joao Pessoa. p. 61. 2016.

JUNQUEIRA, J.A. Junior; *et al.* Eventos extremos de precipitação no Alto do Rio Grande, MG: Análise probabilística. **Rev.** bras. eng. agríc. Ambient., v. 19, n. 4, p. 301-308, 2015.

LOPES, Danielle de Castro. Avaliação preliminar da relação intensidade-duração-frequência pelo método Kimbal e obtenção dos coeficientes de desagregação para diferentes durações de precipitação: estudo de caso Coronel Pacheco – MG. 2017. 61 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2017. Disponível em: https://www.ufjf.br/engsanitariaeambiental/files/2014/02/TFC-Danielle.pdf. Acesso em: 20 jul. 2021.

LOPES, T.R.; et al. Regionalização de vazões máximas e mínimas para a bacia do rio Ivaí - PR. 2016. Irriga, v. 21, n. 1, p.

MARQUES, R.F.P.V.; et al. Performance of the probability distributions models applied to heavy rainfall daily events. Ciênc. agrotec., v. 38, n. 4, p 335-342, 2014.

MORIASI, D. N.; *et al.* (2015). Hydrologic and water quality models: Performance measures and evaluation criteria. Trans. ASABE, 58(6), 1763-1785. http://dx.doi.org/10.13031/trans.58.10715.

NAGHETTINI, M.; PINTO, E. J. A. Hidrologia Estatística. CPRM, Belo Horizonte/MG, p.560, 2007.

NETO, B. P. R.; BLANCO, C. J. C. (2020). Determinação de Curva IDF para o município de Governador Newton Bello no estado do Maranhão. **Research, Society and Development**, 9(3), 1-12. DOI: http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i3.2374.

PEREIRA, D.C.; DUARTE, L.R.; SARMENTO, A.P. Determinação da curva de intensidade, duração e frequência do município de Ipameri – Goiás. Revista Eletrônica de Engenharia Civil, v. 13, n.2, p.233-246, 2017.

SILVA. B. M.; *et al.* 2012. Chuvas Intensas em localidades do Estado de Pernambuco. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. v. 17, n. 3, p. 135-147, julho/setembro.

SOUZA, R. O. R. de M.; *et al.* Equações de chuvas intensas para o estado do Pará. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n.9, p.999-1005, 2012.

TUCCI; C. E. M. Escoamento Superficial. In: TUCCI; C. E. M. (Org.) Hidrologia Ciência e Aplicação. 2004. Porto Alegre: Editora da UFRGS. Cap 11, p. 391-441.

TUCCI, C. E. M. Hidrologia: ciência e aplicação. 4. ed. Porto Alegre: FRGS: ABRH, 2013.

VILLELA, S.M.; MATTOS, A. Hidrologia aplicada. 250p. Mcgraw Hill. São Paulo, 1975.

WESCHENFELDER, Adriana Burin. **Tendências de precipitação pluvial diária e projeção de cenários à nova curva IDF para Porto Alegre, RS**. 2017. 1 DVD. Dissertação (Mestrado em sensoriamento remoto) – Centro Estadual de Pesquisa em Sensoriamento Remoto e Meteorologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2017.

ZENG, X.; WANG, D.; WU, J. Evaluating the three methods of goodness of fit test for frequency analysis. J. Risk Anal. Crisis Response., v. 5, n. 3 p. 178-187, 2015.