

Aplicação de diferentes métodos de determinação de curvas de intensidade-duração-frequência no município de Belterra no estado do Pará, Brasil

Application of different methods for determining intensity-duration-frequency curves in Belterra in the state of Pará, Brazil

Aplicación de diferentes métodos para determinar curvas de intensidad-duración-frecuencia en el ciudad de Belterra en el estado de Pará, Brasil

Recebido: 12/11/2019 | Revisado: 16/11/2019 | Aceito: 19/11/2019 | Publicado: 21/11/2019

David Figueiredo Ferreira Filho

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5890-3515>

Universidade Federal do Pará, Brasil.

E-mail: davydferreira@gmail.com

Rodrigo Silvano Silva Rodrigues

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2223-2959>

Universidade Federal do Pará, Brasil.

E-mail: r2rodrigo@hotmail.com

Maria de Nazaré Alves da Silva

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8658-2368>

Universidade Federal do Pará, Brasil.

E-mail: nazare_alves@hotmail.com

Lindemberg Lima Fernandes

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1806-4670>

Universidade Federal do Pará, Brasil.

E-mail: linlimfer@gmail.com

Diêgo Lima Crispim

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1491-2636>

Universidade Federal do Pará, Brasil.

E-mail: dlimcrispim@gmail.com

Resumo

Devido a dimensão continental do estado do Pará, associado à ausência de dados pluviométricos mais precisos, foi feito um estudo acerca dos mesmos, a fim de obter uma relação de intensidade, duração e frequência (IDF) de chuva para o município de Belterra, por

meio da aplicação de 3 métodos, a curva IDF Normal, método de Bell e pelo método de Desagregação de Gumbel. Para tanto utilizou-se como base a estação pluviométrica de Belterra, disponível pelo Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, com série histórica de 30 anos de dados. Foram analisadas somente as chuvas máximas para a construção das curvas IDF, com tempos de duração de 5, 10, 15, 20, 25, 30, 60, 360, 480, 600 e 720 min e períodos de retorno de 2, 10 e 25 anos. O objetivo da pesquisa foi desenvolver os 3 métodos e posteriormente compara-los, afim de auxiliar em estudos hidrológicos e para o dimensionamento de estruturas que se utilizem desta metodologia. Os valores de intensidades de chuvas foram comparados entre si, onde o método de Bell, para os tempos de retorno de 10, 15 e 25 anos, apresentou valores maiores de Intensidades de Chuvas, porém, ao se analisar para o período de 2 anos, o método que obteve uma IDF com maiores intensidades, foi o método Normal. Em todos os 4 períodos analisados o método da desagregação (Gumbel) apresentou valores menores para os respectivos tempos de durações de chuva, o que não inviabiliza seu método, haja vista que também depende para qual finalidade será utilizado.

Palavras-chave: Chuvas Intensas; Intensidade de Chuva; Hidrologia Aplicada.

Abstract

Due to the continental dimension of the state of Pará, associated with the absence of more accurate rainfall data, a study was carried out on them in order to obtain a ratio of rainfall intensity, duration and frequency (IDF) for the municipality of Belterra, through the application of 3 methods, the Normal IDF curve, Bell's method and the Gumbel Disaggregation method. The Belterra rainfall station, available from the National Meteorological Institute - INMET, with a 30-year historical series of data, was used as a basis for this. Only the maximum rains for the construction of the IDF curves were analyzed, with duration times of 5, 10, 15, 20, 25, 30, 60, 360, 480, 600 and 720 min and return periods of 2, 10 and 25 years. The objective of the research was to develop the 3 methods and later compare them, in order to assist in hydrological studies and for the design of structures that use this methodology. The values of rain intensities were compared with each other, where the Bell method, for the return times of 10, 15 and 25 years, presented higher values of Rain Intensities, however, when analyzing for the period of 2 years, the method that obtained an IDF with higher intensities was the Normal method. In all 4 periods analyzed, the disaggregation method (Gumbel) presented lower values for the respective rainfall duration times, which does not make its method unfeasible, since it also depends on what purpose it will be used for.

Keywords: Intense Rain; Rain Intensity; Applied Hydrology.

Resumen

Debido a la dimensión continental del estado de Pará, asociada con la ausencia de datos de lluvia más precisos, se realizó un estudio sobre ellos para obtener una relación de intensidad, duración y frecuencia de lluvia (IDF) para el municipio de Belterra, mediante la aplicación de 3 métodos, la curva IDF normal, el método de Bell y el método de desagregación de Gumbel. La estación de lluvia de Belterra, disponible del Instituto Meteorológico Nacional - INMET, con una serie de datos históricos de 30 años, se utilizó como base para esto. Solo se analizaron las lluvias máximas para la construcción de las curvas IDF, con tiempos de duración de 5, 10, 15, 20, 25, 30, 60, 360, 480, 600 y 720 min y períodos de retorno de 2, 10 y 25 años. . El objetivo de la investigación fue desarrollar los 3 métodos y luego compararlos, para ayudar en los estudios hidrológicos y para el diseño de estructuras que utilicen esta metodología. Los valores de las intensidades de lluvia se compararon entre sí, donde el método de Bell, para los tiempos de retorno de 10, 15 y 25 años, presentó valores más altos de intensidades de lluvia, sin embargo, al analizar durante el período de 2 años, el método que obtuvo un IDF con intensidades más altas fue el método Normal. En los 4 períodos analizados, el método de desagregación (Gumbel) presentó valores más bajos para los respectivos tiempos de duración de la lluvia, lo que no hace que su método sea inviable, ya que también depende del propósito para el que se utilizará.

Palabras clave: Lluvia Intensa; Intensidad de Lluvia; Hidrología Aplicada.

1. Introdução

Uma das formas de quantificar a precipitação extrema é usando curvas de Intensidade – Duração – Frequência (IDF). Essas curvas são essencialmente funções de distribuição cumulativa da intensidade da chuva máxima condicionada na duração, ligando a intensidade máxima da chuva registrada para uma da duração com seu período de retorno.

Dessa forma a previsão determinística da precipitação é um processo que possui grande variabilidade espacial e temporal, onde este processo somente pode ser feito com antecedência de poucos dias, e com uma margem de erro (Castro et al., 2011).

Estudos acerca da variabilidade temporal das chuvas intensas, ao longo de sua duração, se tornou indispensável para quantificar os efeitos ocasionados, entre outros, ao controle de escoamento superficial em áreas urbanas e rurais (Cruciani et al., 2002; Beijo et al., 2003).

Chuvas intensas são caracterizadas por sua variabilidade espaço-temporal, que ao longo de sua duração, se torna imprescindível para quantificar adequadamente os efeitos ocasionados, de certo modo, especial, ao controle de escoamento superficial em áreas urbanas e também rurais.

As previsões de médio e longo prazo são limitadas a quantidade e ao tempo de ocorrência, dependendo da série amostral (Pereira, 2007). Sua previsão, na maioria dos casos dos problemas, é realizada com base em estatísticas aplicadas a eventos anteriores e também através de modelos matemáticos adaptados para a simulação do tempo (Mello et al., 2001)

Segundo Tucci (2009) a precipitação máxima é entendida como uma ocorrência extrema, com duração, distribuição temporal e espacial crítica para uma determinada área de bacia hidrográfica. Portanto o estudo das precipitações máximas é um excelente método para determinar as vazões de enchentes de uma Bacia Hidrográfica, atuado diretamente ou indiretamente em projetos, estudos sobre erosão do solo, inundações em áreas urbanas ou rurais, obras hidráulicas, obras de drenagem, barragens e outros estudos hidrológicos (Mesquita et al., 2009; Castro et al., 2011; Silva & Portela, 2013; Bertoni & Tucci, 2015).

Assim estudos hidrológicos associados ao uso de séries temporais hidrológicas são considerados, em modelos estocásticos, estudos que objetivam reproduzir o comportamento de determinado fenômeno (Detzel et al., 2016), assim, buscando entender e simular modelos de geração de séries sintéticas de chuvas (Detzel & Mine, 2011; Rasmussen, 2013).

Como projetos hidráulicos exigem estudos acerca dos fenômenos hidrológicos, em geral, são concebidos considerando um custo mínimo associado a um risco aceitável de falha, do qual necessita de uma previsão de fenômenos hidrológicos de grande magnitude, tais como ocorrências de precipitações e vazões máximas, que podem vir a ocasionar problemas no projeto. Assim, as séries servem como ajustes, segundo a probabilidade, da qual descreva melhor o processo, possibilitando extrapolações (Vieira et al., 1991; Beijo et al., 2005).

Em estudos recentes (Beijo et al., 2005; Castro et al., 2011; Cruciani, 2012; Bertoni & Tucci, 2015; Derzel et al., 2016) mostram que a teoria de valores extremos, em especial a distribuição de valores extremos do tipo I, também conhecida como distribuição de Gumbel, distribuição tipo I de Fisher-Tippet, ou dupla exponencial, desenvolvida por Gumbel (1958), e

outros estudo pelo método de Bell (Righetto, 1998) tem apresentado grande importância em vários campos da pesquisa. As mesmas têm sido aplicadas em análises de estatística de variáveis relacionadas a precipitação pluviométrica máxima.

Pioneiro sobre chuvas intensas no Brasil, Pfafstetter (1957), utilizou séries de valores máximos de precipitações de 98 estações pluviográficas distribuídas em diversas regiões do país, para a construção de curvas de intensidade-duração-frequência - IDF, utilizando a distribuição de valores extremos do tipo I.

Pare entender melhor o comportamento de determinados fenômenos simulados, os dados de observações de chuvas devem conter um tempo suficientemente longo, para que seja possível considerar as frequências de ocorrência das mesmas, permitindo assim inferir alguns dados de intensidade duração e frequência (Castro et al., 2011; Cruciani, 2012), e importante para a construção da curva de permanência do estudo.

No Brasil, algumas metodologias foram desenvolvidas com a intuição de se obter as chuvas de menor duração a partir de dados observados em pluviômetros, devido a existência no território nacional, de uma vasta rede de monitoramento. Essas, empregam coeficientes para transformas as chuvas de 24h em chuvas de menor duração, e dentre elas citam-se a desagregação de chuva de 24h do Dae-Cetesb (1980).

Sendo a técnica de desagregação, de uso corrente na prática da Engenharia, pois se baseia nos coeficientes de desagregação (Cetesb, 1979). Ainda na forma analítica, encontra-se o trabalho de Robaina; Peiter (1996), que testou o desempenho de um modelo de desagregação de chuvas intensas, com a finalidade de gerar precipitações máximas médias em durações inferiores a 24 horas. Também se pode recorrer a metodologias que envolvem a simulação da precipitação em duração sub-horária, e a associação da série simulada a modelos estocásticos de desagregação (Rodriguez-Iturbe et al., 1987; Koutsoyiannis & Xanthopoulos, 1990; Glasbey et al., 1995; Damé, 2001), possibilitando a obtenção das curvas IDF.

Assim, as durações usuais utilizadas nos projetos são de 5, 10, 15, 30 e 45 min e 1, 2, 3, 6, 12 e 24 horas. Os limites de duração são fixados em 5 minutos e 24 horas, pois 5 minutos representa o menor intervalo em que se pode ler, com precisão adequada, nos registros considerando pluviógrafos convencionais (Eesc-Usp, 2011; Mello & Silva, 2013). Assim para eventos maiores que 24 horas, devem ser utilizados dados observados em pluviógrafos.

Estudos atuais envolvendo as relações IDF são presentes em todas as regiões do Brasil (Back, 2009; Back, 2010; Campos et al., 2014; Barreto et al., 2015; Campos et al., 2015;

Souza et al., 2015; Vinagre; Lima; Lima Junior, 2015; Cprm, 2016; Damé et al., 2016; Silva & Oliveira, 2017; Silva Neto et al., 2017). Para Damé et al. (2016), o conhecimento sobre o comportamento das chuvas ao longo do tempo pode ser analisado pelos dados observados e estimados utilizando-se de modelos de processos estocásticos

Tempo de retorno de chuva são eventos comumente associados a um período de retorno: chuvas, enchentes, secas, terremotos, furacões, entre outros. Aliada a isso as Bacias Hidrográficas são importantíssimas no estudo, uma vez que dependendo das características da mesma podem proporcionar um aumento ou uma diminuição aos impactos para cálculos a fim de projetos de engenharia (Castro et.al., 2011).

O período de retorno é uma medida climatológica usualmente utilizada nos estudos de eventos de grande magnitude, especialmente considerando-se variáveis hidrológicas, fornece benefícios, principalmente, no que diz respeito a avaliação de riscos associados a projetos e obras em que fenômenos naturais de certa grandeza podem acarretar em prejuízos, falhas ou riscos (Reis, 2017).

Diante deste contexto, percebe-se a importância da realização de estudos de precipitações extremas. Uma vez que para a caracterização das precipitações, é necessário conhecer a sua duração, sua intensidade e sua frequência de ocorrência ou período de retorno (Tr). Essa relação é comumente denominada de curvas Intensidade-Duração-Frequência de ocorrência (IDF), sendo uma ferramenta utilizada nos processos de transformação chuva-vazão (Damé; Teixeira; Terra, 2008).

Portanto este trabalho teve com finalidade a realização do estudo no município de Belterra no estado do Pará, para fins de cálculo de precipitações de projeto de engenharia e obtenção da curva Intensidade-Duração-Frequência – IDF do município, aplicando-se 3 métodos diferentes, para posteriormente compara-los e abrir espaço para discussão. A justificativa que norteia o estudo dá-se que não se identificou publicações referentes ao ajuste da equação de chuvas intensas para o município de Belterra.

2. Metodologia

O presente estudo é do tipo estudo de caso e revisão bibliográfica conforme Pereira et al. (2018), haja vista que, parte de uma análise detalhada, em termos de estudos hidrológicos

afim de auxiliar no planejamento para dimensionamentos de estruturas hidráulicas (Tucci, 1995) que utilizam curvas IDF's.

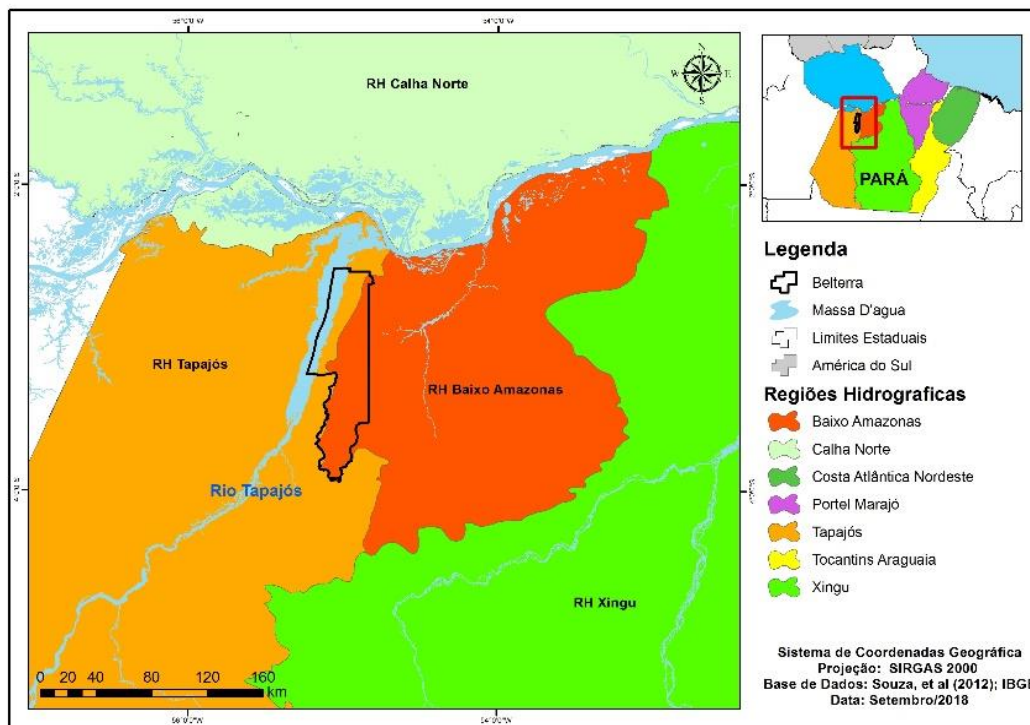
Conforme com o mesmo pesquisador acima, Pereira et al. (2018), observa, que este tipo de estudo pode trazer uma riqueza de dados e informações de modo a contribuir com o saber na área de conhecimentos na qual for utilizada.

2.1. Área de estudo

O estudo foi feito no município de Belterra localizado no Oeste paraense e cruza a área de influência da Rodovia BR-163. Está inserido no bioma amazônico, com densa floresta ombrófila e diversificação no relevo, com regiões de planalto a várzea ao longo do rio Amazonas. Os solos, em grande parte, possuem baixa fertilidade e elevados níveis de acidez (Brasil, 2006). Distante cerca de 45 km do município de Santarém, e de 1.296 km da capital do estado - Belém.

A população estimada em 2017 no município era de 17.249 mil pessoas, com uma densidade demográfica de 3,71 hab./km² (em 2010). Com área territorial de 4398,418 km² de extensão (Ibge, 2019). O município de Belterra está inserido na Região Hidrográfica do Tapajós. A Figura 1 ilustra a localização do município e a Região Hidrográfica do qual está inserido:

Figura 1 – Mapa de Localização do Município de Belterra – PA.



Fonte: Autores (2019).

Conforme ilustrado na figura 1, o município de Belterra, está inserido entre a região hidrográfica do Tapajós e Baixo Amazonas, o que se torna de grande valia, pois está confrontante com duas regiões.

O clima predominante é quente e úmido, com temperatura média anual oscilando entre 25° e 27 °C. A umidade relativa média do ar varia entre 80 e 90%, e a precipitação pluvial anual oscila entre 1.800 e 2.800 mm, com alternância de chuvas abundantes, no período de janeiro a julho, e curtos períodos de estiagem entre os meses de agosto a dezembro (EMBRAPA, 2014).

2.2. Dados pluviométricos

A estimativa das curvas IDF históricas foi realizada utilizando-se de série de 30 anos de registros pluviográficos (1988 a 2017), obtidos da Estação Belterra, fornecido pelo Instituto de Meteorologia – INMET (2018), de código OMM: 82246, e coordenadas latitudinal $-2,633333^\circ$ e longitudinal $-54,95^\circ$, do qual foram utilizadas as precipitações máximas de cada ano da série histórica.

De forma geral na hidrologia estocástica aplicam-se modelos estatísticos na representação dos fenômenos hidrológicos. Ou seja, as séries temporais de precipitação são tratadas como variáveis aleatórias. Os métodos aplicados consistem no Método Normal e Intensidade de Chuva, Método de Bell e Método de Desagregação de Chuva (Gumbel, 1958), conforme descritos a seguir:

2.3. Intensidade de Chuva

Para o cálculo da intensidade da chuva, usou-se a equação geral da relação IDF, dada pela Equação (2), enquanto que os coeficientes de ajustes (a, b, c e d) para o município de Belterra são apresentados no Quadro 1.

$$I = \frac{a \cdot T r^b}{(T d + c)^d} \quad (2)$$

Onde,

I = Intensidade de chuva em mm/h;

a, b, c e d = são constantes de ajuste determinadas estatisticamente para cada município;

Td = Tempo de duração da precipitação em minutos;

Tr = Tempo de retorno da chuva em anos;

Quadro 1 – Coeficientes de ajustes para cálculo da intensidade de chuva para o município de Belterra – PA.

Município de Belterra				
Coeficientes	a	b	c	d
Valores	1310,41	0,1064	9,7941	0,7244

Fonte: ANA (2019).

O quadro acima, conforme dados da Agencia Nacional de Águas, apresentam os coeficientes de ajustes para os cálculos necessários para a Intensidade de Chuva. Cada município apresenta seus coeficientes, por isso é de extrema importância para cálculos de projetos a determinação desta intensidade de chuva.

Dessa forma o objetivo da aplicação desse método é obter relações que permitam avaliar chuvas de 24 horas de duração e, a partir delas, as chuvas de curta duração com base nos dados e nos cálculos e construir a curva IDF. Assim, o problema de análise de frequência de chuvas máximas serve para calcular a precipitação que atinge uma área com uma determinada duração com uma probabilidade de ocorrência em um ano qualquer. Portanto fez-se esta analogia através da curva IDF.

2.4. Método de Bell

Assim, o método de Bell estima a altura pluviométrica produzida por uma precipitação com duração t e período de retorno T_r a partir de uma chuva intensa padrão de 60 minutos de duração e 2 anos de período de retorno ($h_{60,2}$) (Garcia et al., 2011), conforme Equação 3:

$$h_{t,T_r} = (a_0 * \ln(T) + a_1) * (a_2 * t_b - a_3) * h_{60,2} \quad (3)$$

Onde:

$h(t ; T_r)$ = Altura pluviométrica (mm) de chuva intensa de duração “ t ” e período de retorno “ T_r ”;

$h(60;2)$ = Altura pluviométrica (mm) de chuva intensa, padrão de 60 min de duração e dois anos de período de retorno;

a_0, a_1, a_2, a_3 e b = Parâmetros regionais.

Conforme Righeto (1998), os referidos parâmetros foram estimados a partir da manipulação de informações pluviográficas de postos instalados em diferentes regiões do País, permitindo a conformação da equação:

$$h_{t,T} = (0,31 * \text{Ln}(T) + 0,70) * (0,38 * t^{0,31} - 0,39) * h_{60,2} \quad (4)$$

Dividindo a precipitação obtida pela sua respectiva duração, encontraram-se as intensidades de precipitação associadas aos períodos de retorno e às durações.

A aplicação deste método é comumente aos estudos hidrológicos, no Brasil por Back (2014); Coutinho et al. (2010); Garcia et al. (2011); Nali et al. (2007); na Índia por Kothiyari; Garde (1990), Estados Unidos por Froehlich (1995); Singh; Zhang (2007), no Canadá por Alila (2000) e no Taiwan por Yu et al. (2004).

Por este motivo, principalmente na região amazônica, o presente estudo ganha destaque, pois ainda existem poucos se tratando do assunto, assim, ganhando mais referência para parâmetros regionais conforme metodologia aplicada por Righeto (1998).

2.5. Método de Desagregação de Chuva (Gumbel)

A estimativa das curvas IDF pelo Método de Gumbel ou de desagregação das chuvas (Cardoso et al., 1998; Froehlich, 1993), considerou-se os registros históricos de precipitação, a partir do estabelecimento de durações de 5, 10, 15, 20, 25, 30, 60, 360, 480, 600 e 720 min e períodos de retorno de 2, 10, 25, 50, 100 e 500 anos

Para a desagregação, fez-se a relação da precipitação de 1 dia, associada a um dado tempo de retorno, calculado a partir da distribuição estatística a uma série de precipitação máxima diária anual calculada, com a precipitação de 24 horas. Por definição, a precipitação de 1 dia se refere àquela obtida por pluviômetro com intervalo de 24 horas, enquanto a precipitação de 24 horas é referente àquela obtida por pluviógrafo sem fixação do início da contagem do tempo.

A função densidade de probabilidade da distribuição Gumbel (1958) tem a seguinte forma (Equação 5):

$$f(x; \alpha; \beta) = 1/\alpha \exp\{-(x-\alpha/\beta) - \exp[-(x-\alpha/\beta)]\} \quad (5)$$

Onde $x \in (-\infty; +\infty)$, α é o parâmetro de locação, $\alpha \in \mathbb{R}$ e β é o parâmetro de escala, $\beta > 0$.
A função densidade acumulada, $F(x)$ é dada pela Equação (6):

$$P(X \leq x) = F(x) = \exp\{-\exp[-(x-\alpha/\beta)]\} \quad (6)$$

Onde, $P(X \leq x)$ é a probabilidade de acontecer uma precipitação menor do que um dado valor x .

Assim, determinaram-se também as intensidades de precipitação consideradas como chuvas intensas, isto é, efetuou-se a desagregação das chuvas diárias em alturas pluviométricas de menor duração a partir da aplicação do método proposto pela Cetesb (1979), conforme os coeficientes de desagregação apresentados na Tabela 1. Sendo obtidas as chuvas com durações de 5, 10, 15, 20, 25, 30, 60, 120, 240, 360, 480, 600, 720 e 1.440 minutos, gerando dados suficientes para a definição das curvas IDF, considerando os tempos de retorno de 2, 5, 10, 15, 20, 25, 50 e 100 anos.

Tabela 1 – Tabela de Distribuição de Gumbel.

Desagregação de Chuva			
Relação de Altura Pluviométrica	Fator de Desagregação	Relação de Altura Pluviométrica	Fator de Desagregação
5min/30min	0,34	1h/24h	0,42
10min/30min	0,54	6h/24h	0,72
15min/30min	0,7	8h/24h	0,78
20min/30min	0,81	10h/24h	0,82
25min/30min	0,91	12h/24h	0,85
30min/1h	0,74	24h/1d	1,14

Fonte: DAEE/CETESB (1986).

Assim, a tabela 1 acima, ilustra os coeficientes de desagregação que foram aplicadas para a determinação da curva IDF pelo método de Gumbel. Estes fatores, são para desagregar a chuva para períodos menores de precipitação, afim de relacionar com os tempos de retorno e duração de chuva.

3. Resultados e Discussão

O estado do Pará caracteriza-se pela carência de dados pluviográficos, o que explica a baixa produção científica sobre equações de chuvas intensas no estado. Uma alternativa para a estimativa dessas equações seria a utilização de dados pluviométricos, visto que ser o equipamento mais frequentemente utilizado no estado.

Em estudo recente desenvolvido por Souza et al. (2012), observam-se os parâmetros ajustados das equações IDF's, no qual 74 estações estavam presentes para o estado do Pará. Em todas, verificaram-se os ajustes adequados com seus respectivos valores de R² acima de 0,99, indicando uma forte relação. Estudos análogos como os de Silva et al. (2003); Santos et al. (2009) no Brasil verificaram coeficientes de determinação semelhantes, para o estado do Mato Grosso do Sul e Tocantins, apresentando 0,99 e 0,98 respectivamente.

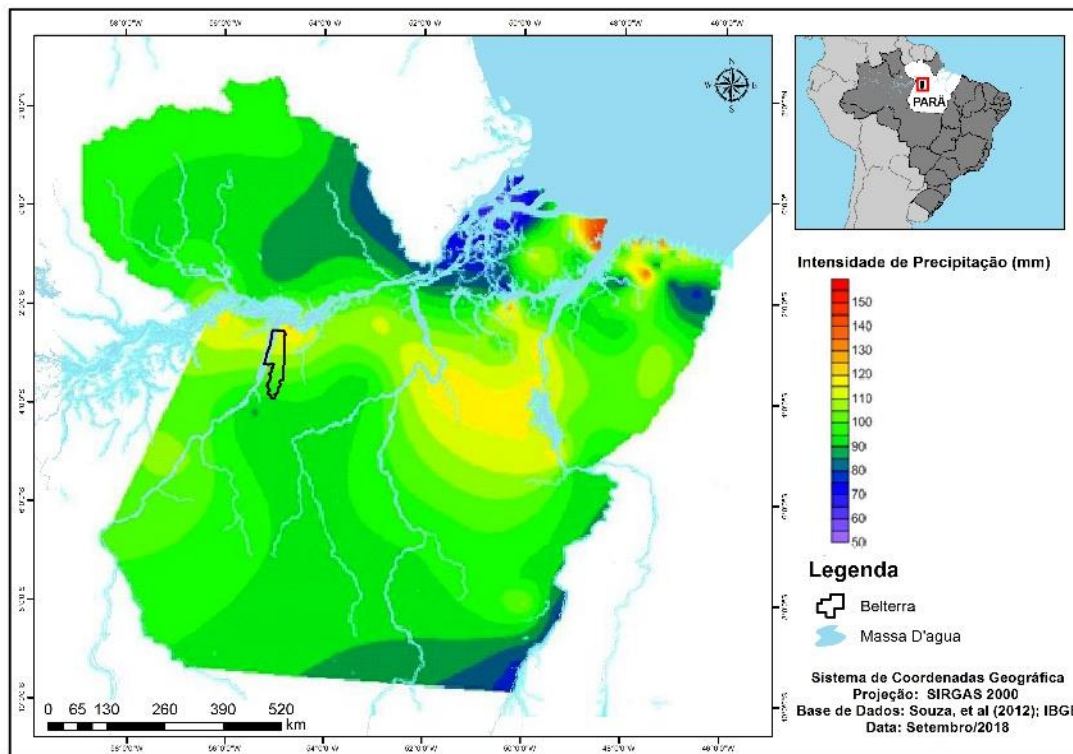
Conforme proposto inicialmente a equação (7) IDF para o município de Belterra consistem em:

$$I = \frac{1310,41 \cdot T_r^{0,1064}}{(T_d + 9,7941)^{0,7244}} \quad (7)$$

Dessa forma em relação às intensidades observadas, especificamente no período de retorno de 15 anos, duração de 30 minutos, observa-se nas curvas IDF's pelo método Normal uma intensidade de chuva em milímetros de 121,24, pelo método de Bell de 132,65 e pelo método da Desagregação encontrou-se uma intensidade de 112,86 milímetros.

Souza et al. (2012), fez um estudo para determinar as equações de chuvas intensas para o estado do Pará, conforme o mapa de distribuição espacial, o município de Belterra estaria inserido em uma região com índices de intensidades entre 90 a 120 (mm h⁻¹) (Figura 2). Com os mesmos dados analisados, obteve-se pelos os três métodos propostos valores acima do valor encontrado pelo autor.

Figura 2 - Distribuição espacial das intensidades de precipitação (mm h^{-1}) com duração de 30 min e tempo de retorno de 15 anos para o estado do Pará.



Fonte: Adaptado de Souza (2012).

Por meio dos resultados obtidos, o método Normal se aproximou mais do limite de 120 mm e o método da Desagregação, de acordo com estudo de Souza et al. (2012), o método de Bell foi o que mais se afastou do limite, entretanto vale ressaltar que para cálculos de projetos para evitar extremos deve-se levar em consideração a maior intensidade conforme estudos de Mesquita et al. (2009); Castro et al. (2011); Silva; Portela (2013); Bertoni; Tucci (2015). Ainda em Souza et al. (2012), em municípios circunvizinhos, ao exemplo de Santarém, obteve-se uma intensidade de 121,2 (mm h^{-1}).

Em outros trabalhos, realizados fora do estado, considerando a mesma duração e tempo de retorno, os maiores valores obtidos de Intensidade de Precipitação (mm h^{-1}) foram de 119,5 em Argoim, BA (Silva et al., 2002), 139,5 em Alvorada, TO (Silva et al., 2003), 170,7 mm h^{-1} em Cuiabá, MS (Santos et al., 2009) e 181,9 mm h^{-1} em Córrego do Ouro, GO (Oliveira et al., 2005).

Essas diferenças observadas entre as intensidades de precipitação reforçam a necessidade de ampliar o conhecimento acerca das equações de chuvas intensas para cada

localidade de interesse, a fim de minimizar a falta de dados e aumentar a informação para contribuir em estudos e projetos de engenharia.

Segundo Bertoni e Tucci (2001), ao analisar a intensidade de precipitação com a duração, a mesma varia de maneira inversamente proporcional, para um mesmo tempo de recorrência, onde esse é comportamento comum ao se relacionar intensidade e duração das chuvas. Dessa forma para a construção das curvas IDF foram consideradas durações e tempos de retornos apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Duração e Tempo de Retorno para o cálculo das IDF de Belterra-PA

Duração – t (min)	Tempos de Retorno – Tr (anos)
5	2
10	10
15	15
20	25
25	-
30	-
60	-

Fonte: Autores (2019).

Na Tabela 2 acima, ilustrando os tempos de retorno utilizados na pesquisa, para 2, 10, 15 e 25 anos, não utilizando períodos maiores, porém abrindo espaço para pesquisas futuras que queiram utilizar tempo maiores afins de estudos e comparações.

Na Tabela 3 são representados os valores da intensidade pluviométrica para os 3 métodos analisados, método Normal, método de Bell e método de Gumbel, onde fez-se a relação dos três métodos estudados com o intuito de compara-los posteriormente.

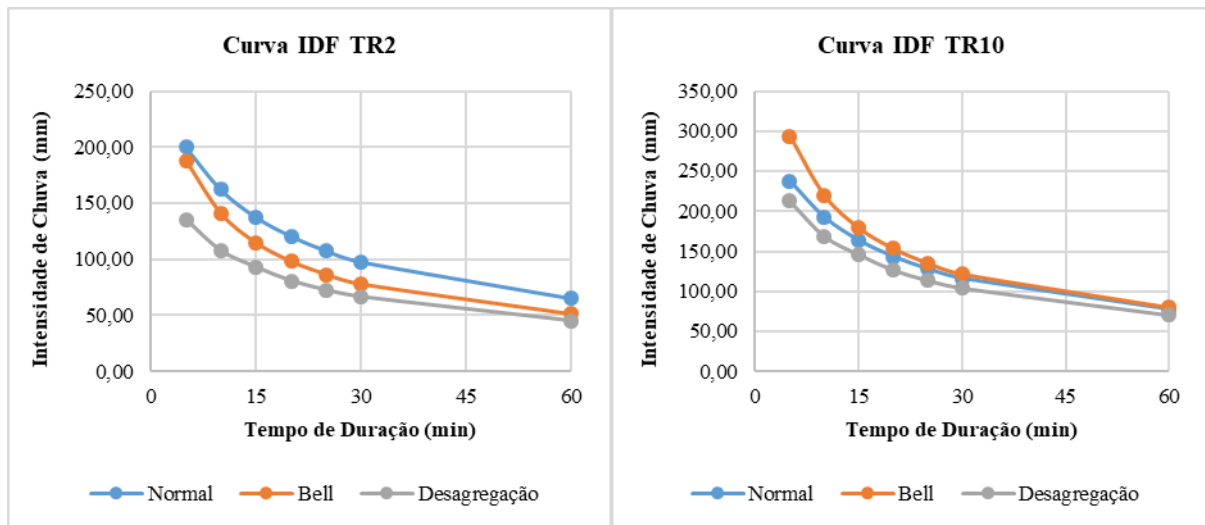
Tabela 3 – Intensidade de Chuva pelos 3 métodos de estudo.

Tempo Retorno	Tempo Duração	Normal	Bell	Desagregação
2	5	200,37	188,11	135,47
	10	162,27	140,79	107,58
	15	137,84	114,75	92,97
	20	120,66	98,18	80,68
	25	107,84	86,56	72,51
	30	97,84	77,87	66,41
	60	65,13	51,13	44,87
10	5	237,79	293,79	212,84
	10	192,57	219,88	169,02
	15	163,58	179,22	146,07
	20	143,20	153,34	126,76
	25	127,98	135,19	113,93
	30	116,12	121,63	104,33
	60	77,29	79,85	70,49
15	5	248,27	320,42	230,23
	10	201,06	239,81	182,83
	15	170,80	195,46	158,00
	20	149,52	167,24	137,12
	25	133,62	147,45	123,24
	30	121,24	132,65	112,86
	60	80,70	87,09	76,25
25	5	262,14	353,96	251,78
	10	212,29	264,92	199,94
	15	180,34	215,92	172,79
	20	157,87	184,75	149,96
	25	141,09	162,88	134,78
	30	128,01	146,54	123,42
	60	85,21	96,21	83,39

Fonte: Autores (2019).

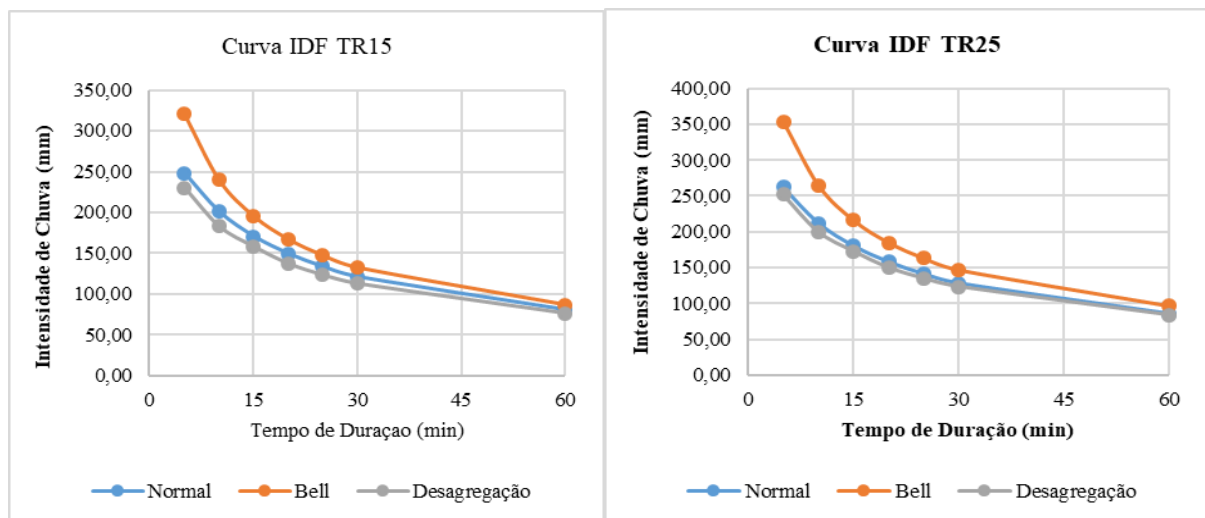
Observando as Figuras 3 e 4, nota-se que as curvas IDF obtidas para Belterra-PA, apresentaram valores próximos para os métodos Normal e Desagregação para os Tr 15 e 25 anos, enquanto que para os Tr 2 e 10 anos, as curvas não se ajustaram para os 3 métodos. Vale destacar que o método de Bell foi o que mais se distanciou entre os métodos estudados.

Figura 3 - Curva IDF para tempo de retorno de 2 e 10 anos.



Fonte: Autores (2019).

Figura 4 - Curva IDF para tempo de retorno de 15 e 25 anos.



Fonte: Autores (2019).

Assim, conforme os resultados obtidos, o método de Bell, para os tempos de retorno de 10, 15 e 25 anos, apresentou valores maiores de Intensidades de Chuvas, onde dependendo do tipo de projeto, poderia ser aplicado afim de segurança estrutural, como dimensionamento de estruturas de barragens, porém, ao se analisar para o período de 2 anos, o método que obteve uma IDF com maiores intensidades, foi o método Normal. Em todos os 4 períodos analisados o método da desagregação (Gumbel) apresentou valores menores para os respectivos tempos de durações de chuva, o que não inviabiliza seu método, haja vista que também depende para qual finalidade será utilizado.

4. Considerações Finais

As curvas de Intensidade-Duração-Frequência-IDF determinadas conforme metodologia proposta poderão contribuir significativamente para o dimensionamento de projetos hidráulicos e hidrológicos no município de Belterra-PA.

Logo a metodologia desenvolvida neste trabalho para determinação das relações de intensidade, duração e frequência das chuvas intensas para o município de Belterra-PA obteve resultados satisfatórios e pode ser aplicada na determinação das relações IDF para outras regiões que não possuam pluviógrafos, mas possuam pluviômetros. Assim, deve-se escolher o período de retorno em função do tipo de estrutura hidráulica que se deseja aplicar (Tucci, 1995), e a duração da chuva pode ter uma resposta no tempo de concentração da bacia em métodos simplificados.

Um tópico importante a se destacar é que o presente estudo não fez cálculos para períodos de retornos maiores, se limitando em até 25 anos, porém para perceptivas de trabalhos futuros, as metodologias e comparações poderiam ser reaplicadas. Outra informação a se notar é a utilização de testes estatísticos, cujas finalidades seriam de correlacionar as diferentes curvas obtidas, com seus respectivos tempos de retornos, abrindo espaço para mais discussões.

5. Agradecimentos

Congratulamos a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de bolsa acadêmica e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Pará pelo apoio para execução do estudo.

Referências Bibliográficas

Alila, Y. (2000). Regional rainfall depth-duration-frequency equations for Canada. *Water Resources Research*, 36 (7): 1767-1778.

Ana, Agência Nacional De Águas. (2019) *Banco De Dados Hidroweb*. Disponível em: <Http://Hidroweb.Ana.Gov.Br/>.

Araújo, L. (2006). *Análise estatística de chuvas intensas na bacia hidrográfica do rio Paraíba. 2006. 94f* (Doctoral dissertation, Dissertação (Mestrado em Meteorologia)-Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande).

Back, A. J. (2009). Relações entre precipitações intensas de diferentes durações ocorridas no município de Urussanga, SC. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 13(2): 170-175.

Back, A. J. (2009). Relações entre precipitações intensas de diferentes durações ocorridas no município de Urussanga, SC. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 13(2): 170-175.

Back, Á. J., Henn, A., & Oliveira, J. L. R. (2011). Heavy rainfall equations for Santa Catarina, Brazil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 35(6): 2127-2134.

Back, A.J. (2014). Avaliação de estimativas de chuvas intensas de Florianópolis, SC obtidas por diferentes metodologias. *XLIII CONBEA, 2014*. Campo Grande – MS. Disponível em:

Barreto, H. B. F., Pereira, G. M., de Oliveira Santos, W., Freire, F. G. C., & Maia, P. D. M. E. (2015). Avaliação de funções de probabilidade e relação-intensidade-duração-frequência para precipitação extrema em Nepomuceno-MG. *Global Science and Technology*, 8(2).

Beijo, L. A., Muniz, J. A., & Castro Neto, P. (2005). Tempo de retorno das precipitações máximas em Lavras (MG) pela distribuição de valores extremos do tipo I. *Ciência e agrotecnologia*, 29(3): 657-667.

Beijo, L. A., Muniz, J. A., Volpe, C. A., & Pereira, G. T. (2003). Estudo da precipitação máxima em Jaboticabal (SP) pela distribuição de Gumbel utilizando dois métodos de estimação dos parâmetros. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, 11(1): 141-147.

Bell, F. C. (1969). Generalized rainfall-duration-frequency relationships. *Journal of the hydraulics division*, 95(1): 311-328.

Bertoni, J. (1993). Precipitação in TUCCI, CEM (org.), Hidrologia: Ciência e Aplicação. Porto Alegre: Editora da Universidade. ABRH/EDUSP. 943p.

Bertoni, J. C.; Tucci, C. E. M. (2015). Precipitação. In: TUCCI, C. E. M. (Org.). Hidrologia: ciência e aplicação. 4. ed. Porto Alegre: ABRH; UFRS, 2015. p.177-241.

Brasil. Presidência da República. Casa Civil. (2006). *Plano de desenvolvimento regional sustentável para a área de influência da rodovia BR-163 Cuiabá-Santarém*. Brasília: 2006. 193p. (Grupo de Trabalho Interministerial, Decreto de 15 de março de 2004).

Campos, A. R., Santos, G. G., dos Anjos, J. C. R., Stefanoski, D. C., & Moraes, J. M. F. (2015). Equações de intensidade de chuvas para o Estado do Maranhão. *Revista Engenharia Na Agricultura-Reveng*, 23(5): 435-447.

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

Cardoso, C. O., Ullmann, M. N., & Bertol, I. (1998). Análise de chuvas intensas a partir da desagregação das chuvas diárias de Lages e de Campos Novos (SC). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 22(1): 131-140.

Castro, A. D., Silva, C. N. P., & Silveira, A. (2011). Curvas Intensidade-Duração-Frequência das precipitações extremas para o município de Cuiabá (MT). *Ambiência*, 7(2).

Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. (1979). Drenagem urbana: manual de projeto. São Paulo, 1979. 476 p.

Coutinho, A., Silva, F., Silva, R., Antonino, A., & Montenegro, S. (2010). Determinação de Equações de Chuvas Intensas para Municípios das Mesorregiões do Estado de Pernambuco com dados pluviométricos. *SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE*, 10.

Cprm, Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. (2016). Atlas Pluviométrico do Brasil; Equações Intensidade-Duração-Frequência. Município: Porto Velho. Estação Pluviográfica:

Jaci Paraná, Códigos 00964005. Adriana Burin Weschenfelder; Karine Pickbrenner e Eber José de Andrade Pinto – *Porto Alegre: CPRM.*

Cruciani, D. E., Machado, R. E., & Sentelhas, P. C. (2002). Modelos da distribuição temporal de chuvas intensas em Piracicaba, SP. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 6(1): 76-82.

Departamento de Águas e Energia Elétrica – Companhia De Tecnologia De Saneamento Ambiental – Dae-Cetesb. (1980). Drenagem Urbana: Manual de Projeto por Departamento de Águas e Energia Elétrica e Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. 2. ed. *São Paulo: 1980.*

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

de Souza, V. A. S., Nunes, M. L. A., Do Nascimento, R. K., & Andrade, C. D. (2016). Equação de Intensidade-Duração-Frequência (IDF) de chuvas de Rolim de Moura–RO. *Revista Brasileira de Ciências da Amazônia/Brazilian Journal of Science of the Amazon*, 4(1): 1-13.

Detzel, D. H. M., & Mine, M. R. M. (2011). Generation of daily synthetic precipitation series: analyses and application in La Plata river Basin. *Open Hydrology Journal*, 5: 69-77.

Detzel, D. H. M., Bessa, M. R., Vallejos, C. A., Santos, A. B., Thomsen, L. S., Mine, M. R., & Estrócio, J. P. (2011). Estacionariedade das aflúncias às usinas hidrelétricas brasileiras. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 16(3): 95-111.

Detzel, D. H. M., Fernandes, C. V. S., & Mine, M. R. M. (2016). Nonstationarity in determining flow-duration curves aiming water resources permits. *RBRH*, 21(1): 80-87.

Detzel, D. H. M., Mine, M. R. M., Bessa, M. R., & Bloot, M. (2014). Cenários sintéticos de vazões para grandes sistemas hídricos através de modelos contemporâneos e amostragem. *RBRH: revista brasileira de recursos hídricos*, 19(1): 17-28.

Embrapa, Empresa Brasileira De Pesquisa Agropecuária. (2014). Amazônia Oriental - Embrapa. Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Úmido – CPATU. *Caracterização da área de estudo. ZEE BR-163*. Belém: 2014. Disponível em: <<http://zeebr163.cpatu.embrapa.br/index.php>>.

Froehlich, D. C. (1993). Short-duration-rainfall intensity equations for drainage design. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 119(5): 814-828.

Froehlich, D. C. (1995). Intermediate-duration-rainfall intensity equations. *Journal of Hydraulic Engineering*, 121(10): 751-756.

Garcia, S. S., Amorim, R. S., Couto, E. G., & Stopa, W. H. (2011). Determinação da equação intensidade-duração-frequência para três estações meteorológicas do Estado de Mato Grosso. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental-Agriambi*, 15(6).

Glasbey, C. A., Cooper, G., & McGechan, M. B. (1995). Disaggregation of daily rainfall by conditional simulation from a point-process model. *Journal of Hydrology*, 165(1-4), 1-9.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2010). *Censo Demográfico 2010*. Brasília-DF: 2011. Ministério do Planejamento Orçamento e Gestão.

Ibge, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2019). *Cidades. Panoramas*. Disponível em <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pa/belterra/panorama>>.

Inmet, Instituto Nacional de Meteorologia. *BDMEP - Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa*. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>.

Kothyari, U. C., & Garde, R. J. (1992). Rainfall intensity-duration-frequency formula for Índia. *Journal of Hydraulic Engineering*, 118(2): 323-336.

Koutsoyiannis, D., & Xanthopoulos, T. (1990). A dynamic model for short-scale rainfall disaggregation. *Hydrological Sciences Journal*, 35(3): 303-322.

Mello, C. D., & Silva, A. D. (2013). Hidrologia: princípios e aplicações em sistemas agrícolas. *Lavras: UFLA*.

Mello, C. D., Ferreira, D. F., Silva, A. M., & Lima, J. M. (2001). Análise de modelos matemáticos aplicados ao estudo de chuvas intensas. *Revista brasileira de ciência do solo*, 25(3): 693-698.

Mesquita, W. O., Griebeler, N. P., & de Oliveira, L. F. C. (2009). Precipitações máximas diárias esperadas para as regiões central e sudeste de Goiás. *Pesquisa Agropecuária Tropical (Agricultural Research in the Tropics)*, 73-81.

Mesquita, W. O., Griebeler, N. P., & de Oliveira, L. F. C. (2009). Precipitações máximas diárias esperadas para as regiões central e sudeste de Goiás. *Pesquisa Agropecuária Tropical (Agricultural Research in the Tropics)*, 73-81.

Nali, J. O., REIS, J., REIS, A., & SILVA, F. (2007). Avaliação da resposta de diferentes de equações de chuvas intensas obtidas para as bacias hidrográficas dos rios Jucu e Santa Maria da Vitória, ES. *Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, 12.

Neto, S., Viola, M. R., Silva, D. D. D., Mello, C. R. D., Pereira, S. B., & Giongo, M. (2017). Daily rainfall disaggregation for Tocantins State, Brazil. *Revista Ambiente & Água*, 12(4): 605-617.

Oliveira, J. D., Pinto, M. F., Souza, W. D. J., Guerra, J. G., & Carvalho, D. F. (2010). Erosão hídrica em um Argissolo Vermelho-Amarelo, sob diferentes padrões de chuva simulada. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 14(2): 140-147.

Oliveira, L. F. C. D., Cortês, F. C., Wehr, T. R., Borges, L. B., Sarmiento, P. H. L., & Griebeler, N. P. (2005). Intensidade-duração-frequência de chuvas intensas para localidades no Estado de Goiás e Distrito Federal.

Pereira, A.S. et al. (2018). *Metodologia da pesquisa científica*. [e-book]. Santa Maria. Ed. UAB/NTE/UFSM. Disponível em: https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/15824/Lic_Computacao_Metodologia-Pesquisa-Cientifica.pdf?sequence=1. Acesso em: 18 nov. 2019.

Pereira, S. B. P., Fietz, C. R., Peixoto, P. P. P., ALVES SOBRINHO, T., & SANTOS, F. (2007). *Equação de intensidade, duração e frequência da precipitação para a Região de Dourados, MS*. Dourados^ eMS MS: Embrapa Agropecuária Oeste.

Pfafstetter, O. (1957). *Chuvas intensas no Brasil*. Departamento Nacional de Obras de Saneamento, Rio de Janeiro, RJ. 246p

Reis, T. C. S. D. (2017). Extensões da Distribuição Weibull Aplicadas na Análise de Séries Climatológicas.

Righetto, A. M. (1998). Hidrologia e recursos hídricos.

Rita de CF, D., Teixeira, C. F., & Terra, V. S. (2008). Comparação de diferentes metodologias para estimativa de curvas intensidade-duração-frequência para Pelotas-RS. *Eng. Agríc.*, 28(2).

Robaina, A. D., & Peiter, M. X. (1992). Modelo de desagregação e de geração de chuvas intensas no RS. In *Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola*, 21: 746-53.

Rodriguez-Iturbe, I., Cox, D. R., & Isham, V. (1988). A point process model for rainfall: further developments. *Proceedings of the Royal Society of London. A. Mathematical and Physical Sciences*, 417(1853): 283-298.

Santos, G. G., Figueiredo, C. C. D., Oliveira, L. F. C. D., & Griebeler, N. P. (2009). Intensidade-duração-frequência de chuvas para o Estado de Mato Grosso do Sul.

Silva, A. T., & Portela, M. M. (2012). Stochastic assessment of reservoir storage-yield relationships in Portugal. *Journal of Hydrologic Engineering*, 18(5): 567-575.

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

Silva, D. D., Gomes Filho, R. R. D., Pruski, F. F., Pereira, S. B., & Novaes, L. F. (2002). Chuvas intensas no Estado da Bahia. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*.

Silva, D. D., Pereira, S. B., Pruski, F. F., Gomes Filho, R. R., Lana, A. M. Q., & Baena, L. G. N. (2003). Equações de intensidade-duração-frequência da precipitação pluvial para o estado de Tocantins. *Engenharia na Agricultura, Viçosa*, 11(1/4): 7-14.

Singh, V. P., & Zhang, L. (2007). IDF curves using the Frank Archimedean copula. *Journal of Hydrologic Engineering*, 12(6): 651-662.

Tucci, C. E. M (Org). (2009). *Hidrologia – Ciência e Aplicação*. 4. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH.

Tucci, C. E. M; Porto, R. L. L; Barros, M. T de. (1995). *Drenagem Urbana*. Porto Alegre: UFRGS/ABRH.

Vieira, S. R., Lombardi, F., & Burrows, I. T. (1991). Mapeamento da chuva diária máxima provável para o estado de São Paulo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 15 (1): 93-98.

Vinagre, M. V. D. A., Lima, A. C. D. M., & Junior, L. (2015). Estudo do comportamento hidráulico da Bacia do Paracuri em Belém (PA) utilizando o programa Storm Water Management Model. *Eng. sanit. ambient*, 20(3): 361-368.

Yu, P. S., Yang, T. C., & Lin, C. S. (2004). Regional rainfall intensity formulas based on scaling property of rainfall. *Journal of Hydrology*, 295(1-4): 108-123.

Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito

David Figueiredo Ferreira Filho – 20%

Rodrigo Silvano Silva Rodrigues – 20%

Maria de Nazaré Alves da Silva – 20%

Lindemberg Lima Fernandes – 20%

Diêgo Lima Crispim – 20%