

INÍCIO / ARQUIVOS / V. 9 N. 4 / Engenharias

# Métodos de estimativa da Intensidade de chuva para projetos de drenagem urbana em Marabá, Amazônia, Brasil.

**Gabriel Villas Boas de Amorim Lima**

Universidade Federal do Pará

<https://orcid.org/0000-0001-7089-7421>**Ana Catarina Gandra de Carvalho**

Universidade Federal do Pará

<https://orcid.org/0000-0003-3050-1933>**Marina Morhy Pereira**

Universidade Federal do Pará

<https://orcid.org/0000-0002-7529-335X>**Erika Joana Nabiça Borges**

Universidade do Estado do Pará

<https://orcid.org/0000-0001-8036-6587>**Rodrigo Silvano Silva Rodrigues**

Universidade Federal do Pará

<https://orcid.org/0000-0002-2223-2959>**DOI:** <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i4.2701>**Palavras-chave:** Microdrenagem; Macrodrenagem; Gumbel; Bell; Equação de chuvas intensas.**RESUMO** Um sistema de drenagem deve ser dimensionado segundo a chuva de projeto, sendo

essencial a escolha do seu método de mensuração para garantir uma concepção segura, eficiente e não onerosa. Considerando isso, essa pesquisa objetivou analisar três métodos de estimativa de intensidade pluviométrica considerando as condições hidrológicas de Marabá-PA, verificando qual deles é mais compatível com os tipos de drenagem urbana. Para tanto, comparou-se curvas IDF (Intensidade-Duração-Frequência) elaboradas a partir dos métodos de equações de chuva, Bell e de Desagregação de Gumbel, sendo estes dois últimos baseados em uma série hidrológica de 46 anos de dados (1973-2018). Os resultados evidenciaram que o método da equação de chuvas apresenta maiores intensidades para baixos períodos de recorrência, onerando sistemas de

# RSD

---

**RESEARCH, SOCIETY AND DEVELOPMENT**

---

**VOLUME 9 | NUMBER 4 | YEAR 2020**

**ISSN 2525-3409**



PUBLICADO

12/03/2020

COMO CITAR

LIMA, G. V. B. de A.; CARVALHO, A. C. G. de; PEREIRA, M. M.; BORGES, E. J. N.; RODRIGUES, R. S. S. Métodos de estimativa da Intensidade de chuva para projetos de drenagem urbana em Marabá, Amazônia, Brasil. **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 9, n. 4, p. e29942701, 2020. DOI: 10.33448/rsd-v9i4.2701. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/2701>. Acesso em: 8 mar. 2021.

Fomatos de Citação 

EDIÇÃO

v. 9 n. 4

SEÇÃO

Engenharias

LICENÇA

Autores que publicam nesta revista concordam com os seguintes termos:

- 1) Autores mantêm os direitos autorais e concedem à revista o direito de primeira publicação, com o trabalho simultaneamente licenciado sob a Licença Creative Commons Attribution que permite o compartilhamento do trabalho com reconhecimento da autoria e publicação inicial nesta revista.
- 2) Autores têm autorização para assumir contratos adicionais separadamente, para distribuição não-exclusiva da versão do trabalho publicada nesta revista (ex.: publicar em repositório institucional ou como capítulo de livro), com reconhecimento de autoria e publicação inicial nesta revista.
- 3) Autores têm permissão e são estimulados a publicar e distribuir seu trabalho online (ex.: em repositórios institucionais ou na sua página pessoal) a qualquer ponto antes ou durante o processo

**Métodos de estimativa da Intensidade de chuva para projetos de drenagem urbana em Marabá, Amazônia, Brasil.**

**Rain intensity estimation Methods for urban drainage projects in Marabá, Amazonia, Brazil.**

**Métodos de estimación de intensidad de lluvia para proyectos de drenaje urbano en Marabá, Amazonia, Brasil.**

Recebido: 31/01/2020 | Revisado: 25/02/2020 | Aceito: 09/03/2020 | Publicado: 12/03/2020

**Gabriel Villas Boas de Amorim Lima**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7089-7421>

Universidade Federal do Pará, Brasil

E-mail: [gabrielvbal@gmail.com.br](mailto:gabrielvbal@gmail.com)

**Ana Catarina Gandra de Carvalho**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3050-1933>

Universidade Federal do Pará, Brasil

E-mail: [anacatarinagandra@gmail.com](mailto:anacatarinagandra@gmail.com)

**Marina Morhy Pereira**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7529-335X>

Universidade Federal do Pará, Brasil

E-mail: [marinamorhhyp@gmail.com](mailto:marinamorhhyp@gmail.com)

**Erika Joana Nabiça Borges**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8036-6587>

Universidade do Estado do Pará, Brasil

E-mail: [erikanabica10@gmail.com](mailto:erikanabica10@gmail.com)

**Rodrigo Silvano Silva Rodrigues**

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

Universidade Federal do Pará, Brasil

E-mail: [rssr@ufpa.br](mailto:rssr@ufpa.br)

## Resumo

Um sistema de drenagem deve ser dimensionado segundo a chuva de projeto, sendo essencial a escolha do seu método de mensuração para garantir uma concepção segura, eficiente e não onerosa. Considerando isso, essa pesquisa objetivou analisar três métodos de estimativa de intensidade pluviométrica considerando as condições hidrológicas de Marabá-PA, verificando qual deles é mais compatível com os tipos de drenagem urbana. Para tanto, comparou-se curvas IDF (Intensidade-Duração-Frequência) elaboradas a partir dos métodos de equações de chuva, Bell e de Desagregação de Gumbel, sendo estes dois últimos baseados em uma série hidrológica de 46 anos de dados (1973-2018). Os resultados evidenciaram que o método da equação de chuvas apresenta maiores intensidades para baixos períodos de recorrência, onerando sistemas de microdrenagem. Para esse tipo de drenagem, verificou-se ser mais racional utilizar intensidades de chuva a partir do método de Gumbel. Para macrodrenagem, os valores apresentaram menor discrepância, contudo, verificou-se mais razoabilidade na utilização do método de equações de chuva e, na ausência deste, do método de Bell. Os métodos apresentaram excelente concordância entre si – podendo ser comumente equiparáveis em para maiores durações de chuva. Com isso, conclui-se avaliar as condições de duração e recorrência para tipo de drenagem urbana dimensionada, a fim de balancear intensidades de projeto que mitiguem efeitos de oneração e vulnerabilidade a falhas.

**Palavras-chave:** Microdrenagem; Macrodrenagem; Gumbel; Bell; Equação de chuvas intensas.

## Abstract

A drainage system must be dimensioned according to the design rainfall, being essential the choice of its measurement method to guarantee a safe, efficient and inexpensive design. Considering this, this research aimed to analyze three methods of estimating rainfall intensity considering the hydrological conditions of Marabá-PA, verifying which one is more compatible with the types of urban drainage. For that, it was compared IDF (Intensity-Duration-Frequency) curves elaborated from the methods of rain equations, Bell and Gumbel's Disaggregation, the latter two being based on a hydrological data series of 46 years (1973-2018). The results showed that the rain equation method presents greater intensities for low recurrence periods, burdening microdrainage systems. For this type of drainage, it was found to be more rational to use intensities of rain using the Gumbel method. For macrodrainage, the values showed less discrepancy, however, there was more reasonableness in the use of the rain equation method and, in its absence, the Bell method. The methods showed excellent agreement with each other - they can be commonly compared for longer periods of rain. Thus, it was concluded to

evaluate the conditions of duration and recurrence for the type of dimensioned urban drainage, in order to balance project intensities that mitigate the effects of burden and vulnerability to failures.

**Keywords:** Microdrainage; Macrodrainage; Gumbel; Bell; Equation of intense rains.

## Resumen

Un sistema de drenaje debe dimensionarse de acuerdo con la lluvia de diseño, siendo esencial la elección de su método de medición para garantizar un diseño seguro, eficiente y económico. Considerando esto, esta investigación tuvo como objetivo analizar tres métodos para estimar la intensidad de la lluvia considerando las condiciones hidrológicas de Marabá-PA, verificando cuál es más compatible con los tipos de drenaje urbano. Para eso, comparamos las curvas IDF (Intensidad-Duración-Frecuencia) elaboradas a partir de los métodos de lluvia, las ecuaciones de desglose de Bell y Gumbel, las dos últimas basadas en una serie hidrológica de 46 años de datos (1973-2018). Los resultados mostraron que el método de la ecuación de lluvia presenta mayores intensidades para períodos de baja recurrencia, lo que afecta los sistemas de microdrenaje. Para este tipo de drenaje, se encontró que era más racional usar intensidades de lluvia usando el método de Gumbel. Para el macrodrenaje, los valores mostraron menos discrepancia, sin embargo, hubo más razonabilidad en el uso del método de ecuación de lluvia y, en su ausencia, el método de Bell. Los métodos mostraron un excelente acuerdo entre ellos: se pueden comparar comúnmente durante períodos más largos de lluvia. Por lo tanto, concluimos para evaluar las condiciones de duración y recurrencia para el tipo de drenaje urbano dimensionado, a fin de equilibrar las intensidades de los proyectos que mitigan los efectos de la carga y la vulnerabilidad a las fallas.

**Palabras clave:** Microdrenaje; Macrodrainaje; Gumbel; Bell; Ecuación de lluvia intensa.

## 1. Introdução

Inundações urbanas ocorrem em virtude de falhas no desenvolvimento de projetos de drenagem urbana, que devem ser dimensionados considerando um evento extremo de precipitação pluviométrica (conhecido como chuva de projeto) (Rocha Neto & Blanco, 2020). A partir desse parâmetro, é possível estimar uma vazão máxima de contribuição à bacia do sistema, sendo essencial a verificação apropriada das características hidrológicas do local de interesse para a garantia de requisitos mínimos de segurança, durabilidade e eficiência do sistema (Santos; Fernandes & Medeiros, 2019). Assim a previsão equivocada dessa chuva de projeto pode desencadear no subdimensionamento do sistema, incorrendo em danos materiais e, por vezes, humanos (Arisz & Burrel, 2006).

Segundo Bell (1969), o valor desse fator é definido por representações de distribuições

estatísticas de dados de precipitação máxima através das curvas de Intensidade-Duração-Frequência (IDF), possibilitando verificar o evento hidrológico mais significativo (tempestade de projeto). Entretanto, embora a literatura disponha de diversos métodos de determinação das curvas IDF, o método desse autor se destaca pela sua facilidade de aplicação, sendo largamente utilizado em estudos brasileiros (Borges & Thebaldi, 2016; de Souza et al, 2016; Garcia et al, 2011; Nascimento & Jesus, 2017; Oliveira et al, 2008) e internacionais (Alila, 2000; Detzel & Mine, 2011; Froehlich, 1993; Kothiyari & Garde, 1992; Silva & Portela, 2012).

Todavia, a elaboração de curvas IDF pode ser comprometida em razão da ausência de um banco relevante de séries hidrológicas, usualmente constituído de, no mínimo, 30 anos de observações diárias (Tucci, 2012). Ademais, a falta de uma rede confiável de monitoramento de chuvas pluviométricas também impacta a confiabilidade dos possíveis resultados gerados pelas curvas IDF, principalmente quando coletados de estações localizadas em áreas remotas. Nesses casos, equações de intensidade de precipitação adaptadas ao local de interesse podem ser alternativas viáveis, auxiliando na determinação segura de vazões de contribuição. Acerca disso, Souza et al (2012) ajustaram equações de chuva de projeto para 74 estações pluviométricas no estado do Pará.

Outro método utilizado na determinação de curvas IDF consiste na técnica de desagregação de Gumbel (1958), que se baseia na fragmentação de chuvas diárias em chuvas de 24 horas de duração e menores, possibilitando, estimar as intensidades correspondentes. Para isso, o método utiliza coeficientes de desagregação (CETESB, 1979) correspondentes a limites fixados em 5 minutos e 24h, sendo o limite considerado em decorrência de limitações técnicas de precisão de leitura dos pluviógrafos convencionais (Mello & Silva, 2013). Desse modo, para eventos com duração maior que 24h, devem ser utilizados dados coletados diretamente de pluviógrafos.

Assim, este estudo comparou os desempenhos dos métodos de Bell (1969), Souza et al. (2012) e Gumbel (1958) quanto à estimativa de chuvas de projeto para o desenvolvimento de sistemas de drenagem urbana na cidade de Marabá-PA. Esta pesquisa objetivou verificar se os métodos supracitados apresentam resultados similares, auxiliando o projetista de sistemas de drenagem na escolha do método de estimativa de intensidade pluviométrica mais eficiente para a realidade de uma cidade do sudeste do estado do Pará.

## 2. Metodologia

### 2.1. Descrição do Método

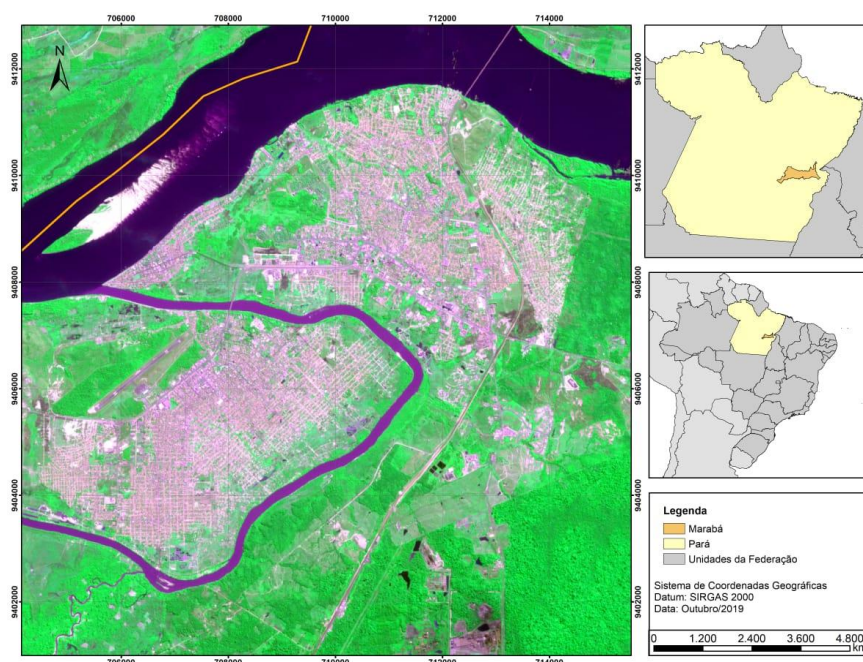
Conforme Dresch, Lacerda & Antunes Junior (2015), este estudo possui natureza aplicada à região da Amazônia Oriental, com especial enfoque ao Sul e Sudeste paraense. A abordagem do problema é quali-quantitativa, pois a partir da mensuração da intensidade de chuva (I) a partir de diferentes métodos analíticos se estabelece uma discussão acerca de restrições e possibilidades de aplicação de cada método segundo o tipo de drenagem urbana. Esta pesquisa possui fins descritivos com procedimentos de estudo de caso, o que segundo Pereira et al (2018), agrega um conjunto de dados e informações que contribuem significativamente com a área de conhecimentos na qual foi utilizada.

As metodologias desenvolvidas neste estudo para determinação das relações de intensidade, duração e frequência das chuvas intensas, já obtiveram resultados satisfatórios, conforme apresentado por Ferreira Filho et al (2020) e Rocha Neto & Blanco (2020).

### 2.2. Área de estudo

Escolheu-se como área de estudo o município de Marabá (Figura 1), localizado na mesorregião do sudeste do estado do Pará, região Norte do Brasil.

**Figura 1** – Caracterização Geográfica de Marabá-PA.



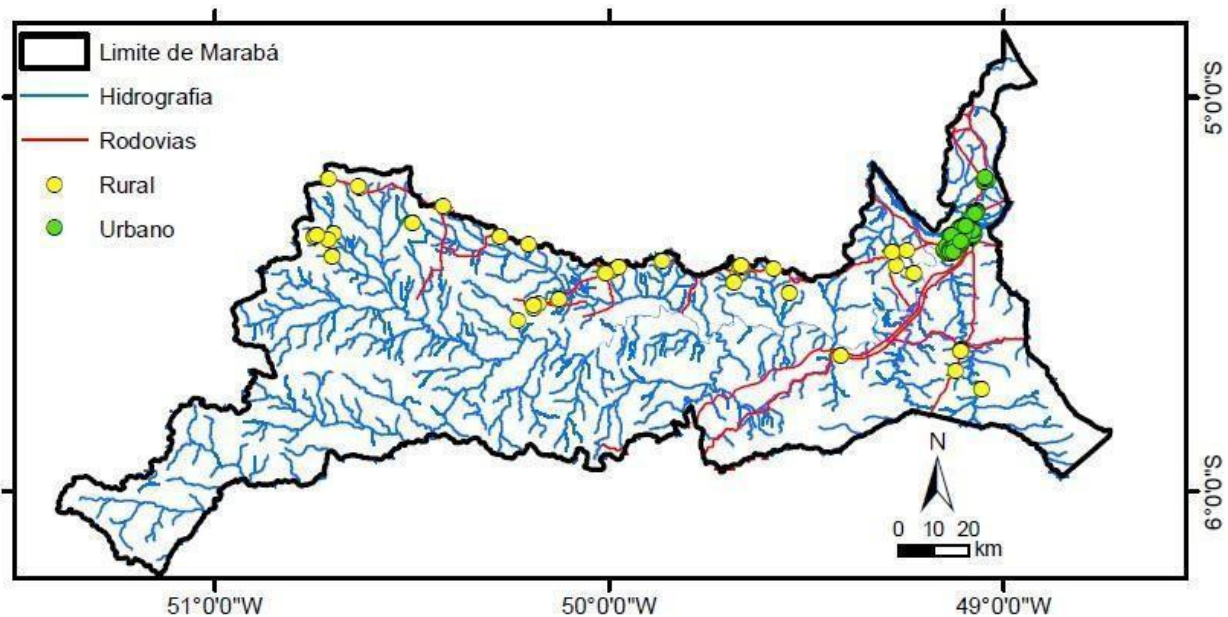
Fonte: Autores (2019).



A cidade está situada em área de relevo acidentado, com altitude média de 84m, localizada nas coordenadas geográficas: 05°21'54"S e 49°07'24"W, (IBGE, 2018). A mesma possui uma população estimada em 279.349 habitantes (IBGE, 2019), com apenas 11% das vias públicas urbanizadas – o que evidencia um possível cenário precarização urbana. Essa situação evidencia uma suscetibilidade do município a frequentes enchentes e inundações urbanas – tornando a população vulnerável a eventos hidrológicos extremos (Rodrigues, 2014).

Quanto à hidrografia (Figura 2), a cidade está inserida na confluência dos rios Itacaiúnas e Tocantins, constituintes da macrorregião hidrográfica do Tocantins-Araguaia, (SEMA, 2014). O clima é tropical semiúmido (Aw/As), com temperaturas médias mensais entre 22,9°C e 32°C. A umidade relativa do ar varia de 73% a 93%, enquanto a insolação média é de 2.400 h/ano. A velocidade média dos ventos é 1,4m/s, com predominância no sentido Nordeste (NE). Quanto ao regime hidrológico, a região possui um período chuvoso de janeiro a março, ao passo que o período menos chuvoso é observado de julho a setembro (IBGE, 2018).

**Figura 2** – Hidrografia do município de Marabá-PA



Fonte: Nascimento (2014).

Ao observar a Figura 2, evidencia-se que o território do município possui densa rede hidrográfica, o que, aliado à precarização de urbanização, corrobora com as premissas levantadas por Rodrigues (2014), enfatizando a necessidade de se planejar adequadamente os sistemas de macro e microdrenagem urbanos. Nesse sentido, a prefeitura de Marabá vem

manifestando recentemente a tendência de investir na rede de drenagem do município, revitalizando sistemas e ampliando suas redes em áreas estratégicas (Marabá, 2019).

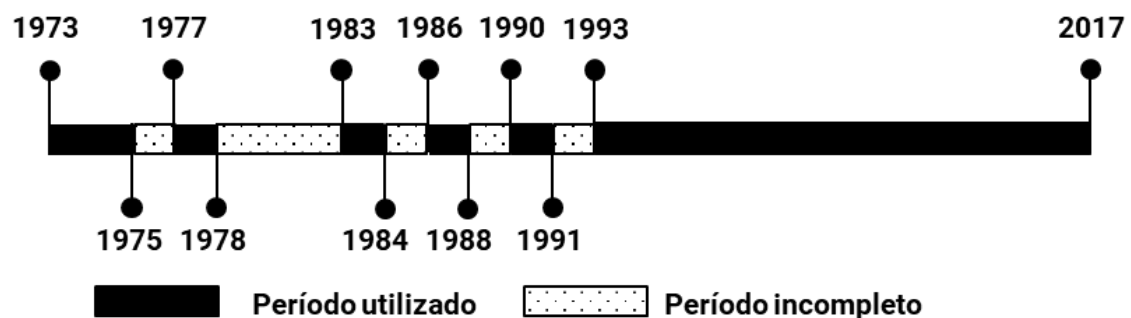
### 2.3. Coleta de Dados

Os dados foram obtidos da plataforma digital do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), que forneceu os valores de precipitação diária da Estação nº 82562, latitude -5.36, Longitude -49,13, altitude 95m. A série hidrológica coletada compreendeu o período de 1973 até 2018, totalizando 46 anos de amostras diárias de precipitação.

### 2.4. Tratamento de dados

Os dados diários foram agrupados em anos, utilizando apenas os anos hidrológicos (constituídos de, pelo menos, 360 observações diárias). Verificou-se que dos 46 anos, 11 foram descartados em função da insuficiência de observações para constituir um ano hidrológico, resultando na série final evidenciada na Figura 4:

**Figura 4 – Série hidrológica utilizada para Marabá-PA**



Fonte: Autores (2019).

De acordo com a Figura 4, utilizou-se na série utilizada os anos hidrológicos completos, cujos períodos são: 1973-1975; 1977-1978; 1983-1984; 1986-1988; 1990-1991; 1993-2017, totalizando 13.868 observações diárias. Ressalta-se que, após o refinamento dos dados, a série hidrológica apresentou 37 anos completos, acima do mínimo recomendado, que é de 30 anos (Tucci, 2012).

## 2.5. Análise de dados

### 2.5.1. Método de Bell (1969)

Para obter a Precipitação Máxima Provável (PMP), pode-se utilizar o método de Bell (1969), que a relaciona com uma determinada duração e período de recorrência. Segundo Righetto (1998), Bertoni e Tucci (2012), o método de Bell (1969) associa a precipitação de uma chuva padrão com duração curta (60 minutos) e forte intensidade, com tempo de recorrência de 2 anos, conhecida como chuva P2.60. A Equação 1 descreve o método:

$$h_{(t;Tr)} = (\alpha \times \ln(T_r + \beta_1)) \times (\beta_2 \times T_d^\gamma - \beta_3) \times h_{(60;2)} \quad \text{Eq. (1)}$$

Onde  $h_{(t;Tr)}$  é a Precipitação Máxima Provável (PMP) (em milímetros) para uma duração  $T_d$  (em minutos) e um período de recorrência  $T_r$  (em anos);  $h_{(60;2)}$  é a chuva P2.60;  $\alpha$ ,  $\beta_1$ ,  $\beta_2$ ,  $\beta_3$  e  $\gamma$  são parâmetros regionais ajustados pelo método dos mínimos quadrados.

De acordo com Oliveira *et al.* (2008), o método só é viável se for possível estimar a chuva P2.60, que pode ser realizado utilizando dados de poucos anos de séries hidrológicas, ou multiplicando a precipitação crítica ( $h_{(1 \text{ dia};2)}$ ), com duração de um dia e período de recorrência de 2 anos, por um fator regional  $K$ , como na Equação 2. Foi utilizado o fator  $K$  igual a 0,51 proposto por Righetto (1998):

$$h_{(60;2)} = K \times h_{(1 \text{ dia};2)} \quad \text{Eq. (2)}$$

Assim, ajustando a Equação 1 aos parâmetros propostos por Righetto (1998) e baseado na análise das estações pluviométricas de vários continentes por Garcia *et al.* (2011), foi obtida a Equação 3:

$$PMP(b) = h_{(t;Tr)} = (0,35 \times \ln(T_r + 0,76)) \times (0,54 \times T_d^{0,25} - 0,50) \times h_{(60;2)} \quad \text{Eq. (3)}$$

Cabe destacar que Gonçalves (2011) restringe a aplicabilidade da equação de Bell (1969) a chuvas com tempo de duração entre 05 e 120 minutos e tempo de recorrência entre 2 e 100 anos. Para se obter as intensidades de chuva ( $I$ , em mm/h), utilizou-se a Equação 4:

$$I = \frac{PMP(b)}{(T_d/60)} \quad \text{Eq. (4)}$$

Contudo, para compatibilizar com os demais métodos, serão analisadas as intensidades máximas de precipitação (PMP) pelas durações de 5, 10, 15, 20, 25, 30 e 60. Os períodos de recorrência adotados serão de 5, 10, 25, 50 e 100 anos, conforme recomenda Gonçalves (2011).

### 2.5.2. Equação de chuvas intensas

A partir da equação de chuva intensa proposta por Souza *et al.* (2012) (Equação 5), pôde-se calcular as intensidades máximas de precipitação (I, em mm/h) em função das mesmas condições de tempos de duração (Td, em minutos) e de recorrência (Tr, em anos) propostos por Gonçalves *et al.* (2011), utilizando os coeficientes determinados para Marabá-PA:

$$I = \frac{1242,9246 \times Tr^{0,1057}}{(t_d + 9,7849)^{0,7242}} \quad \text{Eq. (5)}$$

Em sua metodologia, Souza *et al.* (2012) utilizaram uma série histórica de 20 anos de dados hidrológicos diários para o município de Marabá-PA, obtida no banco de dados da Agência Nacional de Águas (ANA). Em seu estudo, foram verificados os valores anuais máximos de precipitação diária, ajustando os dados à distribuição de Gumbel, sendo submetida ao teste de Kolmogorov-Smirnov. No mesmo, os autores demonstraram que o modelo obteve um ajuste satisfatório das distribuições de eventos extremos da hidrologia para o modelo.

### 2.5.3. Método de Gumbel (1958)

Neste estudo, também foi utilizado o Método de Gumbel ou de desagregação das chuvas. Para poder comparar com os métodos de Souza *et al.* (2012) e de Bell (1969), foram analisadas apenas a máximas intensidades pelas durações de 5, 10, 15, 25, 30 e 60 minutos. Para a desagregação, foi calculada a precipitação de 1 dia, a associada a determinado tempo de retorno. Sendo a precipitação de 1 dia, obtida por pluviômetro em um intervalo de 24 horas. A densidade de probabilidade da distribuição pode ser calculada pela Equação 6:

$$f(x; \alpha; \beta) = 1/\alpha \exp \left\{ -\left(x - \alpha/\beta\right) - \exp \left[ -\left(x - \alpha/\beta\right) \right] \right\} \quad \text{Eq. (6)}$$

Em que  $\alpha$  é o parâmetro de locação e  $\beta$  é o parâmetro de escala, sendo  $\beta > 0$ . E a função densidade acumulada é calculada pela Equação 7:

$$P(X \leq x) = \exp\{-\exp[(x - \alpha)/\beta]\} \quad \text{Eq. (7)}$$

Em que  $P(X \leq x)$  mostra qual a probabilidade de acontecer uma precipitação menor do que um determinado valor de  $x$ . Dessa maneira, a partir da precipitação de 1 dia, foi efetuado o método de desagregação das chuvas em alturas pluviométricas de menor duração utilizando a tabela proposta pela CESTEB (1979), cujos coeficientes são apresentados na Tabela 1.

**Tabela 1** - Tabela de Distribuição de Gumbel

Relação de Altura Pluviométrica	Constante de Desagregação
24h/1d	1,14
12h/24h	0,85
10h/24h	0,82
8h/24h	0,78
6h/24h	0,72
1h/24h	0,42
30min/1h	0,74
25min/30min	0,91
20min/30min	0,81
15min/30min	0,70
10min/30min	0,54
5min/30min	0,34

Fonte: DAEF/CETESB (1986).

As constantes apresentadas na Tabela 1, são utilizadas para desagregar a chuva para períodos menores de precipitação. Ou seja, com os dados de precipitação de 1 dia é possível desagregar a chuva para qualquer das relações apresentadas na Tabela (12h, 10h, 8h, 6h, 1h, 30min, 25min, 20min, 15min, 10min e 5min). É possível relacionar estes períodos menores de precipitação com os tempos de retorno e duração da chuva.

### 2.5.4. Comparação dos métodos (Willmott, 1982)

A comparação entre as três metodologias foi realizada utilizando o índice de concordância proposto por Willmott (1982), adaptado pela Equação 8:

$$d = 100 \left[ 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (\varepsilon_i - o_i)^2 + (u_i - o_i)^2 + (u_i - \varepsilon_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|\varepsilon_i - e_m| + |o_i - o_m|)^2 + (|u_i - u_m| + |o_i - o_m|)^2 + (|u_i - u_m| + |\varepsilon_i - e|)^2} \right] \quad \text{Eq. (8)}$$

Sendo  $d$  o índice de concordância (em %);  $o_i$ ,  $e_i$  e  $u_i$  os valores máximos estimados de chuvas pelos métodos de Bell (1969), Souza *et al.* (2012) e Gumbel (1958), respectivamente;  $o_m$ ,  $e_m$  e  $u_m$  as médias das intensidades estimadas pelos métodos de Bell (1969), Souza *et al.* (2012) e Gumbel (1958) respectivamente. Para avaliar o índice de concordância, utilizou-se os parâmetros de performance sugeridos por Camargo e Sentelhas (1997) (Tabela 2):

**Tabela 2** – Critérios de avaliação do índice de concordância de Willmott (1982)

Performance	Muito Ruim	Ruim	Pobre	Regular	Bom	Muito Bom	Excelente
	Índice de Concordância (d)	$\leq 40\%$	41% a 50%	51% a 60%	61% a 65%	66% a 75%	76% a 85%

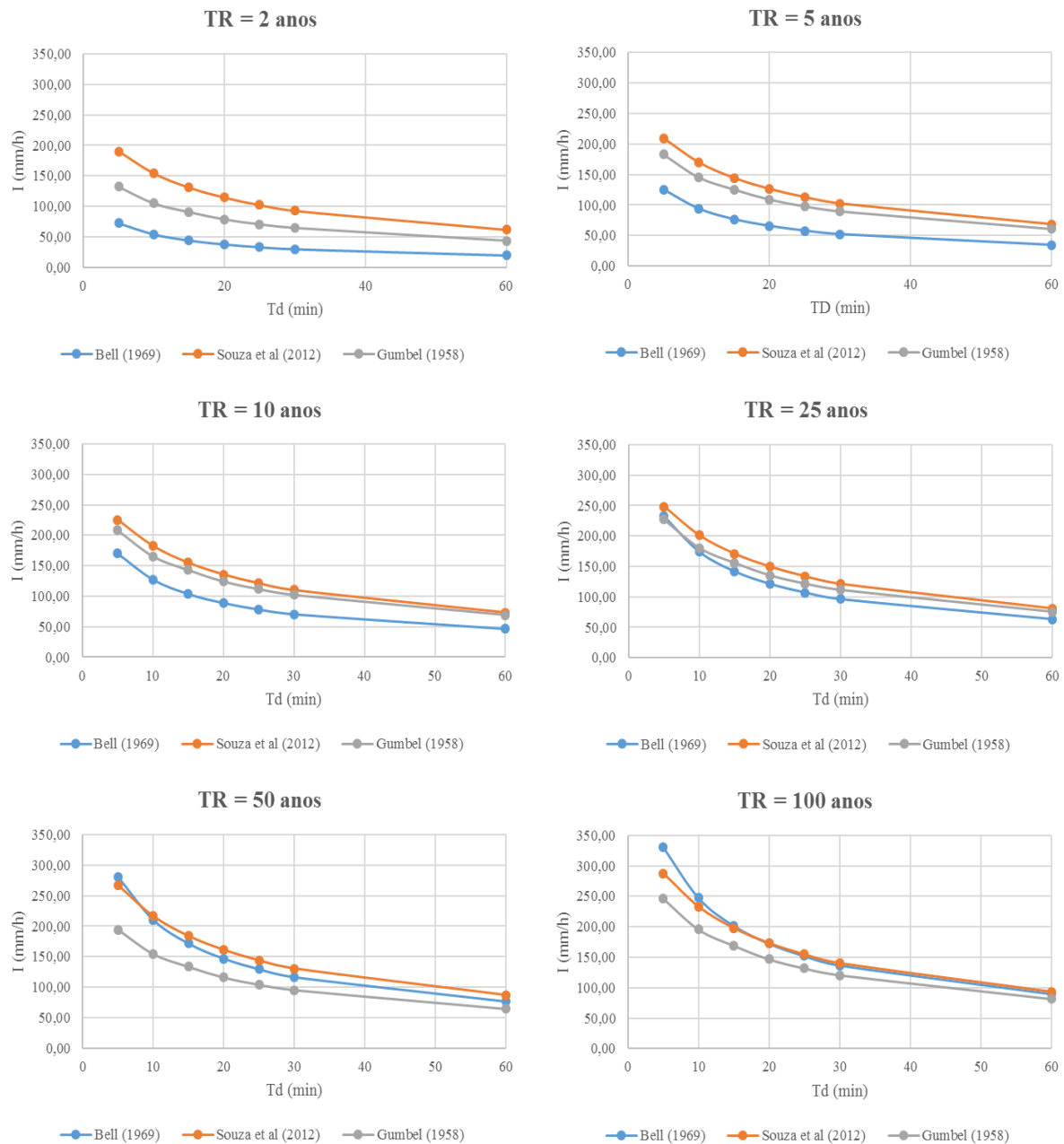
Fonte: Camargo e Sentelhas (1997) (adaptado).

Na Tabela 2, é possível verificar que os índices de concordância apresentam resultados que variam de “Muito Ruim”, para percentuais de concordância abaixo de 40%, a “Excelente”, para acima de 85%. Maiores percentuais de concordância significam que os resultados encontrados pelos métodos de cálculo de Bell (1969), Souza *et al.* (2012) e Gumbel (1958) são mais homogêneos.

### 3. Resultados e Discussão

Após o tratamento dos dados (seção 2.4) e utilização das Equações 5, 6 e 7, elaborou-se a Figura 5, que apresenta as relações entre Intensidade (I) em função do tempo de duração (Td) a partir dos métodos de Gumbel (1958), Bell (1969) e Souza *et al.* (2012).

**Figura 5** – Intensidade (mm/h) para Marabá-PA, considerando TR de 2, 5, 10, 25, 50 e 100 anos



Fonte: Autores (2019).

Conforme indicado por Bertoni e Tucci (2012), a Figura 5 ilustra que a intensidade de precipitação varia de forma inversamente proporcional à duração da chuva para um mesmo tempo de recorrência. Ao analisar o comportamento dos métodos em relação ao período de recorrência, verifica-se que quanto maior o TR, mais próximos serão os resultados obtidos pelos métodos. Essa acurácia também é válida para maiores durações de chuva.

Tal consideração pode ser útil em projetos de macrodrenagem, que comumente utilizam tempos de recorrência entre 25 e 100 anos (DAEE & CETESB, 1980). Nas mesmas, a adoção do método de Bell (1969), Souza *et al.* (2012) ou Gumbel (1958) se tornaria facultativa, pois os resultados de intensidades não apresentam diferenças significativas.

Entretanto, TR mais baixos apresentam maior discrepância. O método de equações de chuvas de Souza *et al.* (2012) apresenta os valores mais conservadores, em especial para chuvas de menor duração. Na prática, o desenvolvimento de um projeto de microdrenagem, que normalmente utiliza TR entre 2 e 10 anos (DAEE & CETESB, 1980), pelo método de Souza *et al.* (2012), implicaria no superdimensionamento do sistema, onerando-o.

O comportamento da curva de Bell (1969) apresentou os valores mais baixos, o que requer especial atenção se utilizado em casos de sistemas de microdrenagem com baixa duração de chuva e menores tempos de recorrência. Tal decisão pode resultar no subdimensionamento do sistema, tornando-o mais suscetível a falhas.

O método de Gumbel (1958) apresentou valores intermediários até TR igual a 25 anos. Isso indica que o mesmo pode ser utilizado no dimensionamento de microdrenagem como alternativa em locais onde inexistem equações de chuva, haja vista que suas previsões são mais conservadoras do que as de Bell (1969). Contudo, a partir de 50 anos (TR geralmente associado a macrodrenagem), Gumbel (1958) se torna o método com as menores previsões – tornando o sistema vulnerável. Nesse caso, é mais recomendável utilizar o método de Bell (1969), se considerar implantar o projeto em uma região sem previsão de equações de chuva.

Quanto ao índice de concordância, verificou-se que os métodos obtiveram performance excelente ( $d = 91,09\%$ ). Isso significa que, em geral, os métodos conseguem prever a intensidade da chuva de forma não destoante entre si. As discrepâncias evidenciadas entre eles podem se dar em virtude do período de abrangência das séries hidrológicas que ambas os métodos utilizaram: enquanto Souza *et al.* (2012) utilizaram 20 anos de registros diários, Bell (1969) e Gumbel (1958) foram estruturados a partir de uma série de 46 anos.

Tal diferença de períodos incorre diretamente no comportamento da normal hidrológica da região, inferindo que, quanto maior a série utilizada na construção das curvas IDF, maior será a discrepância dos métodos de Bell (1969) e Gumbel (1958) com o de Souza *et al.* (2012). Logo, menor será a performance do índice de concordância de Willmott (1982) será menor, tornando a comparação mais frágil e possivelmente comprometida.



#### 4. Considerações Finais

A definição da chuva de projeto, quantificada por meio da sua intensidade (em mm/h), é a principal componente hidrológica no dimensionamento de um sistema de drenagem. Dessa forma, os valores de intensidade obtidos variam conforme o método adotado, bem como das condições de comportamento do evento extremo (como os tempos de duração e de recorrência).

Neste estudo, pôde-se comprovar que a equação de chuvas intensas proposto por Souza *et al.* (2012) mensuram valores de intensidade bem acima do previsto pelos métodos de Bell (1969) e Gumbel (1958), quando analisados baixos tempos de recorrência e baixas durações. Em termos de microdrenagem urbana, a escolha deste primeiro método pode implicar em um possível superdimensionamento hidrológico do sistema, tornando a obra mais onerosa. Assim, recomenda-se utilizar nesses casos o método de Gumbel (1958), por apresentar valores intermediários que evitam tanto condições de superdimensionamento (evitando o maior custo de projeto) quanto de subdimensionamento (evitando a segurança estrutural e a suscetibilidade de falha).

Em sistemas de macrodrenagem, os métodos propostos não apresentam – em geral – diferenças significativas. Contudo, o método de Bell (1969) pode ser considerado o mais indicado se a região analisada não tiver equação de chuva representativa. O índice de concordância – qualificado como excelente (91,09%) atesta essa conformidade entre a mensuração da intensidade dos métodos, atribuindo à escolha de qual método utilizar ao projetista de drenagem segundo suas ferramentas e instrumentos de avaliação hidrológica disponíveis.

Com isso, conclui-se que o método de Gumbel (1958) é mais aplicável em cenários de dimensionamento de sistemas de microdrenagem – enquanto que os métodos de Bell (1969) e Souza *et al.* (2012) são mais direcionados a sistemas de macrodrenagem, condição esta que possivelmente atende de forma satisfatória quesitos de viabilidade técnica e econômica. Para trabalhos futuros, sugere-se utilizar equações de chuva com séries hidrológicas semelhantes às escolhidas para estruturar os métodos de Bell e Gumbel, analisando se o tamanho da amostra possui influência direta na determinação do método mais adequado para cada tipo de drenagem urbana.

## Referências

- Alila, Y. (2000). Regional rainfall depth-duration-frequency equations for Canada. *Water Resources Research*, 36 (7): 1767-1778.
- Arisz, H. & Burrell, B. C. (2006). Urban drainage infrastructure planning and design considering climate change. *Proceedings IEEE, EIC Climate Change Conference*, 1-9. DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/EICCCC.2006.277251>.
- Bell, F. C. (1969). Generalized rainfall-duration-frequency relationships. *Journal of the hydraulics division*, 95(1): 311-328.
- Bertoni, J. C.; Tucci, C. E. M. (2012). Precipitação. In: Tucci, C. E. M. Hidrologia – Ciência e Aplicação. 4ª. Ed. Porto Alegre: UFRGS, 177-241.
- Borges, G. M. R.; Thebaldi, M. S. (2016). Estimativa da precipitação máxima diária anual e equação de chuvas intensas para o município de Formiga, MG, Brasil. *Revista Ambiente e Água*, 11(4), 891-902. DOI: <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.1823>.
- CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. (1979). Drenagem urbana: manual de projeto. São Paulo, 476p.
- Camargo, A. P. & Sentelhas, P. C. (1997). Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa de evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo, Brasil. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, 5(1), 89-97.
- DAEE/CETESB – Departamento de Água e Energia Elétrica & Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. (1980). Drenagem urbana: manual de projeto. São Paulo: DAEE/CETESB.
- 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

Dresch, A., Lacerda, D. P. & Antunes Junior, J. A. V. (2015). Design Science Research: método de pesquisa para avanço da Ciência e Tecnologia. Porto Alegre: Bookman.

Ferreira Filho, D. F., Rodrigues, R. S. S., Silva, M. N. A., Fernandes, L. L., & Crispim, D. L. (2020). Application of different methods for determining intensity-duration-frequency curves in Belterra in the State of Pará, Brazil. *Research, Society and Development*, 9(2): 1-26. DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i2.2073>

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

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).

Gumbel, E. J. (1958). Statistics of Extremes. New York: Columbia University Press, 375p.

Gonçalves, L. D. (2011). Relações Intensidade-duração-frequência com base em estimativas de precipitação por satélite. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental), Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2018). Marabá: panorama. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pa/maraba/panorama>. Acesso em 26 dez. 2019.

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

Marabá, prefeitura. (2019). “SEVOP: Obras de drenagem iniciam nas Folhas 12 e 13, na Nova Marabá”. Acesso em 15 jan. 2020, de <http://maraba.pa.gov.br/sevop-obras-de-drenagem-iniciam-nas-folhas-12-e-13-na-nova-maraba/>.

Mello, C. D. & Silva, A. D. (2013). Hidrologia: princípios e aplicações em sistemas agrícolas. 1ª Ed. Lavras: UFLA.

Nascimento, J. S. (2014). Evolução recente da leishmaniose tegumentar em Marabá, cidade polo no sudeste do Pará, Brasil. V Semana Acadêmica da UEPA – Campus Marabá. Disponível em: <http://docplayer.com.br/66427561-V-semana-academica-da-uepa-campus-de-maraba-as-problematicas-socioambientais-na-amazonia-oriental-22-a-24-de-outubro-de-2014.html>. Acesso em 15 jan. 2019.

Nascimento, Y, S.; Jesus, J. B. (2017). Relações intensidade-duração-frequência de precipitações para o município de Tucano, Bahia. *Agropecuária Científica no Semiárido*, 13(4), 302-306, DOI: <http://dx.doi.org/10.30969/acsa.v13i4.918>.

Oliveira, L. F. C., Antonini, J. C. A., Fioreze, A. P. & Silva, M. A. S. (2008). Métodos de estimativa precipitação máxima para o Estado de Goiás. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 12(35), 620-625.

Pereira, A. S., Shitsuka, D. M., Parreira, F. J. & Shitsuka, R. (2018). Metodologia da Pesquisa Científica. [e-book]. Santa Maria: UAB/NTE/UFMS. Disponível em: [https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/15824/Lic\\_Computacao\\_Metodologia-Pesquisa-Cientifica.pdf?sequence=1](https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/15824/Lic_Computacao_Metodologia-Pesquisa-Cientifica.pdf?sequence=1). Acesso em 15 jan. 2019.

Righetto, A. M. (1998). **Hidrologia e Recursos Hídricos**. 1ª Ed. São Carlos: EESC/USP.

Rocha Neto, B. P. & 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>.

Rodrigues, M. J. L. (2014). **Eventos hidrológicos extremos em Marabá-PA**. Monografia (Graduação em Meteorologia), Instituto de Geociências. Belém: Universidade Federal do Pará.

Santos, S. L., Fernandes, V. O., Medeiros, Y. D. P. (2019). Sustentabilidade de cidades no contexto da integração entre a gestão dos recursos hídricos e planejamento urbano e territorial. *Bahia Análise & Dados*, 29(2), 54-75.

SEMA – Secretaria de Estado de Meio Ambiente. (2014). Gestão das Águas: por um futuro sustentável. Cartilha informativa. 27p. Disponível em: [https://www.semas.pa.gov.br/wp-content/uploads/2016/07/CARTILHA\\_Gest%C3%A3o-das-%C3%81guas-por-um-futuro-sustent%C3%A1vel.pdf](https://www.semas.pa.gov.br/wp-content/uploads/2016/07/CARTILHA_Gest%C3%A3o-das-%C3%81guas-por-um-futuro-sustent%C3%A1vel.pdf). Acesso em 26 dez. 2019.

Silva, A. T., & Portela, M. M. (2012). Stochastic assessment of reservoir storage-yield relationships in Portugal. *Journal of Hydrologic Engineering*, 18(5): 567-575. DOI: [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)HE.1943-5584.0000650](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0000650).

Souza, R. O. R. M., Scaramussa, P. H. M., Amaral, M. A. C. M., Pereira Neto, J. A., Pantoja, A. V., Sadeck, L. W. R. (2012). Equações de chuva intensas para o Estado do Pará. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 16(9), 999-1005.

Tucci, C. E. M. (Org.). (2012). Hidrologia: Ciência e Aplicação. 4ª Ed. Porto Alegre: UFRGS/ABRH.

Willmott, C. J. (1982). Some comments on the evaluation of model performance. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 63, 1309-1313.

#### **Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito**

Gabriel Villas Boas de Amorim Lima – 20%

Ana Catarina Gandra de Carvalho – 20%

Marina Morhy Pereira – 20%

Erika Joana Nabiça Borges – 20%

Rodrigo Silvano Silva Rodrigues – 20%