

ATUALIZAÇÃO DE MODELOS DE CHUVA INTENSA PARA MUNICÍPIOS DO SUDESTE E CENTRO-OESTE DO BRASIL

Flávia Vilela Corrêa

Universidade Federal de Lavras, Departamento de Recursos Hídricos, Lavras, MG, Brasil
flavia-vilela-correa@hotmail.com

Mateus Henrique Barbosa

Universidade Federal de Lavras, Departamento de Recursos Hídricos, Lavras, MG, Brasil
mateus.hb@outlook.com

Karine Maciel de Carvalho

Universidade Federal de Lavras, Departamento de Recursos Hídricos, Lavras, MG, Brasil
karine_engagri@hotmail.com

Alice Raquel Caminha

Universidade Federal de Lavras, Departamento de Recursos Hídricos, Lavras, MG, Brasil
alice.caminha1@estudante.ufla.br

Lucas Ribeiro Guimarães

Universidade Federal de Lavras, Departamento de Recursos Hídricos, Lavras, MG, Brasil
lucas.engamb.ufla@gmail.com

Michael Silveira Thebaldi

Universidade Federal de Lavras, Departamento de Recursos Hídricos, Lavras, MG, Brasil
michael.thebaldi@ufla.br

Gabriela Rezende de Souza

Universidade Federal de Lavras, Departamento de Engenharia Ambiental, Lavras, MG, Brasil
rezendesgabriela@gmail.com

RESUMO

Diante das mudanças climáticas, é essencial revisar e atualizar as equações de chuvas intensas. Este estudo visou ajustar equações de intensidade-duração-frequência (IDF) para Brasília-DF, Belo Horizonte-MG e Lavras-MG, comparando-as com equações presentes na literatura científica nacional. Utilizaram-se séries históricas de precipitações máxima diárias anuais e aplicaram-se distribuições de probabilidade de Gumbel e Gama a 2 Parâmetros. A avaliação da aderência das funções permitiu a seleção da distribuição não paramétrica mais adequada para cada município. O método de desagregação de chuvas foi utilizado para diferentes tempos de retorno, gerando as curvas IDF correspondentes. Observou-se que, para Brasília e Lavras, maiores tempos de retorno e menores tempos de duração resultaram em maior dispersão de dados em relação às intensidades de precipitação estimadas pelas referências e pelo presente estudo. Esse comportamento não foi observado para Belo Horizonte. Os coeficientes ajustados foram: para Brasília, $K = 816,70$, $a = 0,081$, $b = 8,990$ e $c = 0,704$; para Belo Horizonte, $K = 1076,16$, $a = 0,114$, $b = 9,783$ e $c = 0,724$; e para Lavras, $K = 815,55$, $a = 0,137$, $b = 9,782$ e $c = 0,724$. Os modelos apresentaram um coeficiente de determinação (R^2) superior a 99,8%.

Palavras-chave: Hidrologia estatística. Curvas IDF. Eventos extremos. Distribuição Gama. Distribuição Gumbel.

HEAVY RAINFALL MODELS UPDATE FOR MUNICIPALITIES IN THE SOUTHEAST AND CENTRAL-WEST REGIONS OF BRAZIL

ABSTRACT

Due to the climate change, it is essential to review and update heavy rainfall equations. This study aimed to fit intensity-duration-frequency (IDF) equations for Brasília-DF, Belo Horizonte-MG, and Lavras-MG, comparing them with equations from the national scientific literature. Historical series of annual maximum daily rainfall were used, and the probability distributions Gumbel for Maximums and Gamma Two-Parameter were applied. The fitting evaluation

allowed the selection of the most suitable non-parametric distribution for each municipality. The rainfall disaggregation method was applied for different return periods, generating the corresponding IDF curves. It was observed that for Brasília and Lavras, longer return periods and shorter durations resulted in greater data dispersion compared to the rainfall intensities estimated by the compared references and the present study. This behavior was not observed for Belo Horizonte. The fitted coefficients were: for Brasília, $K = 816.70$, $a = 0.081$, $b = 8.990$ and $c = 0.704$; for Belo Horizonte, $K = 1076.16$, $a = 0.114$, $b = 9.783$ and $c = 0.724$; and for Lavras, $K = 815.55$, $a = 0.137$, $b = 9.782$ and $c = 0.724$. The models showed a coefficient of determination (R^2) greater than 99.8%.

Keywords: Statistical Hydrology. IDF curves. Extreme events. Gamma Distribution. Gumbel Distribution.

INTRODUÇÃO

Chuvas intensas são fenômenos hidrológicos caracterizados por apresentarem uma grande lâmina precipitada em um pequeno intervalo de tempo (Sauvage *et al.*, 2020). Esses eventos possuem baixa previsibilidade, grande variabilidade espacial e temporal e são conhecidos por causarem prejuízos de caráter social, econômico e ambiental (Carmo *et al.*, 2019; Rousta *et al.*, 2017). Isso acontece porque, devido aos grandes volumes precipitados em um período de tempo relativamente curto, as chuvas intensas aumentam a ocorrência de escoamento superficial, o que pode ocasionar enchentes, inundações, desmoronamentos, assoreamento de rios e lagos, entre outros (Sangal; Singhal; Saini, 2018).

De acordo com Cunha *et al.* (2018), as enchentes e inundações são os desastres naturais que atingem a maior extensão geográfica do mundo. Os danos causados por eventos intensos variam de pequena a grande escala, tanto em áreas urbanas quanto rurais. No entanto, em zonas urbanas, as consequências desses fenômenos tendem a ser ainda mais acentuadas (Tucci, 2007). As bacias urbanas se tornam mais vulneráveis aos eventos extremos, devido à alteração provocada nos componentes do ciclo hidrológico, principalmente, pela impermeabilização do solo e pela falta de disciplinamento da ocupação urbana (Tucci, 2001).

Ademais, há limitações no planejamento urbano em relação às medidas de controle e mitigação dos impactos associados a precipitações. Na implantação do aparelhamento urbano, sistemas de drenagem e dispositivos hidráulicos, frequentemente são dimensionados inadequadamente ou baseiam-se em trabalhos desatualizados quanto às alterações dos padrões climáticos, como consequência do processo de urbanização (Castro; Alvim, 2022; Tucci, 2005).

Para Braga *et al.* (2018), o estudo do comportamento das precipitações de uma região é essencial para a gestão adequada dos recursos hídricos e redução dos riscos de desastres hidrológicos. Mello e Viola (2013) discorrem sobre a importância da compreensão e caracterização da dinâmica espaço-temporal das chuvas intensas como forma de fornecer subsídios para o dimensionamento adequado de obras hidráulicas, projetos de uso e ocupação do solo e identificação de áreas de risco de ocupação humana. Em estudos sobre precipitações, é possível compreender os padrões de comportamento da chuva e estimar a sua probabilidade de ocorrência em um determinado espaço de tempo (Beskow *et al.*, 2015; Santos *et al.* 2018) e, assim, dimensionar de forma adequada sistemas de drenagem de águas pluviais. Ainda, de acordo com Pruski *et al.* (2006), as precipitações podem ser caracterizadas por meio das relações entre intensidade, tempo de duração e frequência de ocorrência (IDF), que propiciam a modelagem de chuvas intensas. De forma simples, esta relação é obtida por meio da modelagem de séries históricas de dados pluviométricos em que a estimativa da intensidade de uma chuva, para determinado tempo de duração e período de retorno, é obtida estatisticamente com base em eventos passados (Bertoni; Tucci, 1993).

As relações IDF apresentam aplicações práticas e relevantes em diversas áreas da engenharia, como em projetos de obras hidráulicas em zonas rurais e urbanas (Oliveira *et al.*, 2019). Modelos hidrológicos de chuva-vazão, por exemplo, utilizam as equações IDF para estimar o deflúvio de um sistema de drenagem ou bacia hidrográfica e são relevantes em projetos como o de irrigação e barragens e no controle de erosão e perda de solo (Back; Wildner, 2021). As curvas IDF também são utilizadas na

determinação do tempo de concentração, hietogramas, chuvas de projeto e dimensionamento de estruturas hidráulicas (Oliveira *et al.*, 2019). No Brasil, os prejuízos causados pelos eventos extremos têm sido recorrentes nas últimas décadas, como o que foi observado no estado do Rio Grande do Sul em abril de 2024, que causou grandes impactos sociais, econômicos e, principalmente, relacionados à perda de vidas. Mesmo em Brasília - DF, cidade inicialmente planejada, episódios de inundações e enchentes são frequentes. Em 2016, por exemplo, após um evento de chuva intensa, o córrego Riacho Fundo transbordou e atingiu 60 lotes próximos de sua região, deixando dezenas de famílias desalojadas (Brandão, 2016).

Semelhantemente, nos anos de 2017 e 2020, centenas de habitantes da região metropolitana de Belo Horizonte - MG ficaram desabrigados devido a ocorrência de desastres como enchentes, deslizamentos de solo e alagamentos, ocasionados por eventos meteorológicos e climatológicos intensos (INMET, 2019; Nascimento *et al.*, 2020). Em Lavras - MG, por sua vez, as inundações dos córregos urbanos são recorrentes e, embora o município possua um Plano Municipal de Meio Ambiente e Saneamento, não existe um plano de drenagem urbana implementado, assim, há uma lacuna quanto às diretrizes de gestão de cheias e inundações (Souza *et al.*, 2021).

Pessoa e Steinke (2020) estudaram os processos de uso e ocupação do solo em duas bacias hidrográficas de primeira ordem localizadas em Brasília - DF, em dois períodos distintos: 1964 e 2019. Uma bacia estava localizada na Asa Norte, e outra em uma região de recente expansão urbana, denominada Águas Claras. Os resultados indicaram que a cidade avançou exponencialmente sobre as áreas de vegetação original, com variações acima de 500% da substituição do cerrado por área urbana. Os autores ainda destacaram que o planejamento arquitetônico da cidade não levava em conta as características essenciais do terreno, uma vez que foram desconsiderados elementos básicos, como topografia e relevo, que fornecem subsídios extremamente relevantes para sistemas de drenagem de águas pluviais.

Ferraz *et al.* (2020) ajustaram as relações IDF das precipitações para a cidade de Itabuna, BA, utilizando o método de desagregação de chuvas diárias e ressaltaram que, apesar de se tratar de uma análise probabilística, as equações de chuvas intensas são essenciais no planejamento urbano e dimensionamento de estruturas hidráulicas e de drenagem. Além disso, os autores enfatizaram a importância da atualização das equações IDF à medida que novos dados são disponibilizados. Da mesma forma, Nascimento *et al.* (2020) e Silva Junior *et al.* (2020) apontam a necessidade de remodelar periodicamente as equações de chuvas a fim de se evitar, principalmente, o subdimensionamento de obras de engenharia.

Penner e Nascimento (2018) recomendam que as equações IDF sejam atualizadas a cada 5 anos para que assim seja possível contemplar eventuais mudanças na dinâmica temporal das precipitações. Para isso, Back (2020) e Braga *et al.* (2018) orientam a utilização de séries históricas com dados mais recentes possíveis. A necessidade de se atualizar periodicamente as equações IDF se deve à não estacionariedade das séries históricas (Silva; Araújo, 2013), principalmente em um cenário de intensificação dos eventos extremos devido às mudanças climáticas.

Dessa forma, dada a relevância e aplicabilidade dos estudos relacionados a chuvas intensas, este trabalho teve como objetivo atualizar as relações IDF para Brasília – DF, Lavras – MG e Belo Horizonte – MG, situadas sob diferentes classificações climáticas.

METODOLOGIA

Descrição das regiões de estudo

Foram utilizados dados de estações pluviométricas localizadas nos municípios de Brasília - DF, Lavras - MG e Belo Horizonte - MG. Brasília está localizada na região Centro-Oeste do país, no Planalto Central, e possui uma expansão territorial de aproximadamente 5.761 km² (IBGE, 2021). A região é constituída pelo bioma Cerrado (IBGE, 2021), e se enquadra, de acordo com a classificação de Köppen-Geiger, no clima Aw, ou seja, tropical com inverno seco (Bimaganbetova; Memom; Sheriyev, 2020). Segundo as normais climatológicas do Brasil (1991-2020), publicadas pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), a precipitação total anual é de 1478 mm com temperatura média anual de 21,4°C e umidade relativa do ar anual de 64,3% (INMET 2019). Quanto à hidrografia, o Distrito Federal

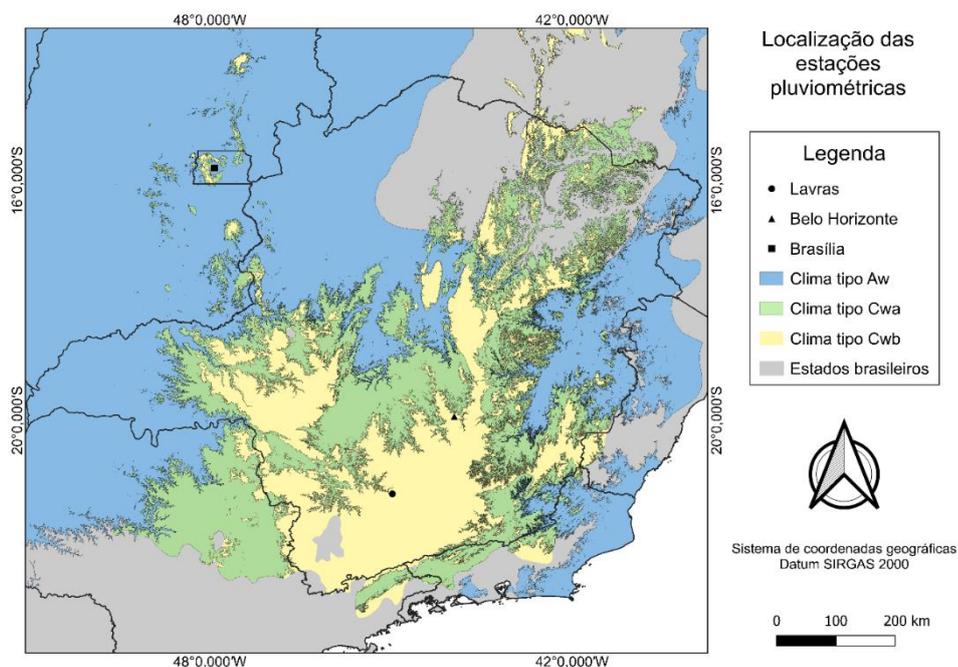
está inserido em uma área que integra três bacias hidrográficas: Bacia Hidrográfica dos afluentes do Rio Preto, Maranhão e Paranaíba (ANA, 2019) e sua população é estimada em 3.094.325 de pessoas (IBGE, 2021).

O município de Belo Horizonte localiza-se na região Centro-Sul do estado de Minas Gerais, onde há predominância de atividades dos setores de processamento de minérios, indústria e agricultura (IBGE, 2021). Além disso, está situado na bacia hidrográfica do Rio das Velhas, com área de drenagem de 27.820 km², sendo este o maior afluente, em comprimento, da bacia hidrográfica do Rio São Francisco, com 806,84 km de extensão. Encontra-se em uma zona de transição de bioma, entre mata atlântica e cerrado, relatado por Fritzsos, Mantovani, Wrege (2017). Sá Júnior *et al.* (2012) observaram que, embora a estação climatológica INMET aponte a classificação Aw (clima tropical, com inverno seco, estação chuvosa no verão e seca no inverno), o município apresenta 64% da área classificada como Cwa (clima subtropical, com inverno seco e verão quente), com temperatura e umidade relativas médias de 21,1 °C e 72,2%, respectivamente, e precipitação média anual de 1205 mm (Ferreira; Assis; Katzschner, 2017).

O município de Lavras está localizado no sul estado de Minas Gerais, pertencendo a região do Campo das Vertentes, com área de 564,7 km² e população estimada em 105.756 pessoas (IBGE, 2021). O clima da região, de acordo com a classificação de Köppen-Geiger, é do tipo Cwb, subtropical de altitude com inverno seco e verão ameno, caracterizado por um total de chuvas no mês mais seco de 20,2 mm e no mês mais chuvoso de 288,6 mm, e precipitação total anual de 1630 mm (Alvares *et al.*, 2013). Em relação à hidrografia, o município está inserido na Bacia Hidrográfica do Rio Grande, pertencente a Unidade de Planejamento e Gestão dos Recursos Hídricos UPGRH GD2 e possui uma área de drenagem referente à 10.540 km² (CBH Grande, 2012).

Os dados de precipitação foram obtidos no banco de dados do INMET, de três estações pluviométricas distintas, uma em cada região de estudo sendo, então, elaboradas séries de precipitação máxima diária anual (PMDA). A Figura 1 apresenta a localização das estações pluviométricas e a classificação climática de cada região.

Figura 1 - Localização das estações pluviométricas e respectivas classificações climáticas de Köppen-Geiger



Fontes: Alvares *et al.* 2013. IBGE, 2016. Elaboração: os autores, 2024.

Em Brasília, a estação pluviométrica utilizada foi a de código 83377, situada na latitude $-15,789^\circ$, longitude $-47,925^\circ$ e altitude 1161,42 m, que dispunha de 31 anos de observações, de 1990 a 2020. Para Belo Horizonte, foram utilizados dados de um período de 31 anos, de 1990 a 2020, obtidos da estação pluviométrica convencional de Belo Horizonte, código 83587, localizada na latitude $-19,934^\circ$, longitude de $-43,952^\circ$ e altitude de 915,45 metros. Já para Lavras, foi utilizada a estação pluviométrica convencional de Lavras com código 83687, situada na latitude $-21,226^\circ$, longitude $-44,979^\circ$ e altitude de 916,19 metros, que dispunha de 21 anos de observação, de 2000 a 2020.

As precipitações anuais médias, mínimas e máximas foram determinadas para cada município ao longo do período analisado. Em seguida, aplicou-se o teste não paramétrico de Mann-Kendall (Mann, 1945; Kendall, 1975) para identificar possíveis tendências nas séries temporais, com um nível de significância de 5%.

Modelagem

A princípio, visando o cálculo da frequência de excedência, foi estabelecido a posição/ordem dos dados e as lâminas precipitadas foram organizadas em ordem decrescente e as frequências observadas foram obtidas por meio da Equação 1.

$$F_{Obs} = \frac{i}{N+1} \quad (1)$$

Em que F_{Obs} : frequência observada de excedência; i : posição ocupada pelo dado observado dentro da série histórica; N : tamanho da série histórica.

Às séries históricas de PMDA, foram ajustadas as distribuições não paramétricas Gumbel e Gama 2 Parâmetros, cujas funções de densidade de probabilidade (FDP) são dadas pelas Equações 2 e 3, respectivamente:

$$FDP = \alpha \cdot e^{\{-\alpha(X-\mu) - e^{-\alpha(X-\mu)}\}} \quad (2)$$

$$FDP: f(x) = \frac{1}{\beta^v \Gamma(v)} \cdot X^{v-1} \cdot e^{-\frac{x}{\beta}} \quad (3)$$

Em que: X é a precipitação máxima diária anual e $\alpha, \mu, \beta, v, \xi$ são parâmetros da distribuição de probabilidade.

Os parâmetros das distribuições foram ajustados por meio do método dos momentos e, para verificar a aderência dos dados observados aos modelos de distribuição não paramétricos, foram realizados os testes Qui-Quadrado (χ^2) e Kolmogorov-Smirnov (KS), ambos com 5% de significância. Foi considerado como critério de escolha da distribuição estatística que melhor representasse as séries históricas estudadas, aquela que possuísse significância estatística para ambos os testes de aderência e menor valor de χ^2 calculado. Para o cálculo de χ^2 foram geradas classes de frequência para os dados observados e pelo somatório das diferenças quadráticas (Equação 4) obteve-se χ^2 calculado. Para valores de χ^2 calculado menores que o χ^2 tabelado (em função do grau de significância e do grau de liberdade), o modelo é classificado como adequado.

$$\chi^2_{calculado} = \sum_{i=1}^n \frac{(f_{o_i} - f_{t_i})^2}{f_{t_i}} \quad (4)$$

Em que: f_o e f_t são as frequências observadas e calculadas para cada intervalo, respectivamente.

Na obtenção do KS, calculou-se o erro absoluto máximo entre a frequência observada e a probabilidade estimada. Valores de KS calculados menores que os valores de KS tabelado (função do grau de significância e do número de dados da série histórica) indicam que o modelo de distribuição de probabilidade foi adequado para a situação analisada.

Desagregação das Chuvas

O método de desagregação de chuvas foi utilizado para se obter informações sobre chuvas intensas com diferentes tempos de duração (5, 10, 15, 20, 25, 30, 60, 360, 480, 600, 720, 1440 minutos). Para isso, a partir da distribuição de probabilidade que melhor se ajustou à série histórica analisada, as precipitações diárias máximas foram desagregadas utilizando a metodologia proposta pelo DAEE-CETESB (1980). Esse método emprega coeficientes multiplicativos específicos, denominados constantes de desagregação (K), listados na Tabela 1, para converter a precipitação de 1 dia (referente ao valor precipitado entre os horários de observação pluviométrica) em precipitações estimadas com duração de 24 horas contínuas e, posteriormente, em chuvas de menores durações. Dessa forma, conforme indicado na Tabela 1, faz-se a estimativa da chuva de 24 horas, a partir da chuva de 1 dia, adotando-se adotar o coeficiente multiplicativo de 1,14. Da mesma forma, para ser obtida a chuva de 12 horas, deve-se multiplicar a chuva de 24 horas pelo coeficiente de 0,85, e assim sucessivamente. Essa estimativa foi realizada para diferentes períodos de retorno (5, 10, 20, 30, 50, 100 e 500 anos), que representam o tempo necessário para que um determinado evento de chuva seja igualado ou excedido, pelo menos uma vez nesse intervalo de tempo.

Tabela 1 - Constantes de desagregação da chuva diária

| Duração | Coefficiente | Duração | Coefficiente |
|----------|--------------|-------------|--------------|
| 24h/1dia | 1,14 | 30min/1h | 0,74 |
| 12h/24h | 0,85 | 25min/30min | 0,91 |
| 10h/24h | 0,82 | 20min/30min | 0,81 |
| 8h/24h | 0,78 | 15min/30min | 0,70 |
| 6h/24h | 0,72 | 10min/30min | 0,54 |
| 1h/24h | 0,42 | 5min/30min | 0,34 |

Fonte: DAEE/CETESB, 1980.

Equação de Chuvas Intensas

Após a desagregação das chuvas, ajustou-se os parâmetros da equação IDF para as séries históricas de Brasília, Belo Horizonte e Lavras (Equação 5).

$$I = \frac{K \times TR^a}{(td + b)^c} \quad (5)$$

Em que I é a intensidade da precipitação em mm/h; K, a, b e c são parâmetros empíricos; TR é o tempo de retorno em anos; e td o tempo de duração da chuva em minutos.

De forma a contribuir com a validação dos modelos obtidos, foi calculado o coeficiente de determinação (R^2), que indica o quanto da variação da variável dependente (dados estimados pelos modelos) pode ser explicado pela variação da variável independente (dados observados nas estações pluviométricas), variando de 0 a 1.

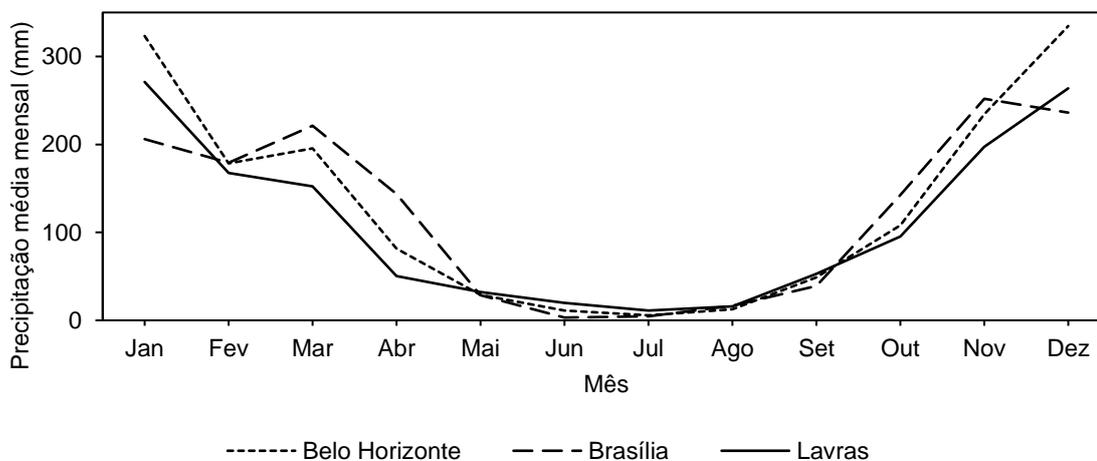
RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para Brasília, a precipitação média anual encontrada para o período avaliado foi igual a 1473,1 mm, com máxima de 1948,30 mm para o ano de 1991 e mínima de 1157,10 mm, no ano de 1996. Já em Belo Horizonte, a precipitação média anual foi de 1562,75 mm, com máxima de 2337,80 mm, em 2020, e a mínima de 944,10 mm em 2014. Em Lavras, a precipitação média anual foi de 1342,9 mm, com máxima de 1646,00 mm, em 2008, e mínima de 1087,60 mm em 2014. É possível destacar que Belo Horizonte possui os maiores índices pluviométricos médios anuais dentre os municípios estudados.

Na Figura 2 estão representadas as precipitações médias mensais dos 3 municípios. Em Brasília - DF, verificou-se que a precipitação média mensal foi igual a 122,76 mm, com máxima de 251,92 mm em

novembro e mínima de 3,16 mm em junho. Em Belo Horizonte, a precipitação média mensal foi igual a 130,23 mm, com máxima igual a 334,57 mm em dezembro e mínima de 5,72 mm, em julho. Já em Lavras, a média obtida foi igual a 110,79 mm, com máxima de 271,01 mm em janeiro e mínima de 11,15 mm em julho. Embora Belo Horizonte tenha apresentado índices pluviométricos médios superiores, observa-se pela análise da Figura 2, que o comportamento da precipitação média mensal dos três municípios é semelhante.

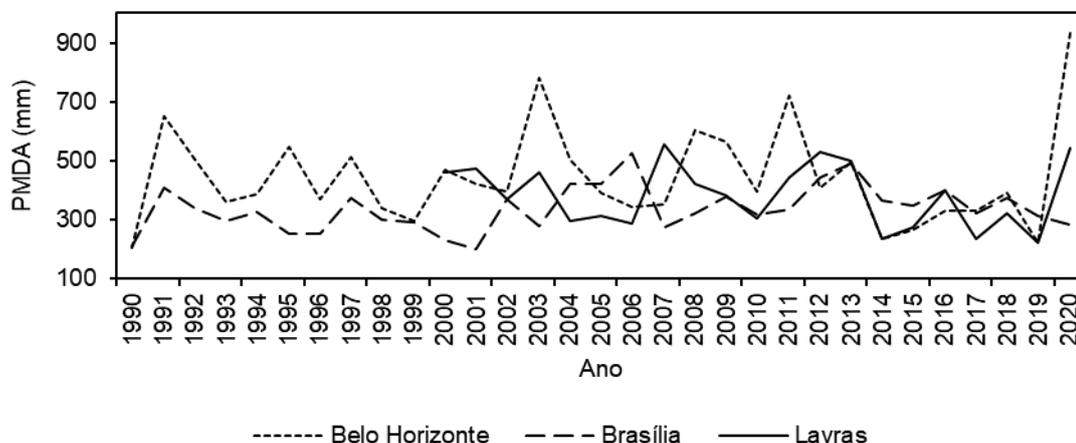
Figura 2 - Precipitação média mensal, em mm, para os municípios de Brasília - DF, Belo Horizonte - MG e Lavras - MG



Fonte: ANA, 2020. Elaboração: os autores, 2024.

Quanto às precipitações máximas diárias anuais (Figura 3), nota-se que a maior lâmina obtida para Brasília-DF foi equivalente a 131,0 mm e ocorreu no ano de 1992, em Belo Horizonte foi igual a 171,9 mm para o ano de 2020 e em Lavras foi igual a 155,8 mm no ano de 2012.

Figura 3 - Precipitações máximas diárias anuais para os municípios de Brasília - DF, Belo Horizonte - MG e Lavras - MG, em que PMDA: precipitação máxima diária anual



Fonte: ANA, 2020. Elaboração: os autores, 2024.

O nível de significância de 5% utilizado no teste não paramétrico de Mann-Kendall (Mann, 1945; Kendall, 1975) indica que uma tendência só é considerada estatisticamente significativa se o p-valor for inferior a 0,05. Caso contrário, a tendência observada é considerada não significativa (Fernandes *et al.*, 2022). Sendo assim, o teste revelou ausência de tendência significativa nas séries históricas de precipitação e nas séries de precipitação máxima diária anual dos municípios estudados. Para Brasília, o valor da estatística do teste foi de -0,016, com p-valor de 0,199 para a série histórica de precipitação, indicando uma tendência não significativa de diminuição; e de 0,333 com p-valor de 0,423 para a série de PMDA, sugerindo uma tendência não significativa de aumento. Para Belo Horizonte, os valores foram de -0,01 com p-valor de 0,385 para a série histórica de precipitação e -0,167 com p-valor de 0,724, para a série de PMDA. Os valores negativos indicam uma leve tendência de diminuição, mas essas tendências não são estatisticamente significativas com base nos p-valores obtidos. Já para Lavras, obteve-se o valor de -0,025, com p-valor de 0,067, para a série histórica de precipitação, o que sugere uma tendência não significativa de diminuição, e 0,105, com p-valor de 0,526, para a série de PMDA, indicando uma ausência de tendência significativa de aumento, já que o p-valor é superior a 0,05.

As frequências de excedência observadas para cada uma das séries de dados analisadas, bem como os ajustes às distribuições de probabilidade de Gumbel e Gama 2P estão apresentados nas Tabelas 2, 3 e 4.

Tabela 2 - Série histórica para o município de Brasília, juntamente com as frequências observadas e estimadas pelas distribuições de probabilidade de Gumbel e Gama 2P, em que PMDA: precipitação máxima diária anual e Prob.: probabilidade.

| Ano | PMDA (mm) | Ordem | Prob. ($X \geq x_i$) Observada | Prob. ($X \geq x_i$) Gumbel | Prob. ($X \geq x_i$) Gama 2P |
|------|-----------|-------|-------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|
| 1990 | 82,5 | 16 | 0,500 | 0,448 | 0,490 |
| 1991 | 99,8 | 5 | 0,156 | 0,157 | 0,173 |
| 1992 | 131 | 1 | 0,031 | 0,018 | 0,009 |
| 1993 | 97,3 | 9 | 0,281 | 0,185 | 0,207 |
| 1994 | 77 | 17 | 0,531 | 0,587 | 0,615 |
| 1995 | 62,3 | 29 | 0,906 | 0,922 | 0,890 |
| 1996 | 51 | 31 | 0,969 | 0,997 | 0,980 |
| 1997 | 75,2 | 19 | 0,594 | 0,635 | 0,655 |
| 1998 | 93,6 | 12 | 0,375 | 0,235 | 0,265 |
| 1999 | 66,9 | 25 | 0,781 | 0,840 | 0,821 |
| 2000 | 102,1 | 4 | 0,125 | 0,135 | 0,146 |
| 2001 | 69,4 | 23 | 0,719 | 0,783 | 0,776 |
| 2002 | 94,8 | 10 | 0,313 | 0,217 | 0,245 |
| 2003 | 70,4 | 22 | 0,688 | 0,759 | 0,756 |
| 2004 | 66,4 | 26 | 0,813 | 0,850 | 0,829 |
| 2005 | 110,7 | 2 | 0,063 | 0,075 | 0,071 |
| 2006 | 103,1 | 3 | 0,094 | 0,126 | 0,135 |
| 2007 | 71 | 21 | 0,656 | 0,744 | 0,744 |
| 2008 | 76,5 | 18 | 0,563 | 0,600 | 0,626 |
| 2009 | 98,1 | 8 | 0,250 | 0,176 | 0,196 |
| 2010 | 74,4 | 20 | 0,625 | 0,656 | 0,673 |
| 2011 | 68,2 | 24 | 0,750 | 0,811 | 0,798 |
| 2012 | 87,6 | 13 | 0,406 | 0,338 | 0,379 |
| 2013 | 94,4 | 11 | 0,344 | 0,223 | 0,252 |
| 2014 | 85,8 | 14 | 0,438 | 0,374 | 0,417 |
| 2015 | 60,8 | 30 | 0,938 | 0,942 | 0,908 |

| | | | | | |
|------|------|----|-------|-------|-------|
| 2016 | 99,6 | 6 | 0,188 | 0,159 | 0,176 |
| 2017 | 65,5 | 27 | 0,844 | 0,868 | 0,844 |
| 2018 | 83,3 | 15 | 0,469 | 0,430 | 0,472 |
| 2019 | 98,5 | 7 | 0,219 | 0,171 | 0,190 |
| 2020 | 65,2 | 28 | 0,875 | 0,874 | 0,848 |

Fonte: os autores, 2024.

Tabela 3 - Série histórica para o município de Belo Horizonte, juntamente com as frequências observadas e estimadas pelas distribuições de probabilidade de Gumbel e Gama 2P, em que PMDA: precipitação máxima diária anual e Prob.: probabilidade.

| Ano | PMDA (mm) | Ordem | Prob. ($X \geq x_i$) Observada | Prob. ($X \geq x_i$) Gumbel | Prob. ($X \geq x_i$) Gama 2P |
|------|-----------|-------|-------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|
| 1990 | 56,6 | 30 | 0,938 | 0,932 | 0,908 |
| 1991 | 97 | 10 | 0,313 | 0,405 | 0,432 |
| 1992 | 130,6 | 6 | 0,188 | 0,124 | 0,131 |
| 1993 | 85,8 | 16 | 0,500 | 0,559 | 0,576 |
| 1994 | 64,9 | 27 | 0,844 | 0,853 | 0,834 |
| 1995 | 138,7 | 5 | 0,156 | 0,091 | 0,093 |
| 1996 | 88 | 15 | 0,469 | 0,527 | 0,547 |
| 1997 | 147,4 | 4 | 0,125 | 0,064 | 0,062 |
| 1998 | 88,7 | 14 | 0,438 | 0,517 | 0,538 |
| 1999 | 84,2 | 18 | 0,563 | 0,583 | 0,598 |
| 2000 | 158,8 | 2 | 0,063 | 0,041 | 0,036 |
| 2001 | 63,7 | 28 | 0,875 | 0,867 | 0,846 |
| 2002 | 75,9 | 23 | 0,719 | 0,706 | 0,706 |
| 2003 | 83,4 | 19 | 0,594 | 0,595 | 0,608 |
| 2004 | 81,4 | 20 | 0,625 | 0,625 | 0,635 |
| 2005 | 84,4 | 17 | 0,531 | 0,580 | 0,595 |
| 2006 | 156,3 | 3 | 0,094 | 0,045 | 0,041 |
| 2007 | 53 | 31 | 0,969 | 0,956 | 0,932 |
| 2008 | 94,2 | 11 | 0,344 | 0,441 | 0,467 |
| 2009 | 102,8 | 9 | 0,281 | 0,336 | 0,363 |
| 2010 | 75,5 | 24 | 0,750 | 0,712 | 0,711 |
| 2011 | 91,4 | 13 | 0,406 | 0,479 | 0,503 |
| 2012 | 80,6 | 21 | 0,656 | 0,637 | 0,645 |
| 2013 | 111,4 | 7 | 0,219 | 0,251 | 0,274 |
| 2014 | 71,3 | 25 | 0,781 | 0,772 | 0,763 |
| 2015 | 68,6 | 26 | 0,813 | 0,808 | 0,794 |
| 2016 | 108,1 | 8 | 0,250 | 0,281 | 0,306 |
| 2017 | 93,2 | 12 | 0,375 | 0,454 | 0,480 |
| 2018 | 80,2 | 22 | 0,688 | 0,643 | 0,651 |
| 2019 | 59,1 | 29 | 0,906 | 0,912 | 0,888 |
| 2020 | 171,8 | 1 | 0,031 | 0,024 | 0,018 |

Fonte: os autores, 2024.

Tabela 4 - Série histórica para o município de Lavras, juntamente com as frequências observadas e estimadas pelas distribuições de probabilidade de Gumbel e Gama 2P, em que PMDA: precipitação máxima diária anual e Prob.: probabilidade.

| Ano | PMDA (mm) | Ordem | Prob. ($X \geq x_i$) Observada | Prob. ($X \geq x_i$) Gumbel | Prob. ($X \geq x_i$) Gama 2P |
|------|-----------|-------|-------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|
| 2000 | 86,8 | 6 | 0,273 | 0,288 | 0,314 |
| 2001 | 83 | 8 | 0,364 | 0,339 | 0,367 |
| 2002 | 60,8 | 15 | 0,682 | 0,73 | 0,728 |
| 2003 | 58,1 | 17 | 0,773 | 0,779 | 0,769 |
| 2004 | 77,4 | 9 | 0,409 | 0,425 | 0,453 |
| 2005 | 47,2 | 21 | 0,955 | 0,93 | 0,904 |
| 2006 | 85,4 | 7 | 0,318 | 0,306 | 0,333 |
| 2007 | 58 | 18 | 0,818 | 0,78 | 0,77 |
| 2008 | 89,3 | 5 | 0,227 | 0,258 | 0,282 |
| 2009 | 60 | 16 | 0,727 | 0,745 | 0,74 |
| 2010 | 52 | 20 | 0,909 | 0,874 | 0,852 |
| 2011 | 75,8 | 11 | 0,500 | 0,452 | 0,479 |
| 2012 | 155,8 | 1 | 0,045 | 0,009 | 0,005 |
| 2013 | 90,6 | 3 | 0,136 | 0,243 | 0,266 |
| 2014 | 73 | 12 | 0,545 | 0,501 | 0,525 |
| 2015 | 52,8 | 19 | 0,864 | 0,863 | 0,842 |
| 2016 | 76,2 | 10 | 0,455 | 0,445 | 0,472 |
| 2017 | 65,6 | 13 | 0,591 | 0,64 | 0,649 |
| 2018 | 90 | 4 | 0,182 | 0,25 | 0,274 |
| 2019 | 64,6 | 14 | 0,636 | 0,659 | 0,666 |
| 2020 | 116,8 | 2 | 0,091 | 0,069 | 0,067 |

Fonte: os autores, 2024.

Os parâmetros das distribuições avaliadas que se ajustaram aos dados observados das séries históricas de precipitação máxima de Brasília, Belo Horizonte e Lavras estão apresentados na Tabela 5, e na Tabela 6, a precisão e a significância dos testes de aderência das distribuições.

Tabela 5 - Parâmetros de ajuste das distribuições de Gumbel e Gama 2P para as séries históricas de precipitação máxima diária anual dos municípios de Brasília - DF, Belo Horizonte - MG e Lavras - MG

| Municípios | Modelos de distribuição | | | |
|---------------------|-------------------------|-----------|-----------|-----------|
| | Gumbel | | Gama 2P | |
| | α | μ | β | ν |
| Brasília - DF | 0,072069 | 75,294697 | 3,802058 | 21,910038 |
| Belo Horizonte - MG | 0,040739 | 80,896939 | 10,426719 | 9,117394 |
| Lavras - MG | 0,051990 | 66,000000 | 7,892761 | 9,769048 |

Fonte: os autores, 2024.

Tabela 6 - Valores obtidos das estatísticas dos testes de aderência de Kolmogorov-Smirnov (KS) e Qui-quadrado (X^2), na avaliação do ajuste das distribuições de Gumbel e Gama 2P com os dados da série histórica de precipitação máxima diária anual dos municípios de Brasília - DF, Belo Horizonte - MG e Lavras - MG

| Município | Modelo de Distribuição | $X^2_{\text{calculado}}$ | X^2_{tabelado} | $KS_{\text{calculado}}$ | KS_{tabelado} |
|----------------|------------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|
| Brasília | Gumbel | 0,174* | 3,841 | 0,140* | 0,239 |
| | Gama 2p | 0,006* | 3,841 | 0,110* | 0,239 |
| Belo Horizonte | Gumbel | 3,170* | 3,841 | 0,097* | 0,242 |
| | Gama 2p | 3,130* | 3,841 | 0,123* | 0,242 |
| Lavras | Gumbel | 0,044* | 3,841 | 0,107* | 0,294 |
| | Gama 2p | 0,114* | 3,841 | 0,130* | 0,294 |

Fonte: os autores, 2024.

Pela análise da Tabela 6, observa-se para os três municípios, que tanto a distribuição Gumbel quanto a Gama 2P apresentaram aderência estatisticamente significativa aos dados observados, por ambos os testes de aderência empregados. Miranda, Thebaldi e Rocha (2017) testaram diferentes modelos probabilísticos na predição da precipitação máxima diária anual para o município de Divinópolis - MG, situado próximo a Belo Horizonte, e que também está situado em região de transição de classificação climática. Os autores constataram a adequabilidade das distribuições de Gumbel e Gama 2P pelos testes de aderência de X^2 e KS e concluíram que, pelo teste de X^2 , o modelo que melhor representou os dados observados foi o Gumbel.

Ainda de acordo com a Tabela 6, verifica-se que a FDP que melhor se ajustou aos dados de precipitação máxima diária para os municípios de Brasília e Belo Horizonte, tendo como critério o menor valor de X^2 calculado, foi a Gama 2P. Já para Lavras, a FDP de melhor ajuste aos dados observados foi a de Gumbel

Abreu *et al.* (2018) e Souza *et al.* (2019) também observaram ajuste significativo da distribuição Gumbel aos dados observados de precipitação máxima diária para o município de Lavras. Semelhantemente, Bello (2018) e Caminha, Souza e Oliveira (2020) também relataram a adequabilidade desta distribuição para Belo Horizonte e Oliveira *et al.* (2005; 2008) para diversas localidades de Goiás, estado que faz divisa com o Distrito Federal. O adequado ajuste da distribuição de Gama 2P para a análise de séries históricas de precipitações máximas diárias anuais também foi reportado nos trabalhos de Passos, Raposo e Mendes (2017) e Santiago *et al.* (2017).

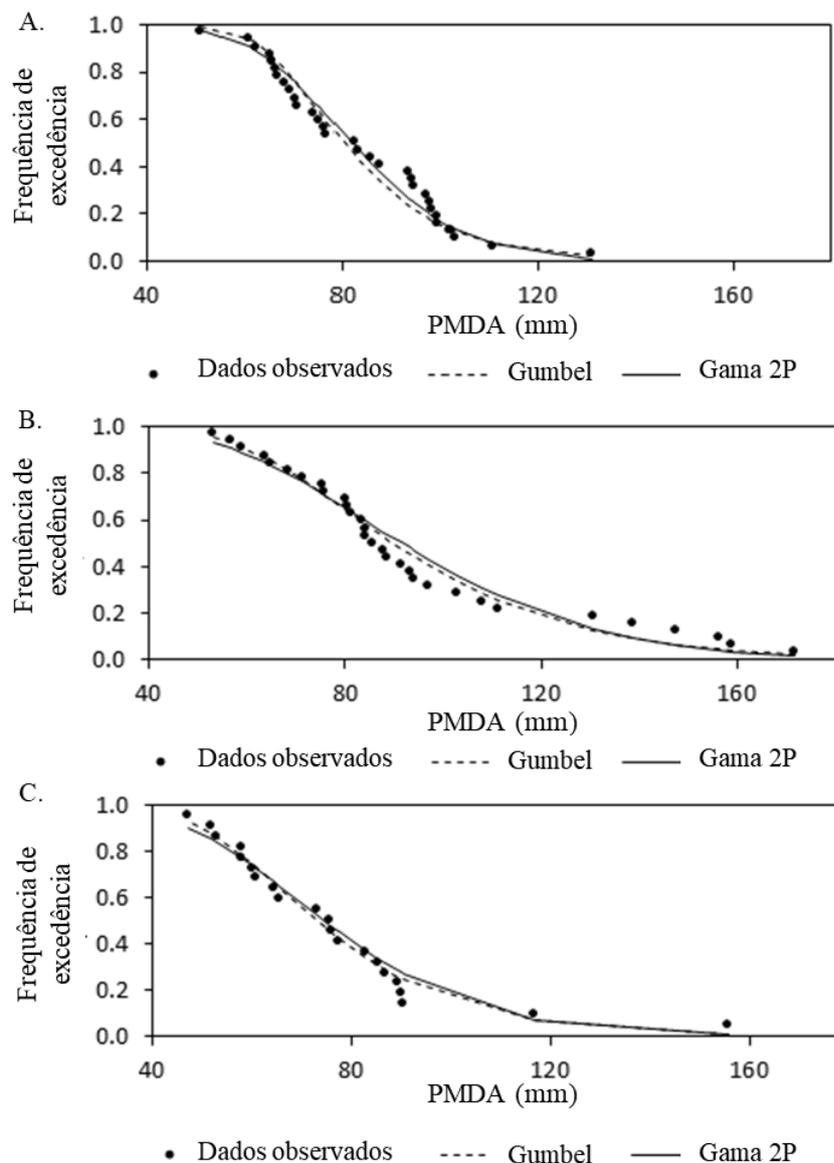
Sousa e Costa (2020) ao avaliarem o desempenho das distribuições Gama 2P, Gumbel, Log-Normal 2 Parâmetros e Normal, aplicadas à série histórica de PMDA da cidade de Rio Branco-AC, constataram que enquanto a distribuição Gama apresentou ajuste satisfatório aos dados observados, pelo teste de KS ao nível de significância de 5%, a distribuição de Gumbel foi rejeitada, demonstrando que cada região terá uma distribuição mais adequada ao ajuste dos dados.

Dias e Penner (2021) determinaram uma nova equação IDF para o município de Abaetetuba-PA, para uma série de PMDA entre os anos de 1980 e 2019. Os autores avaliaram as seguintes distribuições: Normal, Log-Normal, Gumbel, Exponencial, Generalizada de Valores Extremos, Generalizada de Pareto, Pearson III e Log-Pearson III. Após a comparação dos coeficientes de correlação do teste de Filliben, concluíram que as distribuições que resultaram no melhor ajuste aos dados foram a Gumbel e a Normal, fornecendo uma equação atualizada para a estimativa de chuvas intensas para a cidade de Abaetetuba-PA.

Back (2020) teve como objetivo obter uma equação de chuvas intensas para o município de Piên, estado do Paraná, com base na desagregação da chuva diária, e com dados de precipitação máxima diária anual foram obtidos para o período de 1968 a 2011. As distribuições avaliadas foram Log-Normal com 2 Parâmetros, Log-Normal com 3 Parâmetros, Pearson tipo III, Log-Pearson tipo III, Gumbel e a distribuição generalizada de valores extremos, e após a realização dos testes de aderência Kolmogorov-Smirnov e Anderson-Darling, o autor observou que todas as distribuições testadas poderiam ser aplicadas para estimar a precipitação máxima diária anual.

Os trabalhos relatados apresentam satisfatória aplicação das distribuições de probabilidade Gumbel e Gama 2P em dados observados de PMDA. Os ajustes das distribuições Gumbel e Gama 2P, para as séries históricas de precipitação máxima diária anual, para os três municípios estudados, podem ser observados na Figura 4, e evidenciam o que foi exposto anteriormente.

Figura 4 - Distribuição de frequência da precipitação máxima diária anual das estações pluviométricas de Brasília - DF (A.), Belo Horizonte - MG (B.) e Lavras - MG (C.), pelas distribuições de probabilidade de Gumbel e de Gama a 2 Parâmetros



Fonte: os autores, 2024.

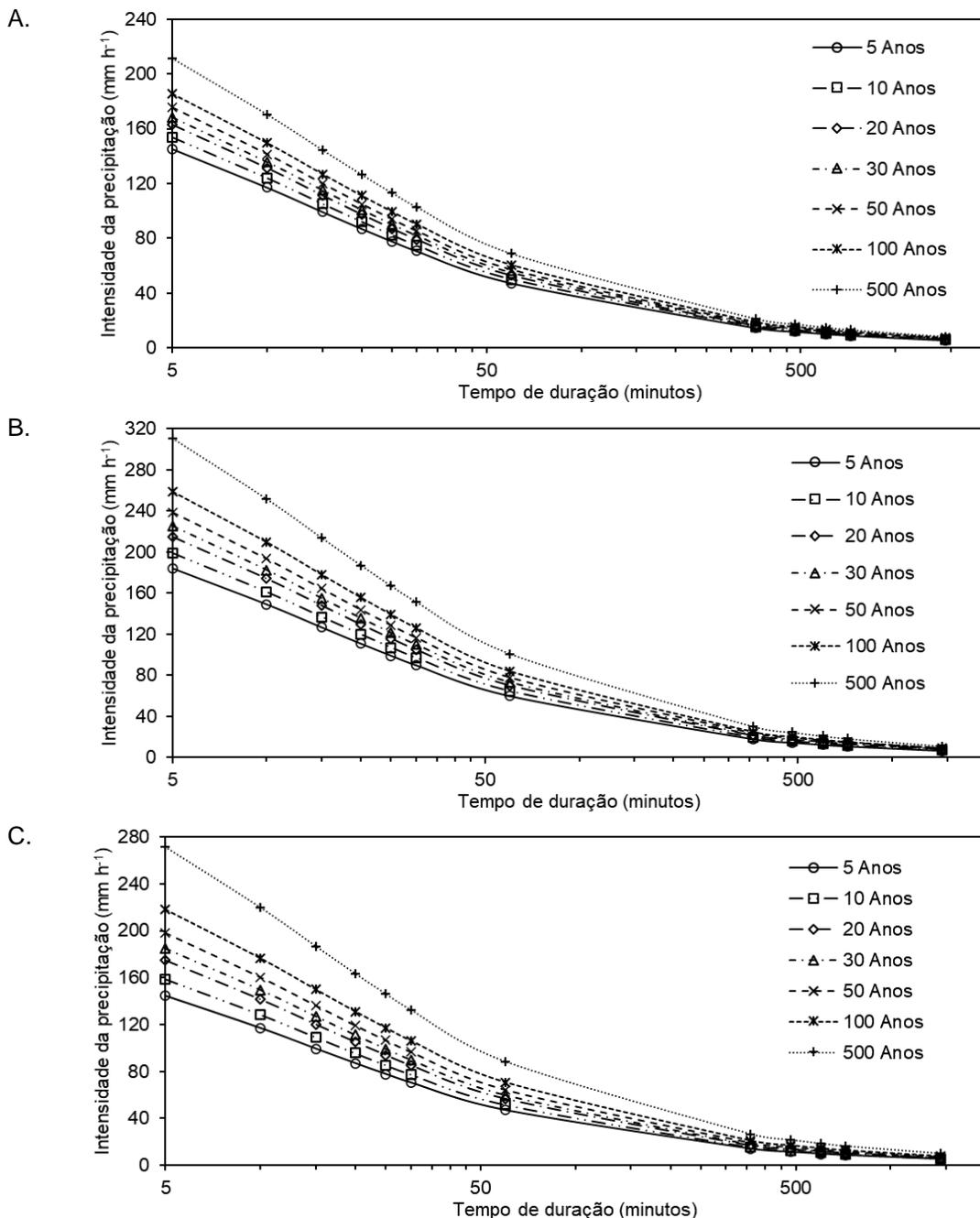
Na Figura 5 estão apresentadas as intensidades médias máximas de precipitação obtidas no processo de desagregação de chuvas para os municípios de Brasília (A.), Belo Horizonte (B.) e Lavras (C.) e as equações IDF nas Equações 6, 7 e 8, respectivamente. Os valores dos coeficientes de determinação (R^2) destas equações foram, respectivamente, 99,9%, 99,8%, 99,8%, o que indica uma alta acurácia dos modelos ajustados em relação aos dados observados.

$$I = \frac{816,70 \cdot TR^{0,081}}{(8,990 + t_d)^{0,704}} \quad (6)$$

$$I = \frac{1076,16 \cdot TR^{0,114}}{(9,783 + t_d)^{0,724}} \quad (7)$$

$$I = \frac{815,55 \times TR^{0,137}}{(9,782 + t_d)^{0,724}} \quad (8)$$

Figura 5 - Intensidades médias máximas de precipitação obtidas pelo método de desagregação de chuvas para os tempos de retornos de 5, 10, 20, 30, 50, 100 e 500 anos para os municípios de Brasília - DF (A.) e Belo Horizonte - MG (B.) e Lavras - MG (C.)



Fonte: os autores, 2024.

Com base nos resultados apresentados na Figura 5, é possível observar que, as chuvas intensas de curta duração (5 a 30 minutos) apresentaram altas intensidades para os três municípios analisados. Com destaque para os municípios de Lavras e Belo Horizonte, em que se obteve intensidades superiores as observadas no município de Brasília, para todos os TR.

Considerando a duração da chuva de 30 minutos associada ao TR de 100 anos, observa-se intensidade de 126,2 mm.h⁻¹ para o município de Belo Horizonte e intensidade de 106,4 mm.h⁻¹ para o município de Lavras, ambos situados no estado de Minas Gerais. Os resultados estão em conformidade com o estudo desenvolvido por Mello e Viola (2013), que, ao mapearem as chuvas intensas para o estado, observaram intensidades variando de 91,7 a 162,4 mm.h⁻¹, considerando o mesmo TR e a mesma duração de chuva.

Esses resultados são essenciais, por exemplo, para o dimensionamento de sistemas de drenagem urbana e agrícola, e estruturas manejo de águas pluviais, barragens e bacias de detenção e retenção de água, entre outras finalidades. Para barragens e em pilhas de rejeitos de mineração, as normas ABNT NBR 13028:2017 e 13029:2017, respectivamente, apresentam procedimentos de dimensionamento e avaliação dessas estruturas (ABNT, 2017;2017a). Essas normas estabelecem que dispositivos para condução de pequenas vazões, como canaletas e prumadas de água, deverão ser dimensionados considerando um TR mínimo de 100 anos, enquanto os de grandes vazões, como canais de coleta e condução d'água, deverão ser dimensionados considerando um TR mínimo de 500 anos. Além disso, a Resolução ANM n° 95, estabelece diretrizes adicionais para a gestão de recursos hídricos e a prevenção de riscos hidrotécnicos, e apresenta a importância do uso correto dessas variáveis para evitar inundações, erosões e outros impactos negativos ao meio ambiente e à sociedade (Brasil, 2022).

O Novo Marco Legal do Saneamento, Lei n° 14.026/2020, estabelece metas claras relativas ao abastecimento de água e esgotamento sanitário, no entanto, carece de diretrizes pertinentes à drenagem e manejo de águas pluviais (Brasil, 2020). Apesar disso, a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), conforme as novas atribuições estabelecidas pela Lei n° 14.026/2020, tem a elaboração de normas de referência para drenagem urbana em seu planejamento, buscando a universalização desse serviço e com vistas ao adequado projeto, construção e manutenção de sistemas de drenagem de águas pluviais (Silva *et al.*, 2024). As curvas IDF, então, são essenciais para o dimensionamento adequado destas estruturas hidráulicas, além de auxiliarem na formulação de políticas públicas voltadas para a adaptação às novas condições climáticas, de forma a garantir a segurança hídrica e o bem-estar da população.

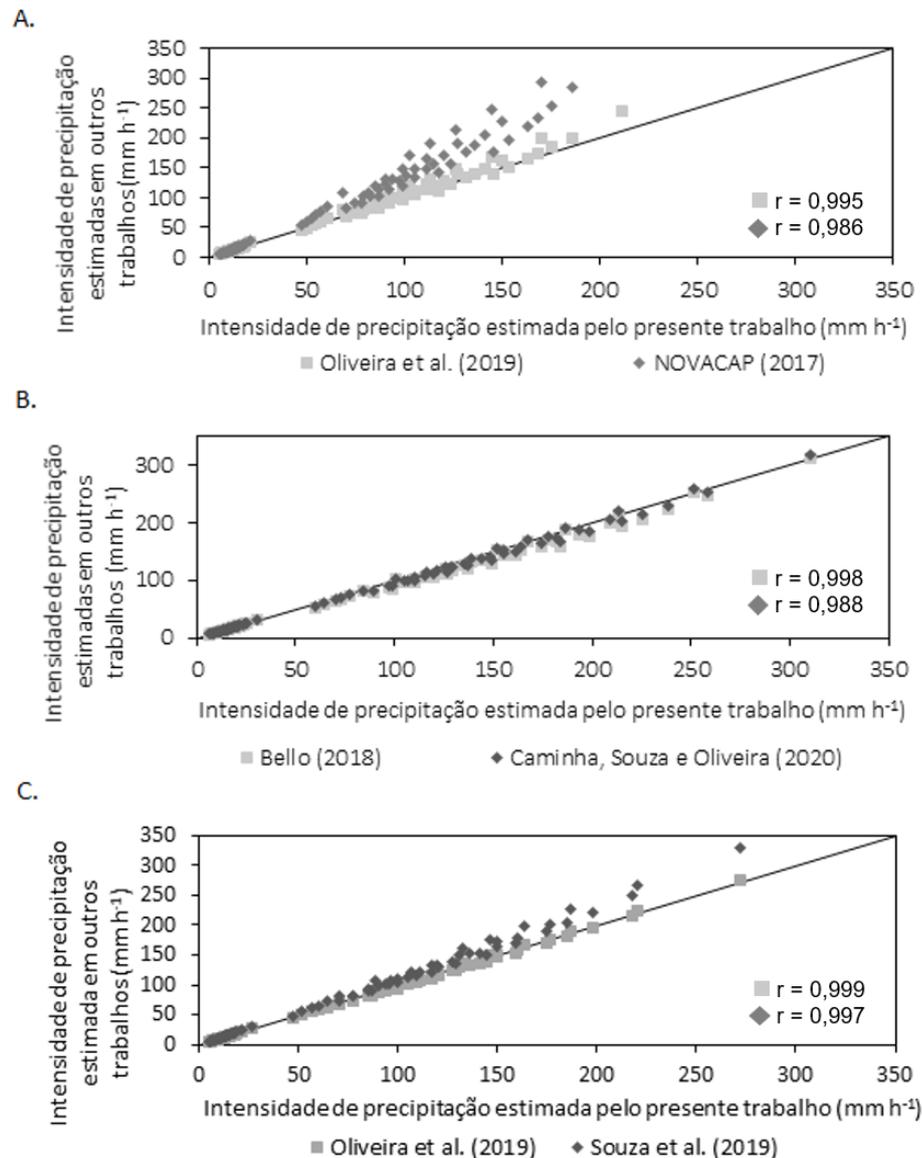
A comparação entre os valores de intensidades de precipitação obtidas pelas equações IDF geradas neste trabalho e os valores obtidos para curvas IDF de outras referências é apresentada na Figura 6. Para isso, considerou-se os mesmos TR e td utilizados para se obter as intensidades de precipitação do presente trabalho.

Observa-se que para Brasília, o trabalho de Novacap (2017) apresentou maior dispersão para valores superiores a 52 mm h⁻¹ de intensidade de precipitação, correspondendo a td inferiores a 60 minutos, para todos os TR. Por outro lado, o trabalho de Oliveira *et al.* (2019) apresentou maior dispersão de intensidade de precipitação para valores superiores a 90 mm h⁻¹, correspondendo a TR superiores a 10 anos e td inferiores a 20 minutos.

Para o município de Lavras, o trabalho de Souza *et al.* (2019) apresentou maior dispersão das intensidades de precipitação estimada para valores superiores a 73 mm h⁻¹, correspondendo a td inferiores a 30 minutos e TR superiores a 10 anos. Por outro lado, o trabalho de Oliveira *et al.* (2019) resultou em baixa dispersão dos dados. O mesmo pode ser observado para o município de Belo Horizonte, para ambos os trabalhos avaliados.

Ressalta-se que houve uma alta correlação entre os dados de intensidade de precipitação obtidos nesse estudo e aqueles estimados a partir das equações IDF dos autores referenciados (Figura 6), principalmente, para o município de Belo Horizonte visto a proximidade desses em relação à reta 1:1.

Figura 6 - Intensidade de precipitação estimada por modelos de outros trabalhos em função da intensidade de precipitação estimada pelo presente trabalho para Brasília - DF (A), Belo Horizonte - MG (B) e para Lavras - MG (C) e seus respectivos coeficientes de correlação (r)



Fonte: os autores, 2024.

As diferenças encontradas nos valores das intensidades de precipitação para um mesmo município (Figura 6), podem estar relacionadas às mudanças climáticas que tendem a afetar diretamente o ciclo hidrológico (Reboita *et al.*, 2018). A utilização de séries históricas com dados de chuva mais atuais, como ocorreu no presente trabalho, permite que as estimativas dos eventos de precipitação tenham uma estimativa mais assertiva, e por isso, Oliveira *et al.* (2019) ressaltam a necessidade de se remodelar continuamente as curvas IDF já existentes. Além disso, de acordo com os mesmos autores, a atualização das equações IDF permite que eventos extremos de baixa frequência de ocorrência sejam incluídos nas estimativas, assim como ocorreu para Belo Horizonte e Lavras, para o ano de 2020.

Dada a relevância da aplicabilidade das equações de chuvas intensas, faz-se necessário que as curvas IDF sejam atualizadas continuamente, sendo que esta é uma maneira de se evitar perdas humanas, materiais e econômicas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A distribuição de probabilidade Gama 2P forneceu o melhor ajuste para os dados observados dos municípios de Brasília e Belo Horizonte. Para o município de Lavras, a distribuição de probabilidade que obteve o melhor ajuste aos dados observados foi a Gumbel. Os coeficientes de determinação de todos os modelos foram superiores a 99,8%, apresentando, assim, uma boa acurácia.

Para Brasília e Lavras, a relação entre as intensidades de precipitação estimadas pelos trabalhos referenciados em função dos dados obtidos no presente estudo, apresentaram valores de dispersão maiores quanto maior o tempo de retorno e, também, menor o tempo de duração. O mesmo comportamento não foi observado para o município de Belo Horizonte.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à CAPES pelo apoio financeiro ao programa de Pós-graduação em Recursos Hídricos da Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG (Financiamento de código 001).

REFERÊNCIAS

- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 13028**. Mineração - Elaboração e apresentação de projeto de barragens para disposição de rejeitos, contenção de sedimentos e reservação de água, 2017.
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 13029**. Mineração - Elaboração e apresentação de projeto de disposição de estéril, em pilha, em mineração. Rio de Janeiro, 2017a.
- ABREU, M. C.; CECÍLIO, R. A.; PRUSKI, F. F.; SANTOS, G. R. D.; ALMEIDA, L. T. D.; ZANETTI, S. S. Critérios para escolha de distribuições de probabilidades em estudos de eventos extremos de precipitação. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 33, p. 601-613, 2018. <https://doi.org/10.1590/0102-7786334004>.
- ALVARES, C. A., STAPE, J. L., SENTELHAS, P. C., GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p.711-728, 2013. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>.
- ANA - Agência Nacional de Águas. **A gestão de recursos hídricos no Distrito Federal**. 2019. Disponível em: <https://progestao.ana.gov.br/panorama-dos-estados/df>. Acesso em: 01 out. 2021.
- ANA - Agência Nacional de Águas (2009). Sistema de Informações Hidrológicas (HidroWeb). 2020. Disponível em: <http://hidroweb.ana.gov.br>.
- BACK, Á. J. Alternative model of intense rainfall equation obtained from daily rainfall disaggregation. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 25, 2020. <https://doi.org/10.1590/2318-0331.252020190031>.
- BACK, Á. J.; WILDNER, L. P. Equação de chuvas intensas por desagregação de precipitação máxima diária para o estado de Santa Catarina. **Agropecuária Catarinense**, v. 34, n. 3, p. 43-47, 2021. <https://doi.org/10.52945/rac.v34i3.1133>
- BELLO, I. P. Regionalização de chuva intensa para o estado de Minas Gerais. **Dissertação** (Mestrado em Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas) – Lavras: UFLA. 2018.
- BERTONI, J. C.; TUCCI, C. E. M. **Precipitação. Hidrologia: ciência e aplicação**, v. 2, p. 177-242, 1993.
- BESKOW, S.; CALDEIRA, T. L.; MELLO, C. R.; FARIA, L. C.; GUEDES, H. A. S. Multiparameter probability distributions for heavy rainfall modeling in extreme southern Brazil. **Journal of Hydrology: Regional Studies**, v. 4, Part B, p. 123-133, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2015.06.007>.
- BIMAGANBETOVA, M.; MEMON, S. A.; SHERIYEV, A. Performance evaluation of phase change materials suitable for cities representing the whole tropical savanna climate region. **Renewable Energy**, v. 148, p. 402-416, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.10.046>.

BRAGA, R. N. S.; HORA, M. D. A. G. M. D.; LYRA, G. B.; NASCENTES, A. L. Determinação e interpolação dos coeficientes das equações de chuvas intensas para cidade do Rio de Janeiro. **Revista Ambiente & Água**, v. 13, 2018. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.2076>.

BRANDÃO, A. **Brasília Resiliente**. Texto para discussão nº21 de outubro de 2016, 26f. 2016.

BRASIL. **Lei nº 14.026/2020 de 15 de julho de 2020** (Marco Regulatório do Saneamento Básico). Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/L14026.htm. Acesso em: 25 jan. 2022.

BRASIL. **Resolução nº 95 da Agência Nacional de Mineração**, alterada pela Resolução nº 130/2023, que consolida os atos normativos que dispõe sobre segurança de barragens de mineração. 07 de fev. de 2022. Diário Oficial da União. 2022.

CAMINHA, A. R.; SOUZA, G. R.; OLIVEIRA, L. F. C. Desempenho do método de desagregação de chuvas para determinação das relações intensidade-duração-frequência das precipitações em algumas localidades de Minas Gerais. **Sustentare**, v. 4, n. 2, p. 1-14, 2020. <https://doi.org/10.5892/st.v4i2.6233>.

CARMO, L. F. R.; VASCONCELLOS, F. C.; MENEZES, W. F.; VASCONCELLOS, E. C. Análise de índices de instabilidade em casos de chuva intensa, chuva moderada e chuva fraca/sem chuva nas regiões sul e sudeste do Brasil. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 42, n. 1, p. 769-782, 2019. https://doi.org/10.11137/2019_1_769_782.

CASTRO, A. C. V.; ALVIM, A. T. B. Urbanização e gestão de riscos hidrológicos em São Paulo. **Cadernos Metrópole**, v. 24, n. 54, p. 669-696, 2022. <https://doi.org/10.1590/2236-9996.2022-5410>

CBH Grande - **Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Grande**. 2012. Disponível em: <https://cbhgrande.org.br/>. Acesso em: 09 set. 2021.

CUNHA, A. P. M. A.; BRITO, S. S. B.; RIBEIRO NETO, G. G.; ALVALÁ, R. C. S. As secas entre 1963 e 2017 no Distrito Federal, Brasil. **Anuário do Instituto de Geociências- UFRJ**, v. 41, n2, p. 487-498, 2018. https://doi.org/10.11137/2018_2_487_498.

DAEE/CETESB. Departamento de Água e Energia Elétrica-Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Drenagem urbana**: Manual de projeto. São Paulo: DAEE/CETESB, p. 466, 1980.

DIAS, É. C.; PENNER, G. C. Equação de chuvas intensas para Abaetetuba-PA: estudo comparativo. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 4, p. e31310414213-e31310414213, 2021. <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i4.14213>.

FERNANDES, A. C. G.; BORGES, I. M. S.; SILVA, J. A.; SILVA, E. C. B.; SANTOS, M. J. R.; PESSOA, D. S.; MARTINS, M. S.; SILVA, J. A.; CAMPOS, J. O.; MEDEIROS, L. R. A. O uso do teste de mann-kendall para detecção de tendência da precipitação em região semiárida pernambucana." **Research, Society and Development**, v.11, n.11, 2022. <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i11.33925> .

FERRAZ, L. L.; NEVES, J. R. D.; GONÇALVES, L. J.; SOUSA, L. F. de; OLIVEIRA, L. B. Determinação da equação intensidade-duração-frequência da precipitação para acidade de Itabuna, Bahia (Brasil). **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, v. 8, n.2, 2020.

FERREIRA, D. G.; ASSIS, E. S.; KATZSCHNER, L. Construção de um mapa climático analítico para a cidade de Belo Horizonte, Brasil. **Urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana**, v. 9, p. 255-270, 2017. <https://doi.org/10.1590/2175-3369.009.supl1.ao01>.

FRITZSONS, E.; MANTOVANI, L. E.; WREGGE, M. S. Os biomas e o clima das capitais do Brasil. Embrapa Florestas-Artigo em periódico indexado, **ALICE**, 2017. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v10.4.p1152-1160>.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Cidades: Belo Horizonte**. 2010: Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/belo-horizonte/panorama>. Acesso em: 26 set. 2021.

- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Brasil Clima**. 2016. Disponível em: https://atlascolar.ibge.gov.br/images/atlas/mapas_brasil/brasil_clima.pdf. Acesso em: 25 de jan. 2022.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades: Brasília**. 2021. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/df/brasil/panorama>. Acesso em: 30 set. 2021.
- INMET- Instituto Nacional de Meteorologia. **Diagnóstico Climático de Minas Gerais 2016/2017/2018**. Belo Horizonte, Minas Gerais, 2019. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/notasTecnicas>. Acesso em: 01 out. 2021.
- KENDALL, M. G. Rank Correlation Measures. Ed. **Charles Griffin**. London, 1975.
- MANN, H. B. Non-parametric tests against trend. **Econometrica** v.13, p. 245-259, 1945. <https://doi.org/10.2307/1907187>
- MELLO, C. R.; VIOLA, M.R. Mapeamento de chuvas intensas no estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, p. 37-44, 2013. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832013000100004>.
- MIRANDA, C. T. S.; THEBALDI, M. S.; ROCHA, G. M. R. B. Precipitação máxima diária anual e estimativa da equação de chuvas intensas do município de Divinópolis, MG, Brasil. **Revista Scientia Agraria**, v. 18, n. 4, p. 9–16, 2017. <https://doi.org/10.5380/rsa.v18i4.49883>.
- NASCIMENTO, A. S.; DE ARAÚJO NUNES, A.; ABADE, D. S. O.; CASTRO, G. A.; OLIVEIRA, J. G.; DE CASTRO, K. D. R.; TEODORO, M. R. Análise de chuvas intensas para o município de Belo Horizonte. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 5, p. 32184-32218, 2020. <https://doi.org/10.34117/bjdv6n5-605>.
- NOVACAP. **Termo de referência e especificações para elaboração de projeto de sistema de drenagem pluvial em PEAD no Distrito Federal**. Companhia Urbanizadora da Nova Capital do Brasil. 2017. Disponível em: <https://www.novacap.df.gov.br/wp-content/uploads/2019/08/Termo-de-Refer%C3%Aancia-de-Projetos-de-Drenagem-em-PEAD.pdf>. Acesso em: 01 out. 2021.
- OLIVEIRA L. F. C.; CORTÊS F. C.; WEHR T. R.; BORGES L. B.; SARMENTO P. H. L.; GRIEBELER N. P. Intensidade-duração-frequência de chuvas intensas para localidades no Estado de Goiás e Distrito Federal. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 35, p. 13–18, 2005.
- OLIVEIRA L. F. C.; ANTONINI J. C. A.; FIOREZE A.P.; SILVA M. A. S. Métodos de estimativa de precipitação máxima para o Estado de Goiás. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.12, p. 620–625, 2008. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662008000600008>.
- OLIVEIRA L. F. C.; FRANCO C. S.; SILVA FILHO M. V.; MARQUES R. F. P. V.; SILVA C. B.; FREITAS J. S.; CORRÊA F. V.; GUIMARÃES L. R.; FARIAS M. S.; ABREU E. C. F.; MANSO T. D.; OLIVEIRA M. C. F. **Chuvas extremas no Brasil: modelos e aplicações**. Editora UFLA, 2019.
- PASSOS, M. L. V.; RAPOSO, A. B.; MENDES, T. J. Precipitação pluviométrica mensal e anual provável para o município de São Mateus-ES. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 13, n. 2, p. 162–168, 2017. <https://doi.org/10.30969/acsa.v13i2.873>.
- PENNER, G. C.; NASCIMENTO, C. R. P. Análise estatística da precipitação máxima diária anual para Franca-SP, com o propósito da curva IDF. **Revista Ciências Exatas e Naturais**, V.20, n.1, 2018. <https://doi.org/10.5935/RECEN.2018.01.01>.
- PESSOA, G. E.; STEINKE, V. A. Evolution of Land Use in Two Drainage Basins in an Urban Area of Brasília-DF/Brazil. **Journal of Service Science and Management**, v. 13, n. 6, p. 769-784, 2020. <https://doi.org/10.4236/jssm.2020.136048>.
- PRUSKI, F. F.; SILVA, D. D.; TEIXEIRA, A. de F.; CECÍLIO, R. A.; SILVA, J. M. A.; GRIEBELER, N. P. **Hídros: dimensionamento de sistemas hidroagrícolas**. Viçosa, MG: Editora UFV, 2006. 259 p.
- REBOITA, M. S.; MARRAFON, V. H. A.; LLOPART, M.; DA ROCHA, R. P. Cenários de mudanças climáticas projetados para o estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Climatologia**, 2018. <https://doi.org/10.5380/abclima.v1i0.60524>

- ROUSTA, I.; DOOSTKAMIAN, M.; HAGHIGHI, E.; MALAMIRI, H. R. G.; YARAHMADI, P. Analysis of spatial autocorrelation patterns of heavy and super-heavy rainfall in Iran. **Advances in Atmospheric Sciences**, v. 34, n. 9, p. 1069-1081, 2017. <https://doi.org/10.1007/s00376-017-6227-y>.
- SÁ JÚNIOR, A.; DE CARVALHO, L. G.; DA SILVA, F. F.; DE CARVALHO ALVES, M. Application of the Köppen classification for climatic zoning in the state of Minas Gerais, Brazil. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 108, n. 1, p. 1-7, 2012. <https://doi.org/10.1007/s00704-011-0507-8>.
- SANGAL, S.; SINGHAL, M. K.; SAINI, R. P. Hydro-abrasive erosion in hydro turbines: a review. **International Journal of Green Energy**, v. 15, n. 4, 2018. <https://doi.org/10.1080/15435075.2018.1431546>.
- SANTIAGO, E. J. P.; DE OLIVEIRA, G. M.; RAMOS, M. D. M. V. B.; DE MOURA, M. S. B.; GONÇALVES, I. S. Precipitação esperada, em diferentes níveis de probabilidade, na região de Juazeiro, BA. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, p. 457-464, 2017. <https://doi.org/10.24221/jeap.2.4.2017.1462.457-464>.
- SANTOS, R. S.; VIEIRA, P. D.; EVANGELISTA, D. H. R.; OLIVEIRA, L. J. C.; NONATO, D. Caracterização de extremos mensais de precipitação em Cacoal (RO). **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 22, n. 14, p. 267-290, 2018. <https://doi.org/10.5380/abclima.v22i0.55285>.
- SAUVAGE, C.; LEBEAUPIN BROSSIER, C.; BOUIN, M. N.; DUCROCQ, V. Characterization of the air-sea exchange mechanisms during a Mediterranean heavy precipitation event using realistic sea state modelling. **Atmospheric Chemistry and Physics**, v. 20, n. 3, p. 1675-1699, 2020. <https://doi.org/10.5194/acp-20-1675-2020>.
- SILVA, D. F.; TUCCI, C. E. M.; KUELE, P. M.; COSTA, M. E. L.; CORREA, A. C. S.; MONTEIRO, P. M.; ARAÚJO, L. M. N. Drenagem e manejo de águas pluviais no Brasil: conceitos, gestão e estudos de caso. **Revista de Gestão de Água da América Latina**, v. 21, n. 2024, 2024. <https://doi.org/10.21168/reg.v21e1>.
- SILVA JUNIOR, M. A. B.; CABRAL, J. J. D. S. P.; FONSECA NETO, G. C.; SILVA, P. O.; GUERRA, C. M. F.; SILVA, S. R. Desafios para a adaptação da infraestrutura de drenagem urbana em cenário de mudança do clima no Recife-PE. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, v. 5, n. 3, p. 302-318, 2020. <https://doi.org/10.24221/jeap.5.3.2020.3025.302-318>
- SILVA, S. R.; ARAÚJO, G. R. S. Algoritmo para determinação da equação de chuvas intensas. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 6, n. 5, p. 1371-1383, 2013. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v6i5.233110>
- SOUSA, J. W. DE.; COSTA, D. B. Ajuste de distribuições de probabilidades à série 1970-2010 de precipitação máxima anual de Rio Branco, Acre. **Scientia Naturalis**, v. 2, n. 1, p. 177-187, 2020.
- SOUZA, G. R. D.; BELLO, I. P.; OLIVEIRA, L. F. C. D.; CORRÊA, F. V. Heavy rainfall maps in Brazil to 5 year return period. **Revista Ambiente & Água**, v. 14, 2019. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.2403>.
- SOUZA, G. R. MERWADE, V.; DE OLIVEIRA, L. F. C.; VIOLA, M. R.; DE SÁ FARIAS, M. Regional flood frequency analysis and uncertainties: Maximum streamflow estimates in ungauged basins in the region of Lavras, MG, Brazil. **CATENA**, v. 197, p. 104970, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2020.104970>.
- TUCCI, C. E. M. Hidrologia: ciência aplicada, 2 ed. ABRH, Porto Alegre, 2001.
- TUCCI, C. E. M. Gestão de águas pluviais urbanas. Programa de Modernização do Setor Saneamento, Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental, Ministério das Cidades, 2005.
- TUCCI, C. E. M. **Inundações urbanas**. ABRH, ed. RHAMA, Porto Alegre – RS. 393 p, 2007.

Recebido em: 30/05/2024

Aceito para publicação em: 06/09/2024