ANÁLISE DE PRECIPITAÇÕES MÁXIMAS E CURVAS INTENSIDADE-DURAÇÃO-FREQUÊNCIA NA BACIA DO BACANGA, SÃO LUÍS – MA

Fernanda Cassiano do Nascimento Rodrigues[1]; Terezinha de Jesus Silva Oliveira[2]; Beatriz da Cruz Martins Costa[3] & Cláudio José da Silva de Sousa[4]

RESUMO – O presente trabalho teve como objetivo analisar o comportamento das precipitações máximas e elaborar curvas Intensidade-Duração-Frequência (IDF) para a Bacia do Bacanga, localizada em São Luís – MA. Foram utilizados dados pluviométricos do período de 1991 a 2020, obtidos junto ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). A metodologia envolveu a análise da precipitação média mensal, precipitação total anual, precipitação máxima diária anual e aplicação dos métodos de Kimball e Ven Te Chow para estimativa das precipitações máximas associadas a diferentes tempos de retorno. Posteriormente, realizou-se a desagregação das precipitações máximas para diferentes durações, possibilitando a elaboração das curvas IDF. Os resultados evidenciaram forte sazonalidade pluviométrica, com maiores volumes de chuva concentrados entre janeiro e maio, além de elevada variabilidade das precipitações máximas anuais. As curvas IDF demonstraram que chuvas de curta duração apresentam maiores intensidades, principalmente para maiores tempos de retorno, indicando elevado potencial para ocorrência de alagamentos urbanos e enchentes na bacia. O estudo contribui para o planejamento hidrológico e dimensionamento de sistemas de drenagem urbana na região.

Palavras-Chave: hidrologia urbana; eventos extremos; drenagem pluvial.

ABSTRACT– This study aimed to analyze the behavior of maximum precipitation events and to develop Intensity-Duration-Frequency (IDF) curves for the Bacanga Watershed, located in São Luís, Maranhão, Brazil. Rainfall data from 1991 to 2020 were obtained from the National Institute of Meteorology (INMET). The methodology included the analysis of mean monthly precipitation, annual total precipitation, annual maximum daily precipitation, and the application of the Kimball and Ven Te Chow methods to estimate maximum precipitation associated with different return periods. Subsequently, the maximum precipitation values were disaggregated into different rainfall durations, enabling the development of IDF curves. The results showed strong rainfall seasonality, with the highest rainfall volumes concentrated between January and May, as well as high variability in annual maximum precipitation events. The IDF curves demonstrated that short-duration rainfall events present higher intensities, especially for greater return periods, indicating a high potential for urban flooding and surface runoff in the watershed. The study contributes to hydrological planning and the design of urban drainage systems in the region.

Keywords: – urban hydrology; extreme events; stormwater drainage.

[1)] Universidade Estadual do Maranhão (UEMA), São Luís–MA, Brasil, fernandanascimento3@aluno.uema.br
[2)] Universidade Estadual do Maranhão (UEMA), São Luís–MA, Brasil, terezinhaoliveira1794@gmail.com
[3)]Universidade Estadual do Maranhão (UEMA), São Luís–MA, Brasil, beatrizmartins.engambiental@gmail.com
[4)]Universidade Estadual do Maranhão (UEMA), São Luís–MA, Brasil, claudiojose@professor.uema.br

INTRODUÇÃO

O entendimento do comportamento das chuvas em determinada região é essencial para os estudos hidrológicos, uma vez que possibilita avaliar a disponibilidade dos recursos hídricos e subsidiar ações relacionadas ao abastecimento, à irrigação e ao controle de eventos extremos (Fraga; Kipper; Michel, 2022). Em sistemas hidrológicos densamente urbanizados e antropizados, como os observados na Ilha de São Luís, a impermeabilização do solo reduz o tempo de concentração das bacias, potencializando os picos de vazão e os riscos de inundações (Picolo *et al.,* 2020).

A caracterização de chuvas intensas pode ser realizada por meio das relações Intensidade–Duração–Frequência (IDF), amplamente utilizadas em estudos hidrológicos para a quantificação de eventos extremos de precipitação. Essas relações permitem descrever matematicamente a intensidade das chuvas em função de sua duração e do período de retorno, constituindo importante ferramenta para a análise de eventos críticos e para o planejamento de sistemas hidráulicos e de drenagem; (Ferreira Filho *et al*., 2020).

Diante desse cenário, o presente trabalho tem como objetivo analisar as precipitações máximas e elaborar curvas Intensidade-Duração-Frequência (IDF) para a Bacia do Bacanga em São Luís/MA, por meio da análise da precipitação média mensal, da distribuição da precipitação total anual, da precipitação máxima diária anual e da modelagem das curvas IDF associadas aos eventos extremos de chuva (Coelho *et al*., 2023).

METODOLOGIA

Área de Estudo

A Bacia do Bacanga (Figura 1), localizada no município de São Luís, Maranhão, abrange uma área aproximada de 11.030 hectares e corresponde a 12,33% do território municipal, concentrando cerca de 64 mil domicílios e aproximadamente 256 mil habitantes, segundo Soares *et al*., (2021). Seus limites compreendem, ao norte, a Baía de São Marcos; ao sul, a região do Tiririca; a leste, as bacias dos rios Anil, Paciência e Tibiri; e, a oeste, a bacia litorânea oeste, configurando-se como uma importante unidade hidrográfica da Ilha do Maranhão (Soares *et al*., 2021). Situa-se entre as coordenadas geográficas de longitude 44°20'25" W e 44°14'28" W, e de latitude 2°39'27" S e 2°31'26" S.

A bacia está inserida em uma região de clima tropical úmido, caracterizada pela ocorrência de duas estações bem definidas: um período chuvoso, de janeiro a junho e um período de estiagem, de

julho a dezembro, com maiores acumulados pluviométricos concentrados entre os meses de fevereiro e maio (INMET, 2023).

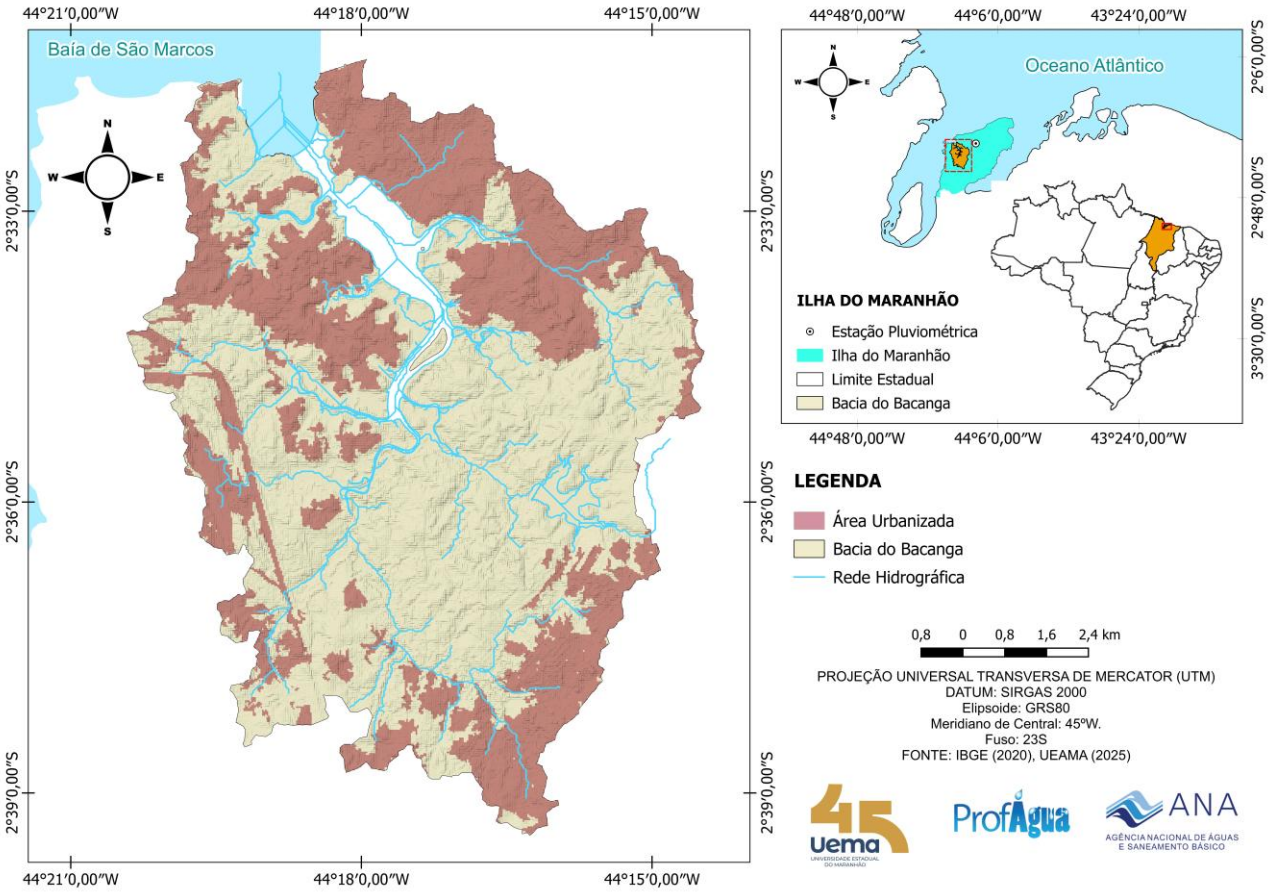


Figura 01 - Mapa de Localização da Área de Estudo
Fonte: Autores (2026)

Obtenção e tratamento dos dados pluviométricos

Os dados meteorológicos foram obtidos junto ao Instituto Nacional de Meteorologia, INMET (2026), a partir do posto pluviométrico mais próximo da área de estudo, conforme mostra a Tabela 01.

Tabela 01 - Dados da estação pluviométrica utilizada no estudo.

Estação Pluviométrica	Código	Latitude	Longitude	Anos Observados	Período Utilizado
São Luís	82280	2°31'48"S	44°12'36"W	1991 - 2020	30 anos

Fonte: INMET (2026)

Os dados foram organizados e processados em planilhas eletrônicas no *software Microsoft Excel*, permitindo a obtenção das precipitações médias mensais, totais anuais e precipitações máximas diárias anuais da área de estudo.

Análise de frequência das precipitações

A distribuição de frequência dos totais anuais de precipitação foi realizada utilizando o Método de Kimball, por meio da ordenação decrescente dos valores anuais de precipitação e cálculo da frequência relativa, frequência relativa percentual e tempo de retorno. A frequência relativa foi calculada pela Equação 01:

$$F(x_0) = \mathrm{P}(x \geq xo) = \frac{m}{N+1} \quad (01)$$

onde *m* e *N* representam a ordem do evento na série histórica e o número total de anos analisados. O tempo de retorno foi estimado pela Equação 02:

$$Tr = \frac{1}{P(x \geq xo)} \quad (02)$$

Estimativa das precipitações máximas

As precipitações máximas para diferentes tempos de retorno foram estimadas pelo método de Ven Te Chow, considerando os tempos de retorno de 5, 10, 20, 50 e 100 anos.

A precipitação máxima para cada tempo de retorno foi calculada pela Equação 03, abaixo:

$$x_{Tr} = \bar{x} + K.s \quad (03)$$

onde *x*, *s* e *K* correspondem à média das precipitações máximas anuais, ao desvio padrão da série e ao fator de frequência associado ao tempo de retorno.

O fator *K* foi determinado pela Equação 04:

$$K = -\left\{0{,}45 + 0{,}7797.\, ln\left[-ln\left(1 - \frac{1}{Tr}\right)\right]\right\} \quad (04)$$

Desagregação da Chuva

As precipitações máximas diárias anuais foram desagregadas para as durações de 24 h, 12 h, 6 h, 1 h, 30 min e 10 min, por meio da aplicação dos coeficientes de desagregação apresentados na Tabela 02, conforme metodologia proposta pela CETESB (1979). Esse procedimento permitiu a estimativa das precipitações máximas associadas a diferentes durações, possibilitando a elaboração das curvas Intensidade-Duração-Frequência (IDF) da área de estudo.

Tabela 02 - Coeficientes de desagregação de chuva pelo método das Relações de Durações.

Relação entre durações	**1 dia → 24 h**	**24 h → 12 h**	**24 h → 6 h**	**24 h → 1 h**	**1 h → 30 min**	**30 min → 10 min**
Coeficiente	1,14	0,85	0,72	0,42	0,74	0,54

Fonte: CETESB (1979)

Intensidade de precipitação e curvas IDF

As intensidades máximas de precipitação foram obtidas a partir da razão entre a precipitação máxima estimada e sua respectiva duração (Equação 05):

$$i = \frac{P}{t} \quad (05)$$

em que i, P e t representam a intensidade da precipitação (mm/h), a precipitação máxima (mm) e a duração da precipitação (h), respectivamente.

Posteriormente, foram elaboradas curvas de intensidade-duração-frequência (IDF) para os diferentes tempos de retorno analisados, permitindo avaliar o comportamento das chuvas intensas na Bacia do Bacanga.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Precipitação Média Mensal

A distribuição da precipitação média mensal mostrou forte sazonalidade na Bacia do Bacanga. Os maiores índices ocorreram entre janeiro e maio, com destaque para março (≈450 mm) e abril (≈430 mm). Já os menores valores foram registrados entre agosto e novembro, especialmente em setembro e outubro, com precipitações quase nulas. Esses resultados evidenciam um período chuvoso bem definido e outro seco, conforme os dados apresentados na Figura 2.

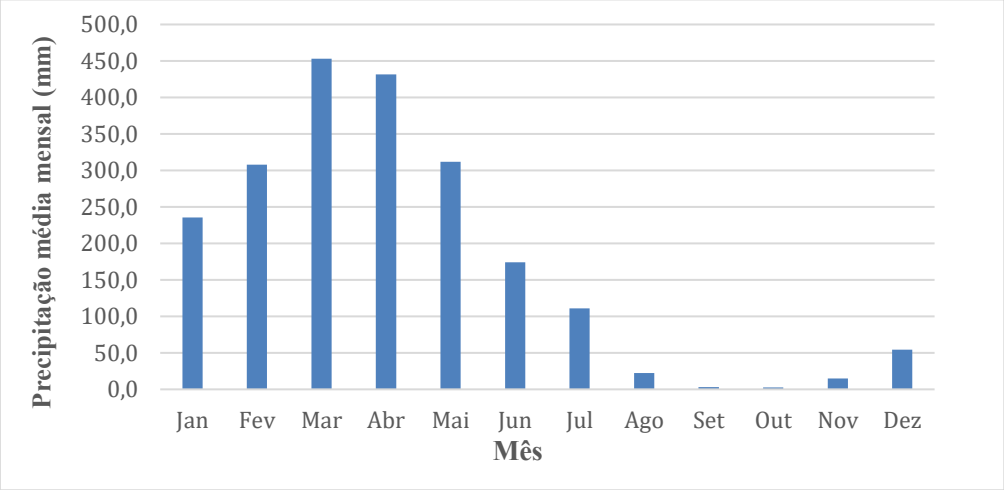


Figura 02 - Precipitação média mensal da bacia hidrográfica do Bacanga.
Fonte: Autores (2026)

A sazonalidade observada na distribuição da precipitação média mensal está associada à atuação da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), principal sistema atmosférico responsável pelas chuvas no norte do Nordeste brasileiro (Ferreira e Mello, 2005). Segundo o INMET (2026), a ZCIT desloca-se para o Hemisfério Sul durante o fim do verão e o início do outono, principalmente entre março e abril, período em que exerce maior influência sobre a faixa norte das regiões Norte e Nordeste do Brasil. Entretanto, sua atuação pode se estender entre janeiro e maio, favorecendo o aumento da atividade convectiva e dos volumes pluviométricos, além de contribuir para a ampliação do período chuvoso na região (Moura; Vitorino, 2012).

Reboita *et al*. (2010) citam outros fatores atmosféricos e oceânicos que também contribuem para o regime pluviométrico observado ao longo do litoral do Nordeste brasileiro, como a proximidade com o Oceano Atlântico, que favorece o transporte contínuo de umidade para o continente por meio da circulação de brisa marítima e da atuação dos ventos alísios, intensificando a atividade convectiva e a formação de linhas de instabilidade tropicais.

Precipitação Máxima Anual

A precipitação máxima diária anual apresentou grande variabilidade entre 1991 e 2020, com valores entre aproximadamente 65 mm e 235 mm. O maior evento ocorreu em 2019, enquanto os menores registros foram observados em 1997 e 2005. Esses resultados demonstram a ocorrência de eventos extremos significativos na região, conforme mostra a Figura 03.

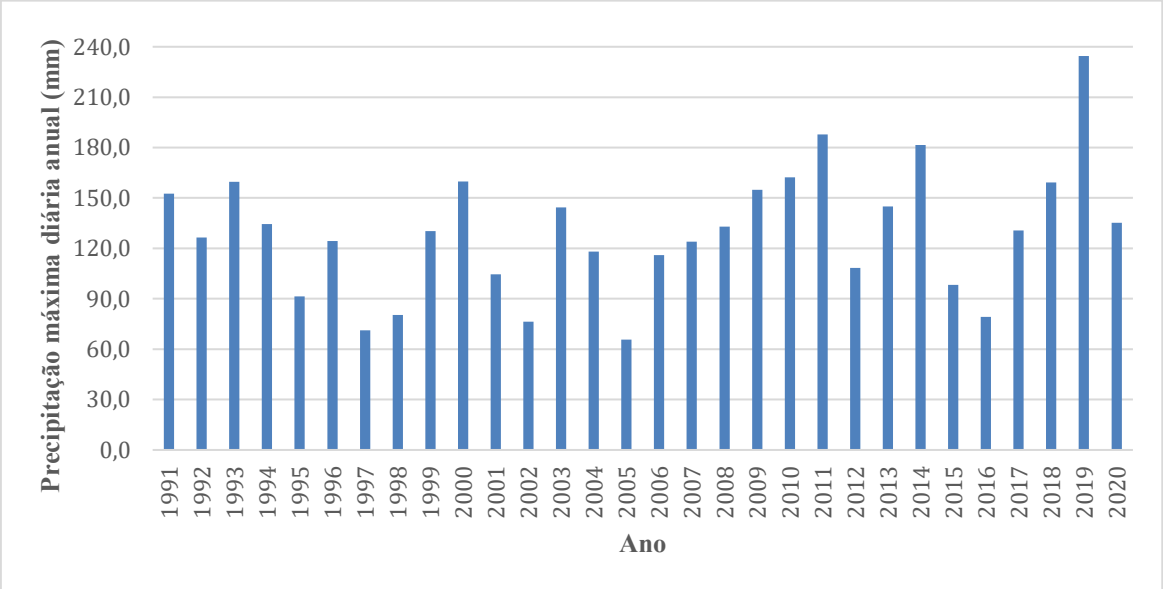


Figura 03: Precipitação máxima diária anual na Bacia do Bacanga, São Luís/MA, no período de 1991 a 2020. Fonte: Autores (2026)

Essa variabilidade também está relacionada à atuação de sistemas atmosféricos de grande escala e às interações oceano-atmosfera que influenciam a dinâmica pluviométrica regional. Essas oscilações interanuais estão associadas aos eventos ENOS e às anomalias de Temperatura da Superfície do Mar (TSM) no Atlântico Tropical, que alteram a posição da ZCIT e modulam a distribuição das chuvas no norte do Nordeste brasileiro (Nobre; Melo, 2020; Machado, 2019).

O comportamento irregular das precipitações também pode ser observado na análise da frequência da precipitação total anual. A Figura 04 mostra que a frequência relativa da precipitação anual indicou elevada variabilidade dos totais pluviométricos, variando aproximadamente entre 1.100 mm e 2.850 mm. Os eventos de maior precipitação apresentaram menor frequência de ocorrência, caracterizando anos excepcionalmente chuvosos e mais raros.

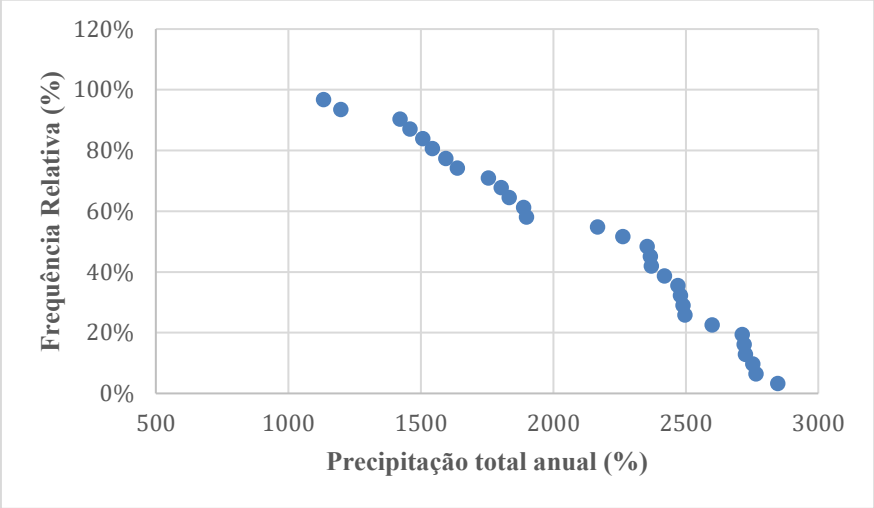


Figura 03: Distribuição de frequência relativa dos totais anuais de precipitação na Bacia do Bacanga.
Fonte: Autores (2026)

Curvas de Intensidade-Duração-Frequência (IDF)

As curvas IDF apresentaram redução da intensidade da precipitação com o aumento da duração da chuva. Os maiores tempos de retorno apresentaram as maiores intensidades em todas as durações analisadas. O comportamento das curvas evidencia o elevado potencial de chuvas intensas de curta duração na Bacia do Bacanga, fundamentais para estudos de drenagem e controle de enchentes. Na Figura 04 apresentam-se as curvas IDF da Bacia do Bacanga, evidenciando o comportamento típico das curvas.

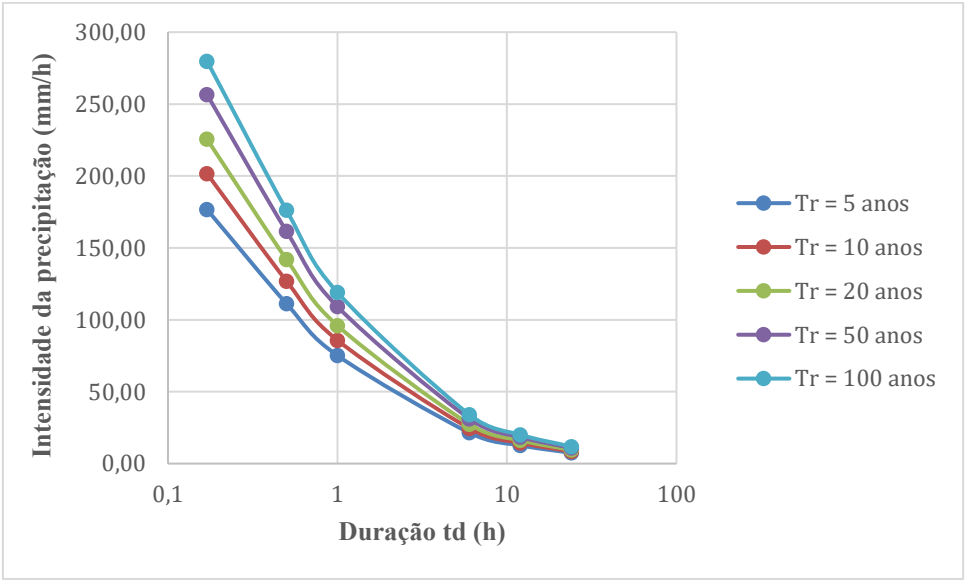


Figura 04: Valores de intensidade de precipitação em função do tempo para diferentes tempos de recorrência para Bacia do Bacanga, São Luís/MA.
Fonte: Autores (2026)

As curvas IDF indicaram que chuvas de curta duração apresentam maiores intensidades, principalmente para tempos de retorno elevados. Esse comportamento demonstra o potencial de

ocorrência de alagamentos enxurradas urbanas e destaca a importância das curvas IDF para o dimensionamento de sistemas de drenagem e obras hidráulicas na bacia.

Considerando o elevado grau de urbanização da Bacia do Bacanga, chuvas intensas de curta duração representam um fator crítico para a geração de escoamento superficial, uma vez que a impermeabilização do solo reduz a infiltração e aumenta os volumes escoados (Bilodeau *et al.*, 2025). Dessa forma, eventos com elevadas intensidades em curtos intervalos de tempo podem contribuir significativamente para a ocorrência de alagamentos e sobrecarga dos sistemas de drenagem urbana.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo das precipitações na Bacia do Bacanga permitiu analisar o comportamento das chuvas intensas e elaborar curvas Intensidade-Duração-Frequência (IDF) para diferentes tempos de retorno. Os resultados evidenciaram forte sazonalidade pluviométrica, com maiores volumes de chuva concentrados no primeiro semestre do ano e redução significativa no período seco.

As análises mostraram ainda elevada variabilidade das precipitações máximas anuais, destacando a ocorrência de eventos extremos capazes de intensificar o escoamento superficial na bacia. As curvas IDF demonstraram que chuvas de curta duração apresentam maiores intensidades, principalmente para maiores tempos de retorno.

Dessa forma, os resultados obtidos permitiram compreender o comportamento pluviométrico da Bacia do Bacanga, evidenciando a influência das chuvas intensas nos processos hidrológicos da bacia, especialmente no aumento do escoamento superficial e na redução da infiltração da água no solo durante eventos extremos de precipitação.

REFERÊNCIA

BRUBACHER, João Paulo; OLIVEIRA, Guilherme Garcia de; GUASSELLI, Laurindo Antonio. Preenchimento de falhas e espacialização de dados pluviométricos: desafios e perspectivas. **Revista Brasileira de Meteorologia**, [S.l.], v. 35, n. 4, p. 615-629, 2020. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1590/0102-77863540067. Acesso em: 18 maio 2026.

BILODEAU, Emilie; MARTEL, Jean-Luc; ARSENAULT, Richard; BRISSETTE, François. Evaluation of the impact of rainfall increases on runoff in urban watersheds. **Journal of Water Management Modeling,** [S.l.], v. 33, p. C559, 2025. DOI: https://doi.org/10.14796/JWMM.C559.

CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Drenagem urbana – Manual de Projeto. 3 ed**. São Paulo**, 1979. 464 p.

COELHO, M. M.; FIGUEIREDO, N. M.; COELHO, M. T. M.; CAMPOS FILHO, L. (2023). "Rainfall intensity model with spatialization of intensity-duration-frequency curve parameters - A case study for the state of Maranhão, Brazil". *Acta Scientiarum. Technology*, v. 45, e63369, pp. 1-17.

FERREIRA, A. G.; MELLO, N. G. S. Principais sistemas atmosféricos atuantes sobre a região Nordeste do Brasil e a influência nos regimes de precipitação. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 01, n. 1, p. 15–28, 2005.

FERREIRA FILHO, David Figueiredo et al. Aplicação de diferentes métodos de determinação de curvas de intensidade-duração-frequência no município de Belterra no estado do Pará, Brasil. **Research, Society and Development**, [S.l.], v. 9, n. 2, e77922073, 2020. Disponível em: http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i2.2073. Acesso em: 18 maio 2026.

FRAGA, Fernando de Oliveira; KIPPER, Priscila Maria; MICHEL, Gean Paulo. Estimativa da curva IDF obtida através de posto pluviométrico para a cidade de Campo Maior/PI. In: ENCONTRO NACIONAL DE DESASTRES, 3., 2022. **Anais [...]**. [S.l.]: ABRHidro, 2022. p. 1-4.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. **O que é Zona de Convergência Intertropical? Entenda agora!**. Brasília, 2026. Disponível em: Portal INMET - ZCIT. Acesso em: 26 maio 2026.

MACHADO, Adilson Matheus Borges. **Variabilidade climática regional da circulação oceânica no Oceano Atlântico Equatorial Ocidental.** 2019. 116 f. Dissertação (Mestrado em Oceanografia) – Departamento de Oceanografia e Limnologia, Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2019.

MOURA, M. N.; VITORINO, M. I. Variabilidade da precipitação em tempo e espaço associada à zona de convergência intertropical. **Revista Brasileira de Meteorologia** [S.l.], v.27, n.4, 475 - 483, 2012.

NOBRE, Paulo. Clima e mudanças climáticas no Nordeste. Projeto ÁRIDAS: Uma Estratégia de Desenvolvimento Sustentável para o Nordeste. GT 1 - **Recursos Naturais e Meio Ambiente**, v. 1, n. 1. DF: Ministério da Integração Nacional / IICA, 1994.

PICOLO, Mariana Fadigatti; CAMPOS, Thamiris Luisa de Oliveira Brandão; FREITAS, Edmilson Dias de. Relações entre urbanização e precipitação na Macrometrópole Paulista. In: TORRES, Pedro

Roberto Jacobi; JACOBI, Pedro Roberto (org.). **Governança ambiental na Macrometrópole Paulista face à variabilidade climática**. São Paulo: IEE-USP, 2020. p. 267-282.

REBOITA, Michelle Simões *et al*. Regimes de precipitação na América do Sul: uma revisão bibliográfica. **Revista Brasileira de Meteorologia**, [S.L.], v. 25, n. 2, p. 185-204, jun. 2010. FapUNIFESP (SciELO). http://dx.doi.org/10.1590/s0102-77862010000200004.

SOARES, Leonardo Silva et al. Análise integrada e problemas socioambientais da bacia hidrográfica do Bacanga, São Luís – MA. **Rede – Revista Eletrônica do PRODEMA**, Fortaleza, v. 15, n. 1, p. 138-150, 2021. DOI: https://doi.org/10.22411/rede2021.1501.12.