

**PKS**

PUBLIC  
KNOWLEDGE  
PROJECT

REVISTA DE  
**GEOGRAFIA**

Programa de Pós-Graduação em Geografia da UFPE

**OJS**

OPEN  
JOURNAL  
SYSTEMS

<https://periodicos.ufpe.br/revistas/revistageografia>

## ANÁLISE DE CURVAS IDF POR DADOS DE SATÉLITE NA BACIA DO ALTO PARANAPANEMA/SP-BRASIL

Camila Rodrigues Cremasco<sup>1</sup>, Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-2342-2612>  
Vinicius Alexandre Sikora de Souza<sup>2</sup>, Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-5902-6139>  
Otto Corrêa Rotunno Filho<sup>3</sup>, Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-2763-4401>  
Daniel Medeiros Moreira<sup>4</sup>, Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-2763-4401>

<sup>1</sup>Universidade Federal de São Carlos, Buri, São Paulo, SP, Brasil\*

<sup>2</sup> Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil\*\*

<sup>3</sup> Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil\*\*\*

<sup>4</sup> Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, Rio de Janeiro, RJ, Brasil\*\*\*\*

*Artigo recebido em 14/02/2023 e aceito em 26/03/2024*

### RESUMO

A preocupação mundial sobre mudanças climáticas mobiliza atenção crescente por parte da sociedade humana. Não resta dúvida que os períodos de enchente e de seca, resultantes do balanço hídrico, sobretudo decorrentes da variabilidade da chuva, afetam a concepção e a implantação das diferentes estruturas hídricas de drenagem, de suprimento de água bem como de coleta e tratamento de esgotos. No atual momento, a engenharia nacional trabalha, via de regra, com informações pluviométricas e equações paramétricas que foram obtidas em meados do século XX com base em estações pluviométricas e fluviográficas de superfície, dispondo de dados notadamente defasados temporalmente e bastante limitados espacialmente, sendo usual ainda não haver dados disponíveis em diferentes regiões do país. Nesse sentido, busca-se uma alternativa para preencher esta lacuna de dados de precipitação. O trabalho propõe-se a avaliar o emprego de dados de produtos satelitais de chuva do tipo *Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Stations* (CHIRPS) para a geração de curvas de intensidade-duração-frequência (IDF) na bacia do Alto Paranapanema. Para avaliação do produto gerado, curvas IDF foram obtidas para os píxeis do CHIRPS que abrangem geograficamente as estações pluviométricas de superfície que possuem curvas IDF modeladas, e utilizaram-se resíduos produzidos na comparação entre as bases observacionais de superfície e de satélite. A comparação das bases de dados observacionais de superfície e de satélite permitiu estabelecer a confiabilidade do uso de dados do satélite CHIRPS na construção de relações IDF para situações em que não se dispõe de informações pluviométricas locais.

**Palavras-chaves:** mudanças climáticas; produtos de chuva por satélite; equação; curva IDF.

\* Bacharel em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de São Carlos. E-mail: [cacremasco@estudante.ufscar.br](mailto:cacremasco@estudante.ufscar.br)

\*\* Doutor em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro. E-mail: [vinicius@coc.ufrj.br](mailto:vinicius@coc.ufrj.br)

\*\*\* Doutor em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro. E-mail: [otto@coc.ufrj.br](mailto:otto@coc.ufrj.br)

\*\*\*\* Doutor em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro. E-mail: [daniel.moreira@sgb.gov.br](mailto:daniel.moreira@sgb.gov.br)

## **ANALYSIS OF IDF CURVES BY SATELLITE DATA IN THE ALTO PARANAPANEMA BASIN/SP-BRAZIL**

### **ABSTRACT**

The worldwide concern about climate change mobilizes increasing attention on the part of human society. There is no doubt that the periods of flooding and drought, resulting from the water balance, mainly due to the variability of rainfall, affect the design and implementation of different water structures for drainage, water supply, as well as sewage collection and treatment. At the present time, national engineering works, as a rule, with rainfall information and parametric equations that were obtained in the mid-twentieth century based on surface rainfall and pluviographic stations, having data notably out of date and quite limited in space, and it is usual there are still no data available in different regions of the country. In this sense, an alternative is sought to fill this precipitation data gap. The work proposes to evaluate the use of data from satellite products of rainfall of the type Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Stations (CHIRPS) for the generation of intensity-duration-frequency (IDF) curves in the Alto Paranapanema basin. To evaluate the generated product, IDF curves were obtained for the CHIRPS pixels that geographically cover the surface rainfall stations that have modeled IDF curves, and residues produced in the comparison between the surface and satellite observational bases were used. Comparison of surface and satellite observational databases allowed establishing the reliability of using CHIRPS satellite data in building IDF relationships for situations where local rainfall information is not available.

**Keywords:** climate change; satellite rain products; equation; IDF Curve.

## **ANÁLISIS DE CURVAS IDF UTILIZANDO DATOS SATÉLITES EN LA CUENCA DEL ALTO PARANAPANEMA/SP-BRASIL**

### **RESUMEN**

La preocupación mundial por el cambio climático moviliza una atención cada vez mayor por parte de la sociedad. No cabe duda que los periodos de inundaciones y sequías, principalmente por la variabilidad de las precipitaciones, afectan la implementación de las diferentes estructuras hídricas para drenaje, abastecimiento de agua, así como para la recolección y tratamiento de aguas servidas. En la actualidad, la ingeniería nacional trabaja, con información pluviométrica y ecuaciones paramétricas que se obtuvieron a mediados del siglo XX a partir de estaciones pluviométricas y pluviográficas superficiales, teniendo datos notablemente desactualizados y bastante limitados en el espacio, y es habitual que todavía no haya datos disponibles en las diferentes regiones del país. En este sentido, se busca una alternativa para llenar este vacío de datos de precipitación. El trabajo propone evaluar el uso de datos de productos satelitales de lluvia del tipo Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Stations (CHIRPS) para la generación de curvas de intensidad-duración-frecuencia (IDF) en la cuenca del Alto Paranapanema. Para evaluar el producto generado, se obtuvieron curvas IDF para los píxeles CHIRPS que cubren geográficamente las estaciones pluviométricas de superficie que han modelado curvas IDF, y se utilizaron los residuos producidos en la comparación entre las bases de observación de superficie y satélite. La comparación de las bases de datos de observaciones satelitales y de superficie permitió establecer la confiabilidad del uso de datos satelitales CHIRPS en la construcción de relaciones IDF para situaciones en las que no se dispone de información local sobre precipitaciones.

**Contraseñas:** cambios climáticos; satélite lluvia productos; ecuación; curva IDF.

## **INTRODUÇÃO**

A chuva, dentre as forçantes hidrológicas, é a de maior impacto na vida humana, pois representa, via de regra, a principal entrada de água no sistema de balanço hídrico-hidrológico, determinando as componentes de vazão e de evaporação, intimamente ligadas à sua ocorrência e consequente pronunciada influência sobre áreas povoadas, seja expressando-se por secas ou enchentes, com repercussões no abastecimento de água, saneamento e drenagem, na produção de energia e de alimentos e na efetiva gestão do território sob a ótica de bacias hidrográficas.

Nesse contexto, fenômenos meteorológicos como chuvas intensas podem provocar cheias nos sistemas de drenagem, onde as vazões de pico atingem valores próximos da capacidade máxima de operação desses sistemas. Essas são capazes de suscitar grande quantidade de escoamento superficial, podendo causar grandes prejuízos em áreas agrícolas, como a inundação de terras cultivadas, a erosão do solo, a perda de nutrientes, o assoreamento e a poluição de corpos de água (CECÍLIO et al., 2009). Dessa forma, é importante conhecer as características dessas precipitações com o objetivo de evitar os problemas supracitados e oferecer suporte no planejamento de práticas de conservação do solo e da água, no manejo de bacias hidrográficas e no dimensionamento de estruturas de natureza hidráulico-hidrológica em geral.

Uma potencial solução para a caracterização e estimativa das precipitações é a utilização de curvas intensidade-duração-frequência (IDF), que consistem em modelos matemáticos semiempíricos que preveem a intensidade precipitada por meio da duração e da distribuição temporal. Eltz et al. (1992), por exemplo, afirmam que a análise de frequência é uma técnica estatística importante no estudo das chuvas, devido à grande variabilidade temporal e espacial das precipitações pluviais, as quais não podem ser previstas em bases puramente determinísticas.

Os modelos IDF procuram incorporar as principais características da chuva extrema, permitindo gerar estimativas que visam atender a características específicas da precipitação na localidade para a qual o modelo é concebido, por meio de análises estatísticas, em função de chuvas intensas poderem ser potencialmente ajustadas por meio do emprego de distribuições de probabilidade estatística de extremos.

O último estudo de chuvas intensas conduzido e reconhecido, no nível nacional, remonta à década de 80 do século XX (PFAFSTETTER, 1982), que empregou apenas 98 estações

pluviométricas *in situ*, constituindo, ainda hoje em dia, referência para a engenharia nacional quando o assunto é construção de obras de drenagem e intervenções hidráulicas em perímetros urbanos e áreas rurais.

Observe-se que, mais recentemente, houve esforço de atualização do quadro de chuvas intensas no Brasil, mediante a produção do Atlas Pluviométrico do Brasil (PINTO, 2013), com base metodológica lastreada em Pfafstetter (1982), de forma a revisar a produção de equações do tipo IDF com base em postos pluviométricos e sobretudo em estações pluviográficas, que permitiriam de melhor forma estudar a desagregação de chuvas em intervalos de tempo sub-diários a partir da leitura de pluviogramas.

Sob qualquer prisma que se examine essa questão do tratamento do dado de chuva, identifica-se certa urgência para que melhor se caracterize a espacialidade e temporalidade de ocorrência de chuvas extremas na escala diária ou no período de 24 horas no território nacional. Uma provável causa para tal escassez de dados pluviométricos e pluviográficos é o fato de o país apresentar uma área muito extensa, o que dificulta o registro de tais dados. A ausência de estudos relacionados a esses registros dificulta a elaboração de projetos na área de recursos hídricos em locais distantes dos grandes centros urbanos brasileiros (PEREIRA et al., 2007) e nos próprios centros urbanos ou em processo de adensamento populacional.

Nesse cenário, outras formas de estimativa de chuva na superfície terrestre podem se mostrar opções interessantes de complementaridade ao dado pluviométrico tradicional coletado historicamente ou ainda podem se revelar mais promissoras pela sua robustez e abrangência. É o caso, por exemplo, do emprego de sensoriamento remoto na mensuração da chuva. O conceito de medição pluviométrica por meio de satélites, por exemplo, baseia-se em captar sinais de eventos de precipitação e converter as respostas em imagens, que, em essência, são matrizes, onde magnitudes de tom de cinza são convertidas em radiância e reflectância ou seção de retroespalhamento, conforme a faixa do espectro eletromagnético, condicionados por sua localização e forma de aquisição, representadas, então, em uma pequena área denominada de pixel. No caso da medição de chuva por satélite, combinam-se sensores que operam na faixa de micro-ondas e nas faixas do infravermelho e termal.

As bases pluviométricas geradas por sensoriamento remoto, quando comparadas com outros instrumentos clássicos de mensuração, como é o caso de pluviômetros e pluviógrafos, acabam se

tornando fonte complementar importante para a medição mais abrangente do fenômeno da precipitação. É importante ressaltar que o suporte espacial de coleta do dado de chuva por satélite distingue-se do dado de um posto pluviométrico, uma vez que o primeiro opus na escala de um pixel, unidade associada a um certo grau de resolução espacial em função do sistema de aquisição do sensor, enquanto o segundo recupera a informação em escala praticamente de natureza pontual.

Adicione-se ainda a questão de a resolução temporal do dado de satélite ser disponibilizada usualmente na escala diária, embora essa realidade esteja em permanente processo de atualização. Há possibilidade, desde 1998, de se obter dados de chuva por satélite, por exemplo, de três em três horas, como confirma a missão espacial *Tropical Rainfall Measurement Mission (TRMM)* (MENECHINI et al., 1992). Tal ideia de medir a precipitação a partir do espaço usando um complemento de instrumentos combinado de instrumentos passivos e ativos de microondas (radar) foi gerada no início dos anos 1980. Em setembro de 1984, uma proposta intitulada “Tropical Rain Measuring Mission” foi submetida ao Dr. J. S. Theon na sede da NASA por uma equipe de investigadores do Goddard Space Flight Center composta pelos Drs. G. North, T. T. Wilheit e O. Thiele. Vôos de aeronaves conjuntas com um radar experimental sugeriram que a precisão do instrumento era promissora (MENECHINI et al., 1992).

Estudos de modelagem hidrológica do dado de chuva em conjunto com outros dados hidrológicos em balanço hídrico aplicado em bacias hidrográficas têm sido desenvolvidos desde 2006 no Brasil, como, por exemplo, ilustram os trabalhos pioneiros de Collischonn (2006), com validação do dado TRMM e aplicação na bacia do rio Tocantins, e de Paca (2008), incluindo avaliação do dado nas escalas diária e mensal com aplicações do modelo do tipo chuva-vazão *Soil Moisture Accounting Procedure (SMAP)* em bacias do estado do Pará envolvendo o rio Guamá.

Nesse contexto, destaca-se o *Climate Hazards group Infrared Precipitation with Stations (CHIRPS V2.0)*, o qual utiliza informações do *Tropical Rainfall Measuring Mission Multisatellite Precipitation Analysis version 7 (TMPA 3B42 v7)* para a calibração das estimativas de precipitação, que são obtidas por uma técnica denominada *Cold Cloud Duration (CCD)* combinada a dados de superfície em escala diária (DINKU et al., 2018), e ainda incorpora abordagens de interpolação de dados com informações de estações pluviométricas *in situ* para criar as séries temporais.

No Brasil, o CHIRPS foi estudado, entre outros, por Paredes-Trejo et al. (2017) na região nordeste do país, onde foi comparada a precipitação mensal derivada do CHIRPS v.2 com a

observação de 21 estações terrestres no período 1981-2013. No estudo, foram empregadas várias métricas baseadas em comparação pareada para avaliar o desempenho do CHIRPS na estimativa da quantidade de chuva e na capacidade de detecção de chuva. Os autores observaram que os dados do CHIRPS se correlacionam bem com observações para todas as estações, mas tendem a superestimar os baixos e subestimar os altos valores de precipitação. O estudo salientou, ainda, que o melhor desempenho global foi observado no bioma de cerrado. Por fim, o estudo concluiu que o conjunto de dados CHIRPS pode ser um substituto útil para dados de precipitação pluviométrica fora do semiárido do nordeste brasileiro.

Souza et al. (2022), comparou o CHIRPS com os produtos outras bases de dados de chuva por satélite (CHIRP (Climate Hazards Group InfraRed Precipitation), 3B42 3B42RT da Missão de Medição de Chuvas Tropicais (TRMM)) na bacia do rio Madeira. Os autores observaram que o CHIRPS teve o melhor desempenho dentre os estimadores de chuva testados para a região levando em consideração os pluviômetros como informação de base.

Nesse sentido, a bacia hidrográfica do Alto Paranapanema (ALPA), localizada ao sul do estado de São Paulo, possui poucos pontos de coleta de dados pluviométricos, sendo que muitos deles não funcionam mais ou os que funcionam possuem grandes defasagens na coleta dos dados. Apenas quatro (4) municípios dispõem de modelos de curvas IDF definidos (DAEE, 2018). Segundo o relatório que discute a situação da bacia hidrográfica do Alto Paranapanema (CBH-ALPA, 2019), os pontos de enchentes ou inundações aumentaram consideravelmente desde 2011, passando de um (1), para 17 pontos até 2013, evidenciando, dessa forma, a necessidade de estudos para desenvolvimento de modelagem do comportamento da chuva e, por extensão, de implementação de modelos hidrológicos em diferentes porções da bacia, de forma que possam contribuir para implementação e revisão de projetos hidráulicos na região.

O objetivo do presente trabalho foi estimar novas curvas IDF para a bacia hidrográfica do Alto Paranapanema, como forma de contribuir para projetos hidrológicos/hidráulicos e dessa forma evitar possíveis desastres provenientes de chuvas extremas, e compara-las com as curvas IDF oficiais fornecidas pelo DAEE (DAEE, 2018) a título de validação dos dados.

### ***Área de Estudo***

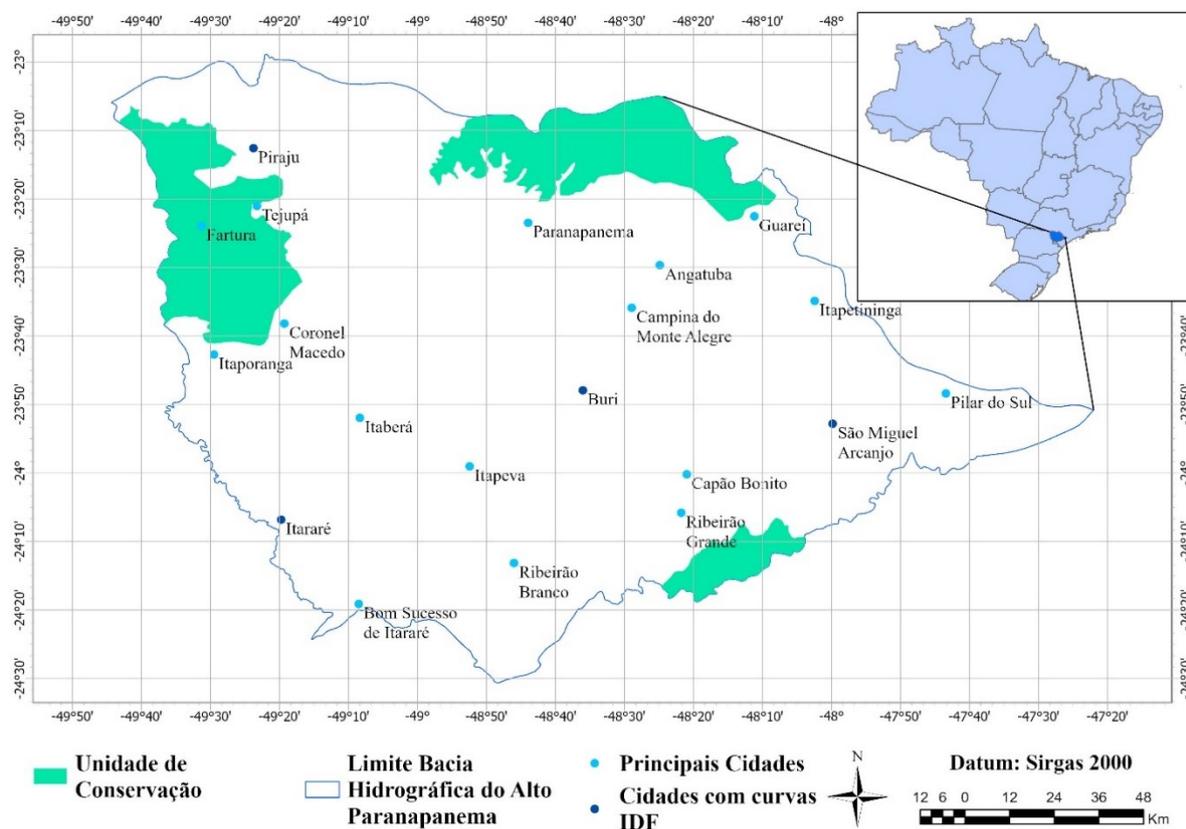
A bacia do Alto do Paranapanema (ALPA) está localizada ao sul do estado de São Paulo. Constitui-se em uma das maiores bacias hidrográficas do estado, com 20.738,2 km<sup>2</sup> (CBH-ALPA, 2019), Conta com uma população de 756.661 habitantes (SEADE, 2019). Abrange cerca de 45 cidades, tendo como principal sede o município de Itapetininga (Figura 1). Caracteriza-se também por ser considerada uma bacia de conservação ambiental, contando com 23 unidades de conservação.

A bacia contabiliza a agricultura como principal fonte econômica, possuindo cerca de 1670 pivôs centrais para irrigação, ocupando uma área de mais de 81000 ha (ANA, 2021). Tal classe apresenta grande pressão para os recursos hídricos da região, fazendo com que a demanda apresente um percentual elevado da disponibilidade de água, e, em alguns trechos, possua uma demanda superior ao total disponível (CBH-ALPA, 2020).

Segundo o DAEE (2019), embora tenha uma extensa área, o ALPA possui apenas 13 postos de coleta de dados pluviométricos, sendo que, desses, a maioria não está funcionando e os que funcionam possuem grande defasagem na coleta de dados.

Ainda segundo o relatório de situação da bacia hidrográfica do Alto Paranapanema (CBH-ALPA, 2019), existe uma necessidade de atualização dos dados hidrológicos da bacia, visto que os dados mais recentes sobre eventos extremos na área datam de 2013. De acordo com o relatório de 2020 (CBH-ALPA, 2020), houve um significativo aumento nas outorgas de uso de água oferecidas, apesar do nível dos reservatórios terem baixado consideravelmente desde o ano de 2018.

Figura 1 - Mapa de localização no Brasil da bacia do Alto Paranapanema. As cidades em azul mais escuro são aquelas que possuem curvas IDF geradas pelo DAEE.



Fonte: Próprio autor.

## METODOLOGIA

### *Dados de Chuva e Modelagem das Curvas IDF*

Os dados de precipitação utilizados na aplicação da metodologia proposta a seguir foram obtidos por meio do produto de satélite CHIRPS, com resolução espacial de  $0,05^\circ$  (Souza *et al.*, 2021). A série temporal do estudo abrangeu o período de 1981 a 2019, totalizando 38 anos, como recomendado por autores como Fietz e Comunell (2006).

Para as séries de dados, utilizou-se, como critério na identificação de um evento extremo de chuva, o valor máximo diário registrado no decorrer de um ano. No caso, então, foi discriminado um evento para cada ano.

Neste trabalho, optou-se pela utilização da distribuição de Gumbel para modelar e determinar as magnitudes dos tempos de retorno ( $T_r$ ), de 1 a 100 anos, dos eventos das séries

históricas de extremos de chuva para as bases de dados do produto de satélite CHIRPS. Para verificar a possibilidade de sua aplicação, foi realizado o teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov (KS), o qual é um teste não paramétrico, que tem como base a diferença máxima entre as funções de probabilidades acumuladas, empírica e teórica. No presente caso, como previamente especificado, adotou-se a distribuição de Gumbel como a distribuição teórica de referência para modelagem da variável aleatória precipitação máxima anual. O teste de Kolmogorov-Smirnov foi aplicado no nível de confiança de 95%.

Assim, primeiramente, calculou-se a distribuição empírica de probabilidade (frequência) dos dados através da Equação 2 expressa como

$$F = \frac{m}{n} \quad (\text{Equação 2})$$

em que: F - frequência ou probabilidade de ocorrência (adimensional); m - ordem de determinado evento em conjunto de informações organizado hierarquicamente do maior valor para o menor; n - número de anos de observação.

Após esse procedimento, estimou-se a distribuição ajustada dos dados pelo método de Gumbel (Equação 3) na forma

$$P = 1 - e^{-e^{-\alpha(y-\mu)}} \quad (\text{Equação 3})$$

onde: P é a probabilidade de ser igualado ou excedido;  $\mu$  e  $\alpha$  são os parâmetros de locação e escala, respectivamente, da distribuição de Gumbel; y é o evento de chuva ocorrido.

Os parâmetros;  $\mu$  e  $\alpha$  são estimados pelos métodos dos momentos pelas Equações 4 e 5, sendo as mesmas funções da média ( $\bar{x}$ ) e desvio padrão (s) da série histórica.

$$\mu = \bar{x} - 0,451 \cdot s \quad (\text{Equação 4})$$

$$\alpha = \frac{1,2826}{s} \quad (\text{Equação 5})$$

Em sequência, propôs-se a validação do ajuste mediante o emprego do teste de Kolmogorov-Smirnov. Formulou-se a hipótese nula ( $H_0$ ) de que a distribuição empírica acumulada é equivalente à distribuição dos valores acumulados segundo a distribuição de Gumbel. De outra parte, a hipótese alternativa ( $H_1$ ) foi enunciada no sentido de que a assertiva da hipótese nula não seria

verdadeira, ou seja, a distribuição dos dados não atenderia àquela pressuposta pela distribuição estatística analisada.

O critério de decisão foi a comparação entre os parâmetros  $D_{calc}$  e  $D_{crit}$ , onde, quando  $D_{calc} > D_{crit}$ , rejeita-se a hipótese  $H_0$  em favor de  $H_1$ . Nos testes de aderência, utilizou-se o nível de significância ( $\alpha$ ) de 0,05 como valor de referência para o erro tipo I, limiar para aceitação ou rejeição da hipótese nula.

Ao ser avaliado o uso do modelo probabilístico de Gumbel, obteve-se, pela Equação 6, a intensidade do evento de chuva para os tempos de retorno de 2, 10, 25, 50, 75 e 100 anos, para cada píxel analisado. Em outras palavras, cada píxel encerra em si uma série temporal que foi submetida à analisada por meio da distribuição de Gumbel.

$$X = \bar{x} - s \left\{ 0,45 + 0,7797 \ln \left[ \ln \frac{Tr}{Tr-1} \right] \right\} \quad \text{(Equação 6)}$$

### **Comparação das Curvas IDF**

A fim de validar os dados, comparou-se as curvas IDF geradas com as curvas IDF fornecidas pelo relatório do DAEE (2018), especificamente das cidades de Buri, Itararé, São Miguel Arcanjo e Piraju, que são as únicas cidades pertencentes ao ALPA que possuem tais dados.

A metodologia utilizada foi a de comparação das curvas de intensidade-duração e frequência utilizada por Souza et al. (2021), onde foram comparadas as curvas IDF fornecidas pelo DAEE (2018) com as geradas com os dados CHIRPS para os pixels localizados no ponto das cidades, através da estimativa do erro padrão médio (EPM) conforme a Equação 7, e do erro normalizado médio (ENM), conforme Equação 8.

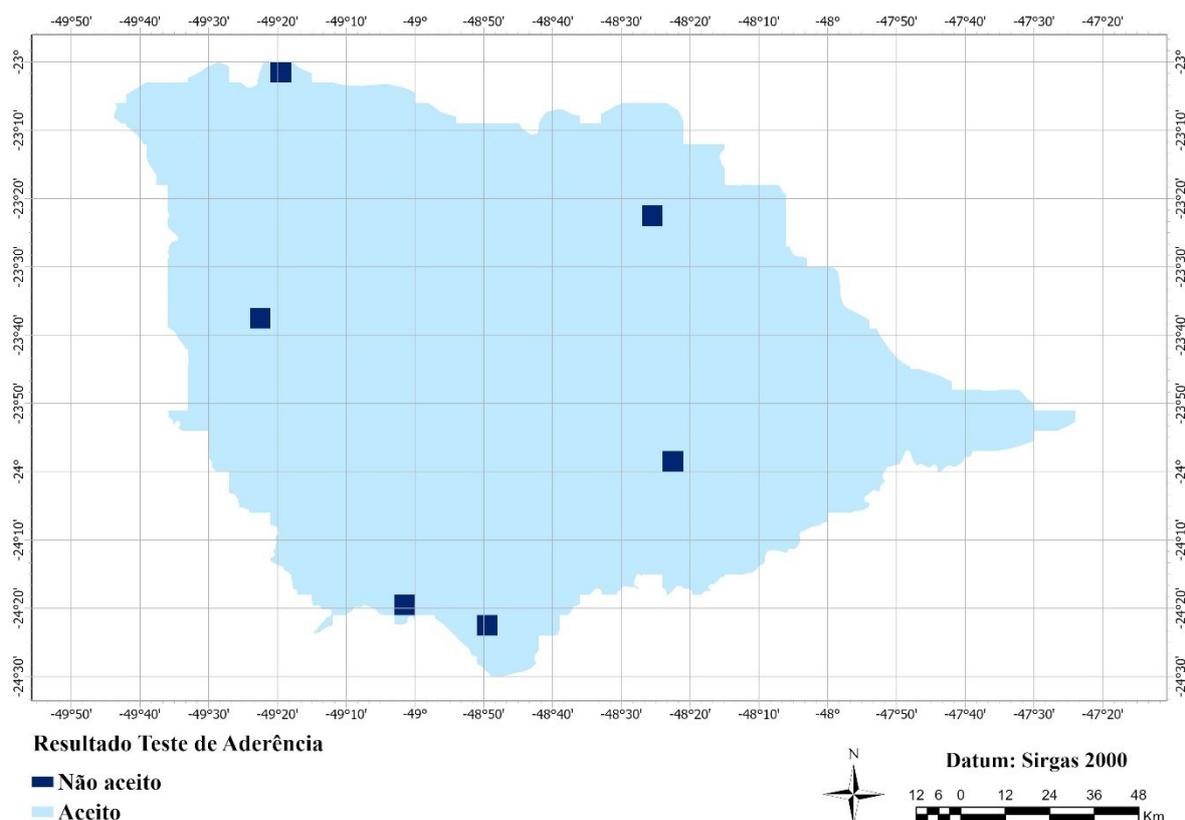
$$EPM = \frac{\sum_{i=1}^n \sqrt{(x_E - x_M)^2}}{N} \quad (7) \quad \text{(Equação 7)}$$

$$ENM = \frac{100\%}{N} \sum_{i=1}^n \left( \frac{x_E - x_M}{x_M} \right)_i \quad \text{(Equação 8)}$$

## RESULTADOS

Os resultados do teste de aderência de Komogorov-Smirnov aplicado às séries históricas dos dados com a distribuição de Gumbel (Figura 2) mostram que tal distribuição probabilística é adequada para modelar o comportamento dos valores anuais máximos de chuva em quase toda a bacia hidrográfica do Alto Paranapanema (área em azul-claro) no nível de confiança de 95%.

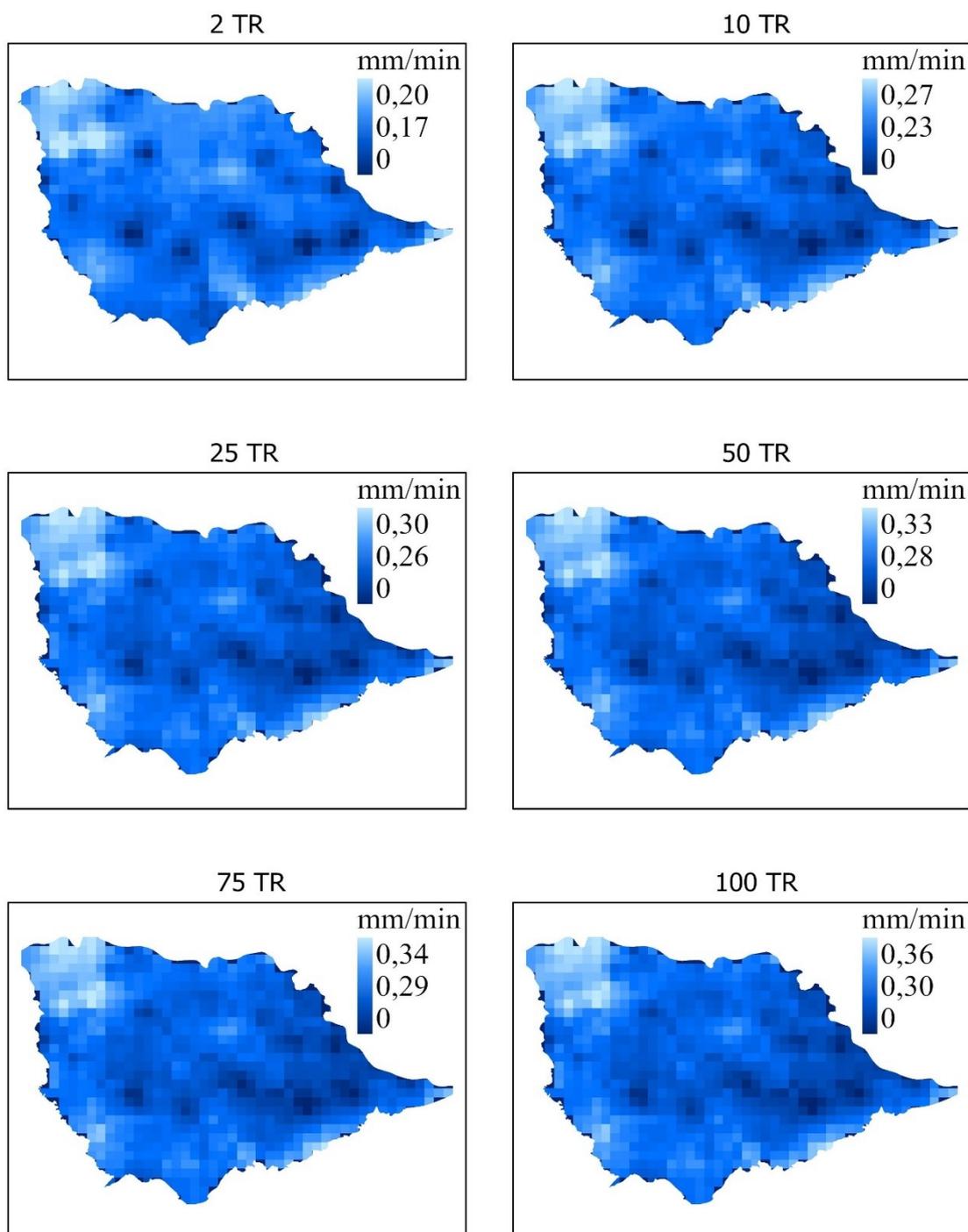
Figura 2 - Teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov aplicado no nível de confiança de 95% para a bacia do Alto Paranapanema; região em azul mais escuro indica pixel em que não foi aceito o ajuste da série temporal anual de extremos de chuva segundo a distribuição de Gumbel (1981-2019).



Fonte: Próprio autor.

Na Figura 3, podem ser visualizadas as curvas IDF geradas de forma segmentada para diferentes tempos de retorno na bacia de estudo. Apresentam um comportamento típico onde a intensidade é indiretamente proporcional à duração, como constatado por Souza et al. (2016), mostrando que, quanto menor a duração da precipitação, maior é a intensidade média. Vale ressaltar que os dados são válidos para 1 dia (24 horas).

Figura 3 – Intensidade de chuva (mm/minuto) para a bacia do Alto Paranapanema baseada em curvas IDF modeladas para a chuva anual máxima de 24 horas obtidas por meio do produto CHIRPS segundo os períodos de retorno de 2, 10, 25, 50, 75 e 100 anos ao longo do período 1981-2019.



Fonte: Próprio autor.

É possível notar também que a intensidade e o período de retorno possuem uma relação diretamente proporcional, ficando evidente a importância de uma correta mensuração do tempo de

retorno (TR) para o dimensionamento de obras hidráulicas, visto que altos períodos de retorno, no caso de enchentes, estão associados a elevadas intensidades da precipitação, tornando-se necessária a previsão de tais grandezas hidrológicas para que sejam estimados as quantias de distribuição de chuva e as máximas precipitações e impactos traduzidos em termos de volumes e vazões que podem vir a escoar na área de interesse. Observe-se que a Figura 3, embora permita compreender os padrões de variação de intensidade de chuva espacialmente, pixel a pixel, ao longo do período 1981-2019, para distintos períodos de retorno, não permite avaliar o grau de continuidade espacial do fenômeno de chuva em cada período de retorno.

Nesse contexto, como já comentado por (PHILIPPI et al., 2005; SILVA, 2019), o custo de projetos hidráulicos e de drenagem está intimamente ligado ao período de ocorrência adotado, sendo que a subestimação desse dado pode, de fato, inviabilizar a boa gestão de investimentos e adequada otimização de custos para bom uso dos recursos econômico-financeiros, essenciais para tratar e dar respostas a diversos problemas enfrentados pela sociedade para proporcionar adequado e bom padrão de qualidade de vida para a população.

A comparação das curvas IDF geradas com as curvas oficiais fornecidas pelo DAEE (2018) podem ser vistas na Tabela 1, onde é oferecida uma síntese da análise de aderência entre essas curvas, onde se encontram as métricas estatísticas de erro padrão médio (EPM) e erro normalizado médio (ENM).

Tabela 1 – Métricas estatísticas de comparação de curvas intensidade duração frequência (IDF) para a bacia do Alto Paranapanema ao longo do período 1981-2019.

	<b>EPM (mm)</b>	<b>ENM (%)</b>
<b>São Miguel</b>	0,133	143,14
<b>Arcanjo</b>		
<b>Buri</b>	0,144	158,39
<b>Piraju</b>	0,159	139,17
<b>Itararé</b>	0,183	193,27

Fonte: Próprio autor.

Os valores de EPM mostram que as curvas obtidas com os dados CHIRPS ficaram entre 0,1 e 0,2 milímetros acima dos dados oficiais, enquanto o ENM mostra valores bastante elevados em relação aos dados do DAEE, denotando assim, que há uma grande discrepância entre os valores considerados oficiais e os valores obtidos com os dados CHIRPS.

Tal diferença é devido a qualidade dos dados utilizados para geração das curvas. Os dados CHIRPS possuem uma base de dados pluviométricos diários ininterruptos de 38 anos, enquanto os dados utilizados pelo DAEE possuem coletas de anos alternados (no caso, anos que no critério adotado estavam de acordo para serem utilizados no cálculo), sendo raro os dados com mais de 30 anos no total. Outro ponto que deve ser esclarecido é que os dados CHIRPS são adquiridos com base em observações de satélite conjuntamente com dados pluviométricos de superfície para calibração dos valores estimados de precipitação, enquanto o DAEE utiliza apenas dados de postos pluviográficos próprios, registrados por observadores locais humanos, sendo necessário, portanto, considerar que possa haver erros durante a sua coleta.

Complementarmente, nota-se que os dados oficiais do DAEE foram obtidos utilizando diferentes procedimentos para cada curva, o que pode gerar um erro ainda maior quando agregadas as curvas IDF para comparação com aquelas geradas por este trabalho.

## **CONCLUSÕES**

A partir dos dados processados, foi possível estimar curvas IDF com base em informações vindas dos dados CHIRPS, e observou-se que as equações obtidas pelo estudo apresentam uma vasta aplicabilidade em obras de engenharia e, em especial, em atividades que requeiram suporte hidráulico-hidrológico devido à diversidade de durações e de tempos de recorrência utilizados.

Considerando a fonte das informações utilizadas para elaboração do banco de dados, ressalta-se o oportuno emprego de dados de satélites na representação dos eventos extremos, estabelecendo o uso de dados do satélite CHIRPS na construção de relações IDF para situações em que não se dispõe de informações pluviométricas locais.

Dessa forma, vê-se que se necessita de um número maior de estudos para determinação de quais fatores de fato influenciam no clima da bacia e como eles se relacionam na tendência de eventos extremos na área.

## REFERÊNCIAS

- ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Disponível em: <https://www.gov.br/ana/pt-br>. Acesso em 03 de setembro de 2021.
- ANNIASINGAM, V.; BAGHIRATHAN, R.; SHAW, E.M. **Rainfall depth-durationfrequency studies for Sri-Lanka**. J. Hydrol., v. 37 (1978), pp. 223-239, .1978.
- BACK, A. J.; CADORIN, S. B. **Chuvas Máximas Diárias E Equações Intensidade-Duração-Frequência Para O Estado Do Amapá, Brasil**. Revista Brasileira de Climatologia, [s. l.], ano 16, v. 26, p. 313-325, 2020.
- CARDOSO, C. O.; ULLMANN, M. N.; BERTOL, I. **Análise de chuvas intensas a partir da Desagregação das chuvas diárias de Lages e de Campos Novos (SC)**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 22, n. 1, p. 131-140, 1998.
- CBH-ALPA - Comitê da Bacia Hidrográfica do Alto Paranapanema. **Relatório De Situação Dos Recursos Hídricos Das Bacias Hidrográficas Do Estado De São Paulo**. Unidade De Gerenciamento De Recursos Hídricos - Alto Paranapanema – UGRHI-14, 2019.
- CBH-ALPA - Comitê da Bacia Hidrográfica do Alto Paranapanema. **Relatório De Situação Dos Recursos Hídricos Das Bacias Hidrográficas Do Estado De São Paulo Unidade De Gerenciamento De Recursos Hídricos - Alto Paranapanema – UGRHI-14**, 2018.
- CBH-ALPA - Comitê da Bacia Hidrográfica do Alto Paranapanema. **Relatório De Situação Dos Recursos Hídricos Das Bacias Hidrográficas Do Estado De São Paulo Unidade De Gerenciamento De Recursos Hídricos - Alto Paranapanema – UGRHI-14**, 2020.
- CECÍLIO, R. A.; XAVIER, A.C.; PRUSKI, F. F.; HOLLANDA, M. P.; PEZZOPANE, J. E. M. **Avaliação de interpoladores para os parâmetros das equações de chuvas intensas no Espírito Santo**. Ambi-Agua, Taubaté, v. 4, n. 3, p. 82-92, 2009.
- CHEN, C. **Rainfall intensity-duration-frequency formulas**. J. Hydraul. Eng. ASCE, v. 109 (1983), pp. 1603-1621, 1983.
- COLLISCHONN, B. **Uso de Precipitação Estimada Pelo Satélite TRMM em Modelo Hidrológico Distribuído**, Dissertação de Mestrado, Curso de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS, Porto Alegre, RS, 2006.
- COLLISCHONN, W. **Simulação Hidrológica de Bacias**. 270 f. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.
- COSTA, J. et al. **Validação Dos Dados De Precipitação Estimados Pelo CHIRPS Para O Brasil**. Revista Brasileira de Climatologia, [s. l.], ano 15, v. 24, p. 228-243, 2019.

- DAEE - Departamento de Águas e Energia Elétrica. **Precipitações intensas no estado de São Paulo.** 2018.
- DAEE - Departamento de Águas e Energia Elétrica. **Precipitações intensas no estado de São Paulo.** 2019.
- DIAS, É.C.; PENNER, G.C. **Contabilização de Equações de Intensidade-Duração-Frequência Disponíveis no Brasil.** Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ, v. 42, n. 1, p. 209-216, 2019.
- DINKU T, FUNK C, PETERSON P, MAIDMENT R, TADESSE T, GADAIN H, CECCATO P. **Validation of the CHIRPS satellite rainfall estimates over eastern Africa.** Q J R Meteorol Soc. 2018.
- ELTZ, F. L.; REICHERT, J. M.; CASSOL, E. A. **Período de retorno de chuvas em Santa Maria, RS.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v.16, p.265-269, 1992.
- FADHEL, Sherien; RICO-RAMIREZ, Miguel Angel; HAN, Dawei. **Uncertainty of Intensity–Duration–Frequency (IDF) curves due to varied climate baseline periods.** Journal Of Hydrology, [S.L.], v. 547, p. 600-612, abr. 2017.
- FARIDZADA, M. et al. **Rainfall frequency analysis for ungauged regions using remotely sensed precipitation information.** Journal of Hydrology, [s. l.], n. 563, p. 123-142, 2018.
- FERREIRA FILHO, D. F. *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.], ano 2, v. 9, p. 1-26, 2020.
- FIETZ, C. R.; COMUNELL, E. **Probabilidade de ocorrência de chuva em Mato Grosso do Sul.** Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2006.
- FISHER, R.A.; TIPPETT, L.H.C. **Limiting Forms of the Frequency Distribution of the Largest or Smallest Member of a Sample.** Proceedings of the Cambridge Philosophical Society, n.24, p.180-190, 1928.
- GIMENEZ, D. F. S. et al. **Análise da precipitação pluvial e ocorrências de desastres naturais no estado de São Paulo (1976-2012).** 2017.
- GUMBEL, E. J. **Statistics of Extremes.** Columbia University Press, New York, 375p. 1958.
- HOSSEINZADEHTALAEI, P., TABARI, H., WILLEMS, P. **Precipitation intensity– duration–frequency curves for central Belgium with an ensemble of EUROCORDEX simulations, and associated uncertainties.** J. Hydrol.. Res. 200, p. 1–12, 2018.
- JENKINSON, A. F. **The frequency distribution of the annual maximum (or minimum) values of meteorological elements.** Quarterly Journal Of The Royal Meteorological Society, [S.L.], v. 81, n. 348, p. 158-171, abr. 1955.

- KENDALL, M. G. **Rank Correlation Methods**. Londres: Charles Griffin, 234p., 1975.
- KOUTSOYIANNIS, D.; KOZONIS, D.; MANETAS, A. **A mathematical framework for studying rainfall intensity-duration-frequency relationships**. *J. Hydrol.*, v. 206, (1998), pp. 118-135, 1998.
- LAMJIRI, M. A, DETTINGER, M. D, RALPH, F. M, OAKLEY, N. S, & RUTZ, J. J. **Hourly Analyses of the Large Storms and Atmospheric Rivers that Provide Most of California's Precipitation in Only 10 to 100 Hours per Year**. *San Francisco Estuary and Watershed Science*, 16(4), 2018.
- LIBAULT, A. **Geocartografia**. São Paulo, Nacional-EDUSP, 1975.
- MANN, H.B. **Nonparametric tests against trend**. *Econometrica*, [s.l.], v.13, p.245-259. 1945.
- MASCARO, Giuseppe. **On the distributions of annual and seasonal daily rainfall extremes in central Arizona and their spatial variability**. *Journal Of Hydrology*, [S.L.], v. 559, p. 266-281, abr. 2018.
- NAGHETTINI, Mauro; PINTO, Éber José de Andrade. **Hidrologia estatística**. Belo Horizonte: Cprm, 2007.
- NEETI, N; EASTMAN, J.R. **A Contextual Mann-Kendall Approach for the Assessment of Trend Significance**. *Transactions in GIS*, [s.l.], v.15, n.5, p.599-611. 2011.
- OLIVEIRA, L. F. C.; CORTÊS, F. C.; BARBOSA, F. O. A.; ROMÃO, P. A.; CARVALHO, D. F. **Estimativa das equações de chuvas intensas para algumas localidades no estado de Goiás pelo método da desagregação de chuvas**. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, Goiânia, v. 30, n. 1, p. 23-27, 2000.
- OLIVEIRA, L. F. C.; VIOLA, M. R.; PEREIRA, S.; MORAIS, N. R. **Modelos de previsão de chuvas intensas para o estado do Mato Grosso, Brasil**. *Ambi-Agua*, Taubaté, v. 6, n. 3, p. 274-290, 2011. [https:// doi.org/10.4136/ambi-agua.553](https://doi.org/10.4136/ambi-agua.553).
- PACA, V. H. M. **Análise de informações satelitais e dados convencionais da rede pluviométrica como contribuição a modelagem hidrológica na região Amazônica – Estudo de caso: bacia do Rio Guamá – Pará**. Dissertação de Mestrado. COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2008.
- PAREDES, F. J.; H. BARBOSA A. AND E. GUEVARA. **Spatial and temporal analysis of droughts in northeastern Brazil**. *Agriscientia* 32 (1): 1-14, 2015.
- PAREDES-TREJO, F. J.; BARBOSA, H. A.; KUMAR, T. V. **Validating CHIRPS-based satellite precipitation estimates in Northeast Brazil**. *Journal of Arid Environments*, v. 139, p. 26-40, 2017.
- PELEG, N., MARRA, F., FATICHI, S., PASCHALIS, A., MOLNAR, P., BURLANDO, P., **Spatial variability of extreme rainfall at radar subpixel scale**, *Journal of Hydrology*, 2016.

PEREIRA, C. E. SILVEIRA, A.; SILVINO, A. N. O. **Estudo de chuvas intensas e estimativa da equação IDF para a cidade de Barra do bugres – MT.** In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO CENTRO OESTE, 1., 2007, Cuiabá: ABRH, 2007.

PETTY, G. W. **The status of satellite-based rainfall estimation over land.** *Remote Sens. Environ.*, 51(1), 125–137, 1995.

PFAFSTETTER, O. **Chuvas intensas no Brasil; relação entre precipitação, duração e frequência de chuvas em 98 postos com pluviógrafos.** DNOS, Rio de Janeiro, p. 426, 1982.

PHILIPPI JR. A. et al. **Saneamento, Saúde e Ambiente: Fundamentos para um desenvolvimento sustentável.** Barueri: Editora Malone, 2005.

PINTO, E. J. A. **Metodologia para definição das equações Intensidade-Duração Frequência do Projeto Atlas Pluviométrico.** CPRM. Belo Horizonte. 2013.

ROCHA NETO, B. P.; BLANCO, C. J. C. **Determinação de curva IDF para o município de Governador Newton Bello no estado do Maranhão.** *Research, Society and Development*, [s. l.], v. 9, n. 3, 2020.

SEADE - Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados. **População.** 2019.

SETZER, J. **Contribuição para o Estudo do Clima do Estado de São Paulo.** Separata atualizada do "Boletim D.E.R. ", IX X, XI, São Paulo. 239 p, 1946.

SETZER, J. **Distribuição normal das chuvas no Estado de São Paulo.** *Revista Brasileira de Geografia*, Rio de Janeiro, v.8, n.1, p. 3-69, 1946.

SILVA, A. O. **Análise Financeira De Implantação De Galerias Pluviais Adotando Diferentes Períodos De Retorno: estudo de caso.** 2019. 61 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Antônio Eufrázio de Toledo de Presidente Prudente, Presidente Prudente, 2019.

SOUZA, V. A. S. de; MOREIRA, D. M.; ROTUNNO FILHO, O. C.; RUDKE, A. P. **Extreme rainfall events in Amazonia: The Madeira river basin.** *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, [s. l.], n. 18, p. 1-9, 2022.

SOUZA, V. A. S.; DIAS, R. H. S.; SILVA FILHO, E. P.; NUNES, M. L. A.; ANDRADE, C. D.; ROSA, ANA LÚCIA DENARDIN DA. **Determining IDF equations for the state of Rondônia.** *Revista Brasileira de Climatologia*, v. 18, p. 10-26, 2016.

SOUZA, V. A. S.; MOREIRA, D. M.; ROTUNNO FILHO, O. C.; RUDKE, A. P.; ANDRADE, C. D.; SILVA, F. P. **Potencial uso das informações de chuvas obtidas por sensoriamento remoto na análise não paramétrica de eventos extremos na bacia do rio Madeira.** *Revista DAE*, São Paulo, v. 69, n. 231, p. 110-123, set. 2021.

SOUZA, V. A. S.; NUNES, M. L.A.; FRANCENER, S. F.; ROSA, A. L. D. **Análise da adequação de eventos de precipitação extrema na Amazônia Ocidental em modelos estáticos: Rondônia.** Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável, v. 10, p. 13-20, 2015.

VU, T. M.; MISHRA, A. K. **Nonstationary frequency analysis of the recent extreme precipitation events in the United States.** Journal of Hydrology, [s. l.], n. 575, p. 999-1010, 2019.

WI, S., VALDES, J. B., STEINSCHNEIDER, S., & KIM, T.-W. **Nonstationary frequency analysis of extreme precipitation in South Korea using peaks-over-threshold and annual máxima.** Stochastic Environmental Research and Risk Assessment, 30(2), 583-606. 2016.