

## MODELAGEM ESTATÍSTICA DE CHUVAS INTENSAS PARA FINS DE PROJETOS HIDROAGRÍCOLAS NA REGIÃO DA FRONTEIRA OESTE DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL

Fátima Cibele Soares<sup>1</sup>, Rosângela Costa Camargo<sup>2</sup>, Luana da Rosa Trindade<sup>2</sup>, Jumar Luis  
Russi<sup>3</sup>, Paola da Rosa Lira<sup>4</sup>, Lanes Beatriz Acosta Jaques<sup>5</sup>

**RESUMO:** Objetivou-se ajustar a função de probabilidade Gumbel aos dados de precipitação máxima diária anual, obter a equação de chuvas intensas e a precipitação máxima provável para a cidade de Manoel Viana, município da Fronteira Oeste do Rio Grande do Sul. Utilizou-se série histórica com 48 anos de dados pluviométricos diários, obtidos na Agência Nacional de Águas, de 1976 a 2024. Ajustou-se as séries de precipitações máximas diárias anuais a distribuição de probabilidade de Gumbel, com validação por meio do teste de Kolmogorov-Smirnov. Após foi realizada a desagregação da chuva diária em chuvas de menores durações pela metodologia proposta pela DAEE-CETESB (1980). A equação de chuvas intensas foi ajustada por regressão não linear, usando o método dos mínimos quadrados, avaliou-se o ajuste a partir de métricas como coeficiente de determinação ( $R^2$ ). A PMP diária foi estimada pelo método estatístico de Hershfield, com fator de frequência calculado pela equação proposta por Burger (2014). O ajuste da equação de chuvas intensas por regressão não linear foi considerado adequado, com  $R^2$  igual a 0,9976 e seus parâmetros foram:  $k = 21,118$ ,  $a = 0,115$ ,  $b = 10,637$  e  $c = 0,756$ . A precipitação máxima provável diária foi de 565,16 mm.

**PALAVRAS-CHAVE:** Eventos Extremos; Equação Intensidade-Duração-Frequência; Precipitação Máxima Provável

---

<sup>1</sup> Professora do curso de Engenharia Agrícola, Dra. Universidade Federal do Pampa, CEP: 97546-550, Alegrete, RS. Fone (55) 98117-7002. E-mail: fatimasoares@unipampa.edu.br.

<sup>2</sup> Estudante do curso de Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Pampa, Alegrete, RS.

<sup>3</sup> Engenheira Eletricista, Dr. Universidade Federal do Pampa, Alegrete, RS.

<sup>4</sup> Doutoranda do curso de Pós - Graduação em Engenharia, Universidade Federal do Pampa, Alegrete, RS.

<sup>5</sup> Professora do curso de Engenharia Agrícola, Dra. Universidade Federal do Pampa, Alegrete, RS

## **STATISTICAL MODELING OF HEAVY RAINFALL FOR HYDRO- AGRICULTURAL PROJECTS IN THE WESTERN BORDER REGION OF RIO GRANDE DO SUL**

**ABSTRACT:** The objective was to adjust the Gumbel probability function to the annual maximum daily precipitation data, obtain the equation for intense rainfall and the probable maximum precipitation for the city of Manoel Viana, a municipality on the western border of Rio Grande do Sul. A historical series with 48 years of daily rainfall data, obtained from the National Water Agency, from 1976 to 2024, was used. The series of maximum daily annual precipitation was adjusted to a Gumbel probability distribution, validated using the Kolmogorov-Smirnov test. Afterwards, the daily rainfall was disaggregated into shorter durations using the methodology proposed by DAEE-CETESB (1980). The heavy rainfall equation was adjusted by nonlinear regression using the least squares method, and the adjustment was evaluated using metrics such as the coefficient of determination ( $R^2$ ). The daily PMP was estimated using the Hershfield statistical method, with the frequency factor calculated using the equation proposed by Burger (2014). The adjustment of the intense rainfall equation by nonlinear regression was considered adequate, with  $R^2$  equal to 0.9976 and its parameters were:  $k = 21.118$ ,  $a = 0.115$ ,  $b = 10.637$ , and  $c = 0.756$ . The maximum probable daily rainfall was 565.16 mm.

Translated with DeepL.com (free version)

**KEYWORDS:** Hydro-agricultural Projects; Extreme Events; Heavy Rainfall; Intensity-Duration-Frequency equation; Maximum Probable Precipitation

### **INTRODUÇÃO**

A intensificação de eventos climáticos extremos, como secas prolongadas e chuvas intensas, impõe desafios crescentes ao planejamento de projetos agrícolas no Brasil. Tais eventos comprometem não apenas a produtividade das lavouras, mas também a infraestrutura das propriedades rurais. Dentre esses fenômenos, as chuvas intensas destacam-se por sua capacidade de causar erosão, transporte de sedimentos, perda de nutrientes e danos diretos às culturas.

O dimensionamento de estruturas hidráulicas agrícolas, como canais de irrigação, sistemas de drenagem, terraços e barragens, depende fortemente do conhecimento das características dessas precipitações extremas. Para isso, utiliza-se a equação de chuva intensa, que relaciona a intensidade da chuva à sua duração e ao período de retorno, a partir de dados pluviométricos históricos. Essa equação permite estimar a vazão de projeto necessária para garantir a eficiência e a segurança das obras hidráulicas.

As equações Intensidade-Duração-Frequência (IDF) constituem uma ferramenta fundamental nesse processo. No entanto, a construção dessas equações exige dados pluviográficos de alta resolução temporal, os quais são escassos em diversas regiões do país. No Estado do Rio Grande do Sul, especialmente na região da Fronteira Oeste, essa limitação é um entrave à geração de equações IDF locais. Como alternativa, metodologias baseadas na desagregação de chuvas diárias vêm sendo utilizadas, convertendo os totais diários em estimativas para durações menores com auxílio de coeficientes empíricos. Dentre os métodos de desagregação, destaca-se a abordagem proposta pelo DAEE-CETESB (1980), que tem apresentado bons resultados em diversos estudos regionais. A seleção do período de retorno adequado varia conforme a importância e a vulnerabilidade da estrutura a ser projetada, podendo variar entre 5 e 100 anos.

Neste contexto, o presente estudo tem como objetivo ajustar a função cumulativa de probabilidade Gumbel aos dados de precipitação máxima diária anual, obter a equação de chuvas intensas por meio da metodologia de desagregação e determinar a precipitação máxima provável para a cidade de Manoel Viana, município da Fronteira Oeste do Estado do Rio Grande do Sul.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

Utilizou-se série histórica com 48 anos de registros pluviométricos do município de Manoel Viana, do Estado do Rio Grande do Sul. Os dados foram obtidos no Sistema de Informação Hidrológica da Agência Nacional de Águas (ANA, 2025). Foi elaborada a série histórica dos valores máximos anuais de precipitações diárias. Na série histórica foi calculada a probabilidade de excedência, pela equação de Kimball. Os dados de precipitação máxima foram ajustados ao modelo de distribuição de Gumbel. A partir deste modelo calculou-se a probabilidade de excedência pelo modelo de distribuição de probabilidades de Gumbel, descrito pela equação 1:

$$P(X \geq x) = 1 - \exp.^{-\exp.^{-\alpha(x-\mu)}} \quad (1)$$

Onde:

$P(X \geq x)$  - probabilidade de excedência;  $\alpha$  e  $\mu$  - parâmetros da distribuição de Gumbel, sendo obtidos pelas expressões 2 e 3, respectivamente:

$$\alpha = \frac{1,2826}{S} \quad (2)$$

$$\mu = \bar{X} + 0,45 * S \quad (3)$$

Sendo:

S - desvio padrão dos dados de precipitação máxima diária, mm;  $\bar{X}$  - média da precipitação máxima diária, mm.

Após, a verificação da aderência dos dados à distribuição de Gumbel para cada série de duração de chuva realizaram-se as estimativas das chuvas máximas para períodos de retorno de 2, 5, 10, 15, 20, 25, 50, 100, 1.000 e 10.000 anos.

A análise de aderência da distribuição de Gumbel foi feita pelo teste de Kolmogorov-Smirnov. As distribuições de valores extremos de grandezas hidrológicas se ajustam satisfatoriamente à distribuição de Gumbel, empregada neste trabalho. Segundo Silva et al. (2002) o modelo de Gumbel foi o que apresentou melhor ajuste aos dados de intensidades máximas médias de precipitação pluvial pelo teste de Kolmogorov-Smirnov, a 20% de probabilidade para todas as durações estudadas.

As precipitações máximas diárias, anuais foram obtidas pela equação de Gumbel, conforme descrito em Mello e Silva (2013), descrito pela equação 4:

$$X_{TR} = \frac{LN\left(-LN\left(1-\frac{1}{TR}\right)\right)}{\alpha} + \mu \quad (4)$$

Em que:

TR - período de retorno, anos.

Para o ajuste das equações de chuvas intensas foram utilizadas chuvas de diferentes durações. As precipitações máximas diárias obtidas para diferentes tempos de retorno foram desagregadas em chuvas com duração menor. A desagregação da chuva de um dia em chuvas

de menor duração foi obtida pela metodologia proposta pelo DAEE-CETESB (1980). As durações de 5, 10, 15, 20, 30, 60, 120, 18, 240, 360, 480, 720 e 1440 minutos foram utilizadas pelo emprego dos coeficientes multiplicativos, apresentados na Tabela 1 permitindo, desta forma, a geração de pontos suficientes para definir as curvas de intensidade-duração referentes a diferentes períodos de retorno.

Com os valores obtidos de chuvas máximas para diferentes durações e tempos de retorno, estimaram-se os parâmetros da equação 5 que expressa a relação IDF para a estação estudada:

$$IDF = \frac{Kx TR^a}{(td+b)^c} \quad (5)$$

Onde:

IDF- intensidade média máxima de precipitação, mm/min; TR - tempo de retorno, anos; td - tempo de duração da chuva, minutos; K, a, b e c - parâmetros de ajuste relativos à localidade.

**Tabela 1.** Coeficiente de desagregação da chuva de 24 h de duração.

<b>Duração</b>	<b>Coefficientes</b>	<b>Duração</b>	<b>Coefficientes</b>
24 h/24h	1,14	30 min/h	0,74
12 h/24 h	0,85	25 min/0,5 h	0,91
10 h/24 h	0,82	20 min/0,5 h	0,81
8 h/24 h	0,78	15 min/0,5 h	0,70
6 h/24 h	0,72	10 min/0,5 h	0,54
1 h/24 h	0,42	5 min/0,5 h	0,34

Fonte: DAEE/CETESB (1980).

Para estimativa da PMP diária, primeiramente foi utilizada a série histórica de precipitação máxima diária anual de 48 anos, para obtenção da média e desvio padrão. Posteriormente, adotou-se o procedimento descrito por Silva Neto et al., (2020), baseado na metodologia da WMO (2009), que emprega o método estatístico desenvolvido por Hershfield (1961) e aperfeiçoada por ele em 1965 (HERSHFIELD, 1965). O método é baseado na equação geral de frequência proposta por Chow (1964), descrita pela equação 6:

$$X_{PMP} = \bar{X} + K * S \quad (6)$$

Sendo:

$X_{PMP}$  - precipitação máxima provável para uma determinada duração e local, mm; K - fator de frequência, que segundo Burger (2014) pode ser calculado pela expressão 7:

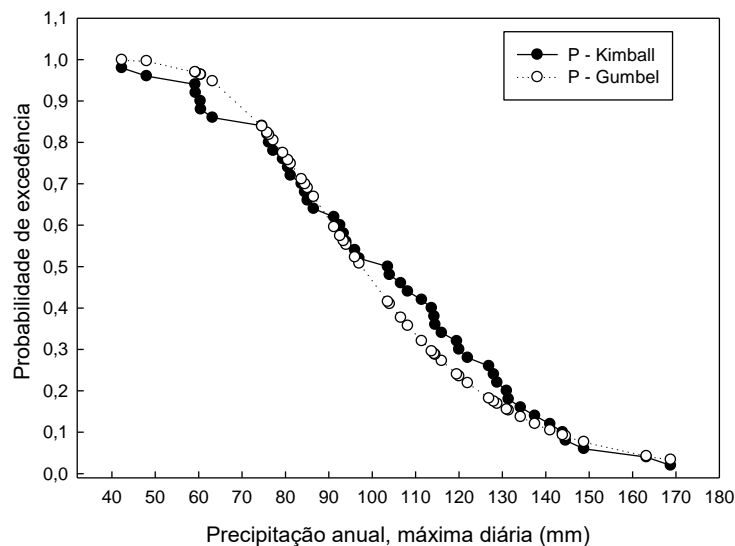
$$K = 20 - \frac{0,732 * \bar{X}^{0,693}}{(td+0,372)^{0,420}} \quad (7)$$

Em que:

td - tempo de duração da chuva, em horas.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O conjunto de dados utilizado no estudo compreende 48 anos, com uma média anual de 1633,62 mm. Os anos com maior e menor valores de precipitações acumulados foram, respectivamente 1986 (2294 mm) e 1981 (986,4 mm). A análise da série histórica apresentou média de 102,53 mm e desvio padrão de 30,38mm. A distribuição Gumbel ajustada aos dados de precipitação máxima diária anual de Manoel Viana/RS é apresentada na Figura 1. Observa-se boa aderência entre a distribuição e as frequências observadas. Os resultados são corroborados pelos estudos sobre chuvas intensas para o Pará, Tocantins e Goiás por Ferreira Filho et al. (2020), Silva Neto et al. (2020) e Oliveira et al. (2000), respectivamente.

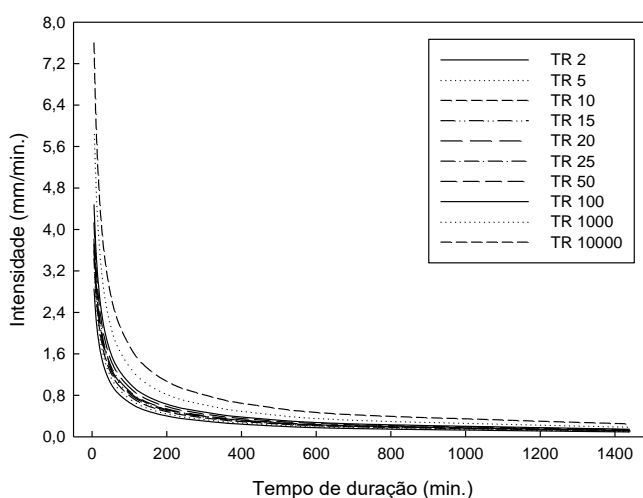


**Figura 1.** Distribuição de probabilidades Gumbel (P-Gumbel) ajustada aos dados de frequência observada (P-Kimball) da série de precipitação máxima diária anual para o município de Manoel Viana, RS.

O modelo de distribuição de Gumbel mostrou-se adequado para representar as estimativas dos valores de precipitação máxima. Os resultados obtidos seguem os encontrados por Silva e Clarke (2004), Oliveira et al. (2005), Araújo et al. (2008), Sampaio (2011), Caldeira et al.

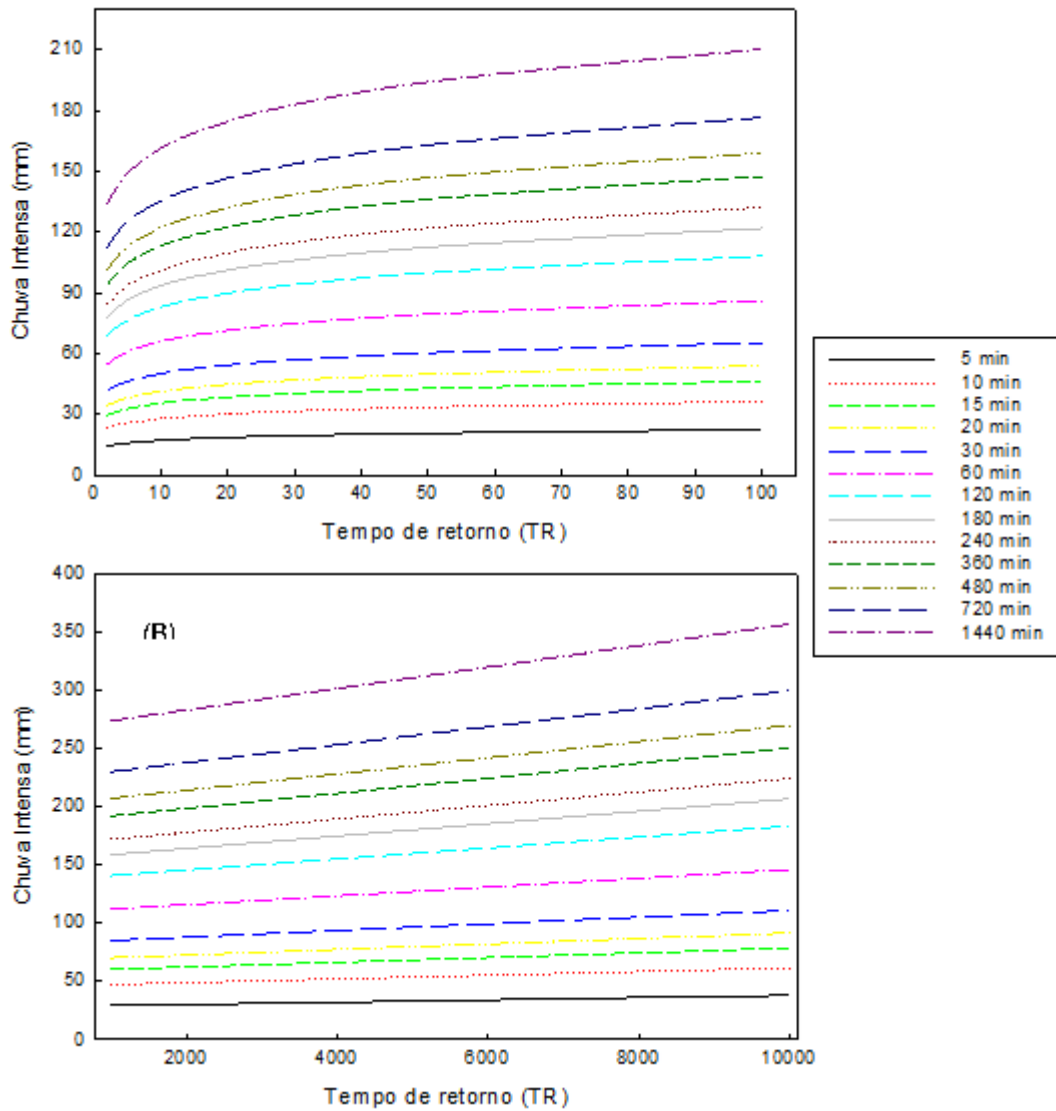
(2015) e Silva Neto et al. (2020) quanto ao bom ajuste à distribuição de Gumbel. O resultado do teste de Kolmogorov-Smirnov foi 0,011, enquanto, o valor máximo tabelado para o nível de significância de 20% é de 0,153, indicando adequabilidade da distribuição ajustada. Os parâmetros  $\alpha$  e  $\mu$  foram respectivamente iguais a 0,0422 e 88,85.

Tendo sido ajustada a distribuição de probabilidades Gumbel, determinaram-se os valores de precipitação máxima diária anual para os tempos de retorno de 2, 5, 10, 20, 25, 50, 100, 1000 e 10.000 anos, e posteriormente, pela metodologia de desagregação obtiveram-se as intensidades máximas com duração de 5, 10, 20, 30, 60, 120, 180, 240, 360, 720 e 1440 minutos, conforme Tabela 1. Os coeficientes k, a, b e c da equação IDF, obtidos por regressão não linear, foram 21,118, 0,115, 10,637 e 0,756, respectivamente. Estes parâmetros IDF são válidos para períodos de retorno até 10000 anos e durações de precipitações de 5 minutos a 24 horas. O coeficiente de determinação  $R^2$  obtido foi de 0,997, este alto valor observado, corroboram os encontrados por Santos et al. (2009) ( $R^2 = 0,99$ ), Aragão et al. (2013) ( $R^2 = 0,99$ ) e Silva e Oliveira (2017) ( $R^2 = 0,99$ ). As curvas IDF são apresentadas na Figura 2 e as chuvas intensas representadas na Figura 3A e 3B.



**Figura 2.** Curvas IDF para o município de Manoel Viana, RS, considerando as durações de 5, 10, 20, 30, 60, 120, 180, 240, 360, 720 e 1440 minutos para distintos períodos de retorno.

A chuva intensa para 100 anos de período de retorno variou de 22,42 mm, para o tempo de duração de 5 minutos a 210,20 mm, no tempo de 24 horas (Figura 3A). Para o tempo de retorno de 10000 anos a chuva intensa alterou de 38,04 mm, no tempo de 5 minutos de duração a 356,72 mm para o tempo de duração de 24 horas (Figura 3B). A precipitação máxima provável para duração de um dia, foi de 565,16 mm, o fator de frequência, k foi de 15,26.



**Figura 3.** Chuvas intensas (mm) em função do tempo de retorno de 2 a 100 anos (A) e do tempo de retorno de 1000 a 10000 anos (B), para o município de Manoel Viana, RS.

Silva Neto et al. (2022) determinando a precipitação máxima provável diária para a Cidade de Goiás – GO, afirmam que a maior altura de chuva teoricamente possível de ocorrer na cidade Goiás-GO é de 423 mm, estes observaram um fator de frequência de 15,96. Em estudos sobre as precipitações máximas prováveis para o Tocantins, utilizando o método estatístico de Hershfield, Silva Neto et al. (2020) observaram que os valores relativos à duração de 1440 min (24h) variou entre 410,9 e 768,2 mm, enquanto as lâminas para outras durações variaram entre 184,6 e 266,7 (1h), 198,7 e 452,7 (3h), 197,4 e 518,8 mm (6h) e 335,5 e 667,2 mm (12h), os autores também observaram valores de K entre 8,98 e 16,54. Burger (2014), em estudo sobre a PMP no estado do Paraná, região sul do Brasil, comparou valores de K obtidos pela Equação 9, com o método proposto por Hershfield, constatando que o modelo foi

considerado adequado para a interpolação das curvas do gráfico de Hershfield para determinar o valor de K. A PMP de 24h estimada pelo estudo de Burger (2014) variou entre 344 e 716 mm.

## CONCLUSÕES

Com base na metodologia de desagregação de chuvas, a equação de chuva intensa ajustada apresentou bom desempenho, com R2 equivalente a 0,997. Os parâmetros K, a, b e c da equação e chuva intensa foram, respectivamente, 21,118; 0,115; 10,637 e 0,756.

A PMP diária estimada com base no método estatístico de Hershfield a partir de uma série histórica de 48 anos para a cidade de Manoel Viana,RS, foi de 565,16 mm.

Os resultados obtidos fornecem subsídios técnicos para o dimensionamento de estruturas hidráulicas e estratégias de manejo da água em projetos agrícolas, contribuindo para a redução de riscos associados a eventos extremos e para a resiliência das atividades produtivas em contextos climáticos variáveis.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. **Hidroweb: Sistemas de informações hidrológicas**. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br/>>. Acesso em: 1 jun. 2025.

ARAGÃO, R. D. et al. Chuvas intensas para o estado de Sergipe com base em dados desagregados de chuva diária. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, n.3, p.243-252, 2013.

ARAÚJO, L. E. et al. Análise estatística de chuvas intensas na bacia hidrográfica do Rio Paraíba. **Revista Brasileira de Meteorologia**, [sl], v. 2, pág. 162–169, 2008.

BURGER, L. C. **Adaptação e análise do método de Hershfield para estimativa da precipitação máxima provável (PMP)**. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental). Departamento de Hidráulica e Saneamento do Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba-PR. 2014.

CALDEIRA, T. L. et al. Modelagem probabilística de eventos de mudanças extremas no estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [sl], v. 3, pág. 197–203, 2015.

CHOW, V.T. **Handbook of applied hydrology**. New York: McGraw-Hill Company, 1964.

DAEE/CETESB. **Drenagem Urbana – Manual de Projeto**. São Paulo, Departamento de Águas e Energia Elétrica - DAEE e Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental - CETESB, 1980, 468p.

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**, v.9, n. 2, p.e77922073, 2020.

HERSHFIELD, D. M. Method for estimating probable maximum rainfall. **American Water Works Association**, p.965-972, 1965.

HERSHFIELD, D. M. Technical Paper N. 40: Rainfall Frequency Atlas of the United States, Department of Commerce. **Weather Bureau**, Washington, DC, 1961.

MELLO, C. R.; SILVA, A. M. **Hidrologia: Princípios e aplicações em sistemas agrícolas**. Lavras: Ed. UFLA, 2013.

OLIVEIRA, L. F. C. D. et al. Estimativa das Equações de Chuvas Intensas para algumas localidades no Estado de Goiás pelo Método de desagregação de Chuvas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.30, p.23-27, 2000.

OLIVEIRA, L. F. C. et al. Intensidade-Duração-Frequência de chuvas intensas para localidades no estado de Goiás e Distrito Federal. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, [sl], v. 1, pág. 13–18, 2005.

SAMPAIO, M. V. **Determinação e espacialização das equações de chuvas intensas nas bacias hidrográficas do Rio Grande do Sul**. 2011. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2011.

SANTOS, G. G. et al. Intensidade-duração-frequência de chuvas para o Estado de Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [sl], v. supl, pág. 899–905, 2009.

SILVA NETO, V.L. et al. Mapeamento de Chuvas Intensas para o Estado do Tocantins. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.35, n.1, p.1-11, 2020.

SILVA, B. C; CLARKE, R. T Análise estatística de chuvas intensas na bacia do rio São Francisco. **Revista Brasileira de Meteorologia**, [sl], v. 3, pág. 265–272, 2004.

SILVA, C. B; OLIVEIRA, L. F. C. Relação Intensidade-Duração-Frequência de chuvas extremas na região Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, [sl], v. 267–283, 2017.

SILVA, D. D. et al. Chuvas intensas para o Estado da Bahia. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.6, p.362-367, 2002.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION - WMO. **Manual on Estimation of Probable Maximum Precipitation - PMP**. Geneva: 2009.