



Equação de chuva intensa utilizando o método da desagregação de chuvas para a bacia hidrográfica do rio Farinha – MA

Equation of heavy rainfall using the rainfall disaggregation method for the Farinha river basin – MA

Ecuación de precipitaciones intensas utilizando el método de desagregación de precipitaciones para la cuenca del río Farinha - MA

DOI: 10.55905/revconv.17n.2-090

Originals received: 01/04/2024

Acceptance for publication: 01/23/2024

Cristiane Matos da Silva

Doutoranda em Ciência e Tecnologia Ambiental pela Universidade do Vale do Itajaí (UNIVALI)

Instituição: Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão (UEMASUL)

Endereço: Imperatriz – Maranhão, Brasil

E-mail: cristiane.silva@uemasul.edu.br

Jurandir Pereira Filho

Doutor em Ecologia e Recursos Naturais

Instituição: Universidade do Vale do Itajaí (UNIVALI)

Endereço: Itajaí – Santa Catarina, Brasil

E-mail: jurandir@univali.br

RESUMO

Tendo em vista ser a chuva um dos principais agentes ativos no processo da proteção hídrica, é de extrema importância avaliar a resposta do solo às diferentes precipitações, tanto em termos do volume precipitado quanto pela duração e característica do evento. Para tanto, um dos métodos mais recomendados para determinação da chuva intensa é o método da desagregação de chuva que consiste em obter dados que relacionam a chuva máxima de 24 horas em pluviógrafos e chuva de 1 dia em pluviômetros e, posteriormente, em chuvas com durações menores. Diante do exposto, este trabalho objetiva determinar por meio do método de desagregação de chuva, a equação de chuva intensa para a bacia hidrográfica do rio Farinha – MA e, por meio desta equação quantificar quais são as intensidades de chuva que podem gerar efeitos erosivos ao solo. Os parâmetros da prescrição IDF foram ajustados: $K = 252,77$; $a = 843,42$; $b = 10$, e; $c = 0,742$, que permitiu gerar um coeficiente de inclinação (R^2), de 1,0, refletindo a qualidade do ajuste. Essa projeção de chuva intensa para a bacia hidrográfica do rio Farinha - MA, possibilita uma série de estudos hidrológicos regionalizados, como: estimativas da Erosividade da chuva, estudos de perdas de água e solo por chuvas simuladas, quantificação da intensidade de processos erosivos decorrentes de infiltração hídrica, dimensionamento de drenagens, vertedores, obras de proteção, enchentes e cheias entre outros.

Palavras-chave: DAEE-CETESB, Gumbel, equação IDF.



ABSTRACT

Given that rain is one of the main active agents in the process of water protection, it is extremely important to evaluate the response of the soil to different precipitation, both in terms of the volume precipitated and the duration and characteristic of the event. To this end, one of the most recommended methods for the transmission of heavy rainfall is the rainfall disaggregation method (DAEE-CETESB, 1980), which consists of obtaining transfers that relate the maximum 24-hour rainfall in pluviographs and 1-day rainfall in pluviometers and, subsequently, rainfall with shorter durations. In view of the above, this work aims to determine, by means of the rainfall disaggregation method, the projection of heavy rainfall for the Farinha river basin - MA and, by means of this projection, to quantify which rainfall intensities can generate erosive effects to the soil. The parameters of the IDF prescription were adjusted: $K = 252.77$; $a = 843.42$; $b = 10$, and; $c = 0.742$, which allowed generating a slope coefficient (R^2), of 1.0, reflecting the quality of the adjustment. This projection of the protection of intense rainfall for the Farinha river basin - MA, allows a series of regionalized hydrological studies, such as: estimates of rainfall erosivity, studies of water and soil losses by simulated rains, quantification of the intensity of erosive processes resulting from water infiltration, drainage sizing, spillways, protection works, floods and floods among others.

Keywords: DAEE- CETESB, Gumbel, IDF equation.

RESUMEN

Dado que la lluvia es uno de los principales agentes activos en el proceso de protección hídrica, resulta de gran importancia evaluar la respuesta del suelo ante diferentes eventos de precipitación, tanto en lo que se refiere al volumen de precipitación como a la duración y características del evento. Para ello, uno de los métodos más recomendados para la determinación de precipitaciones intensas es el método de desagregación de precipitaciones, que consiste en la obtención de datos que relacionen la precipitación máxima de 24 horas en pluviómetros y la precipitación de 1 día en pluviómetros, y posteriormente en eventos de precipitación de menor duración. Teniendo en cuenta lo anterior, este trabajo tiene como objetivo determinar, utilizando el método de desagregación de las precipitaciones, la ecuación de precipitaciones intensas para la cuenca del río Farinha - MA y, a partir de esta ecuación, cuantificar qué intensidades de precipitación pueden generar efectos erosivos en el suelo. Los parámetros de la prescripción IDF fueron ajustados: $K = 252,77$; $a = 843,42$; $b = 10$, e; $c = 0,742$, lo que generó un coeficiente de pendiente (R^2) de 1,0, reflejando la calidad del ajuste. Esta proyección de precipitación intensa para la cuenca del río Farinha - MA, posibilita una serie de estudios hidrológicos regionalizados, tales como: estimación de la erosividad de la precipitación, estudios de pérdidas de agua y suelo debido a la precipitación simulada, cuantificación de la intensidad de los procesos erosivos resultantes de la infiltración de agua, dimensionamiento de drenajes, aliviaderos, obras de protección, crecidas e inundaciones, entre otros.

Palabras clave: DAEE-CETESB, Gumbel, ecuación IDF.



1 INTRODUÇÃO

O conhecimento do clima é um dos principais fatores que possibilitam as atuais condições de vida e o desenvolvimento das mais diversas atividades antrópicas, bem como dos ecossistemas (SENA et al., 2014; CRUZ et al., 2022). De acordo com Righetto (1988), a hidrometeorologia proporciona o estudo da água presente na atmosfera, seus fenômenos e seus processos de armazenamento, transporte, mudanças de fase, evaporação e precipitação. Como a chuva é um dos principais agentes ativos no processo de erosão hídrica, é extremamente importante avaliar a resposta do solo a diferentes precipitações, tanto em termos do volume precipitado quanto da duração e da característica do evento (CARVALHO et al., 2009).

A erosão é um processo natural que consiste no desprendimento e no transporte de partículas do solo, tendo como consequência o assoreamento de corpos hídricos e causando a perda da qualidade da água até a extinção de espécies da fauna e da flora (PIRES; SANTOS & PIRES, 2002; BATISTA et al. 2020). Um dos maiores problemas relacionados à erosão hídrica ocorre quando os sedimentos são arrastados, o que causa assoreamento na bacia hidrográfica, reduzindo a seção de vazão dos canais de macrodrenagem e aumentando o risco de inundações (COSTA; BLANCO, 2018). De acordo com Brady (1989), Hernani, Kurihara e Silva (1999) e Santos Nascimento (2020), a erosão é o fenômeno mais destrutivo que afeta o solo em todo o mundo, pois, ao provocar a perda acelerada de nutrientes e matéria orgânica, causa o seu empobrecimento e a degradação do agroecossistema.

A ocorrência de enchentes e inundações está se tornando cada vez mais frequente, o que ressalta a importância de conhecer as etapas do ciclo hidrológico, incluindo a precipitação, devido à sua capacidade de produzir escoamento superficial (DANTE et al., 2022). A precipitação é uma variável climática que tem distribuição aleatória no espaço e no tempo, exercendo forte influência nas condições ambientais (MEDEIROS et al., 2022). A análise da precipitação auxilia no diagnóstico de diversas atividades, permitindo a discussão sobre o impacto de várias ações antrópicas, como o uso e a ocupação do solo e as transformações na paisagem (ALEIXO & NETO, 2019).

A análise dos dados de precipitação, em sua normalidade, é realizada a partir de um grande banco de dados, em que a estatística convencional sintetiza poucas informações porque faz observações de até duas variáveis (SILVA et al., 2020). Além disso, diferentes distribuições de probabilidade são utilizadas na literatura para a modelagem de eventos climáticos extremos,



como a precipitação máxima, que permite que, em um determinado local, se conheça a probabilidade de ocorrência de qualquer quantidade de precipitação, antecedendo o evento (SANTOS et al., 2018; FERREIRA, BEIJO & AVELAR, 2022).

Uma das formas de estimar as vazões máximas quando não há dados históricos, ou mesmo quando esses dados se apresentam em menor quantidade, é o estudo de chuvas intensas na região (OLIVEIRA, 2019). Nesse caso, para realizar essas estimativas, são frequentemente utilizadas as relações Intensidade-Duração-Frequência (IDF) de chuvas intensas. As curvas IDF que definem a relação entre a intensidade da chuva, a duração da chuva e o período de retorno são comumente usadas no projeto de sistemas hidrológicos, hidráulicos e de recursos hídricos. As curvas IDF se concentram no gerenciamento de águas pluviais e no projeto de infraestrutura hidráulica de engenharia para resistir a inundações (ELSEBAIE; EL ALFY & KAWARA, 2022).

Um dos maiores problemas encontrados para a determinação das curvas IDF é a escassez de dados pluviométricos e as lacunas em seus curtos registros no Brasil. Uma das metodologias mais utilizadas para a determinação dessas equações é a da desagregação das chuvas diárias (BIELENKI JÚNIOR et al., 2016; BATISTA et al., 2018; BACK, 2020; LIMA NETO et al., 2021). Diversos estudos comparando metodologias para obtenção de uma equação IDF por desagregação de chuvas mostraram que o método que utiliza os coeficientes da CETESB foi o que melhor representou as intensidades máximas de chuvas (ROBAINA, 1996; DAMÉ et al., 2008; GARCIA et al., 2011; CALEIRA et al., 2015; BACK, 2020).

Esse método foi desenvolvido pelo Departamento Nacional de Obras e Saneamento (DNOS) e adotado pelo DAEE - CETESB (1980) e serve para verificar a relação dos dados dos postos pluviométricos com os pluviômetros (Oliveira, 2019). Para tanto, o método de desagregação de chuvas consiste na obtenção de coeficientes que relacionam a chuva máxima de 24 horas obtida em pluviógrafos e a chuva de 1 dia obtida em pluviômetros e, posteriormente, em chuvas com durações menores (ABREU, 2018).

Diante do exposto, este trabalho tem como objetivo determinar, por meio do método de desagregação de chuvas, a equação de chuvas intensas para a bacia hidrográfica do rio Farinha - MA e, por meio dessa equação, possibilitar a quantificação das intensidades de chuvas que podem gerar efeitos erosivos no solo.



2 MATERIAL E MÉTODO

Para determinar a equação de chuvas intensas e os parâmetros de Intensidade - Duração - Frequência (IDF) da equação, foi utilizada a técnica de desagregação de chuvas de 1 dia proposta pelo DAEE-CETESB (1980) e a distribuição de probabilidade de Gumbel. Os dados pluviométricos foram adquiridos pelo site (<https://www.snirh.gov.br/hidroweb/serieshistoricas>) da Agência Nacional de Águas por meio da plataforma HidroWeb para a estação de Carolina - MA (Código 747000). Esses dados foram baixados como um arquivo rain.zip que, após descompactado, foi aberto em uma planilha do Excel visando à composição da série histórica de precipitação máxima de 1 dia.

Os dados da série histórica foram inicialmente classificados em ordem decrescente e transferidos para a planilha eletrônica para desagregação da precipitação máxima de 1 dia. Posteriormente, foram submetidos à metodologia proposta pelo DAEE-CETESB (1980). Esse método adota um fator médio de 1,14 para a transformação da chuva de 1 dia em chuva de 24 horas, que é obtido pela análise de correlação para diferentes Tempos de Retorno (TR), que são os tempos necessários para que um determinado evento seja igualado ou excedido pelo menos uma vez em qualquer número de anos, e para os demais tempos de duração da chuva foram utilizados os coeficientes de desagregação apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Fatores de desagregação de chuvas de 24 horas

Relação entre as alturas pluviométricas	Coefficiente de desagregação
5min/30min	0,34
10min/30min	0,54
15min/30min	0,70
20min/30min	0,81
25min/30min	0,91
30min/1hora	0,74
1h/24h	0,42
6h/24h	0,72
8h/24h	0,78
10h/24h	0,82
12h/24h	0,85

Fonte: DAEE/CETESB (1980).

Posteriormente, foram determinadas as intensidades de precipitação média máxima, as médias, desvio padrão, variância e os parâmetros de α e β da distribuição de Gumbel (Equação 01 e 02, respectivamente).



$$\alpha = \bar{x} - (0,557 * \beta)$$

01

Onde:

α = alfa; \bar{x} = média; β = beta.

$$\beta = 0,7797 * s^2$$

02

Onde:

β = beta; s^2 = *Desvio padrão*.

Posteriormente, foi realizada a análise da distribuição de frequência por meio da frequência observada (Fobs) pelo método de Kimbal e frequência teórica (Ft) pela distribuição de Gumbel, a fim de avaliar a aderência da distribuição de Gumbel. Para verificar a aderência, foi utilizado o teste do qui-quadrado (χ^2), onde foi testada a seguinte hipótese: Haverá aderência dos dados se o χ^2 calculado (Equação 03) for menor que o χ^2 tabelado para um nível de significância de 5% e 51 Graus de Liberdade (Equação 04).

$$\chi^2_{cal} = \sum \frac{(F_t - F)^2}{F} \quad 03$$

Onde:

χ^2_{cal} = Qui-quadrado calculado; F_t = Frequência Teórica determinada pela distribuição de Gumbel; F = Frequência pelo método de Kimbal.

$$GL = nD - nG \quad 04$$

Onde:

GL = Graus de Liberdade; nD = número de dados total da série histórica; F = número de parâmetros da distribuição de Gumbel.



Verificada a aderência, foram estimadas as intensidades das precipitações médias máximas pela distribuição de Gumbel para os períodos de retorno de 5, 10, 25, 50 e 100 anos. E, uma vez determinada as precipitações médias máximas para estes períodos de retorno, foram ajustados os parâmetros K, a, b, e c da equação de intensidade, duração e frequência (Equação 05) por meio de regressão linear.

$$Im = \frac{K * (Tr)^a}{(t + b)^c} \quad 5$$

Em que:

Im - intensidade máxima média de precipitação (mm.h⁻¹); TR - período de retorno (anos); t - duração da precipitação (min.); K, a, b, e c - parâmetros do ajuste.

Após a determinação da Intensidade máxima média de precipitação para os diferentes tempos de retorno, com base nos dados extraídos da HidroWeb (I obs) foi calculado pela relação IDF que se pretende ajustar (I cal) a soma dos quadrados dos desvios (SQD) (Equação 05); a soma do quadrado total (SQT) (Equação 06) e a soma de quadrado da regressão (SQR) (Equação 07) e, o r² (Equação 08) para estimar os parâmetros da equação de chuva intensa da bacia do rio Farinha – MA (Oliveira, 2019).

$$SQD = \sum (i\ obs - i\ cal)^2 \quad 05$$

$$SQT = \sum (i\ obs - \bar{X})^2 \quad 06$$

$$SQR = \sum (i\ cal - \bar{X})^2 \quad 07$$

$$r^2 = \frac{SQR}{SQT} \quad 08$$

Onde:



i_{obs} = Intensidade de precipitação observada (mm.h^{-1}); i_{cal} = Intensidade de precipitação calculada (mm.h^{-1}); \bar{X} = Média.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a obtenção dos dados de precipitação do HidroWeb, eles foram ordenados em ordem decrescente para a composição da coluna de precipitação máxima anual de 1 dia (Tabela 2), compondo uma série histórica de 53 anos. As maiores precipitações máximas diárias foram observadas nos anos de 1983 (162,8 mm) (El Niño), 2020 (150,3 mm), 2009 (143,5 mm) (El Niño) e 1986 (143,2 mm) (El Niño), enquanto os menores valores foram observados nos anos de 1974 (56,8 mm) (La Niña), 2021 (53,3 mm), 1976 (51,8 mm) (El Niño) e 1975 (28 mm) (La Niña).

Tabela 2 – Ordenamento dos dados obtidos da HidroWeb para obtenção da série de precipitações pluviométricas máximas utilizadas para o ajuste da Equação IDF.

Ord.	Mês/ Ano	Precipitação Máxima (mm)	Ocorrência Enos	Ord.	Mês/ Ano	Precipitação Máxima (mm)	Ocorrência Enos
1	Jan/ 1983	162,8	El Niño	31	Fev/ 2015	87,0	El Niño
2	Abr/20 20	150,3	-	32	Jan/ 2000	86,2	La Niña
3	Abr/20 09	143,5	El Niño	33	Nov/1 989	86,2	La Niña
4	Jan/ 1986	143,2	El Niño	34	Fev/2 014	86,0	-
5	Fev/20 02	142,7	El Niño	35	Fev/2 008	78,1	La Niña
6	Dez/20 13	138,0	-	36	Dez/1 985	77,9	-
7	Fev/ 2007	134,9	El Niño	37	Mar/2 011	76,5	La Niña
8	Jan/19 80	133,2	El Niño	38	Out/1 999	76,5	La Niña
9	Jan/19 92	133,0	El Niño	39	Jan/ 1998	75,7	El Niño
10	Mai/19 73	121,6	El Niño	40	Mar/1 987	75,6	El Niño
11	Mar/2 001	121,4	-	41	Jan/ 1982	73,3	El Niño
12	Jan/20 04	116,2	-	42	Dez/2 019	67,3	-
13	Abr/19 97	110,6	El Niño	43	Fev/2 012	65,6	-
14	Fev/19 79	110,2	El Niño	44	Nov/1 995	65,4	-
15	Set/19 72	105,0	El Niño	45	Abr/1 991	65,3	El Niño



16	Dez/19 90	104,2	-	46	Mai/1 994	64,7	
17	Out/19 88	103,3	El Niño	47	Abr/1 993	63,2	El Niño
18	Abr/ 2010	102,7	El Niño	48	Fev/1 984	62,3	-
19	Mar/2 018	97,5	La Niña	49	Abr/1 978	60,9	-
20	Fev/20 05	97,0	-	50	Nov/1 974	56,8	La Niña
21	Nov/1 996	95,8	-	51	Mar/2 021	53,3	-
22	Dez/19 69	95,0	El Niño	52	Nov/1 976	51,8	El Niño
23	Out/19 71	94,0	La Niña	53	Mar/1 975	28,0	La Niña
24	Abr/20 17	91,8	La Niña				
25	Jan/ 2016	90,5	El Niño				
26	Abr/20 06	89,2	El Niño				
27	Abr/19 81	89,2	-				
28	Fev/19 70	89,2	El Niño				
29	Fev/20 03	88,3	El Niño				
30	Abr/19 77	87,4	El Niño				

Fonte: Autor (2021).

A ocorrência do Enos denominado El Niño afeta tanto o clima regional quanto o global, alterando a circulação geral da atmosfera, tornando-se, assim, um dos responsáveis por anos considerados secos ou muito secos na região nordeste do país (COSTA, 2012). Já a ocorrência do Enos La Niña é caracterizada, segundo Molion (2016), pela presença de ar seco que dificulta a formação de nuvens, sendo comum a ocorrência de altas temperaturas durante o dia e clima mais frio à noite e, além disso, é responsável por anos de chuvas intensas na região nordeste e seca no restante do país.

A região de Carolina - MA é caracterizada por ter duas estações bem definidas, uma chuvosa que se estende de novembro a maio e uma seca de junho a outubro. Assim, observa-se nos dados apresentados acima que, embora o El Niño proporcione períodos secos na região nordeste do país, os maiores índices pluviométricos da região coincidem com o período chuvoso e, como se utilizam os dados de precipitação de 1 dia, esses dados não caracterizam necessariamente uma divergência climática, mas uma consequência natural do período.



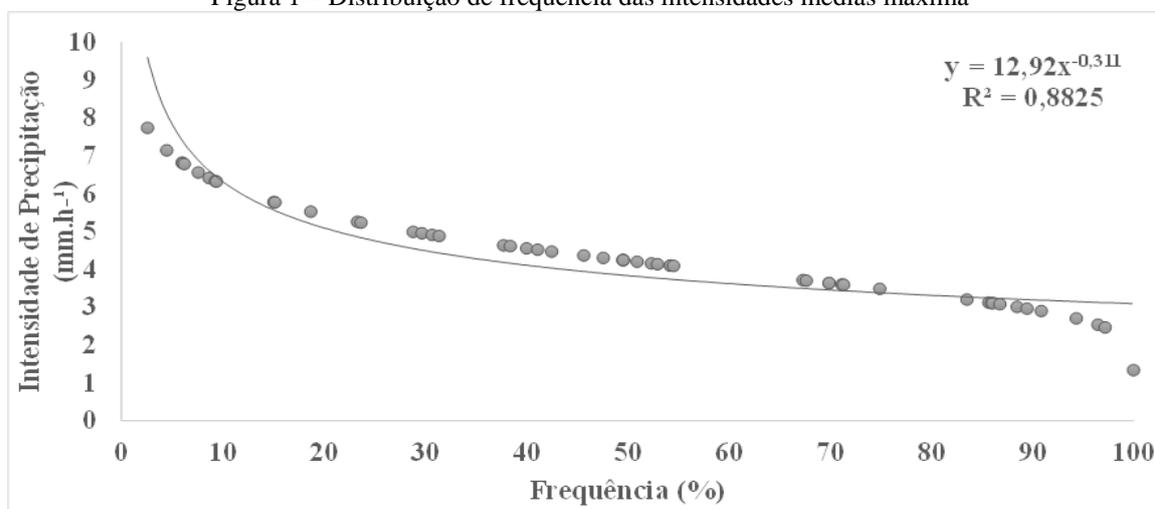
Quanto aos menores valores da série histórica utilizada, a ocorrência do El Niño Enos no mês de novembro de 1976 corrobora a baixa pluviosidade encontrada, uma vez que esse fenômeno é caracterizado por períodos secos ou muito secos na região Nordeste. Em contrapartida, estiveram sob o efeito moderado do Enos La Niña nos meses de novembro de 1974 e março de 1975, que são meses regionalmente chuvosos. Uma das possíveis explicações é a ocorrência de um veranico, que é a presença de um período seco em uma estação chuvosa.

Posteriormente, a precipitação máxima de 1 dia foi desagregada em precipitações de menores durações (24h, 12h, 10h, 8h, 1h, 30min, 25min, 20min, 15min, 10min e 5min) (Apêndice A), aplicando-se os coeficientes multiplicadores (Tabela 1) do DAEE-CETESB (1980), obtendo-se, na sequência, as Intensidades Máximas Médias de Chuva (Apêndice B) e, por meio delas, as médias, o desvio padrão, a variância e os parâmetros α e β da distribuição de Gumbel.

Seguindo o procedimento metodológico sugerido para a determinação da equação de chuvas intensas, após a realização dos cálculos que representam a distribuição de frequência das intensidades médias máximas para a duração da chuva de 24 horas determinada pela distribuição de Gumbel, a Figura 1 mostra a aderência das frequências teóricas obtidas pela distribuição de Gumbel às frequências observadas (Apêndice D). Observa-se também que essa aderência nos fornece um coeficiente de determinação R^2 de 0,8825, indicando que a variável dependente (frequência observada das intensidades médias máximas para a duração da chuva de 24 horas) é explicada em mais de 88,25% pela variável independente (frequências teóricas obtidas pela distribuição de Gumbel), o que reflete a qualidade do ajuste.



Figura 1 – Distribuição de frequência das intensidades médias máxima



Fonte: Autora (2021).

Resultado semelhante foi encontrado por Arboit, Mancuso & Fioreze (2017) em um estudo voltado ao ajuste da equação IDF pelo método de desagregação das chuvas para o Município de Iraí - RS, onde encontraram um coeficiente de determinação de R^2 de 0,9971 indicando que a variável dependente (intensidade estimada) foi explicada em mais de 99,7% pela variável independente (intensidade observada).

Além disso, por meio da análise do teste do qui-quadrado (χ^2) (Tabela 3), confirmou-se a aderência dos dados, uma vez que o χ^2 calculado (0,24) foi menor que o χ^2 tabelado (68,67) para um nível de significância de 5%, e 51 graus de liberdade, o que permite a utilização da estimativa das intensidades de precipitação média máxima pela distribuição de Gumbel para os períodos de retorno de 5, 10, 25, 50 e 100 anos.

Tabela 3 – Teste de Qui-Quadrado aplicado à distribuição de frequência das intensidades médias máximas determinadas pela distribuição de Gumbel

Média YTR	Desvio Padrão YTR	χ^2 cal	χ^2 Tab	α	GL
0,5769	1,2821	0,24	68,67	0,05	51

Fonte: Autora (2021).

Em seguida, as intensidades médias máximas estimadas pela distribuição de Gumbel foram calculadas para os períodos de retorno de 5, 10, 25, 50 e 100 anos, para os diferentes tempos de duração da chuva (Tabela 4).



Tabela 4 – Intensidades médias máximas (mm.h^{-1}) para diferentes períodos de retorno e tempos de duração da chuva.

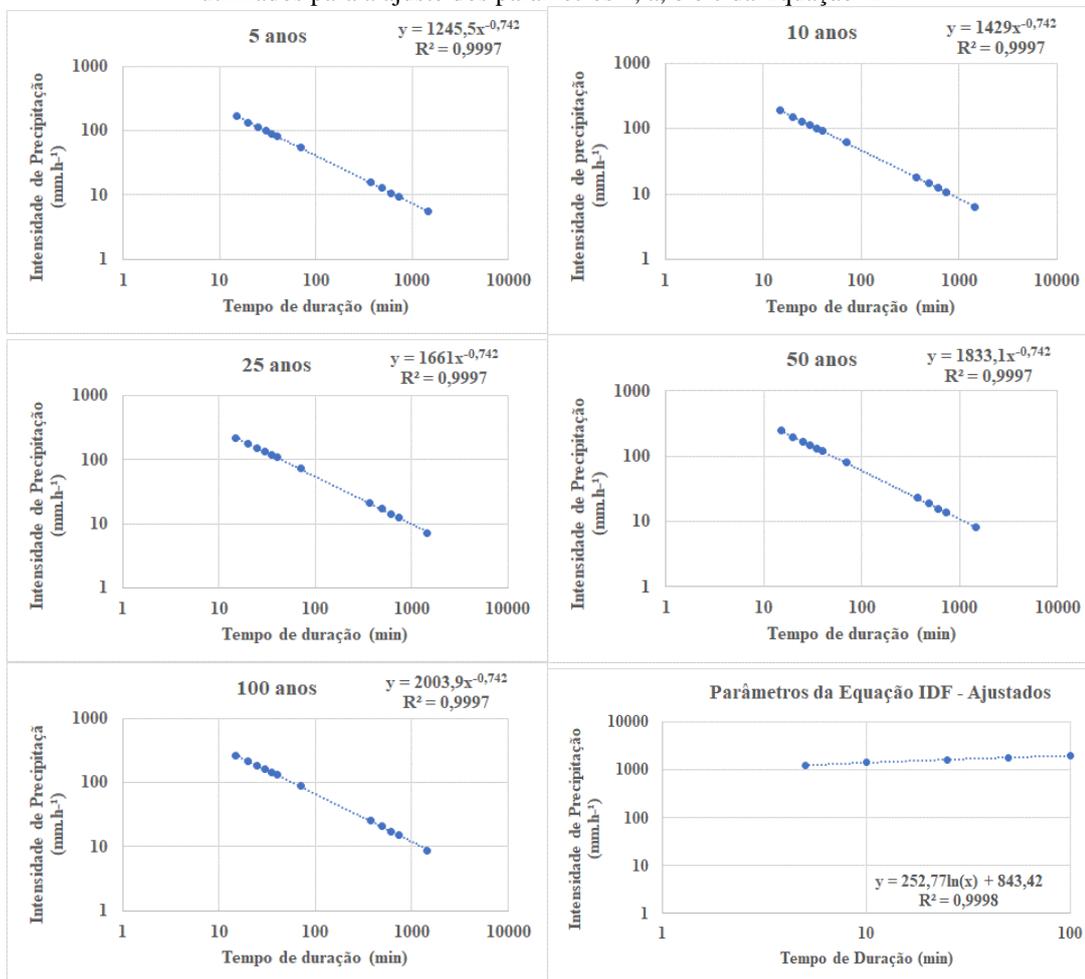
Tempo de Duração (min)	Tempo de Retorno (anos)				
	5 anos	10 anos	25 anos	50 anos	100 anos
1440	5,46	6,27	7,28	8,04	8,79
720	9,28	10,65	12,38	13,67	14,94
600	10,75	12,33	14,33	15,82	17,29
480	12,78	14,66	17,04	18,81	20,56
360	15,73	18,05	20,98	23,15	25,31
60	55,05	63,17	73,42	81,03	88,58
30	81,48	93,49	108,66	119,92	131,10
25	88,97	102,09	118,66	130,95	143,16
20	99,00	113,59	132,03	145,71	159,28
15	114,07	130,88	152,13	167,89	183,54
10	132,00	151,45	176,04	194,27	212,38
5	166,22	190,72	221,67	244,64	267,44

Fonte: Autora (2021).

Após todo esse processo, foi iniciado o ajuste dos parâmetros K, a, b e c da Equação IDF (Equação 03) para os diferentes tempos de retorno. A determinação desses parâmetros da relação Intensidade-Duração-Frequência (IDF) da equação de chuvas intensas possibilita estimar as energias cinéticas e o tempo de retorno para as chuvas aplicadas por simulador de aspersão e também permite comparar os valores naturais com os simulados (OLIVEIRA, 1999; ALVES SOBRINHO et al., 2001, OLIVEIRA, 2019). Para o ajuste, foram elaborados gráficos que relacionam o tempo de duração da chuva (min) com o tempo de recorrência (anos), de forma a exibir os gráficos que melhor ajustam os parâmetros da equação IDF. Uma vez ajustadas as linhas de tendência, torna-se necessário elaborar um gráfico de correlação dos parâmetros exibidos nas equações das retas e, por meio deles, encontrar os parâmetros K, a, b e c da equação de chuvas intensas (Figura 2).



Figura 2 – Intensidades de Precipitação para os Tempos de retorno 5 anos, 10 anos, 25 anos, 50 anos e 100 anos, utilizados para a ajuste dos parâmetros k, a, b e c da Equação IDF



Fonte: Autora (2021).

Uma vez que os parâmetros da Equação IDF são ajustados, os valores obtidos pela equação de regressão em função das diferentes intensidades de precipitação (anos) com o tempo de duração (minutos) permitiram determinar os valores de $K = 252,77$, $a = 843,42$, $b=10$ e $c=0,742$ tendo-se, portanto, a Equação de Chuva Intensa para a bacia hidrográfica do rio Farinha no município de Carolina - MA (Equação 09).

$$I = \frac{252,77 \ln(T) + 843,42}{(t + 10)^{0,742}}$$

09

Onde:



I = Intensidade de Precipitação (mm.h^{-1}); T = Tempo de Retorno (anos); t = Tempo de duração da chuva (min).

Na sequência, com a determinação da Equação de chuva Intensa para a bacia hidrográfica do rio Farinha no município de Carolina - MA calculou-se as intensidades médias máximas calculadas (i_{cal}), para os períodos de retorno de 5, 10, 25, 50 e 100 anos, para os diferentes tempos de duração das chuvas (Tabela 5).

Tabela 5 – Intensidades médias máximas calculadas (i_{cal}) com a Equação IDF ajustada para a bacia hidrográfica do rio Farinha- MA, para diferentes períodos de retorno e tempos de duração das chuvas

Tempo de Duração (min)	Tempo de Retorno (anos)				
	5 anos	10 anos	25 anos	50 anos	100 anos
1440	5,64	6,43	7,47	8,27	9,06
720	9,38	10,70	12,44	13,75	15,07
600	10,72	12,22	14,21	15,71	17,22
480	12,61	14,38	16,72	18,49	20,25
360	15,54	17,72	20,59	22,77	24,95
60	53,45	60,94	70,84	78,33	85,82
30	80,96	92,30	107,30	118,65	129,99
25	89,39	101,92	118,48	131,01	143,53
20	100,22	114,27	132,84	146,88	160,93
15	114,74	130,82	152,08	168,16	184,24
10	135,40	154,38	179,46	198,44	217,41
5	167,62	191,11	222,17	245,66	269,15

Fonte: Autora (2021).

A determinação da Equação de chuva intensa para a bacia hidrográfica do rio Farinha – MA, possibilita uma série de estudos hidrológicos regionalizados, como: estimativas da Erosividade da chuva, estudos de perdas de água e solo por chuvas simuladas, quantificação da intensidade de processos erosivos decorrentes de erosão hídrica, dimensionamento de drenos, vertedores, obras de proteção enchentes e cheias entre outros. Por fim, com a determinação desta Equação de chuva intensa e a obtenção das intensidades médias máximas calculadas (i_{cal}), foi possível obter os dados da soma de quadrado dos desvios (SQD), da soma de quadrado total (SQT), da soma de quadrado da regressão (SQR) e do coeficiente de determinação (r^2) (Tabela 6).



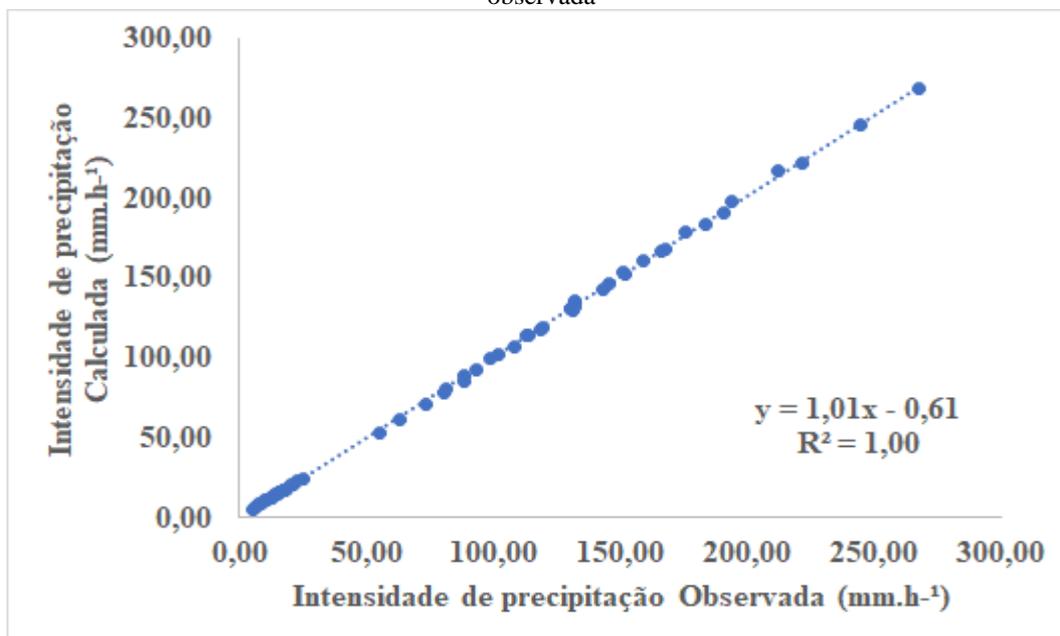
Tabela 6 – Resultado dos cálculos da soma de quadrado total (SQT), da soma de quadrado da regressão (SQR) e do coeficiente de determinação (r^2) dos dados extraídos da HidroWeb para o cálculo da Intensidade observada (I obs) e da Intensidade de precipitação calculada pela (I cal) pela relação IDF ajustada.

SQD	SQT	SQR	R ²
2,1	5219,3	5319,5	1,0

Fonte: Autora (2021).

Essa análise possibilitou, a geração do gráfico de dispersão da intensidade de precipitação calculada pela Equação IDF da bacia hidrográfica do rio Farinha – MA versus a intensidade de precipitação observada antes da determinação da Equação IDF para a bacia (Figura 6), onde se verifica o perfeito ajuste da Equação de Chuva Intensa para a bacia hidrográfica do rio Farinha – MA, uma vez que, o coeficiente de regressão R^2 é igual a 1,0, o que possibilita inferir que a relação entre variável dependente (intensidade de precipitação calculada pela Equação IDF da bacia) foi explicada em 100% pela variável independente (intensidade de precipitação observada antes do ajuste da Equação IDF).

Figura 3 – Dispersão dos dados de intensidade de precipitação calculada versus a intensidade de precipitação observada



Fonte: Autora (2021).

Resultados semelhantes aos valores de coeficientes de determinação foram obtidos por Silva et al. (2012) para o estado de Pernambuco, e, Caminha, Souza & Oliveira (2020) para o estado de Minas Gerais, em que, ao ajustarem relações IDF pelo método de desagregação de chuvas, encontraram coeficientes de determinação acima de 99%. Observa-se também que o



coeficiente de determinação (r^2), obtido pela relação entre as intensidades de precipitação observadas e calculada, foi de 1,00, indicando que a variável dependente (intensidade calculada) é explicada em 100% pela variável independente (intensidade observada), o que reflete a qualidade do ajuste da Equação de Chuva Intensa (Gráfico 3). Resultado semelhante foi encontrado por Arboit, Mancuso & Fioreze (2017) que encontraram um coeficiente de determinação (R^2) de 0,997, que para o estudo em questão garantia uma qualidade do ajuste de 99,7%.

4 CONCLUSÃO

A determinação da equação de chuva intensa no período de 1969 a 2021, utilizando o método de desagregação de chuvas do DAEE-CETESB (1980) mostrou-se muito eficiente no ajuste dos parâmetros da equação de Intensidade, Duração e Frequência (IDF) de chuvas intensas e a determinação das intensidades de precipitação para os tempos de retorno de 5, 10, 25, 50 e 100 anos.

A determinação dos parâmetros da equação IDF, podem variar para uma mesma região devido aos dados de precipitação que são utilizados, pois dependendo do tamanho da série histórica e dos dados máximos de precipitação utilizados. Sendo, portanto, necessária a atualização destes parâmetros ao longo dos anos.

Vale ressaltar que a determinação de equação de chuva regionalizada permite ainda estimar a Erosividade da chuva, realizar estudos de perdas de água e solo por chuvas simuladas e quantificar a intensidade de processos erosivos decorrentes de erosão hídrica.



REFERÊNCIAS

ABREU, M.C. **Desempenho de métodos de desagregação de chuvas Intensas**. Tese (Doutorado em Meteorologia Agrícola) - Departamento de Engenharia Agrícola- Universidade Federal de Viçosa. 2018. Disponível em: <https://locus.ufv.br/handle/123456789/19141>.

ALEIXO, N. C. R., & NETO, J. C. A. Caracterização da Precipitação Pluviométrica do Médio Solimões-AM. **Acta Geográfica**, v.13 n.31, 104-120p. 2019.

ALVES SOBRINHO, T.A. et al. Programa computacional para a definição de parâmetros hidráulicos utilizados na determinação da energia cinética da chuva simulada em infiltrômetros de aspersão. **Energia Rural**. v.12. 15-19p. 2001.

ARBOIT, N.K.S.; MANCUSO, M.A. & FIOREZE, M. Ajuste de equação IDF por desagregação de chuvas diárias para o município de Iraí, RS. **Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ**. v. 40. n.3. 248-253p. 2017 ISSN 0101-9759 e-ISSN 1982-3908.

BACK, Á.J. Alternative model of intense rainfall equation obtained from daily rainfall disaggregation. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.25. 1-11p. 2020.

BATISTA, R.A.W. et al. Estimativa do fator de erosividade do solo da região do vale do Ribeira Paulista, Brasil. *Revista Formação (ONLINE)*, v. 28, n.53: 441-460p. 2020. ISSN: 2178-7298. E-ISSN: 1517-543X.

BATISTA, T.L.; ALVES, F.DE M.; TAVARES, P.R.L. Utilização de dados pluviométricos para o desenvolvimento de equações IDF da região metropolitana de Fortaleza-CE, Brasil. *Revista DAE*, v. 66, n.211. 118-129p. 2018.

Bielenki Júnior, C.; Barbassa, A.P.; Miranda, R.B.; Mauad, F.F., 2016. Determinação de curva intensidade-duração-frequência por meio do emprego do método paramétrico de ajustamento de observações. **Revista Brasileira de Climatologia**, 19:146-167.

BRADY, N. C. Erosão do solo e seu controle. In: FIGUEIREDO FILHO, A. B. N. (Org.). **Natureza e propriedades dos solos**. 7.ed. Rio de Janeiro: Freitas Bastos. 1989.

CALEIRA, T. L., BESKOW, S., MELLO, C. R., VARGAS, M. M., GUEDES, H. A. S., & FARIA, L. C. Daily rainfall disaggregation: an analysis for the Rio Grande do Sul State. **Revista Scientia Agraria**, v.16 n.3, 1-21p. 2015.

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. 2020.

CARVALHO, D. F. et al. Características da chuva e perdas por erosão sob diferentes práticas de manejo do solo. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v. 13, n.1, 3–9p. 2009.

CRUZ, C.E. et al. Caracterização pluviométrica do quadrilátero ferrífero na região Sinclinal Moeda – Minas Gerais. **Alemur**. v.7; n.1, 17-35p. 2022.



COSTA, C.E.A.S.; BLANCO, C.J.C. Influência da Variabilidade Climática sobre a Erosividade em Belém (PA). **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 33, n.3, 509-520p. 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0102-7786333010>.

COSTA, J. DE A. O fenômeno El niño e as secas no nordeste do Brasil. **Recista Científica do IFAL**. V.1 n.4. 2012.

DAEE-CETESB- Departamento de água e Energia Elétrica – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Drenagem Urbana: Manual de projeto**. DAEE/Cetesb, São Paulo. SP, 466p. 1980.

DAMÉ, R. C. F., TEIXEIRA, C. F. A., & TERRA, V. S. S. Comparação de diferentes metodologias para estimativa de curvas intensidade-duração-frequência para Pelotas- RS. **Engenharia Agrícola**, v.28, n.2, 245-255p. 2008. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-69162008000200005>.

DANTE, M.; SHINMA GALBETTI, T. A.; GALBETTI, M. V.; DE OLIVEIRA RIBEIRO, V.; OLIVEIRA DIODATO, J. Comparação dos métodos da média aritmética, dos polígonos de Thiessen e do IPD na avaliação espacial de dados pluviométricos. **Revista EIA**, v. 19, n.37, 2022. Reia37002.pp. 1-11. <https://doi.org/10.24050/reia.v19i37.1500>.

ELSEBAIE IH, EL ALFY M, KAWARA AQ. Spatiotemporal Variability of Intensity–Duration–Frequency (IDF) Curves in Arid Areas: Wadi AL-Lith, Saudi Arabia as a Case Study. **Hydrology**. v.9,n.1,6p. 2022. <https://doi.org/10.3390/hydrology9010006>.

FERREIRA, T., BEIJO, L., & AVELAR, F. Avaliação de distribuições de probabilidades no estudo de precipitação pluvial máxima de cidades de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Climatologia**, v.29. 2022. doi:<http://dx.doi.org/10.5380/rbclima.v29i0.70950>

GARCIA, S. S., AMORIM, R. S. S., COUTO, E. G., & STOPA, W. H. Determinação da equação intensidade-duração-frequência para três estações meteorológicas do Estado de Mato Grosso. **R. Bras. Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, n.6, 575-581p. 2011. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662011000600006>.

HERNANI, L. C.; KURIHARA, C. H.; SILVA, W. M. Sistemas de manejo de solo e perdas de nutrientes e matéria orgânica por erosão. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Mato Grosso do Sul, v.23, n.1, 145-154p. 1999.

LIMA NETO, V. DE S. et al. Ajuste e Validação de Equações IDF a Partir de Dados Pluviométricos para Cidades do Estado de Pernambuco, Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.36, n.4, 713-721p. 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0102-778636003>

MEDEIROS, R. M. DE., HOLANDA, R. M. DE., FRANÇA, M. V. DE, SABOYA, L. M. F., CUNHA FILHO, M., & ARAÚJO, W. R. DE. Urban variability in Recife - PE, through contributions: precipitation, temperature and relative air humidity. **Research, Society and Development**, v.11,n.2, 2022. e28311225943. <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i2.25943>



MOLION, L.C. **La Niña está confirmado e deve durar até 2019, afirma climatologista.** 2016. Disponível em: <https://www.noticiasagricolas.com.br/videos/clima/177054-la-nina-esta-confirmado-e-deve-durar-ate-2019-afirma-climatologista.html#.XPhywIhKjIU>

OLIVEIRA, L.F. C. **Modelo para transporte de solutos no solo e no escoamento superficial.** Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa. Viçosa – MG. 171f. 1999.

OLIVEIRA, L.F.C. de. **Chuvas extremas no Brasil: modelos e aplicações.** Lavras: Ed. UFLA. 388p.:il. 2019.

PIRES, J. S. R.; SANTOS, J. E.; PIRES, A. M. Z. C. R. Análise de riscos ambientais no entorno de uma Unidade de Conservação (estação Ecológica de Jataí, Luiz Antônio, SP). In: Schiavetti, A.; Camargo, A. F. M. (ed.). **Conceitos de Bacias Hidrográficas: Teorias e Aplicações.** Ilhéus: Editus. 17-36p. 2002.

RIGHETTO, A.M. **Hidrologia e recursos hídricos.** São Carlos: EESC/USP.840p. 1988.

ROBAINA, A. D. Modelo para geração de chuvas intensas no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.4, n.2, 95-98p. 1996.

SANTOS, M.S., NASCIMENTO, P.S. DE R. Análise da Suscetibilidade e vulnerabilidade à erosão hídrica pelo processo analítico hierárquico (AHP). **Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais (GESTA)**. v.9, n.1, 1-19p. 2020.

SANTOS, R. S. dos et al. Caracterização de extremos mensais de precipitação em Cacoal (RO). **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, v.22, n.14, 267-280p. 2018.

SENA, J. D. O.; MELO, J.; LUCENA, D.; MELO, E. Caracterização da precipitação na microrregião do cariri paraibano por meio da técnica dos Quantis. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.7, n.5, 871-879p. 2014.

SILVA, B. et al. Chuvas intensas em localidades do Estado de Pernambuco. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.17, n.3, 135–147p. 2012.

SILVA, J. L. B., MOURA, G. B. A., SILVA, V. M., GUEDES, R. V. S., LOPES, P. M. O., SILVA, E. F. F., VASCONCELOS, R. S., FRANCILINO, A. F. Inferência Exploratória de Dados Espaço-Temporal da Precipitação Pluviométrica no Nordeste brasileiro. **Revista Brasileira de Geografia Física**. v.13, n.05, 2019-2036p. 2020.