Revista Brasileira de Climatologia
Brazilian Journal of Climatology
OPEN ACCESS
UFGD Editora

EQUAÇÃO DE CHUVAS INTENSAS DE LONGA DURAÇÃO PARA SANTA CATARINA, BRASIL

Long-term intense rain equation for Santa Catarina, Brazil

Ecuación de lluvias intensas de largo plazo para Santa Catarina, Brasil

Álvaro José Back
Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (Epagri)/Estação Experimental de Urussanga
email: ajb@epagri.sc.gov.br

Luísa Back
Programa de Pós Graduação em Epidemiologia/Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)
Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil
luisasmback@gmail.com

Beatriz Back
Instituto de Matemática e Estatística/ Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil
beatrizsmback@gmail.com

Gabriel da Silva Souza
Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais/Universidade do Extremo Sul Catarinense (Unesc)
eng.agrimensorgabriel@gmail.com

Resumo: Estimativas confiáveis de chuvas extremas de longa duração são importantes para o conhecimento dos riscos de desastres naturais como inundações e deslizamentos. No Brasil existem poucos estudos sobre riscos de eventos extremos de chuvas de longa duração. As equações IDF disponíveis somente permitem estimar chuvas intensas com duração inferior a 24h. Este estudo teve como objetivo ajustar as equação Intensidade-Duração-Frequência (IDF) para chuvas com duração de uma dez dias para o estado de Santa Catarina. Foram utilizadas 176 estações pluviométricas com séries de dados superior a 30 anos. Foram estimadas as chuvas máximas com duração de um a dez dias e períodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 25, 50 e 100 anos. Foram ajustados os coeficientes da equação de chuvas intensas. Os índices de desempenho confirmaram o bom ajuste das equações, com R^2 superior a 0,969 e Coeficiente de Nash-Sutcliffe superior a 0,928. O coeficiente K mostrou maior variação entre os coeficientes da equação de chuvas intensas dados com maiores valores no

litoral norte do estado. As chuvas intensas apresentam variação espacial, com maiores valores observados nas regiões do Litoral Norte e Extremo Oeste do estado e menores valores na região do Médio Vale do Itajaí. As equações IDF permitem obter as estimativas para chuvas com duração de um a dez dias e período de retorno de 2 a 100 anos, podendo ser usadas na estimativa dos riscos de eventos extremos para o Estado de Santa Catarina.
Palavras-chave: Evento extremo. Desastres naturais. Inundação. Drenagem.

Abstract: Reliable estimates of extreme long-term rainfall are important for understanding the risks of natural disasters such as floods and landslides. In Brazil, there are few studies on the risk of extreme long-term rainfall events. The available IDF equations only allow estimating heavy rainfall lasting less than 24 hours. This study aimed to adjust the Intensity-Duration-Frequency (IDF) equation for rainfall lasting ten days for the state of Santa Catarina. 176 rainfall stations with data series over 30 years were used. Maximum rainfall lasting from one to ten days and return periods of 2, 5, 10, 20, 25, 50 and 100 years were estimated. The coefficients of the heavy rainfall equation were adjusted. The performance indices confirmed the good fit of the equations, with R^2 greater than 0.969 and Nash-Sutcliffe Coefficient greater than 0.928. The K Coefficient showed greater variation between the coefficients of the heavy rainfall equation given with higher values on the north coast of the state. The intense rains show spatial variation, with higher values observed in the regions of the North Coast and Far West of the state and lower values in the Middle Itajaí Valley region. The IDF equations make it possible to obtain estimates for rainfall lasting from one to ten days and a return period from 2 to 100 years, and can be used to estimate the risks of extreme events for the State of Santa Catarina.
Keywords: Extreme event. Natural disasters. Inundation. Drainage.

Resumen: Las estimaciones confiables de precipitaciones extremas a largo plazo son importantes para comprender los riesgos de desastres naturales como inundaciones y derrumbes de tierra. En Brasil, existen pocos estudios sobre el riesgo de eventos extremos de lluvia a largo plazo. Las ecuaciones IDF disponibles solo permiten estimar lluvias intensas con duración inferior a 24 horas. Este estudio tuvo como objetivo ajustar la ecuación Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) para lluvias con duración de diez días para el estado de Santa Catarina. Se utilizaron 176 estaciones pluviométricas con series de datos superiores a 30 años. Se estimaron precipitaciones máximas con duración entre uno y diez días y períodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 25, 50 y 100 años. Se ajustaron los coeficientes de la ecuación de lluvias intensas. Los índices de desempeño confirmaron el buen ajuste de esas ecuaciones, con R^2 superior a 0,969 y coeficiente de Nash-Sutcliffe superior a 0,928. El coeficiente K presentó variación más grande entre los coeficientes de la ecuación de lluvias fuertes con valores más altos en la costa norte del estado. Las lluvias intensas muestran variación espacial, con valores más altos observados en las regiones de la Costa Norte y Extremo Oeste del estado y valores más bajos en la región del Valle Medio del Itajaí. Las ecuaciones IDF permiten obtener estimaciones para lluvias con duración entre uno y diez días y un período de retorno de 2 a 100 años, cuales pueden ser útil.

Palabras clave: Evento extremo. Desastres naturales. Inundación. Drenaje.

Submetido em: 09/05/2023

Aceito para publicação em: 26/07/2023

Publicado em: 30/07/2023

1. INTRODUÇÃO

O conhecimento do valor da chuva intensa é fundamental para a estimativa das vazões máximas a ser usada no dimensionamento de projetos de infraestruturas de engenharia e obras hidráulicas como pontes, bueiros, vertedores de barragens (MAMOON et al., 2014; PENNER; LIMA, 2016).

Mouri et al. (2013) destacam a necessidade de estudos de eventos extremos para avaliar o risco de desastres naturais. Estimativas realistas e confiáveis da chuva e vazão extrema são importantes para a preservação da vida humana e das propriedades e são necessárias para a avaliação adequada dos riscos e impactos econômicos de eventuais falhas onde os custos associados a reparos podem ser significativos (GREEN et al., 2015; JOHNSON; SMITHERS, 2019).

O dimensionamento das obras hidráulicas é baseado em um valor específico de chuva, que varia conforme o tipo de obra, os custos envolvidos e os riscos de falha, denominada de chuva de projeto (BALBASTRE-SOLDEVILA et al., 2019; COOK et al., 2020) . A chuva de projeto deve considerar a relação entre a intensidade, duração e frequência, denominada de relações IDF (MIRHOSSEINI et al., 2012; SUN et al., 2019). Alguns autores usam a relação altura ou profundidade no lugar da intensidade, denominando de relação DDF (YAMOAT et al., 2022). Essas relações podem ser expressas de forma gráfica, as chamadas curvas IDF, ou por meio de equações, denominadas de equações IDF (ou DDF).

A curva IDF foi apresentada por Sherman (1931) e Bernard (1932) e desde então tem sido amplamente utilizada pelo mundo todo (BEZAK et al., 2018). As relações IDF inicialmente foram estabelecidas para chuvas de curta duração (menor que 24 h), obtidas a partir da análise de dados pluviográficos. Nas últimas décadas as equações IDF foram estabelecidas usando técnicas de desagregação da chuva diária e em chuvas de menor duração (BACK; CADORIN, 2021).

Em drenagem urbana, que geralmente envolve estudos em pequenas bacias ou áreas de contribuição, a chuva de projeto é de curta duração, muitas vezes inferior a duas horas de duração. Para projetos que envolvem grandes bacias, ou em estudos de drenagem agrícola, muitas vezes é necessário considerar a frequência de chuvas de grande duração (NAMITHA; VINOTHKUMAR, 2019). Na drenagem agrícola também é comum emprego de chuva com

duração de até sete dias (BELTRÁN, 1987). Da mesma forma, estudos sobre riscos de deslizamentos podem requerer dados de chuva acumulada em vários dias. Vieira et al. (2005), em sua análise para identificação das áreas suscetíveis a escorregamentos no Bairro da Velha Grande, município de Blumenau, encontraram uma correlação entre a precipitação acumulada nos quatro dias antecedentes e a precipitação do dia de ocorrência do evento de escorregamento. De acordo com Dias e Herrmann (2002), há maior probabilidade de ocorrência de movimentos de massa quando um forte aguaceiro é precedido por dias consecutivos de chuva. Valverde et al. (2018) consideraram que a chuva máxima acumulada em 5 dias é um bom indicador para a ocorrência de deslizamentos, destacando que quando acontecem chuvas persistentes por vários dias, as áreas mais vulneráveis, consideradas de risco geológico/geotectônico, sofrem os maiores impactos.

A chuva pode ser considerada como o principal fator deflagrador de escorregamentos, principalmente em locais de relativa estabilidade tectônica. Stabile e Colângelo (2017) mostraram que os principais eventos de movimento de massa do Brasil estavam relacionados com chuvas extremas com duração variada de 6 a 96 horas. XUE et al (2016) avaliaram o efeito de chuvas de longa duração na estabilidade de solos e mostraram que a estabilidade dos solos reduziu para chuvas com duração superior a 4 dias. Ng e Shi (1997), investigando a influência da chuva na estabilidade do solo concluíram que o fator de segurança diminui na medida que a duração da chuva aumente até que a duração crítica é atingida. Os autores concluíram que a duração crítica varia de 3 a 7 dias. Soares e Ramos Filho (2014), observaram que um limiar próximo a 50 mm de chuva acumulada para sete dias era uma boa referência para indicar a possibilidade de escorregamentos em João Pessoa (PB).

A equação de chuvas intensas de longa duração pode ser usada na modelagem matemática para eventos extremos e simulação hidrológica de eventos em grandes bacias. Froelich (1995) desenvolveu equações IDF para duração de um a dez dias. Green et al. (2016) apresentaram as estimativas de chuva de projeto para períodos de retorno variando de 1 a 100 anos e durações variando de 1 minuto a 7 dias. Smithers e Schulze (2000) usaram dados diários de precipitação de 1.806 estações de chuva da Austrália, todas com pelo menos 40 anos de registro para determinar a chuva máxima para durações mais longas (1 a 7 dias).

No Brasil existem poucos estudos de chuvas intensas com duração superior a um dia, e principalmente de equações IDF para serem aplicadas nas estimativas da chuva com duração superior a 24 h. Back (2022) realizou estudo de chuvas intensas para o estado de Santa Catarina apresentando as chuvas máximas com duração de um a dez dias para 224 estações pluviométricas, onde utilizou as distribuições de probabilidade Gumbel e GEV para as séries de máximas de cada duração. Este estudo tem como objetivo ajustar a equação IDF para obter a estimativa da chuva intensa com duração de um a dez dias para o Estado de Santa Catarina.

2. METODOLOGIA

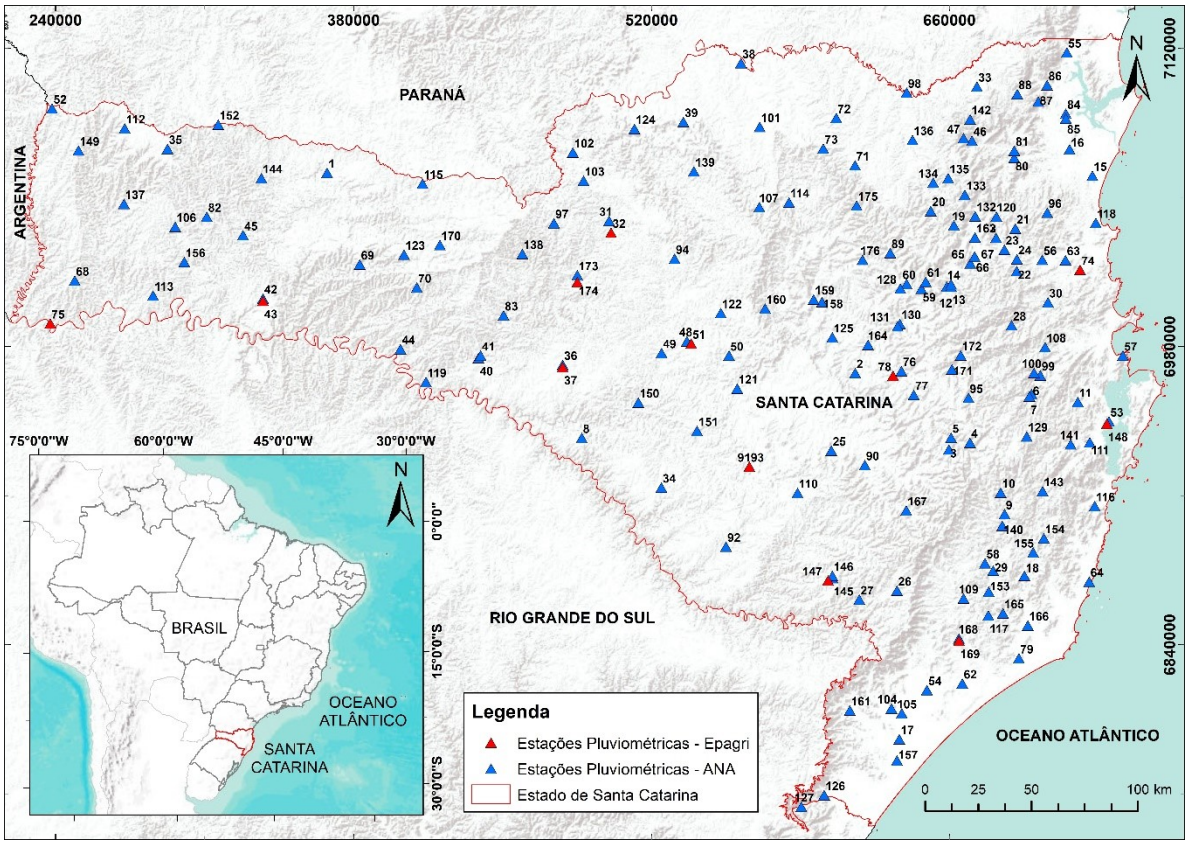
2.1. Procedimentos Metodológicos

Do estudo de Back (2022) foram selecionadas as estações pluviométricas com série de dados superior a 30 anos. Na Tabela 1 consta a relação das estações e o período de dados usados, e na Figura 1, a espacialização das estações.

Para cada estação foram estimadas as alturas das chuvas máximas com duração de 24 a 240 horas (um a dez dias) e período de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 e 100 anos a partir do programa HidroChuSC2.0 (BACK, 2022). A estimativa das chuvas é realizada com as distribuições de probabilidades Gumbel e GEV, conforme critérios de seleção adotada para cada duração descritos em Back e Bonfante (2021) e Back (2022).

.

Figura 1 – Distribuição espacial das estações pluviométricas com mais de 30 anos de dados no estado de Santa Catarina



As alturas de chuva foram convertidas em intensidades, e dessa forma, foi ajustada a equação para estimar a intensidade da chuva conforme:

(1) $$i = \frac{KT^m}{(t+b)^n}$$

Em que i: intensidade da chuva (mm h^{-1}); T = período de retorno (anos); t = duração da chuva (horas); K, m, b, n coeficientes a serem ajustados. O ajuste dos parâmetros foi realizado minimizando a expressão:

(2) $$S = \sum_{t=1}^{10} \sum_{T=1}^{8} \left(\frac{(Ie_{t,T} - Io_{t,T}}{Io_{t,T}} \right)^2$$

Em que $Ie_{t,T}$ é a intensidade da chuva com duração t e período de retorno T estimada pela equação IDF; $Io_{t,T}$ é a intensidade da chuva com duração t e período de retorno T obtida do HidroChuSC2.0.

Para avaliar a precisão da estimativa foram calculados os índices erro padrão de estimativa (EP), coeficiente Nash-Sutcliffe (NS), índice de concordância (d), erro médio

percentual (PBIAS), erro médio absoluto (MAE) e coeficiente de determinação (R^2), respectivamente pelas equações 3 a 8.

(3) $$EP = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(Ei-O_i)^2}{N}}$$

(4) $$NS = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{N}(Ei-Oi)^2}{\sum_{i=1}^{N}(Ei-O)^2}$$

(5) $$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(Ei-Oi)^2}{\sum_{I=1}^{N}(|Ei-O|+|Oi-O|)^2}$$

(6) $$PBIAS(\%) = \sum_{i=1}^{n}\frac{(Oi-Ei)}{\sum Oi}100$$

(7) $$MAE = \frac{\sum_{i=1}^{N}|Oi-Ei|}{N}$$

(8) $$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n}(Ei-O)^2}{\sum_{i=1}^{n}(Ei-O)^2\sum_{i=1}^{n}(Ei-E)^2}$$

Em que: EP = erro padrão de estimativa, Ei = valor de intensidade estimada pela equação, Oi = valor de intensidade da Tabela 1, N = número de valores (N = 80); NS = coeficiente de Nash-Sutcliffe; d = índice de concordância; O = valor médio da Tabela 1; PBIAS = erro médio percentual; MAE = erro médio absoluto; R^2 = coeficiente de determinação; E = valor médio das estimativas pela equação.

Tabela 1 - Estações pluviométricas usadas e período de dados das séries de máximas.

Estação	Código	Município	Início	Fim	Nº anos	Entidade
1	2652000	Abelardo Luz	1958	2019	61	ANA
2	2749041	Agrolândia	1983	2019	36	ANA
3	2749007	Alfredo Wagner	1941	2019	78	ANA
4	2749014	Alfredo Wagner	1941	1975	34	ANA
5	2749037	Alfredo Wagner	1977	2019	42	ANA
6	2748003	Angelina	1946	2019	73	ANA
7	2749019	Angelina	1955	1989	34	ANA
8	2751001	Anita Garibaldi	1965	2019	54	ANA
9	2749012	Anitápolis	1946	2019	73	ANA
10	2749027	Anitápolis	1973	2019	46	ANA
11	2748016	Antônio Carlos	1977	2019	42	ANA
12	2749000	Apiúna	1941	2019	78	ANA
13	2749016	Apiúna	1957	2019	62	ANA
14	2749025	Apiúna	1951	1989	38	ANA
15	2648020	Araquari	1976	2019	43	ANA
16	2648028	Araquari	1978	2019	41	ANA
17	2849004	Araranguá	1946	2010	64	ANA
18	2848000	Armazém	1946	2019	73	ANA
19	2649003	Benedito Novo	1941	2019	78	ANA
20	2649017	Benedito Novo	1954	2019	65	ANA
21	2649010	Blumenau	1941	2019	78	ANA
22	2649009	Blumenau	1941	2019	78	ANA
23	2649025	Blumenau	1944	1989	45	ANA
24	2649007	Blumenau	1945	2019	74	ANA
25	2749035	Bocaina do Sul	1977	2019	42	ANA
26	2849009	Bom Jardim da Serra	1970	2019	49	ANA
27	2849023	Bom Jardim da Serra	1977	2019	42	ANA
28	2749045	Botuverá	1987	2019	32	ANA
29	2849030	Braço do Norte	1987	2019	32	ANA
30	2748000	Brusque	1941	2019	78	ANA
31	2651002	Caçador	1944	1975	31	ANA
32	60	Caçador	1961	2019	51	Epagri
33	2649057	Campo Alegre	1977	2017	40	ANA
34	2750001	Campo Belo do Sul	1970	2019	49	ANA
35	2653001	Campo Erê	1970	2019	49	ANA
36	2751002	Campos Novos	1923	1998	75	ANA
37	94	Campos Novos	1969	2019	50	Epagri
38	2650003	Canoinhas	1940	1995	55	ANA
39	2650018	Canoinhas	1977	2014	37	ANA
40	2751003	Capinzal	1940	1977	37	ANA
41	2751012	Capinzal	1977	2019	42	ANA
42	2752016	Chapecó	1975	2014	39	ANA
43	108	Chapecó	1974	2019	46	Epagri
44	2752005	Concordia	1956	2019	63	ANA
45	2652034	Coronel Freitas	1979	2019	40	ANA
46	2649013	Corupá	1946	2019	73	ANA
47	2649064	Corupá	1985	2019	34	ANA
48	2750002	Curitibanos	1912	1957	45	ANA
49	2750009	Curitibanos	1959	2019	60	ANA
50	2750012	Curitibanos	1962	2019	57	ANA
51	507	Curitibanos	1988	2019	31	Epagri
52	2653002	Dionísio Cerqueira	1973	2019	46	ANA
53	2748006	Florianópolis	1949	2018	69	ANA
54	2849006	Forquilhinha	1946	2017	71	ANA
55	2648027	Garuva	1977	2019	42	ANA
56	2648000	Gaspar	1935	1966	31	ANA
57	2748019	Governador Celso Ramos	1977	2016	39	ANA
58	2849008	Grão Pará	1946	2019	73	ANA
59	2749001	Ibirama	1934	2019	85	ANA
60	2749005	Ibirama	1941	2019	78	ANA
61	2749022	Ibirama	1944	1988	44	ANA
62	2849022	Içara	1978	2019	41	ANA
63	2648001	Ilhota	1928	2014	86	ANA
64	2848007	Imbituba	1977	2019	42	ANA
65	2649001	Indaial	1941	2015	74	ANA
66	2649005	Indaial	1941	2015	74	ANA
67	2649027	Indaial	1944	1989	45	ANA
68	2753013	Iporã do Oeste	1977	2019	42	ANA
69	2652001	Ipumirim	1970	2019	49	ANA
70	2751011	Irani	1977	2019	42	ANA
71	2649054	Itaiópolis	1977	2014	37	ANA
72	2649056	Itaiópolis	1977	2015	38	ANA
73	2650022	Itaiópolis	1983	2019	36	ANA
74	183	Itajaí	1981	2019	35	Epagri
75	477	Itapiranga	1988	2019	31	Epagri
76	2749002	Ituporanga	1941	2019	78	ANA
77	2749017	Ituporanga	1971	2019	48	ANA
78	191	Ituporanga	1987	2019	31	Epagri
79	2849020	Jaguaruna	1977	2019	42	ANA
80	2649012	Jaraguá do Sul	1962	2007	45	ANA
81	2649037	Jaraguá do Sul	1943	2014	71	ANA
82	2652021	Jardinópolis	1977	2019	42	ANA
83	2751004	Joaçaba	1944	2019	75	ANA
84	2648005	Joinville	1953	1989	36	ANA
85	2648014	Joinville	1940	2019	79	ANA
86	2648033	Joinville	1988	2019	31	ANA
87	2648034	Joinville	1987	2019	32	ANA
88	2649060	Joinville	1982	2019	37	ANA
89	2649061	José Boiteux	1977	2019	42	ANA
90	2749031	Lages	1958	2019	61	ANA
91	2750005	Lages	1946	2013	67	ANA
92	2850004	Lages	1959	2019	60	ANA
93	230	Lages	1961	2015	43	Epagri
94	2650019	Lebon Regis	1977	2019	42	ANA
95	2749034	Leoberto Leal	1977	2019	42	ANA
96	2648002	Luiz Alves	1941	2019	78	ANA
97	2651036	Macieira	1977	2019	42	ANA
98	2649016	Mafra	1951	2009	58	ANA
99	2748001	Major Gercino	1946	2019	73	ANA
100	2749015	Major Gercino	1956	2019	63	ANA
101	2650000	Major Vieira	1952	2015	63	ANA
102	2651011	Matos Costa	1940	1995	55	ANA
103	2651044	Matos Costa	1980	2014	34	ANA
104	2849005	Meleiro	1943	2019	76	ANA
105	2849024	Meleiro	1978	2019	41	ANA
106	2653003	Modelo	1972	2019	47	ANA
107	2650015	Monte Castelo	1977	2015	38	ANA
108	2748002	Nova Trento	1946	2019	73	ANA
109	2849001	Orleans	1940	2019	79	ANA
110	2750007	Painel	1959	2019	60	ANA
111	2748004	Palhoça	1946	2019	73	ANA
112	2653013	Palma Sola	1977	2019	42	ANA
113	2753006	Palmitos	1960	2019	59	ANA
114	2650023	Papanduva	1985	2019	34	ANA
115	2651022	Passos Maia	1973	2019	46	ANA
116	2748017	Paulo Lopes	1977	2019	42	ANA
117	2849028	Pedras Grandes	1987	2019	32	ANA
118	2648019	Piçarras	1976	2019	43	ANA
119	2751010	Piratuba	1938	1977	39	ANA
120	2649002	Pomerode	1930	2019	89	ANA
121	2750011	Ponte Alta	1958	2019	61	ANA
122	2750010	Ponte Alta do Norte	1960	2019	59	ANA
123	2651040	Ponte Serrada	1977	2019	42	ANA
124	2650008	Porto União	1975	2012	37	ANA
125	2749006	Pouso Redondo	1941	2019	78	ANA
126	2949001	Praia Grande	1977	2019	42	ANA
127	2950056	Praia Grande	1983	2019	36	ANA
128	2749023	Presidente Getúlio	1944	1989	45	ANA
129	2749020	Rancho Queimado	1977	2019	42	ANA
130	2749024	Rio do Sul	1944	1989	45	ANA
131	2749039	Rio do Sul	1979	2019	40	ANA
132	2649008	Rio dos Cedros	1941	2019	78	ANA
133	2649030	Rio dos Cedros	1951	1993	42	ANA
134	2649031	Rio dos Cedros	1958	1993	35	ANA
135	2649032	Rio dos Cedros	1945	1993	48	ANA
136	2649055	Rio Negrinho	1977	2014	37	ANA
137	2653004	Romelandia	1970	2006	36	ANA
138	2651052	Salto Veloso	1988	2019	31	ANA
139	2650016	Santa Cecília	1978	2015	37	ANA
140	2849031	Santa Rosa de Lima	1987	2019	32	ANA
141	2748005	Santo Amaro da Imperatriz	1951	2019	68	ANA
142	2649033	São Bento do Sul	1940	1983	43	ANA
143	2748018	São Bonifácio	1979	2019	40	ANA
144	2652002	São Domingos	1973	2019	46	ANA
145	2849003	São Joaquim	1943	1975	32	ANA
146	2849014	São Joaquim	1961	1998	37	ANA
147	523	São Joaquim	1961	2019	56	Epagri
148	124	São José	1969	2019	51	Epagri
149	2653005	São José do Cedro	1973	2019	46	ANA
150	2750008	São José do Cerrito	1961	2019	58	ANA
151	2750020	São José do Cerrito	1977	2019	42	ANA
152	2652031	São Lourenço do Oeste	1977	2019	42	ANA
153	2849002	São Ludgero	1940	2019	79	ANA
154	2848006	São Martinho	1977	2019	42	ANA
155	2848009	São Martinho	1987	2019	32	ANA
156	2653007	Saudades	1955	2019	64	ANA
157	2949003	Sombrio	1977	2019	42	ANA
158	2749003	Taió	1930	2019	89	ANA
159	2750014	Taió	1966	2019	53	ANA
160	2750021	Taió	1985	2019	34	ANA
161	2849019	Timbé do Sul	1977	2019	42	ANA
162	2649004	Timbó	1929	2019	90	ANA
163	2649026	Timbó	1944	1989	45	ANA
164	2749013	Trombudo Central	1946	2019	73	ANA
165	2849000	Tubarão	1940	2019	79	ANA
166	2849027	Tubarão	1987	2019	32	ANA
167	2849021	Urubici	1944	2019	75	ANA
168	2849011	Urussanga	1949	1994	45	ANA
169	434	Urussanga	1961	2018	52	Epagri
170	2651001	Vargem Bonita	1944	2019	75	ANA
171	2749033	Vidal Ramos	1977	2019	42	ANA
172	2749046	Vidal Ramos	1988	2019	31	ANA
173	2751009	Videira	1940	1979	39	ANA
174	442	Videira	1987	2019	32	Epagri
175	2649058	Vitor Meireles	1978	2019	41	ANA
176	2649053	Witmarsum	1977	2019	42	ANA

A espacialização dos dados e elaboração dos mapas foram feitas com o *software* de geoprocessamento ArcGis 10.8 (ESRI) e aplicação das ferramentas de interpolação geoestatística *kriging ordinary.*

3. DESENVOLVIMENTO

Na Tabela 2 constam os coeficientes das equações de chuvas intensas para cada estação pluviométrica e os critérios de avaliação. O erro padrão (EP) da equação ajustada variou de 0,031 a 0,082 mm h^{-1}, sendo que valores de EP iguais a zero indicam um perfeito ajuste dos dados. O coeficiente NS variou de 0,9282 a 0,9967. O NS é muito usado para avaliar modelos hidrológicos podendo variar de 0 a 1, em que o valor NS igual a 1 é indicativo de um perfeito ajuste do modelo aos dados observados (NASH; SUTCLIFFE, 1970). De acordo com Silva *et al*. (2012) valores de NS maiores do que 0,75 são tidos como bons; entre 0,36 e 0,75 é considerado aceitável e menores do que 0,36 o modelo é inaceitável. Lima Neto et al. (2021), ajustando equação IDF por desagregação da chuva diária para 31 cidades do estado de Pernambuco obtiveram NS acima de 0,98. O índice de concordância (d) variou de 0,983 a 0,999. Este índice pode assumir valores de 0 (nenhuma concordância) a 1,0 (concordância perfeita). O erro médio percentual (PBIAS) variou de -0,0012 a 0,0244% mostrando que os desvios são pequenos. A simulação é tida como perfeita quando PBIAS é igual a 0; valores maiores que 0, indicam viés de subestimação do modelo; valores menores que 0 indicam viés de superestimação do modelo. O erro médio absoluto (MAE) variou entre 0,0494 e 0,2590 mm h^{-1}. MAE indica o erro nas unidades da variável de estudo, e, portanto, é útil na avaliação dos resultados. O modelo é considerado perfeito quando MAE for igual a 0 (MORIASI et al., 2007). O coeficiente de determinação (R^2) variou de 0,9696 a 0,9984 indicando que as equações explicam acima de 96% da variação da intensidade. Alguns trabalhos com ajustes de equação IDF para duração inferior a 1 dia relatam coeficiente R^2 acima de 0,94 (OLIVEIRA et al., 2005; SOUZA et al, 2012). Aragão et al. (2013) ressaltam que os altos valores de R^2 sinalizam que este pode ser um indicador tendencioso para avaliar o ajuste da equação aos dados amostrais.

Tabela 2 - Coeficientes da equação de chuvas intensas e critérios de avaliação.

	Coeficientes da equação IDF				Índices de desempenho					
Estação	K	m	b	n	EP	NS	d	PBIAS	MAE	R^2
1	24,16	0,2054	0,00	0,6227	0,0425	0,9892	0,9974	0,0017	0,0952	0,9952
2	18,31	0,2001	0,00	0,5807	0,0461	0,9806	0,9954	0,0005	0,0931	0,9924
3	18,76	0,1848	0,00	0,5979	0,0457	0,9811	0,9955	0,0012	0,0828	0,9920
4	21,72	0,1696	0,00	0,6695	0,0443	0,9847	0,9959	0,0115	0,0747	0,9943
5	22,74	0,1586	0,00	0,6200	0,0583	0,9806	0,9953	0,0036	0,1097	0,9917
6	22,82	0,1791	0,00	0,6324	0,0369	0,9954	0,9989	0,0030	0,0667	0,9977
7	24,29	0,1763	0,00	0,6541	0,0402	0,9910	0,9976	0,0080	0,0781	0,9964
8	26,09	0,1510	0,00	0,6256	0,0532	0,9851	0,9961	0,0099	0,1099	0,9934
9	18,20	0,1745	0,00	0,6098	0,0643	0,9527	0,9889	0,0059	0,1099	0,9803
10	27,59	0,1576	0,00	0,6501	0,0344	0,9927	0,9982	0,0010	0,0694	0,9966
11	31,31	0,2118	0,00	0,6536	0,0454	0,9877	0,9970	0,0025	0,1237	0,9943
12	21,75	0,1763	0,00	0,6394	0,0424	0,9916	0,9979	0,0011	0,0706	0,9963
13	22,59	0,1760	0,00	0,6451	0,0449	0,9862	0,9967	0,0014	0,0822	0,9941
14	22,26	0,1921	3,33	0,6549	0,0507	0,9868	0,9968	0,0025	0,0783	0,9940
15	78,25	0,2137	16,27	0,8381	0,0805	0,9820	0,9954	0,0157	0,1837	0,9912
16	31,18	0,2249	0,00	0,6562	0,0773	0,9497	0,9878	0,0119	0,2412	0,9771
17	23,09	0,1954	0,00	0,6447	0,0743	0,9629	0,9912	0,0074	0,1507	0,9846
18	46,93	0,2559	11,78	0,7990	0,0427	0,9894	0,9974	0,0013	0,0922	0,9952
19	30,91	0,1622	6,18	0,6854	0,0423	0,9953	0,9988	0,0042	0,0643	0,9977
20	29,13	0,2024	5,80	0,6840	0,0418	0,9893	0,9974	0,0024	0,0823	0,9949
21	27,41	0,1998	0,20	0,6643	0,0469	0,9882	0,9971	0,0027	0,1063	0,9947
22	26,38	0,1898	0,00	0,6647	0,0323	0,9952	0,9988	0,0022	0,0623	0,9976
23	42,59	0,1852	7,39	0,7536	0,0465	0,9900	0,9975	0,0061	0,0876	0,9950
24	57,11	0,2473	17,03	0,8094	0,0434	0,9879	0,9970	0,0034	0,0942	0,9943
25	39,19	0,1821	6,52	0,7146	0,0481	0,9919	0,9979	0,0061	0,0966	0,9960
26	68,33	0,1892	26,82	0,8233	0,0501	0,9783	0,9947	0,0043	0,0930	0,9898
27	43,11	0,1712	12,66	0,7356	0,0466	0,9852	0,9964	0,0031	0,0915	0,9930
28	35,32	0,1018	0,09	0,8139	0,0726	0,9738	0,9928	0,0244	0,0826	0,9901
29	19,29	0,1932	0,09	0,6200	0,0532	0,9750	0,9941	0,0017	0,0954	0,9898
30	56,55	0,1692	11,94	0,7962	0,0404	0,9952	0,9988	0,0060	0,0694	0,9978
31	64,54	0,1729	27,76	0,8316	0,0525	0,9713	0,9929	0,0073	0,0866	0,9860
32	28,79	0,1476	5,63	0,6678	0,0311	0,9966	0,9991	0,0020	0,0494	0,9983
33	75,04	0,1987	25,65	0,8564	0,0409	0,9899	0,9975	0,0030	0,0752	0,9952
34	42,01	0,2016	7,44	0,7333	0,0455	0,9934	0,9983	0,0041	0,0948	0,9967
35	22,90	0,2195	0,00	0,5992	0,0506	0,9810	0,9953	0,0038	0,1295	0,9911
36	12,71	0,1773	0,01	0,4818	0,0647	0,9532	0,9888	0,0065	0,1243	0,9794
37	19,11	0,1975	0,01	0,5648	0,0477	0,9812	0,9955	0,0011	0,1024	0,9922
38	21,69	0,1612	0,01	0,6114	0,0595	0,9865	0,9967	0,0061	0,1009	0,9936
39	21,97	0,2288	0,01	0,6103	0,0650	0,9557	0,9896	0,0053	0,1605	0,9817
40	29,55	0,1511	0,01	0,6842	0,0505	0,9889	0,9971	0,0094	0,0938	0,9950
41	19,11	0,2058	0,01	0,5786	0,0509	0,9793	0,9950	0,0024	0,1117	0,9907
42	21,75	0,2191	0,01	0,5913	0,0515	0,9891	0,9974	0,0017	0,1167	0,9955
43	19,09	0,2276	0,01	0,5683	0,0454	0,9837	0,9961	-0,0002	0,1097	0,9937
44	18,17	0,1994	0,01	0,5570	0,0466	0,9805	0,9953	0,0011	0,0989	0,9919
45	27,57	0,1492	0,01	0,6402	0,0473	0,9916	0,9979	0,0024	0,0854	0,9962
46	21,88	0,2020	0,01	0,6050	0,0579	0,9721	0,9933	0,0042	0,1442	0,9881
47	37,05	0,1919	0,01	0,7069	0,0580	0,9890	0,9973	0,0056	0,1349	0,9948
48	25,33	0,1595	0,01	0,6559	0,0418	0,9927	0,9982	0,0020	0,0734	0,9967
49	18,79	0,1938	0,01	0,5960	0,0527	0,9731	0,9937	0,0008	0,0967	0,9896
50	19,58	0,2064	0,01	0,6053	0,0453	0,9839	0,9961	0,0006	0,0895	0,9935
51	25,33	0,1814	0,01	0,6064	0,0513	0,9900	0,9975	0,0028	0,1043	0,9954
52	28,25	0,1714	0,01	0,6168	0,0458	0,9879	0,9971	0,0018	0,1086	0,9946
53	35,48	0,2783	0,01	0,7128	0,0547	0,9748	0,9939	0,0057	0,1763	0,9883
54	20,37	0,2199	0,01	0,6165	0,0598	0,9646	0,9917	0,0020	0,1213	0,9864
55	20,02	0,2034	0,01	0,5128	0,0670	0,9586	0,9896	0,0112	0,2087	0,9797
56	29,56	0,2133	0,01	0,6929	0,0563	0,9922	0,9980	0,0084	0,1058	0,9962
57	30,36	0,2018	0,01	0,6641	0,0643	0,9837	0,9960	0,0051	0,1475	0,9926
58	25,64	0,2089	0,01	0,6600	0,0426	0,9912	0,9979	0,0016	0,0874	0,9960
59	20,92	0,1862	0,01	0,6388	0,0392	0,9884	0,9972	-0,0008	0,0686	0,9956
60	18,87	0,1944	0,01	0,6252	0,0393	0,9916	0,9980	0,0013	0,0648	0,9962
61	73,60	0,1679	20,15	0,8734	0,0341	0,9960	0,9990	0,0030	0,0510	0,9980
62	32,49	0,2128	5,61	0,6947	0,0398	0,9900	0,9976	0,0012	0,0865	0,9954
63	71,06	0,1878	19,48	0,8518	0,0413	0,9914	0,9979	0,0029	0,0729	0,9958
64	52,40	0,1683	4,31	0,7845	0,0575	0,9914	0,9978	0,0094	0,1086	0,9958
65	30,82	0,2013	12,17	0,6862	0,0474	0,9882	0,9971	0,0026	0,0855	0,9946
66	35,99	0,1960	13,69	0,7261	0,0414	0,9864	0,9967	0,0017	0,0739	0,9938
67	20,92	0,1700	0,00	0,6228	0,0512	0,9850	0,9963	0,0052	0,0858	0,9927
68	23,76	0,2196	3,97	0,5987	0,0462	0,9771	0,9945	0,0022	0,1128	0,9899
69	17,00	0,2303	0,00	0,5533	0,0612	0,9672	0,9920	0,0066	0,1476	0,9847
70	55,49	0,2315	24,37	0,7630	0,0437	0,9856	0,9965	0,0027	0,0903	0,9934
71	65,56	0,2369	14,06	0,8280	0,0434	0,9890	0,9973	0,0018	0,1075	0,9949
72	55,87	0,2681	12,58	0,8207	0,0347	0,9967	0,9992	0,0041	0,0682	0,9984
73	16,94	0,2295	0,00	0,5593	0,0779	0,9363	0,9853	0,0082	0,1900	0,9750
74	55,91	0,2465	11,15	0,7888	0,0306	0,9955	0,9989	0,0006	0,0767	0,9979
75	27,47	0,1826	0,00	0,6232	0,0520	0,9906	0,9976	0,0052	0,1093	0,9953
76	18,36	0,1877	0,00	0,5947	0,0413	0,9918	0,9980	0,0035	0,0745	0,9959
77	19,59	0,2214	0,68	0,6150	0,0441	0,9806	0,9954	0,0002	0,0925	0,9922
78	37,36	0,1385	7,45	0,7192	0,0341	0,9928	0,9982	0,0023	0,0564	0,9965
79	37,75	0,1982	0,00	0,7181	0,0792	0,9773	0,9945	0,0109	0,1892	0,9896
80	43,79	0,1659	3,28	0,7315	0,0401	0,9953	0,9988	0,0053	0,0795	0,9978
81	77,26	0,2902	24,96	0,8324	0,0446	0,9740	0,9936	0,0046	0,1358	0,9878
82	22,91	0,1643	0,00	0,5984	0,0389	0,9928	0,9982	0,0028	0,0790	0,9964
83	18,10	0,2138	0,05	0,5833	0,0449	0,9833	0,9960	0,0002	0,0895	0,9933
84	49,16	0,1343	0,61	0,7279	0,0612	0,9832	0,9957	0,0112	0,1453	0,9917
85	64,17	0,2017	16,43	0,7981	0,0661	0,9881	0,9969	0,0112	0,1389	0,9942
86	37,63	0,1948	4,13	0,6578	0,0337	0,9963	0,9991	0,0023	0,0845	0,9982
87	79,52	0,1658	17,34	0,7399	0,0395	0,9953	0,9988	0,0032	0,1116	0,9977
88	45,63	0,1620	7,94	0,6880	0,0427	0,9950	0,9987	0,0045	0,0932	0,9975
89	68,57	0,1858	19,14	0,8332	0,0400	0,9921	0,9981	0,0022	0,0739	0,9963
90	31,24	0,2236	8,08	0,7145	0,0359	0,9958	0,9989	0,0023	0,0646	0,9979

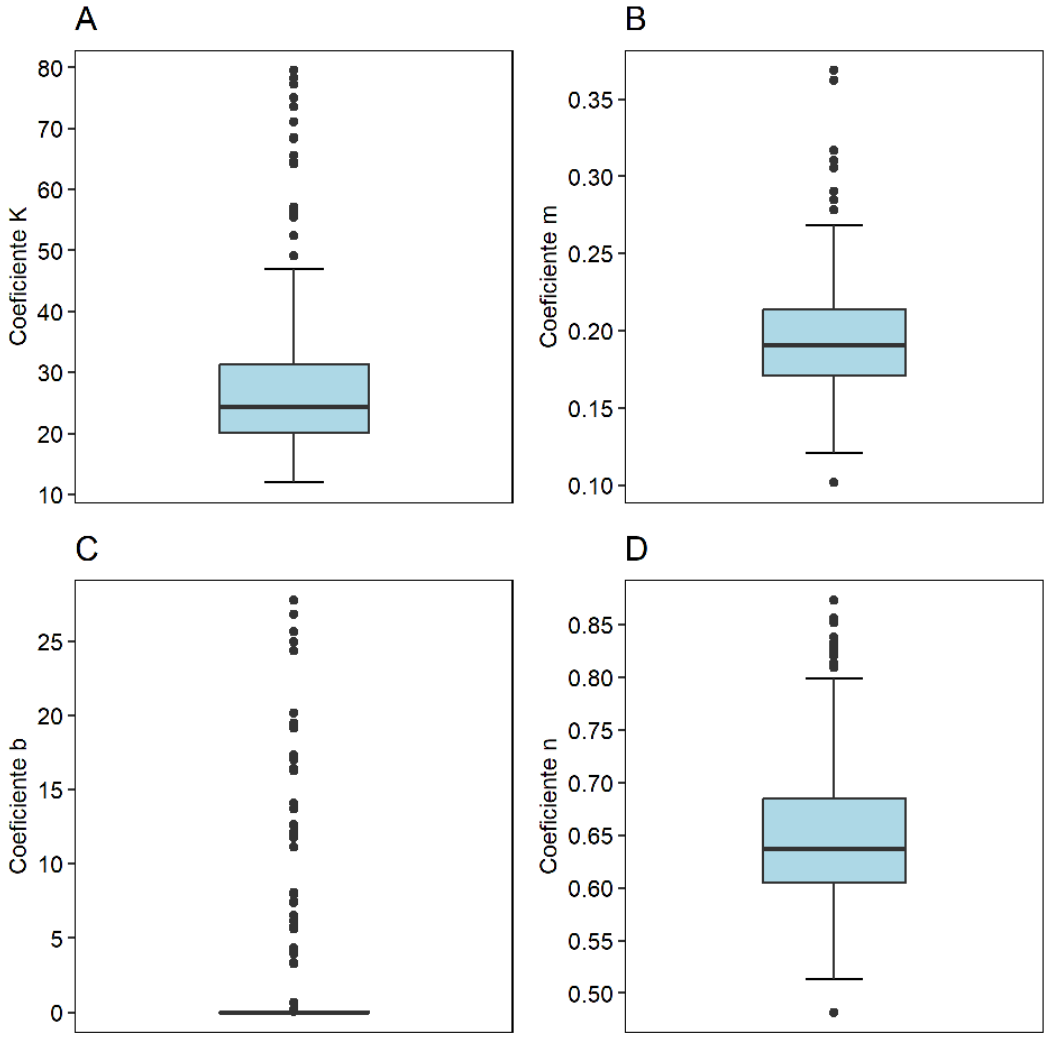
	Coeficientes da equação IDF				Índices de desempenho					
Estação	K	m	b	n	EP	NS	d	PBIAS	MAE	R^2
91	20,32	0,1880	0,00	0,6071	0,0670	0,9565	0,9897	0,0063	0,1397	0,9817
92	23,68	0,2606	0,00	0,6616	0,0564	0,9709	0,9930	0,0045	0,1463	0,9873
93	30,22	0,1634	0,00	0,6711	0,0570	0,9804	0,9953	0,0042	0,1283	0,9915
94	23,80	0,1604	0,00	0,6272	0,0402	0,9940	0,9985	0,0029	0,0647	0,9970
95	22,44	0,1439	0,00	0,6175	0,0348	0,9944	0,9986	0,0035	0,0593	0,9973
96	28,58	0,2049	0,00	0,6553	0,0430	0,9890	0,9973	0,0014	0,1000	0,9951
97	20,15	0,1811	0,00	0,5882	0,0562	0,9730	0,9936	0,0034	0,1210	0,9889
98	19,56	0,1995	0,00	0,6208	0,0330	0,9929	0,9983	0,0002	0,0611	0,9968
99	30,17	0,3167	0,00	0,7207	0,0364	0,9966	0,9991	0,0064	0,0859	0,9984
100	19,12	0,2256	0,00	0,6048	0,0342	0,9850	0,9964	-0,0007	0,0683	0,9939
101	22,94	0,1991	0,00	0,6256	0,0319	0,9932	0,9984	-0,0011	0,0618	0,9973
102	12,31	0,1570	0,00	0,5247	0,0734	0,9658	0,9911	0,0137	0,1099	0,9832
103	19,35	0,2388	0,00	0,6006	0,0642	0,9832	0,9960	0,0026	0,1274	0,9936
104	21,79	0,1625	0,00	0,6124	0,0374	0,9935	0,9984	0,0017	0,0651	0,9969
105	31,33	0,1579	0,00	0,6669	0,0533	0,9792	0,9949	0,0044	0,1250	0,9905
106	24,16	0,1801	0,00	0,5975	0,0469	0,9861	0,9965	0,0042	0,1071	0,9931
107	16,29	0,2214	0,00	0,5619	0,0797	0,9282	0,9831	0,0111	0,1785	0,9696
108	28,52	0,2067	0,00	0,6820	0,0758	0,9864	0,9965	0,0136	0,1430	0,9934
109	14,31	0,2498	0,00	0,5460	0,0638	0,9535	0,9892	0,0032	0,1355	0,9822
110	18,80	0,2130	0,00	0,5950	0,0483	0,9788	0,9950	0,0008	0,1019	0,9917
111	28,98	0,2495	0,00	0,6484	0,0500	0,9765	0,9945	-0,0003	0,1401	0,9909
112	23,13	0,1711	0,00	0,5676	0,0617	0,9702	0,9929	0,0041	0,1474	0,9875
113	24,67	0,1804	0,00	0,6093	0,0524	0,9736	0,9938	0,0009	0,1189	0,9901
114	22,50	0,1737	0,00	0,5976	0,0622	0,9654	0,9917	0,0056	0,1365	0,9849
115	29,13	0,1735	0,00	0,6434	0,0415	0,9951	0,9988	0,0035	0,0781	0,9976
116	33,78	0,2460	0,00	0,6520	0,0544	0,9840	0,9962	-0,0006	0,1776	0,9944
117	11,97	0,3622	0,00	0,5358	0,0733	0,9411	0,9865	0,0042	0,1949	0,9778
118	24,68	0,2850	0,00	0,6443	0,0537	0,9674	0,9925	-0,0008	0,1549	0,9883
119	14,85	0,3686	0,00	0,5749	0,0795	0,9318	0,9840	0,0100	0,2590	0,9714
120	30,05	0,1783	0,00	0,6730	0,0418	0,9957	0,9989	0,0038	0,0722	0,9979
121	19,54	0,1829	0,00	0,6084	0,0533	0,9842	0,9962	0,0031	0,0901	0,9927
122	14,98	0,1889	0,00	0,5566	0,0405	0,9867	0,9968	-0,0002	0,0682	0,9947
123	16,00	0,2146	0,00	0,5201	0,0521	0,9738	0,9938	0,0020	0,1215	0,9891
124	13,02	0,2197	0,00	0,5240	0,0652	0,9488	0,9881	0,0049	0,1265	0,9796
125	17,78	0,1776	0,00	0,5953	0,0377	0,9894	0,9975	0,0000	0,0620	0,9957
126	34,22	0,1734	0,00	0,6731	0,0408	0,9931	0,9983	0,0012	0,0955	0,9969
127	24,46	0,1524	0,00	0,6047	0,0818	0,9637	0,9914	0,0094	0,1735	0,9849
128	19,38	0,1617	0,00	0,6314	0,0443	0,9870	0,9968	0,0024	0,0646	0,9939
129	32,18	0,1696	0,00	0,6668	0,0476	0,9872	0,9966	0,0110	0,1121	0,9951
130	24,35	0,2018	0,00	0,6690	0,0391	0,9956	0,9989	0,0022	0,0655	0,9978
131	15,17	0,2111	0,00	0,5796	0,0513	0,9666	0,9921	0,0017	0,0913	0,9866
132	29,34	0,1986	0,00	0,6714	0,0398	0,9956	0,9989	0,0020	0,0787	0,9979
133	25,99	0,1545	0,00	0,6106	0,0538	0,9843	0,9962	0,0032	0,1206	0,9933
134	23,72	0,1781	0,00	0,6301	0,0389	0,9919	0,9980	0,0003	0,0752	0,9966
135	22,66	0,1759	0,00	0,6110	0,0537	0,9821	0,9957	0,0033	0,1051	0,9922
136	19,88	0,2309	0,00	0,6193	0,0481	0,9872	0,9970	-0,0002	0,0945	0,9952
137	25,93	0,1624	0,00	0,6019	0,0515	0,9849	0,9963	0,0039	0,1167	0,9928
138	27,68	0,1683	0,00	0,6550	0,0562	0,9738	0,9937	0,0039	0,1288	0,9889
139	20,89	0,1868	0,00	0,5854	0,0670	0,9598	0,9906	0,0052	0,1609	0,9842
140	24,73	0,1502	0,00	0,6163	0,0407	0,9940	0,9985	0,0049	0,0771	0,9971
141	35,44	0,2011	0,00	0,6946	0,0606	0,9842	0,9962	0,0054	0,1507	0,9928
142	22,52	0,1710	0,00	0,6784	0,0445	0,9918	0,9979	0,0056	0,0650	0,9959
143	23,20	0,1850	0,00	0,6126	0,0527	0,9843	0,9961	0,0037	0,1066	0,9926
144	26,14	0,1796	0,00	0,6184	0,0464	0,9879	0,9968	0,0086	0,1123	0,9947
145	25,05	0,2360	0,00	0,6906	0,0571	0,9922	0,9980	0,0074	0,0971	0,9961
146	16,64	0,3104	0,00	0,5964	0,0736	0,9563	0,9898	0,0060	0,1983	0,9825
147	23,57	0,2115	0,00	0,6360	0,0567	0,9770	0,9945	0,0036	0,1294	0,9903
148	41,74	0,2549	0,00	0,7299	0,0530	0,9724	0,9933	0,0049	0,1790	0,9874
149	32,16	0,1777	0,00	0,6494	0,0504	0,9878	0,9969	0,0069	0,1219	0,9940
150	19,11	0,2164	0,00	0,5959	0,0457	0,9839	0,9962	-0,0012	0,0932	0,9943
151	16,98	0,1883	0,00	0,5598	0,0531	0,9791	0,9949	0,0045	0,1044	0,9900
152	21,03	0,1939	0,00	0,5678	0,0519	0,9766	0,9945	0,0015	0,1230	0,9905
153	20,01	0,2312	0,00	0,6244	0,0440	0,9866	0,9968	-0,0009	0,0888	0,9950
154	24,30	0,2026	0,00	0,6158	0,0711	0,9688	0,9926	0,0059	0,1635	0,9867
155	34,04	0,1896	0,00	0,7232	0,0425	0,9949	0,9987	0,0044	0,0751	0,9975
156	27,60	0,2193	0,00	0,6489	0,0452	0,9896	0,9975	0,0005	0,1064	0,9959
157	37,59	0,1373	0,00	0,7095	0,0577	0,9798	0,9952	0,0038	0,1266	0,9914
158	23,18	0,1596	0,00	0,6316	0,0365	0,9949	0,9987	0,0015	0,0645	0,9975
159	26,55	0,1428	0,00	0,6389	0,0443	0,9888	0,9973	0,0015	0,0821	0,9950
160	21,08	0,1840	0,00	0,6098	0,0436	0,9913	0,9978	0,0043	0,0760	0,9957
161	33,50	0,1211	0,00	0,6403	0,0468	0,9847	0,9963	0,0008	0,1080	0,9939
162	27,05	0,1787	0,00	0,6634	0,0349	0,9963	0,9991	0,0022	0,0638	0,9981
163	30,40	0,1819	0,00	0,7054	0,0469	0,9935	0,9983	0,0072	0,0779	0,9969
164	18,52	0,1957	0,00	0,6102	0,0412	0,9863	0,9967	-0,0010	0,0701	0,9949
165	23,73	0,2290	0,00	0,6569	0,0579	0,9723	0,9935	0,0008	0,1237	0,9895
166	30,52	0,1914	0,00	0,6403	0,0625	0,9902	0,9975	0,0084	0,1382	0,9952
167	20,41	0,1809	0,00	0,6128	0,0501	0,9826	0,9958	0,0023	0,1001	0,9926
168	26,39	0,3054	0,00	0,6849	0,0444	0,9918	0,9980	0,0003	0,1208	0,9967
169	20,03	0,2359	0,00	0,6026	0,0666	0,9557	0,9897	0,0039	0,1653	0,9832
170	20,78	0,2184	0,00	0,5895	0,0632	0,9562	0,9898	0,0038	0,1513	0,9827
171	21,64	0,1911	0,00	0,6297	0,0469	0,9918	0,9979	0,0074	0,0863	0,9962
172	19,11	0,1657	0,00	0,6025	0,0383	0,9907	0,9977	0,0035	0,0686	0,9954
173	20,17	0,1506	0,00	0,6306	0,0499	0,9871	0,9968	0,0046	0,0737	0,9936
174	24,73	0,1635	0,00	0,6200	0,0385	0,9905	0,9977	0,0014	0,0779	0,9957
175	17,99	0,1908	0,00	0,5974	0,0611	0,9642	0,9916	0,0036	0,1173	0,9855
176	23,61	0,1637	0,00	0,6422	0,0495	0,9807	0,9954	0,0020	0,0904	0,9919

Os índices de desempenho mostram que as equações ajustadas permitem estimar intensidades da chuva com duração de um a dez dias e período de retorno de 2 a 100 anos com pequenos desvios em relação aos valores das chuvas máximas do programa HidroChuSC2.0. Importante considerar que, como as chuvas máximas com duração de um a dez dias foram obtidas por meio de distribuições de probabilidades ajustadas para cada duração, em algumas estações ocorrem inconsistências de tal forma que para algumas durações a chuva máxima estimada é inferior à chuva estimada com duração menor. Isso ocorre especialmente para os maiores períodos de retorno. Back e Back (2020) já tinham destacado essa inconsistência em outros trabalhos (MOMIM et al., 2011). O uso da equação IDF corrige essas inconsistências de tal forma que, quanto maior a duração, maior a intensidade (ou altura) da chuva. A equação IDF também traz como vantagem a possibilidade de implementar rotinas de cálculo em modelos hidrológicos permitindo inserir dados de chuva com diferentes durações e períodos de retorno.

O coeficiente K variou de 11,97 a 79,52; no entanto, observa-se que 50% dos valores ficam na faixa de 20 a 32 (Figura 2A). A intensidade da chuva é diretamente proporcional ao valor do coeficiente "K". Os maiores valores ocorrem na região litoral do estado, especialmente na região do litoral norte, que é a região do estado com os maiores índices pluviométricos médios mensais (BACK, 2020). No entanto, na região sul do estado, onde ocorrem os menores índices pluviométricos médios anuais, também foram registrados valões de "K" superiores a 45, mostrando que este coeficiente da equação de chuvas intensas não está diretamente correlacionado com os totais anuais. Na região do planalto e oeste do estado os valores variam de 15 a 30. O valor de "m" variou de 0,10 a 0,37 com 50% dos dados entre 0,17 e 0,21 (Figura 2 B). Vários autores observaram que o coeficiente "K" apresenta a maior variação quando comparado com os demais coeficientes (SILVA et al., 2018). Esses resultados indicam variação das intensidades de precipitação esperadas para diferentes regiões (SOUZA et al., 2012). No entanto, CAMPOS et al. (2014) ressaltam que existe uma interação entre esses parâmetros (K, m, b e n), isto é, influência mútua entre as suas estimativas. Desta forma, o valor de um parâmetro é influenciado pelo valor do outro, embora a combinação desses parâmetros geralmente resulte em bons modelos de previsão de IDF. A distribuição espacial do coeficiente "m" foi semelhante ao coeficiente "K" (Figura

3B). O coeficiente “b” variou de 0 a 27,8, no entanto, 75% dos valores foram 0 (Figura 2C). A distribuição espacial dos valores de “b” é semelhante com os valores do coeficiente “K”.

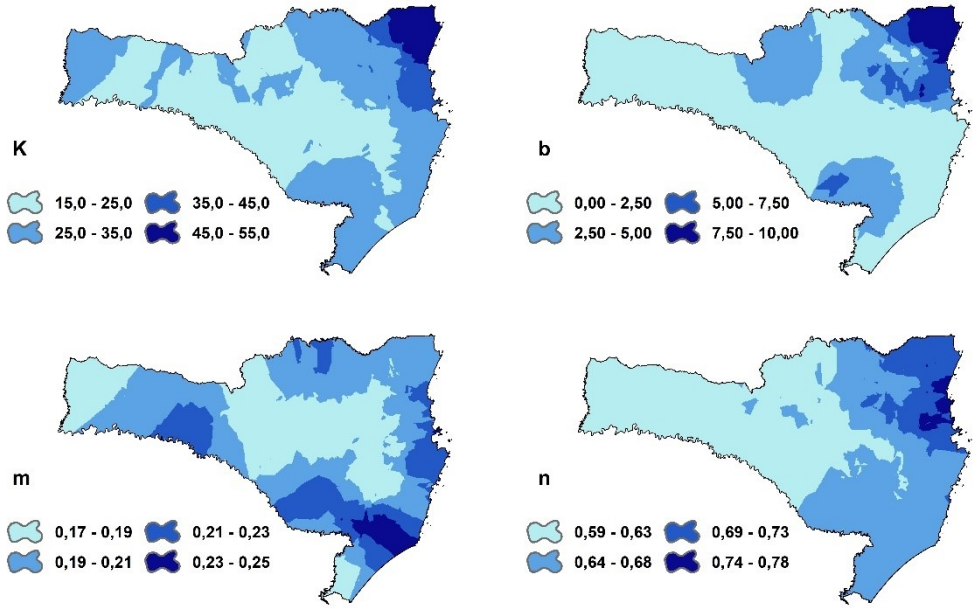
Figura 2 - Box-plot dos coeficientes das equações de chuvas intensas



O coeficiente “n” variou entre 0,48 a 0,87 com 50% dos valores entre 0,60 e 0,68. Na Figura 2D observa-se que houve menor dispersão para este coeficiente comparado aos demais e a distribuição espacial mostrou maiores valores no litoral e menores no oeste do estado (Figura 3D). Souza et al (2012), ajustando equação de chuvas intensas de 74 estações do estado do Pará observaram que os parâmetros “b” e “n” apresentaram valores próximos da média de 9,79 e 0,72, respectivamente. Vários autores (OLIVEIRA et al., 2005; SANTOS et al., 2009; ARAGÃO et al.,2013; BORTOLINI et al., 2020), obtiveram valores constantes para os coeficientes “b” e ”m” quando ajustaram equações IDF para várias estações pluviométricas. Aragão et al. (2013) atribuem esta ocorrência à desagregação de chuvas diárias pelo método

das relações, uma vez que tal tendência não é relatada em estudos que utilizam dados de pluviógrafos.

Figura 3 - Distribuição espacial dos coeficientes de equação de chuvas intensas de longa duração de Santa Catarina



Suda (2018) destaca que os valore “K” e “b” representam características de chuvas fortes de curta duração, encontrando grandes diferenças na distribuição geográficas destes coeficientes. O valor “b” e o valor “m” na fórmula de Sherman representam a continuidade de chuvas fortes. De acordo com Suda (2018), as distribuições geográficas dos dois valores estão intimamente relacionadas com a topografia. No estado de Santa Catarina, as chuvas estão diretamente relacionadas com a circulação da atmosfera e o relevo, e vários autores destacam o efeito da orografia na formação e distribuição das chuvas COAN et al., 2014; GOTARDO et al. 2018).

Nas Figuras 4 e 5 constam as alturas das chuvas máximas estimadas com as equações IDF para duração de um a dez dias e período de retorno de 10 anos (Figura 4) e 100 anos (Figura 5). Observa-se que existe uma marcante variação espacial com os maiores valores no litoral Norte e no Oeste do Estado e menores valores no Médio Vale do Itajaí.

Figura 4 – Chuvas máximas com duração de um a dez dias e período de retorno de dez anos de Santa Catarina.

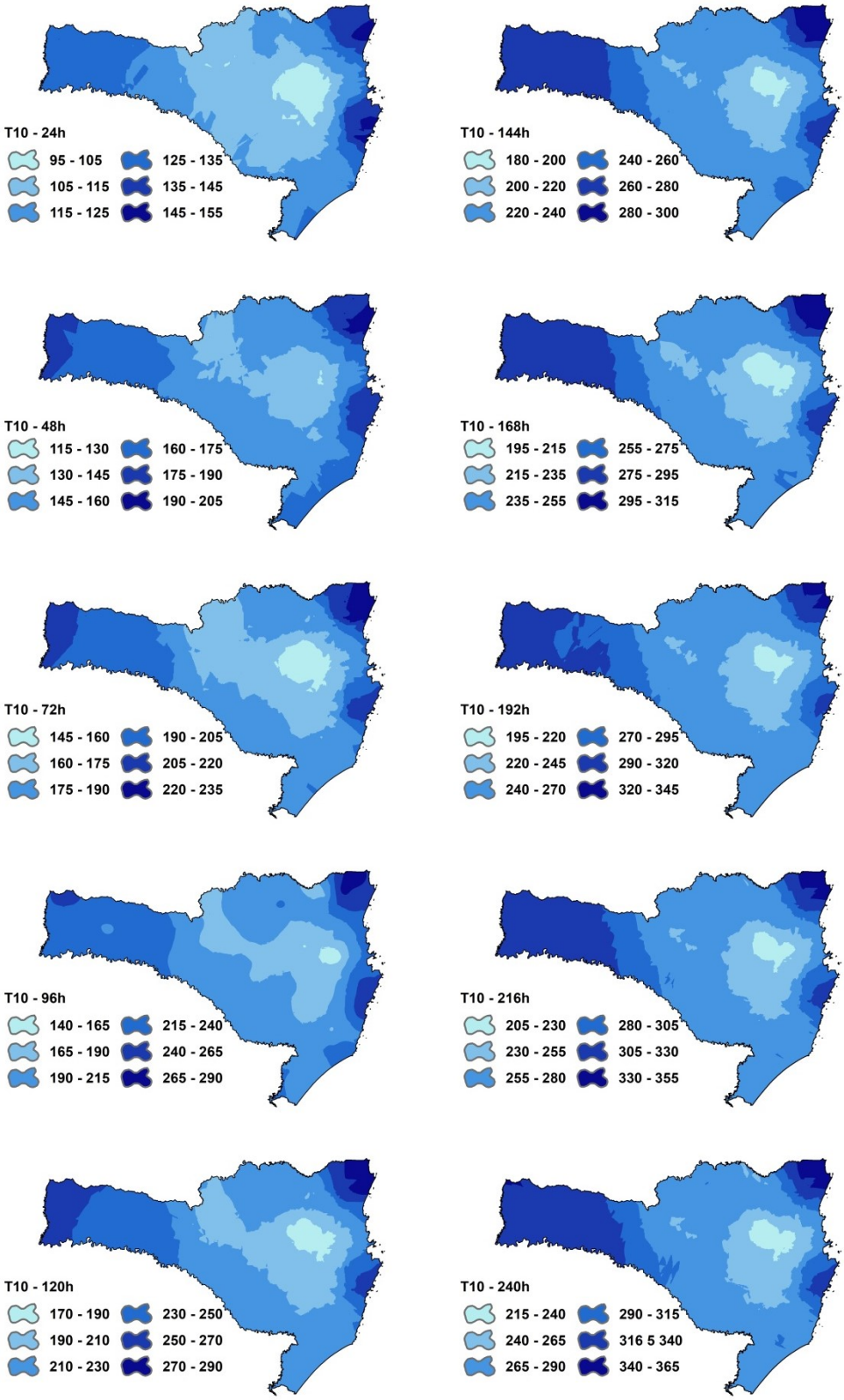
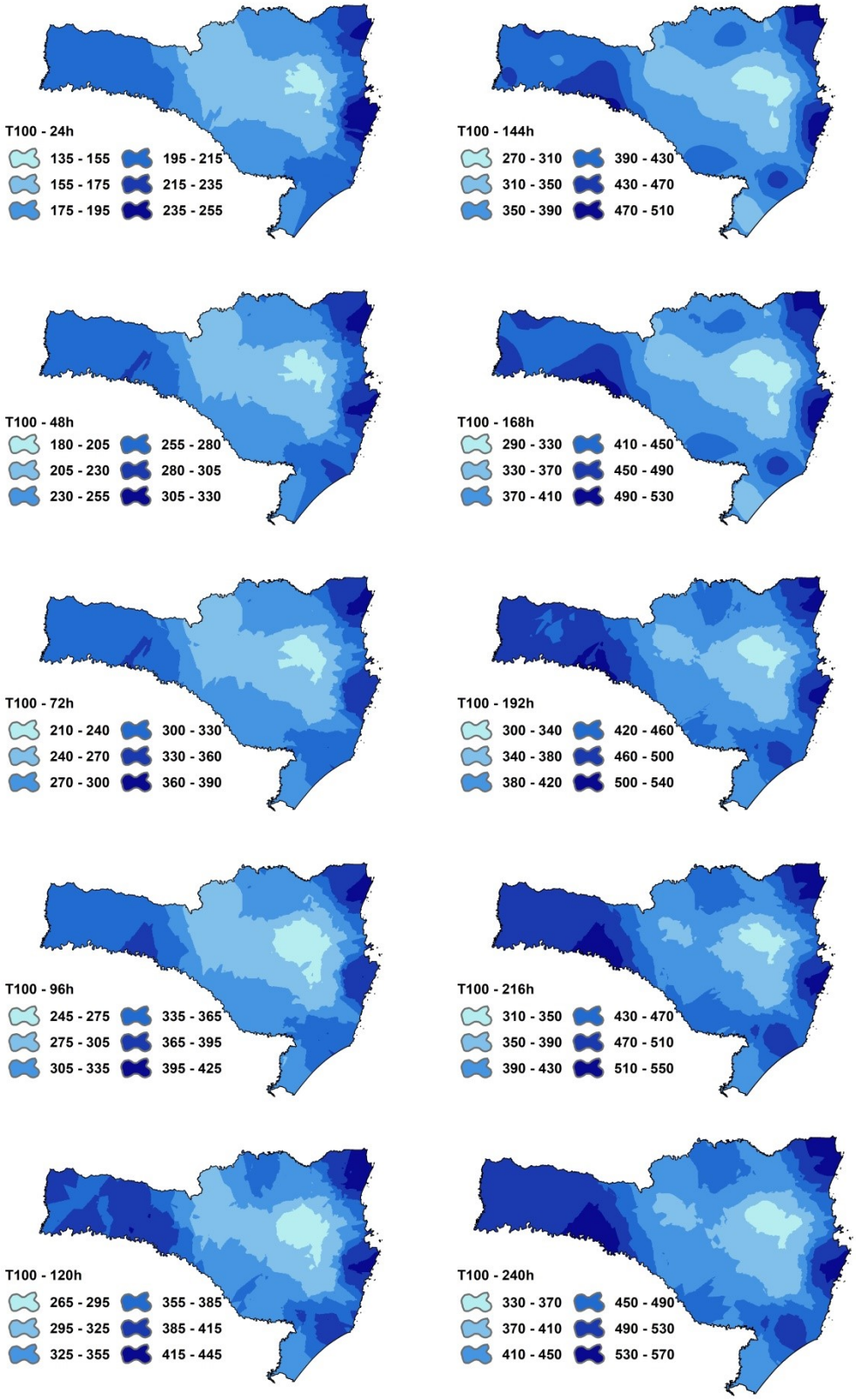


Figura 5 – Chuvas máximas com duração de um a dez dias e período de retorno de 100 anos de Santa Catarina



4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As equações IDF ajustadas permitem estimar a intensidade da chuva com duração de 24 a 240 horas (um a dez dias) e período de retorno de 2 a 100 anos para as diversas estações pluviométricas de Santa Catarina. Os índices de desempenho mostram que as equações apresentam excelente precisão de estimativa e seu uso corrige possíveis inconsistências do uso das distribuições de probabilidades para cada duração.

Foi possível observar variação espacial dos coeficientes, especialmente do coeficiente K e b, o que pode estar relacionado à orografia da região. A chuva intensa apresenta maiores valores na região do litoral norte e oeste do estado e menores valores no Médio Vale do Itajaí.

REFERÊNCIAS

ARAGÃO, R.; SANTANA, G. R. de; COSTA, C. E. F.F. da; CRUZ, M. A. S.; FIGUEIREDO, E. E.de; SRINIVASAN, V. S. 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.

BACK, Á. J. ***Chuvas intensas e estimativas da chuva de projeto para o estado de Santa Catarina.*** Florianópolis, SC: Epagri, 2022. 204p.

BACK, Á. J.; CADORIN, S. B. Heavy rain equations for Brazil. **International Journal of Development Research**, v. 11, p. 43332-43337, 2021.

BACK, Á. J.; BACK, L. Characterization and frequency analysis of long-term maximum rainfall from São Martinho, Santa Catarina, Brazil**. Engenharia agrícola**, v. 30, p. 142-155, 2022. DOI: 10.13083/reveng.v30i1.13621

BACK, Á. J.; BONFANTE, F. M. Evaluation of generalized extreme value and Gumbel distributions for estimating maximum daily rainfall. **Brazilian Journal of Environmental Sciences**, n. 56, v.4, p. 654–664, 2021. https://doi.org/10.5327/Z217694781015

BALBASTRE-SOLDEVILA, R.; GARCIA-BARTUAL, R.; ANDREA-DOMENECH, I. A comparison of design storms for urban drainage system applications. **Water**, v.11, n.757, 2019.

BELTRÁN, J. M. **Drenaje Agricola**. Madrid: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación/Instituto Nacional de Reforma y Desarrollo Agrario, 1986. (Series de Ingeniería Rural y Desarrollo Agrario - Manual Técnico Num. 5)

BERNARD, M. M. Formulas for rainfall intensities of long durations. **Transactions of the American Society of Civil Engineers**, v. 96, p. 592–624, 1932

BEZAK, N.; SRAJ, M.; RUSJAN, S.; MIKOS, M. Impact of the rainfall duration and temporal rainfall distribution defined using the Huff curves on the hydraulic flood modelling results. **Geosciences**, v. 8, n.69, 2018.

BORTOLINI, T. A.; CORSO, C.; MENDES, L A.; BARBOA, AL G.; SCHNEIDER, V. E. Determinação de equações de chuvas intensas para a Encosta Superior do Nordeste do Rio Grande do Sul. **Ciência e Natura**, v.42, e83, 2020. DOI:10.5902/2179460X40357.

CAMPOS, A. R.; SANTOS, G. G.; SILVA, J. B. L.; IRENE FILHO, J.; LOURA, D. S. Equações de intensidade-duração-frequência de chuvas para o estado do Piauí. **Revista Ciência Agronômica, Fortaleza**, v. 45, n.3, p. 488-498, 2014.

COAN, B.D.P.; BACK, Á.J.; BONETTI, A.V. Precipitação mensal e anual provável no estado de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 15, p. 122- 142, 2014. DOI: http://dx.doi.org/10.5380/abclima. v15i0.38348

COOK, L. M.; MCGINNIS, S.; SAMARAS, C. The effect of modelling choices on updating intensity-duration-frequency curves and stormwater infrastructure designs for climate change. **Climatic Change,** v.159, p.289–308, 2020.

DIAS, F. P.; HERRMANN, M.L. de P. *Análise da suscetibilidade a deslizamentos no bairro Saco Grande, Florianópolis-S*". **Revista Universidade Rural, Série Ciências Exatas e da Terra**, v.21, n.1, p.91-104,2002.

FROELICH, D. C. Long-Duration–Rainfall Intensity Equations. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 121, n.3, p.248-252, 1995.

GOTARDO, R.; PIAZZA, G.A.; TORRES, E.; SEVERO, D.L.; KAUFAMANN, V. Distribuição espacial e temporal das chuvas no estado de Santa Catarina. **Geosu**l, v.33, n.67, p.253-276, 2018. DOI: https://doi. org/10.5007/2177-5230.2018v33n67p253

GREEN, J.; JOHNSON, F.; BEESLEY, C.; THE, C. **Design Rainfall.** In: Ball J, M Babister, R Natha, W Weeks, E Weinmann, M Retallick and I Testonis (eds) *Australian Rainfall and Runoff: A Guide to Flood Estimation.* Commonwealth of Australia, Australia, 2016

JOHNSON, K. A.; SMITHERS, J. C. Methods for the estimation of extreme rainfall events. **Water SA**, v. 45, n. 3, p.501-512, 2019. https://doi.org/10.17159/wsa/2019.v45.i3.6747

LIMA NETO, V. S.; TAVARES, P. R. L.; BATISTA, T. L. 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, 713 721, 2021 DOI: http://dx.doi.org/10.1590/0102-778636003

MAMUN, A. A.; SALLEH, M. N.; NOOR, H. M. Estimation of short-duration rainfall intensity from daily rainfall values in Klang Valley, Malaysia**. Applied Water Science**, v.8, n.203, 2018. https://doi.org/10.1007/s13201-018-0854-z

MIRHOSSEINI, G.; SRIVASTAVA, P.; STEFANOVA, L. The impact of climate change on rainfall intensity-duration-frequency (IDF) curves in Alabama. **Regional Environment Change**, v.13, p.25-33, 2012 doi:10.1007s10113-012-0375-5.

MORIASI, D.N.; ARNOLD, J.G.; VAN LIEW, M.W.; BINGNER, R.L.; HARMEL, R.D.; VEITH, T.L. Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. **Transactions of the ASABE**, v.50, n.3, p. 885-900, 2007.

MOURI. G.; MINOSHIMA. D.; GOLOSOV, V.; CHALOV, S.; SETO, S.; YOSHIMURA, K.; NAKAMURA, S.; OKI, T. Probability assessment of flood and sediment disasters in Japan using the Total Runoff-Integrating Pathways model. **International Journal of Disaster Risk Reduction**, v.3, p.31-43, 2013.

NAMITHA, M. R.; VINOTHKUMAR, V. Development of empirical models from rainfall-intensity-duration-frequency curves for consecutive Days maximum rainfall using GEV distribution. **Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry**, v. 8, n. 1, p. 2705-2709, 2019.

NASH, J. E.; SUTCLIFFE, J. V. River flow forecasting through conceptual models, Part I - A discussion of principles**. Journal of Hydrology**, v. 10, n. 3, p. 282-290, 1970.

NG, C. W. W.; SHI, Q. A numerical investigation of the Stability of unsaturated soli slopes subjected to transient seepage. **Computers and Geotechnics**, v. 22, n. 1, p. 1-28, 1998.

OLIVEIRA, L. F. C. de; CORTÊS, F. C.; WEHR, T. R.; BORGES, L. B.; SARMENTO, P. H. L.; GRIEBELER, N Intensidade-Duração-Frequência de chuvas intensas para localidades no estado de Goiás e Distrito Federal. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 35, n. 1, p. 13–18, 2005.

SANTOS, G. G.; FIGUEIREDO, C. C. de; OLIVEIRA, L. F. C.; GRIEBELER, N. Intensidade-duração-frequência de chuvas para o Estado de Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [s. l.], v. 13, p. 899–905, 2009. https://doi.org/10.1590/S1415-43662009000700012

SHERMAN, C. W. Frequency and intensity of excessive rainfall at Boston. **Transactions of the American Society of Civil Engineering**, v. 95, p. 951–960, 1931.

SILVA, B. M.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; SILVA, F. B. da; ARAÚJO FILHO, P. F. Chuvas intensas em localidades do estado de Pernambuco. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 17, n. 3, p. 135-147, 2012.

SILVA, J. B. L.; CÂNDIDO, F. A.; PIRES, L. C.; FRANÇA, L. C. de J. Nota Técnica: Equações de Intensidade, Duração e Frequência de chuvas máximas para o estado do Rio Grande do Norte, Brasil. **Revista Engenharia Na Agricultura**, v. *26, n.* 2, p. 160–170. 2018 https://doi.org/10.13083/reveng.v26i2.885

SMITHERS, J.C.; SCHULZE, R.E. **Long duration design rainfall estimates for South Africa**. WRC Report No. 811/1/00. Water Research Commission, Pretoria, 2000.

SOARES, F. L.; RAMOS FILHO, G. M. Correlação entre movimentos de massa e pluviosidade nas encostas de João Pessoa/PB. **Revista Geotecnia**, n. 133, p.59, 2015.

SOUZA, R. O. R. M.; SCARAMUSSA, P. H. M.; AMARAL. M. A. C. M.; NETO, J. A. P.; PANTOJA, A. V.; SADECK, L. W. R. Equações de chuvas intensas para o Estado do Pará. **Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n.9, p.999–1005, 2012.

STABILE, R. A.; COLÂNGELO, A. C. **Estudo pluviométrico dos escorregamentos deflagrados no verão de 2009/2010 no Planalto Do Paraitinga (SP)** In: Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada. Campinas, 2017. DOI - 10.20396/sbgfa.v1i2017.2532.

SUDA, Y. Meanings of constants in rainfall depth-duration formulas and relations between the constants. **Journal of Japan Society of Hydrology and Water Resources**, v.31, n.3, p.166-177, 2018.

SUN, Y.; WENDI, D.; KIM, D. E.; LIONG, S.-Y. Deriving intensity-duration-frequency (IDF) curves using downscaled in situ rainfall assimilated with remote sensing data. **Geoscience Letters**, v. 6, n. 17, p. 1-12, 2019. https://doi.org/10.1186/s40562-019-0147-x

VALVERDE, M. V.; CARDOSO, A. O.; BRAMBILA, R. O Padrão de chuvas na região do ABC Paulista: Os extremos e seus impactos. **Revista Brasileira de Climatologia**, v.22, p.165-187,2018.

VIEIRA, R.; PINHEIRO, A.; XAVIER, F. F. VIBRANS, A. C.; REFOSCO, J. C. **Análise Integrada dos fatores físicos e sociais para identificação das áreas suscetíveis a escorregamentos**. In: Um olhar sobre as áreas de risco de escorregamentos no município de Blumenau: em busca da prevenção. FURB/IPA, p. 56-71, 2005.

XUE, K.; AJMERFA, B.; TIWARI, B.; HU,Y. Effect of long duration rainstorm on stability of Red-clay slopes. **Geoenvironmental Disasters, v.** 3, n.12, 2016. DOI 10.1186/s40677-016-0046-9

YAMOAT, N.; HANCHOOWONG, R.; SRIBOONLUE, S.; KANGRANG, A. Temporal change of extreme precipitation intensity-duration-frequency relationships in Thailand. **Journal of Water and Climate Change**, v. 13, n. 2, p. 839-853, 2022. doi: 10.2166/wcc.2021.348