



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 a 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

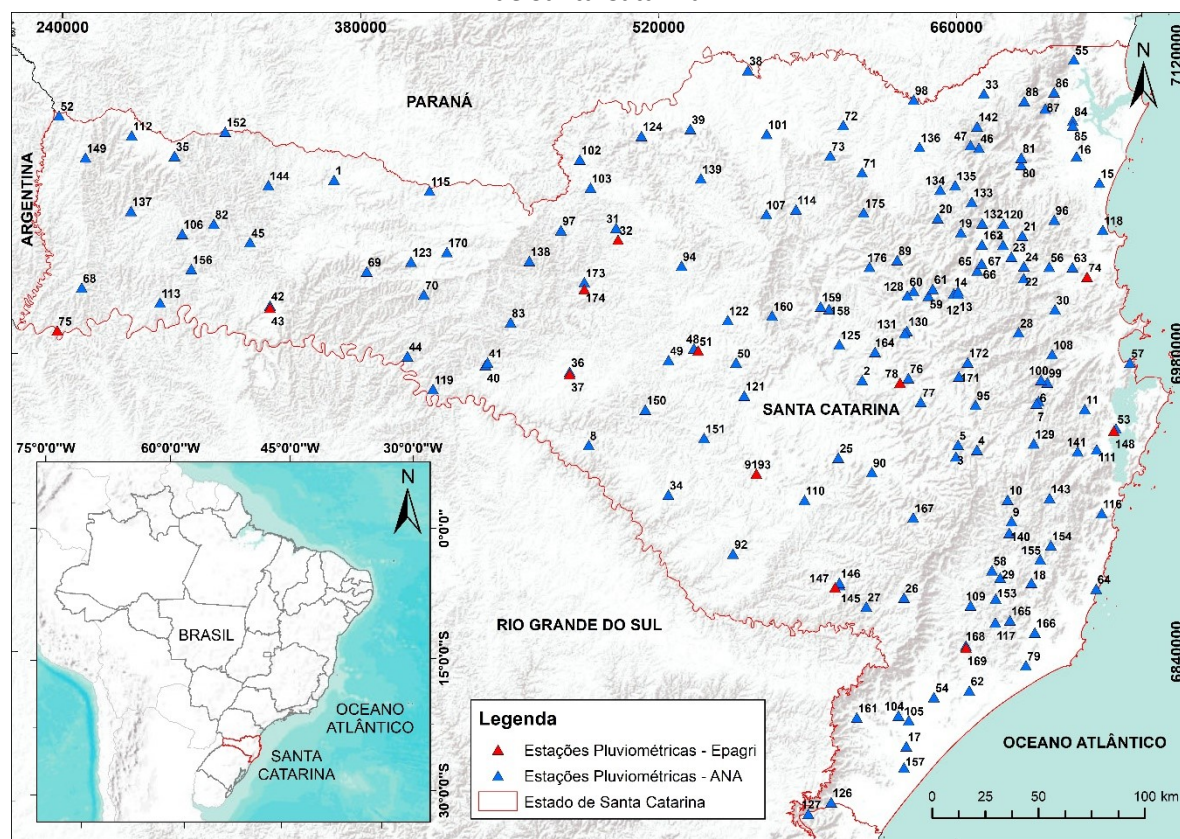
2.1. Procedimentos Metodológicos

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:

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

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:

$$(2) \quad S = \sum_{t=1}^{10} \sum_{T=1}^8 \left(\frac{(I_{e,t,T} - I_{o,t,T})}{I_{o,t,T}} \right)^2$$

Em que $I_{e,t,T}$ é a intensidade da chuva com duração t e período de retorno T estimada pela equação IDF; $I_{o,t,T}$ é a intensidade da chuva com duração t e período de retorno T obtida do HydroChuSC2.0.

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.

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

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

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

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

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

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

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

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 (R²) 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 R² acima de 0,94 (OLIVEIRA *et al.*, 2005; SOUZA *et al.*, 2012). Aragão *et al.* (2013) ressaltam que os altos valores de R² 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.

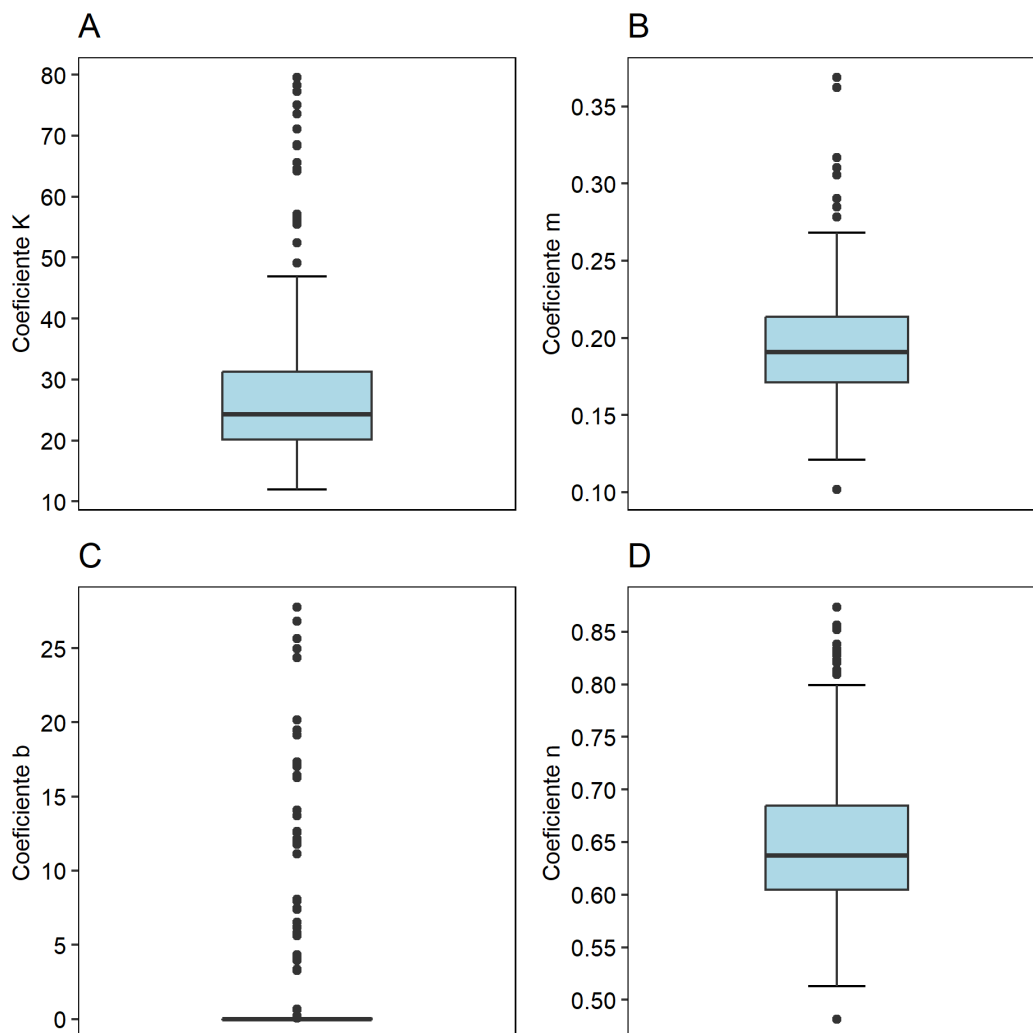
Estação	Coeficientes da equação IDF				Índices de desempenho						
	K	m	b	n	EP	NS	d	PBIAS	MAE	R ²	
1	24,16	0,2054	0,00	0,6227	0,0425	0,9892	0,9974	0,0017	0,0952	0,9952	
2	18,31	0,2001	0,00	0,5807	0,0461	0,9806	0,9954	0,0005	0,0931	0,9924	
3	18,76	0,1848	0,00	0,5979	0,0457	0,9811	0,9955	0,0012	0,0828	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	

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 valores 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”.

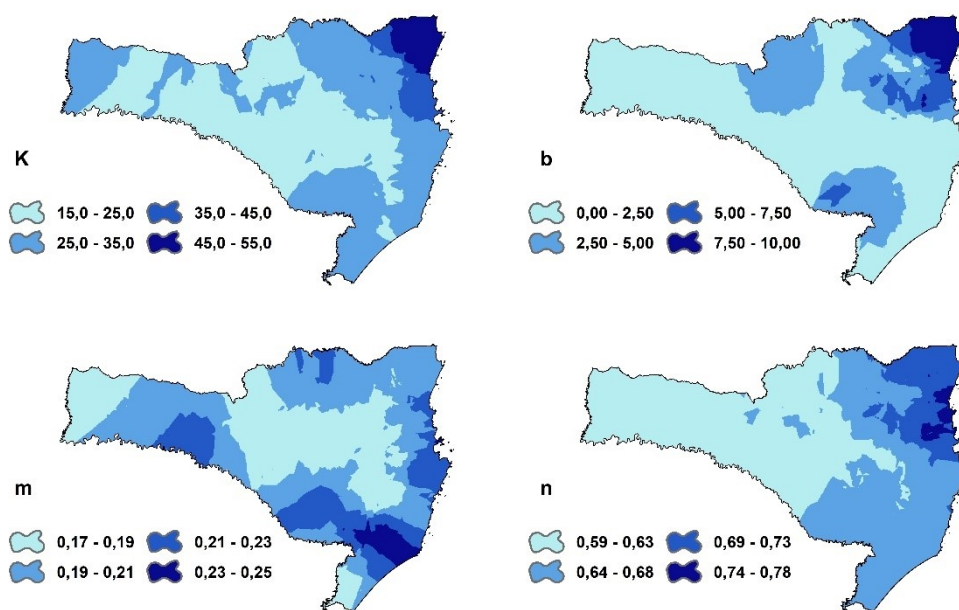
Figura 2 - Box-plot dos coeficientes das equações de chuvas intensas



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 valores “K” e “b” representam características de chuvas fortes de curta duração, encontrando grandes diferenças na distribuição geográfica 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.

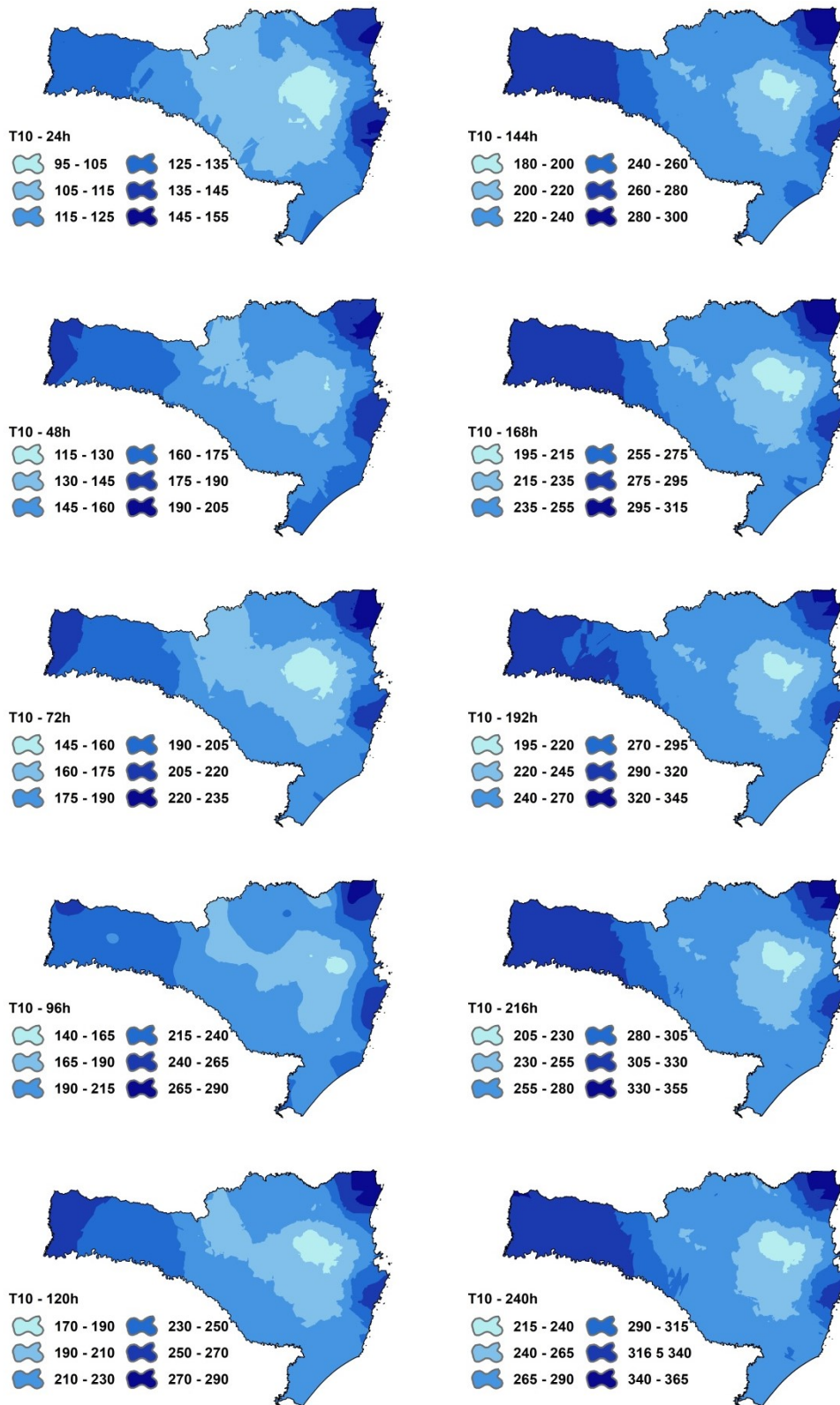
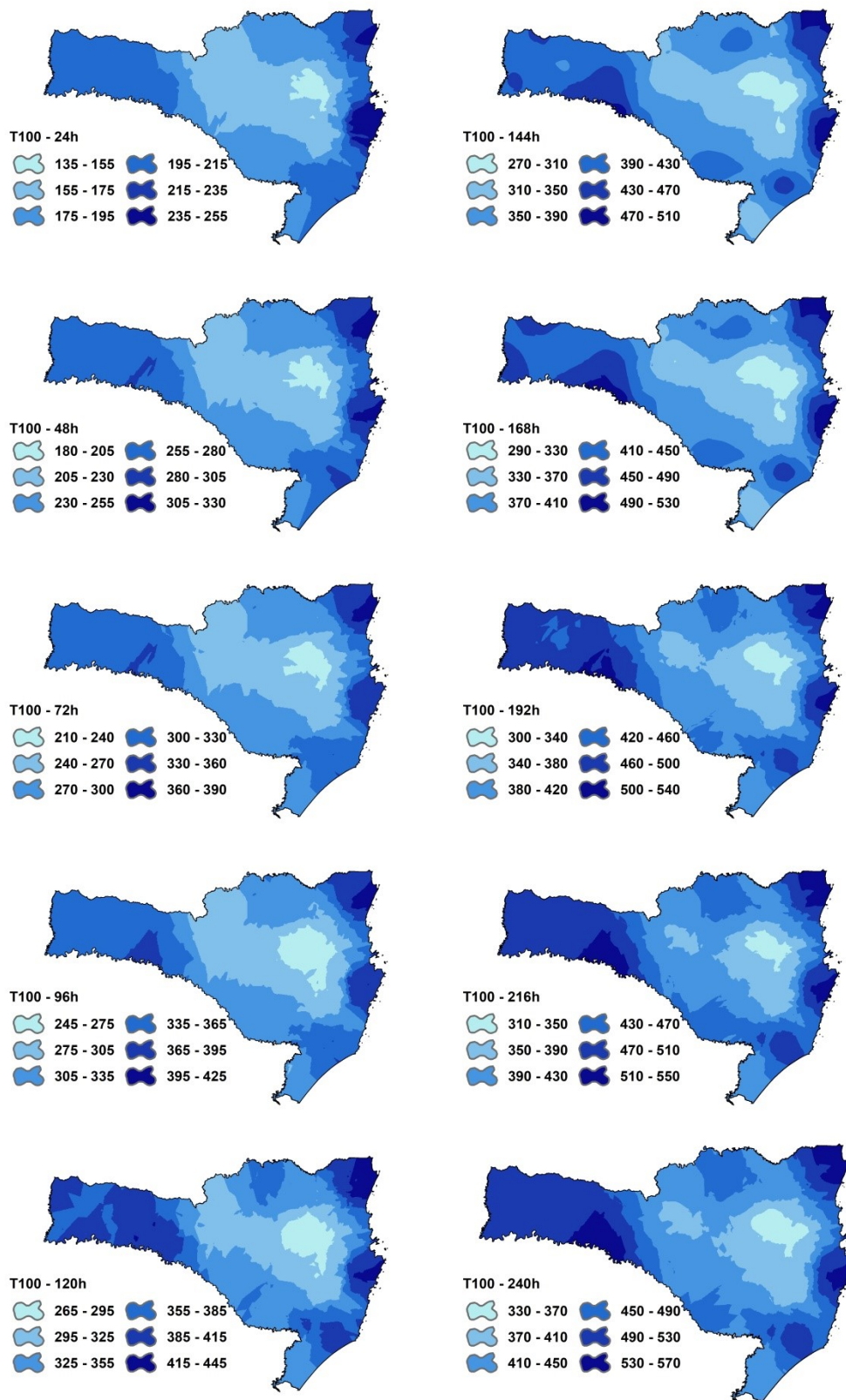


Figura 5 – Chuvas máximas com duração de um a dez dias e período de retorno de 100 anos de Santa Catarina



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 Agrícola**. 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 Agrônômica, 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. **Geosul**, 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:10.1007/s10113-012-0375-5.

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