

Utilização de dados pluviométricos para o desenvolvimento de equações IDF da região metropolitana de Fortaleza-CE, Brasil

Use of pluviometric data for the development of IDF equations of the metropolitan region of Fortaleza-CE, Brazil

- **Data de entrada:**
10/08/2017
- **Data de aprovação:**
04/09/2017

Tatiane Lima Batista*/Francismário de Menezes Alves/Paulo Roberto Lacerda Tavares

DOI:10.4322/dae.2018.018

Resumo

A compreensão das características das chuvas intensas é fundamental para o dimensionamento de estruturas hidráulicas e o gerenciamento dos recursos hídricos. As equações que relacionam a intensidade, duração e frequência dessas chuvas (Equações IDF) são ferramentas importantes utilizadas na determinação da vazão de projeto. Devido à escassez de pluviógrafos no Brasil, métodos de desagregação da chuva diária medida por pluviômetros foram desenvolvidos como alternativa para geração das equações IDF. Neste trabalho, foi aplicada a metodologia das isozonas, proposta por Torrico (1974), para o desenvolvimento de equações IDF, aplicadas aos 19 municípios da Região Metropolitana de Fortaleza-CE, Brasil. Os resultados foram comparados, para a cidade de Fortaleza, com equações de trabalhos consagradas, baseadas em dados pluviográficos, apresentando ótimos índices de correlação.

Palavras-chave: Chuvas intensas. Equações IDF. Isozonas.

Abstract

Understanding the characteristics of heavy rainfall is critical to the design of hydraulic structures and water resources management. The equations that relate the intensity, duration and frequency of rainfall (IDF equations) are important tools used in determining the design flow. Due to the scarcity of pluviographs in Brazil, daily rain disaggregation methods measured by rain gauges were developed as an alternative to building the IDF equations. In this work the methodology of the isozones proposed by Torrico (1974) was applied in the development of IDF equations for the 19 cities of the Metropolitan Region of Fortaleza-CE, Brazil. These results were compared to the city of Fortaleza with equations of dedicated work -based rain gauge data, generating optimal levels of correlation.

Keywords: Intense rains. IDF equations. Isozones.

Tatiane Lima Batista – Graduada em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Ceará (UFC). Mestranda em Recursos Hídricos pela Universidade Federal do Ceará (UFC).

Francismário de Menezes Alves – Graduado em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). Mestre em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Ceará (UFC).

Paulo Roberto Lacerda Tavares – Graduado em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Ceará (UFC). Doutor em Recursos Hídricos pela Universidade Federal do Ceará (UFC). Professor adjunto da Universidade Federal do Cariri (UFCA).

***Endereço para correspondência:** Rua São Benedito, 1709. Bairro Franciscanos. CEP: 63020-237. Juazeiro do Norte -CE. Telefone: (88) 99729-2911. E-mail: tatianelima.eng@gmail.com.

1 INTRODUÇÃO

A precipitação é a principal variável de entrada da água no sistema hidrológico. Por isso, o entendimento de suas características é imprescindível para estudos associados ao planejamento dos recursos hídricos, geração de energia e projetos de engenharia. As chuvas naturais são fenômenos aleatórios e têm distribuição irregular no tempo e no espaço. As chuvas intensas representam um estudo à parte no campo hidrossedimentológico, com importante contribuição em estudos associados à erosão do solo, inundações, perdas agrícolas, dimensionamento de estruturas hidráulicas e reservatórios, dentre outras utilizações (ELSEBAIE, 2012).

Essas chuvas são caracterizadas por três parâmetros: intensidade (I), duração (D) e frequência de ocorrência ou tempo de retorno (F). A relação entre esses três parâmetros é denominada Equação ou Curva Intensidade-Duração-Frequência (Curvas IDF) (SOUZA et al., 2012).

Intensidade de precipitação é o valor da razão entre a altura precipitada e sua duração (ARAGÃO et al., 2013). A Frequência ou Tempo de retorno, expresso em anos, é definido como o valor médio esperado do tempo de recorrência associado a um certo evento. Em outras palavras, ele corresponde ao tempo médio necessário (em anos) para que o evento ocorra ou seja superado em um ano qualquer e é igual ao inverso da probabilidade de que tal evento de referência ocorra ou seja superado. No caso das equações IDF, os eventos de referência são as precipitações máximas (NAGHETTINI; PINTO, 2007).

A Organização Meteorológica Mundial define Precipitação Máxima de Projeto como a maior altura de precipitação para uma dada duração meteorologicamente possível, para uma determinada bacia, numa certa época do ano (WMO, 1973). Em termos práticos, a chuva intensa é aquela que possui uma grande intensidade e que pode provocar prejuízos materiais e humanos. Quando a chuva intensa é

associada a uma duração e período de retorno, torna-se uma chuva de projeto (OLIVEIRA et al., 2011).

Para a construção da Equação IDF de uma certa localidade, faz-se necessário o conhecimento das séries históricas de dados de precipitação de diferentes durações. Portanto, registros de pluviógrafos são ferramentas fundamentais para esse tipo de estudo.

No Brasil, a densidade da rede de pluviógrafos é pequena e os períodos de observação são curtos, o que implica em análises estatísticas menos precisas. Isso dificulta o processo de tomada de decisão em relação a ações que dependam desse conhecimento, como projetos de combate a inundações, proteção dos solos contra erosão, dentre outras (DAMÉ; TEIXEIRA; TERRA, 2008). Nesse sentido, a escassez de dados pluviográficos no Brasil e o pequeno período de observação disponível tornam-se um problema na confecção desses modelos. Como alternativa, dados diários de chuva, obtidos por meio de pluviômetros, podem ser utilizados por métodos de desagregação. (SOUZA et al., 2012). Neste trabalho, será utilizado o método proposto por Torrico (1974).

Torrico (1974) elaborou um mapa, identificando 8 zonas de relações iguais entre a precipitação máxima anual de 1 hora e de 24h, para diferentes tempos de retorno. Apresentou também as relações entre as alturas de precipitação de 6min e de 24h, para tempos de retorno entre 5 e 50 anos e 100 anos. Para isso, ele utilizou as mesmas estações de Pfafstetter (1975). Ele propôs também a utilização de um coeficiente igual a 1,095 para conversão da chuva de um dia em chuva de 24h. Assim, as chuvas de 1 hora e 6 min podem ser obtidas para o tempo de retorno escolhido. Através de métodos de interpolação, podem ser obtidos os valores de precipitações para outras durações (GENOVEZ; ZUFFO, 2000).

Obras importantes, como o projeto Executivo de Engenharia para Pavimentação do Acesso ao Observatório de Itacuruba, o Anel Rodoviário Metropolitano de Porto Alegre e a Barragem da Ga-

meleira no Piauí foram projetadas utilizando as isozonas de Torrico (1974) (BASSO et al., 2016).

Como exemplo, podemos citar os trabalhos realizados por Fechine Sobrinho (2014), Aragão et al. (2013), Souza et al. (2012) e Santos et al. (2009) que, por meio da metodologia de desagregação de chuvas diárias, obtiveram as equações IDF para postos pluviométricos dos estados do Ceará, Sergipe, Pará e Mato Grosso do Sul, respectivamente.

Recentemente, podemos citar os estudos de Borges e Thebaldi (2016), que desenvolveram modelos de chuvas intensas para o município de Formiga, MG, e Souza et al. (2016), que estimaram as equações IDF para o estado de Rondônia utilizando 41 estações pluviométricas por meio da desagregação de chuva diária.

Com isso, o objetivo deste trabalho é desenvolver, utilizando uma interface gráfica computacional, as equações IDF para os 19 municípios da Região Metropolitana de Fortaleza aplicando um método de desagregação da chuva diária, utilizando dados de pluviômetros, e comparar os resultados obtidos, para a cidade de Fortaleza, com equações existentes na literatura, geradas a partir de dados de pluviógrafos.

2 METODOLOGIA

2.1 Área de estudo

A Região Metropolitana de Fortaleza é formada por 19 municípios. A Figura 1 mostra um mapa da região, as isozonas nas quais ela se insere e os postos pluviométricos estudados.

REGIÃO METROPOLITANA DE FORTALEZA (RMF) : ISOZONAS E POSTOS PLUVIOMÉTRICOS.

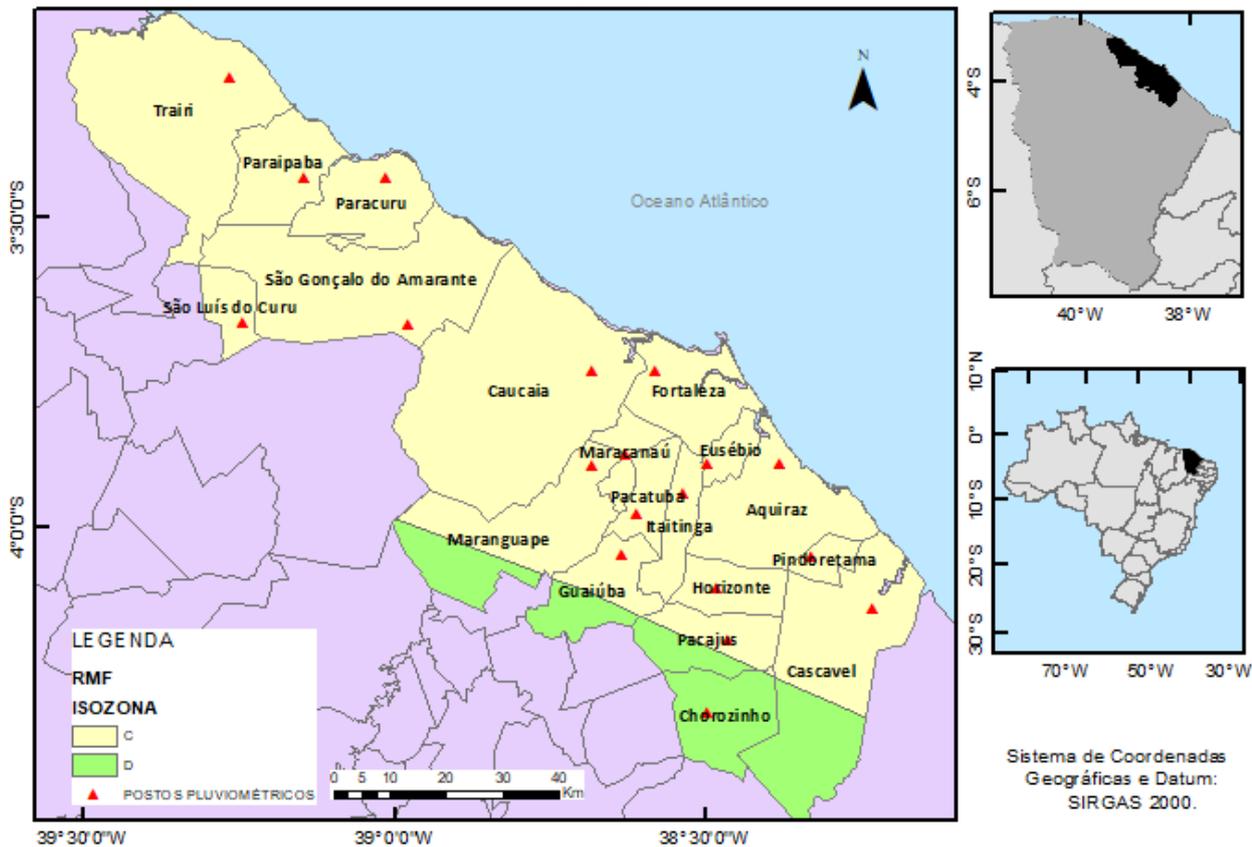


Figura 1: Região Metropolitana de Fortaleza, isozonas e postos pluviométricos estudados. Fonte: A autora.

O clima da região é caracterizado pela sazonalidade da precipitação e por elevadas temperaturas o ano todo. A sua localização geográfica é próxima ao Equador, o que favorece uma intensa insolação o ano todo. Por ser próxima do oceano, a região sofre influência marítima e, conseqüentemente, tem temperaturas mais amenas do que no interior do estado. O clima é definido como tropical equatorial com até seis meses secos.

Os dados dos postos pluviométricos dessa região foram utilizados para o desenvolvimento das equações IDF para cada município.

2.2 Determinação das equações IDF a partir de dados de pluviômetros

Para o desenvolvimento das equações IDF para os 19 municípios da Região Metropolitana de Fortaleza, foi elaborado um código computacional, utilizando a linguagem Java, com a implementação das etapas descritas a seguir.

Seleção dos dados

Foi escolhido o posto pluviométrico com maior quantidade de anos de observação para cada cidade. A entrada de dados se deu por meio de arquivos no formato texto (*.txt), disponibilizados na página da Funceme, na internet. Desses arquivos foram geradas as séries anuais de precipitações diárias máximas.

Ajuste a uma distribuição de probabilidade

O algoritmo realizou os testes de aderência do Qui-Quadrado e o de Lilliefors, além do cálculo de tendência, linearidade, Desvio Quadrático Médio, Desvio Quadrático Residual e Desvio Médio Absoluto aplicados a cinco distribuições de probabilidade: Gamma com dois e três parâmetros, Log Normal com dois e três parâmetros e Gumbel. Para a escolha da distribuição e probabilidade associada

a cada série, foram analisados os resultados dos testes de aderência. Dentre as distribuições que tiveram os testes de aderência aceitos, foi escolhida aquela cujos desvios calculados eram inferiores.

Após a escolha da distribuição de melhor ajuste, foram determinadas as precipitações associadas aos períodos de retorno de 5, 10, 15, 20, 25, 30, 50 e 100 anos por meio da utilização da função inversa da distribuição ajustada.

Escolha da Isozona

Por meio da localização do posto pluviométrico, determinou-se a isozona correspondente e, assim, os coeficientes de desagregação da precipitação de 24h para cada duração e período de retorno.

Desagregação da chuva diária

A chuva diária é transformada em chuva de 24h pelo coeficiente de Torrico (1974). Os valores das precipitações para a duração de 6 min e 1 hora foram encontrados pela multiplicação da precipitação de 24 horas pelos respectivos coeficientes de desagregação. Para as durações intermediárias, foi utilizada a interpolação logarítmica.

Determinação dos parâmetros da Equação IDF

Para a determinação dos parâmetros da equação IDF foi utilizada a mesma metodologia de Fachine Sobrinho (2014). Para cada uma das estações pluviométricas da Região Metropolitana de Fortaleza, foram obtidos os parâmetros da equação IDF, de acordo com a Equação 1.

$$I = a(Tr + S)b(t + c)n \quad (1)$$

Em que: a , b e n são os parâmetros a serem definidos, I é a intensidade da chuva (mm/min), Tr é o tempo de retorno (anos) e t é a duração do evento (min).

Os parâmetros a , b e n foram encontrados pela aplicação do método dos mínimos quadrados aos valores das intensidades de precipitação encontradas. O parâmetro c foi obtido pelo método de Wilken (1978), e o parâmetro S foi encontrado pelo processo gráfico analítico de minimização do X^2 expresso pela função $X^2 = f(s)$.

Validação do ajuste

Para validação das equações IDF encontradas, faz-se necessário avaliar o ajuste entre os resultados obtidos pela equação e pela distribuição de probabilidade escolhida (SILVA; ARAÚJO, 2013). Para isso, foram utilizadas duas análises estatísticas, baseadas no coeficiente de determinação (R^2) e no Erro Relativo Médio (ERM).

A análise a partir do coeficiente de determinação consistiu em verificar se a relação linear entre os valores calculados pelas equações IDF e os estimados pelo método das isozonas é estatisticamente significativa, com maior linearidade expressa pela proximidade do R^2 do valor 1,0 (um). Avaliou-se, ainda, por meio de um teste t de Student, se essa relação linear é do tipo $Y = X$, ou seja, se as hipóteses de que o coeficiente angular da reta (α) é igual a 1 (um) e o intercepto (β) é igual a 0 (zero) não podem ser rejeitadas ao nível de significância 5%.

O Erro Relativo Médio (ERM) formulado na Equação 2 estima o grau de divergência, em porcentagem, entre os valores. Quanto mais próximo de 0 estiver, melhor será a qualidade do ajuste.

$$ERM = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{Y_i - X_i}{Y_i} \right| \quad (2)$$

Em que: X_i é a intensidade estimada pelo método das isozonas (mm/min). Y_i é a intensidade calculada pela equação ajustada (mm/min) e N é a quantidade de dados.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Equações IDF para os municípios da região metropolitana de Fortaleza

Os dados de precipitação diária foram obtidos para os 19 municípios da Região Metropolitana de Fortaleza no site da Funceme.

A Tabela 1 lista as estações pluviométricas escolhidas com suas respectivas características. Pode-se observar que a maioria dos postos possui uma quantidade de anos de observação superior a 30, sendo que apenas seis cidades não atingem esse valor. O posto da cidade de Eusébio possui a menor série de dados, com 27 anos de observação. O posto do PICI da cidade de Fortaleza possui a maior quantidade de anos de observação, com 98 anos de dados.

O software de geoprocessamento ArcView GIS foi utilizado para definir a isozona na qual os postos pluviométricos estão inseridos. O mapa da Figura 1 ilustra a demarcação das isozonas e localização dos postos pluviométricos na Região Metropolitana de Fortaleza.

Por meio dos registros diários das precipitações desses postos, foram obtidas as séries de máximas diários anuais em mm. As Tabelas 2, 3 e 4 mostram todas as séries de precipitações máximas diárias anuais para cada município de RMF.

Tabela 1 – Postos pluviométricos estudados da Região Metropolitana de Fortaleza.

Município	Nome	Posto Número	Latitude	Longitude	Qtd de anos de observação	Isozona
Aquiraz	Aquiraz	11	-3.900	-38.383	38	C
Cascavel	Cascavel	36	-4.133	-38.233	39	C
Caucaia	Caucaia	38	-3.750	-38.683	49	C
Chorozinho	Chorozinho	204	-4.300	-38.500	29	D
Eusébio	Eusébio	552	-3.900	-38.500	27	C
Fortaleza	PCI	363	-3.750	-38.583	98	C
Guaiúba	Guaiúba	207	-4.047	-38.637	43	C
Horizonte	Horizonte	205	-4.100	-38.483	28	C
Itaitinga	Itaitinga	211	-3.950	-38.483	28	C
Maracanaú	Maracanaú	82	-3.885	-38.631	43	C
Maranguape	Maranguape	83	-3.903	-38.683	43	C
Pacajus	Pacajus	103	-4.183	-38.467	43	C
Pacatuba	Pacatuba	104	-3.979	-38.614	38	C
Paracuru	Paracuru	109	-3.440	-39.014	40	C
Paraipaba	Paraipaba	110	-3.438	-39.145	28	C
Pindoretama	Pindoretama	176	-4.050	-38.333	29	C
São G. do Amarante	São G. do Amarante	133	-3.675	-38.980	43	C
São Luis do Curu	São Luis do Curu	135	-3.672	-39.242	43	C
Trairi	Trairi	144	-3.276	-39.265	41	C

Tabela 2 – Precipitações máximas diárias anuais em mm para municípios da RMF(I).

Ano	Precipitações diárias máximas anuais (mm)							
	Aquiraz	Cascavel	Caucaia	Chorozinho	Eusébio	Guaiúba	Horizonte	Itaitinga
1973	-	-	117	-	-	-	-	-
1974	-	-	125	-	-	130	-	-
1975	-	-	64	-	-	76	-	-
1976	-	-	82	-	-	50	-	-
1977	-	86.5	94	-	-	91	-	-
1978	-	86.4	126	-	-	83	-	-
1979	135.3	-	70	-	-	96	-	-
1980	87.8	152.8	70	-	-	97	-	-
1981	97	83.5	104	-	-	58.2	-	-
1982	65.4	49	58	-	-	56.6	-	-
1983	61.6	58.2	72.2	-	-	78.2	-	-
1984	143.4	50.5	77	-	-	55	-	-
1985	136.4	114.6	92.4	-	-	95	-	-
1986	85.6	140	115.8	-	-	91.6	-	-
1987	121.4	52.6	78	-	-	50	-	-
1988	154.6	80	89.4	72	-	86.2	-	123
1989	116	136	58.6	67.6	-	45	68.4	-
1990	90	81	41.8	44.3	97	32	42.6	60.5
1991	80	75	76.2	69.7	55	70.4	65	81
1992	114	107	48	85	86	65	69	61.8
1993	62	55	63	75.4	47	55	85	40.6
1994	105.2	117	94	60	68.2	120	110	100
1995	91.6	86	154	66	85.4	71	71.5	80
1996	128	120	114	68	120.1	96	138	86
1997	85	91	93.4	53	120	90	54.2	88.2
1998	45	93	57.2	36	50	50	76.1	73.2
1999	52	73	66	40	105	46	71.6	84
2000	118	75	87	98	97	79	84.2	78
2001	129	87	141	50	124	112.8	141	116
2002	107	133.2	95.6	69	104	90	74	73

CONTINUAÇÃO Tabela 2 – Precipitações máximas diárias anuais em mm para municípios da RMF(I).

Precipitações diárias máximas anuais (mm)								
Ano	Aquiraz	Cascavel	Caucaia	Chorozinho	Eusébio	Guaiúba	Horizonte	Itaitinga
2003	84.6	118	105	75	83	60	65.2	87
2004	228	150	137.6	71	253	70	80	166
2005	68	100	55	74	68	50	73	74
2006	103	203	117	132	112	100	96	108
2007	104	130	128	77	88	52.6	74	79
2008	128	118.5	68.2	55	105	77.2	91.6	78
2009	105	145	86	50	86	70.6	77	118
2010	80.6	80	60	31	145	35	35	61
2011	174	160	117	55	102	120	107	87
2012	60	80.1	130	105.9	114	48	64.4	102
2013	50	83	49.4	45	62	87	63	47
2014	50	66	73.4	37	63	65	70	63
2015	67	101	135.2	72	85	119	116	142
2016	163.2	90	110.9	48	150	55	66	91

Tabela 3 – Precipitações máximas diárias anuais em mm para municípios da RMF (II).

Precipitações diárias máximas anuais (mm)										
Ano	Maracanaú	Maranguape	Pacajus	Pacatuba	Paracuru	Paraipaba	Pindoretama	São Gonçalo do Amarante	São Luis do Curu	Trairi
1973	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1974	111	128	130	-	-	-	-	118	158	-
1975	46	58.4	113	-	-	-	-	59.6	59.9	-
1976	103	86	77	-	-	-	-	79	69	190
1977	85	68.8	83	-	82.2	-	-	80.2	63	65
1978	107	100	33.5	-	75.3	-	-	52.2	80.8	152
1979	90	62.2	48.1	73.3	49.2	-	-	51.2	30.7	85
1980	58	119	88.5	107.3	115.3	-	-	69.8	62.9	60
1981	102.4	71	59	71.2	114.2	-	-	73	132	97
1982	86	61	32.3	60	79.2	-	-	71.4	73	114
1983	93	90	128	27	63.2	-	-	56.2	25	103
1984	76.5	80	80.3	88.5	75.3	-	-	67	40.8	84.5
1985	96	76	165	97	104.2	-	-	88	56	105
1986	120	98	126	95	120.2	-	-	165	93	71
1987	62	87.3	121.8	120	120.3	-	-	80.8	62	79.5
1988	62	130	55.3	103	104.2	-	50	68.4	60.2	48.4
1989	50	86	86	75	110	52.8	110	80	45	71.3
1990	53	77	45	69.4	69	98	70	53.4	110	83.6
1991	54	63	63	90.4	70	172.5	100	62.4	55	106
1992	72	69.5	72	77.4	60.2	50	112	78	66	50
1993	55	60	47	52.8	130	82	45	62	35	94
1994	75	78	150	96	142	65	110	137	83	170
1995	86	102	84	76	133	88	132	89.2	150	60
1996	75	82	90	95.2	157	127.4	151	93.6	53	150
1997	32	48	75	69	112.6	55	115	67.6	37	111
1998	76	78	41	86	136	49	54	39	58	82
1999	64	66	46.4	88	93	112	67	60	86	122
2000	75	85	99.6	89	82	79	64	53	64	93
2001	135.8	103.2	150	131	143	81.8	114	93	90	76
2002	132	114.6	111	97.2	165	125	90	92	73	130
2003	68	102	74	75	82	82.4	131	167	70	141
2004	89	95.2	88	88	150.3	74	133	96	53	84
2005	73	112	64.5	63	78	79	105	141	50	74
2006	111	79	103	67	79.6	55	178	95	83	58

CONTINUAÇÃO Tabela 3 – Precipitações máximas diárias anuais em mm para municípios da RMF (II).

Precipitações diárias máximas anuais (mm)										
Ano	Maracanaú	Maranguape	Pacajus	Pacatuba	Paracuru	Paraipaba	Pindoretama	São Gonçalo do Amarante	São Luis do Curu	Trairi
2007	82	119	85	61	83.6	77	125	123	72	74
2008	95.6	113.8	88.6	66	91	72	104	61.4	158	81
2009	105	203.8	113	70	81	121	99	100	141	91
2010	102	73.6	66	51	51	53	101	80	52	77
2011	90	90	85	75	84	60	115	60.2	91	100
2012	73	77.8	77.2	65	75	63	90	59	24	48
2013	42	50.2	46.2	69	98	125	77	63	51	64
2014	63	60	39.2	75	67.8	85	71	57	50	50
2015	98	100	57	146	79	99	82	51	45	109
2016	83	60.8	47	56	150	233	145	63	101	217

Tabela 4 – Precipitações diárias máximas para a cidade de Fortaleza (mm).

Ano	P. Máxima						
1919	67	1944	84	1969	72	1994	83
1920	125	1945	69	1970	134	1995	137
1921	97	1946	94	1971	138	1996	85
1922	74	1947	98	1972	136	1997	92
1923	91	1948	110	1973	76	1998	86
1924	70	1949	227	1974	128	1999	44
1925	67	1950	78	1975	65	2000	90
1926	67	1951	67	1976	85	2001	103
1927	65	1952	118	1977	168	2002	110
1928	97	1953	59	1978	122	2003	146
1929	81	1954	68	1979	117	2004	173
1930	64	1955	66	1980	84	2005	97
1931	85	1956	69	1981	161	2006	119
1932	56	1957	120	1982	74	2007	81
1933	65	1958	55	1983	91	2008	68
1934	103	1959	106	1984	112	2009	84
1935	102	1960	115	1985	145	2010	65
1936	69	1961	150	1986	142	2011	198
1937	83	1962	81	1987	83	2012	197
1938	148	1963	172	1988	87	2013	47
1939	91	1964	112	1989	62	2014	43
1940	61	1965	74	1990	61	2015	132
1941	94	1966	63	1991	104	2016	100
1942	51	1967	113	1992	82		
1943	131	1968	65	1993	83		

A maior média das precipitações diárias máximas anuais foi de 102,01 mm para a cidade de Aquiraz, e a menor foi de 64,89 mm para a cidade de Chorozinho. A maior precipitação diária observada foi de 253 mm e aconteceu na cidade de Eusébio no ano de 2004. Fortaleza apresentou uma média das precipitações máximas 97,23 mm e sua maior chuva diária ocorreu no ano de 1949 com 227 mm.

Após a definição das séries de máximas anuais, foram realizados os testes de aderência com os valores observados e estimados a partir de cinco distribuições de probabilidade: Gamma II, Gumbel, Gamma III, LogNormal II e LogNormal III.

Para cada cidade, todos os índices e coeficientes de correlação encontrados foram analisados. A partir dessa análise foi escolhida a distribuição

de probabilidade de melhor ajuste. Essa escolha foi realizada com base nos resultados dos testes de aderência. Dentre as distribuições que tiveram como aceita a hipótese de que representam adequadamente a série de dados, foi escolhida aquela cujos valores dos desvios foram inferiores.

A partir da distribuição de probabilidade escolhida, as precipitações diárias máximas para vários períodos de retorno foram encontradas para cada município. Esses valores então foram convertidos em chuvas de duração de 24h segundo a metodologia de Torrico (1974). Assim, as intensidades de precipitação para diferentes durações foram encontradas para cada município por meio da desagregação desses valores de precipitação. Os valores dos parâmetros da equação IDF para cada município foram encontrados de acordo com a metodologia utilizada por Fachine Sobrinho (2014) descrita anteriormente e estão listados na Tabela 5 juntamente com a distribuição escolhida e a respectiva isozona de localização.

Por meio dos resultados mostrados na Tabela 5, nota-se que os valores dos parâmetros c e n se mostraram invariáveis para a grande maioria das cidades da RMF, com exceção apenas de Chorozi-

nho, o único município que pertence a uma isozona diferente (isozona D). Segundo Aragão et al. (2013), isso é consequência do procedimento de cálculo baseado na metodologia de desagregação, já que para dados de pluviógrafos não é observado.

O parâmetro a possuiu amplitude variando de 12,83 a 24,138, tendo seus maiores valores concentrados nas cidades de Aquiraz e Pindoretama. Já o parâmetro b possuiu valores que foram de 0,081 a 0,195. Seus maiores valores estão concentrados nos municípios de Paraipaba, São Gonçalo do Amarante e São Luís do Curu. Os valores do parâmetro s variaram de -2,15 a -2,01.

Os resultados da verificação da qualidade do ajuste estão apresentados na Tabela 6.

Podemos observar que os valores de R^2 mantiveram-se praticamente constantes e foram todos superiores a 0,98. Os valores dos Erros Relativos Médios foram todos inferiores a 3,1%. Pode-se perceber também que todos os resultados indicam que o intercepto (β) tende a 0 e o coeficiente angular da reta (α) tende a 1.

Tabela 5 - Parâmetros da equação IDF para os municípios da RMF.

Município	c	s	a	b	n	Distribuição utilizada	Isozona Taborga
Aquiraz	15.945	-2.110	24.048	0.126	0.760	GAMMA II	C
Cascavel	15.945	-2.040	22.360	0.133	0.760	GUMBEL	C
Caucaia	15.945	-2.100	21.052	0.106	0.760	GAMMA II	C
Chorozinho	13.866	-2.130	16.032	0.113	0.769	GAMMA II	D
Eusébio	15.945	-2.060	22.628	0.149	0.760	GUMBEL	C
Fortaleza	15.945	-2.070	21.711	0.138	0.760	GAMMA III	C
Guaiúba	15.945	-2.100	17.421	0.109	0.760	GAMMA II	C
Horizonte	15.945	-2.020	17.552	0.123	0.760	GUMBEL	C
Itaitinga	15.945	-2.020	19.315	0.125	0.760	GUMBEL	C
Maracanaú	15.945	-2.140	19.221	0.081	0.760	GAMMA III	C
Maranguape	15.945	-2.030	19.359	0.126	0.760	GUMBEL	C
Pacajus	15.945	-2.110	19.479	0.133	0.760	GAMMA II	C
Pacatuba	15.945	-2.010	17.600	0.115	0.760	GUMBEL	C
Paracuru	15.945	-2.030	22.136	0.119	0.760	LOG NORMAL II	C
Paraipaba	15.945	-2.070	19.357	0.195	0.760	GAMMA III	C
Pindoretama	15.945	-2.150	24.138	0.087	0.760	GAMMA III	C
São G. do Amarante	15.945	-2.090	12.830	0.181	0.760	LOGNORMAL III	C
São Luis do Curu	15.945	-2.040	16.241	0.179	0.760	LOGNORMAL II	C
Trairi	15.945	-2.080	16.116	0.188	0.760	LOG NORMAL III	C

Tabela 6 - Índices de verificação da qualidade do ajuste

Município	R ²	ERM	α	β
Aquiraz	0.983	0.031	0.985	0.030
Cascavel	0.984	0.030	0.983	0.029
Caucaia	0.983	0.030	0.985	0.024
Chorozinho	0.989	0.025	0.988	0.014
Eusébio	0.984	0.031	0.984	0.032
Fortaleza	0.983	0.030	0.981	0.030
Guaiúba	0.983	0.030	0.983	0.020
Horizonte	0.984	0.030	0.984	0.021
Itaitinga	0.984	0.030	0.983	0.024
Maracanaú	0.983	0.030	0.985	0.019
Maranguape	0.984	0.030	0.982	0.024
Pacajus	0.983	0.031	0.983	0.026
Pacatuba	0.984	0.030	0.983	0.020
Paracuru	0.984	0.030	0.983	0.027
Paraipaba	0.983	0.030	0.979	0.037
Pindoretama	0.983	0.030	0.984	0.025
São G. do Amarante	0.983	0.031	0.984	0.025
São Luis do Curu	0.984	0.030	0.980	0.027
Trairi	0.983	0.031	0.980	0.030

3.2 Comparação entre as equações IDF geradas por pluviógrafos e pluviômetros para a cidade de Fortaleza

A Equação 3 abaixo foi construída por Silva, Palácio Junior e Campos (2013) a partir de dados de 30 anos de registros pluviográficos (1970-1999) do pluviógrafo da estação climatológica da Universidade Federal do Ceará- Campus do PICI.

$$i = 2345,29 \cdot T^{0,173} (t + 28,31)^{0,904} \quad (3)$$

Em que: I é a intensidade em mm/h; T é o tempo de retorno em anos e t é a duração da chuva em min.

A fim de comparar os resultados obtidos pela metodologia de desagregação, implementada neste estudo, com os da Equação 3, a equação IDF para a cidade de Fortaleza foi obtida neste trabalho por meio dos dados do posto pluviométrico do PICI para o período de observação de 1919 a 2016 (98 anos de dados) e está mostrada na Equação 4.

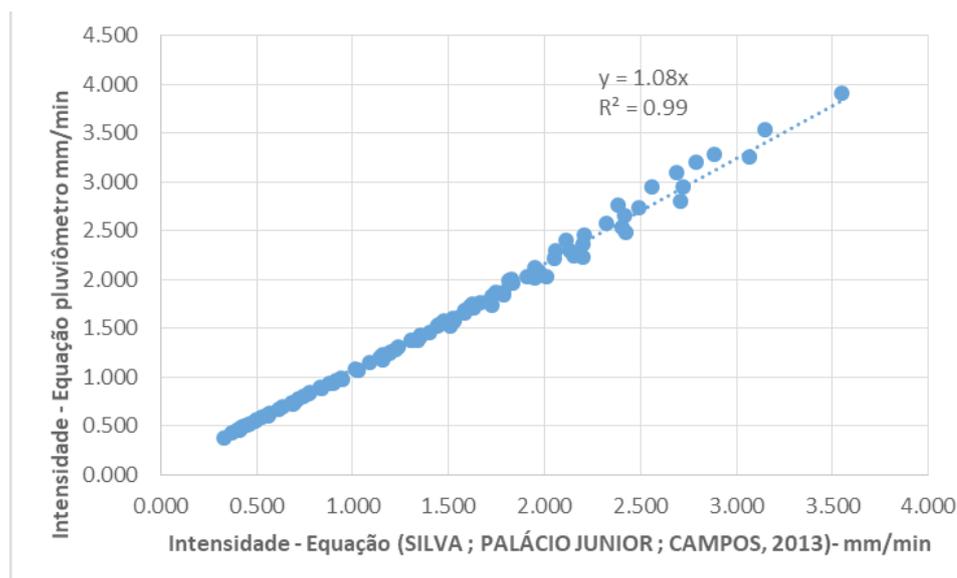
$$I = 21,711 \cdot (T^r - 2,07)^{0,138} (t + 15,945)^{0,76}, \text{ para } 5 \text{ min} < t < 240 \text{ min.} \quad (4)$$

Em que: I é a intensidade em mm/min; T é o tempo de retorno em anos e t é a duração da chuva em min.

O gráfico de correlação linear da Figura 2 foi construído com os valores das intensidades de chuva obtidas pelas duas equações para períodos de retorno de 5, 10, 15, 20, 25, 30, 50 e 100 anos e para durações de até 240 min.

No eixo x encontram-se os valores obtidos pela equação desenvolvida por Silva, Palácio Junior e Campos (2013), e no eixo y os valores obtidos pela equação construída pelo programa. O coeficiente angular da linha de tendência do gráfico gerado foi de 1,08, que é próximo da unidade. Um valor desse coeficiente igual a 1 representaria a igualdade dos resultados obtidos pelas duas equações. O Erro Relativo Médio encontrado por meio da comparação dos resultados gerados pelas duas equações foi de 0,069. Dessa forma, os resultados obtidos pela equação gerada pelo algoritmo representam bem os resultados obtidos pela equação gerada pelos dados dos pluviógrafos.

Figura 2: Correlação linear entre os valores de intensidade obtidos pela equação de Silva, Palácio Junior e Campos (2013) e pelo algoritmo desenvolvido neste trabalho.



Fonte: A autora.

4 CONCLUSÕES

Pode-se concluir que métodos para a determinação das chuvas intensas para regiões que não possuem pluviógrafo são ferramentas úteis e necessárias e devem ser cada vez mais aprimorados.

A vasta densidade pluviométrica do Brasil favorece o desenvolvimento de metodologias baseadas em dados de pluviômetros para determinação das chuvas intensas de uma determinada região.

Para a cidade de Fortaleza, a equação gerada por dados de pluviômetros apresentou uma alta correlação com os dados gerados pela equação padrão. Os valores das intensidades obtidos pela equação IDF calculada pelo programa para a cidade de Fortaleza foram comparados com os obtidos pela equação gerada por Silva, Palácio Junior e Campos (2013) por meio de dados de pluviógrafos. Os bons ajustes apresentados pelos coeficientes de determinação e angular, respectivamente, 0,99 e 1,08, sugerem que os resultados encontrados pela metodologia de desagregação, implementada neste estudo, reproduzem adequadamente as

intensidades calculadas pela equação IDF de Silva, Palácio Junior e Campos (2013).

Dentre as distribuições de probabilidade estudadas, a Gumbel foi a mais utilizada, sendo definida como a de melhor ajuste para 6 dos 19 municípios, seguida pela Gamma II, que foi definida como de melhor ajuste para 5 municípios. A Log Normal 2 e 3 parâmetros foi a menos utilizada, apenas 2 municípios cada.

As equações IDF para todos os municípios da Região Metropolitana de Fortaleza puderam ser encontrados e podem ser utilizados como base em projetos hidráulicos. Os resultados mostraram que a metodologia utilizada proporcionou um bom ajuste dos parâmetros das equações IDF, o que proporciona uma maior segurança na sua utilização.

REFERÊNCIAS

ARAGÃO, R.; SANTANA, G. R.; 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*, Campina Grande, v. 17, n. 3, p.243-252, 21 dez. 2013.

- BASSO, Raviel Eurico et al. Revisão das isozonas de chuvas intensas do Brasil. **Eng. Sanit. Ambient.**, Rio de Janeiro, v. 21, n. 4, p. 635-641, Dec. 2016.
- DAME, Rita de C. F.; TEIXEIRA, Claudia F. A.; TERRA, Viviane S. S.. Comparação de diferentes metodologias para estimativa de curvas intensidade-duração-frequência para Pelotas - RS. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 28, n. 2, Junho 2008.
- ELSEBAIE, I. H. Developing rainfall intensity-duration-frequency relationship for two regions in Saudi Arabia. **Journal of King Saud University**, v.24, p.131-140, 2012.
- FECHINE SOBRINHO, V. et. al. Desenvolvimento de equações Intensidade-Duração-Frequência sem dados pluviográficos em regiões semiáridas. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, Campina Grande, v.19, n.7, p.727-734, 2014.
- FUNCEME – Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos: Produtos e serviços. Disponível em: <<http://www.funceme.br>>. Acesso em 10 de Janeiro de 2017.
- GENOVEZ, A. M., ZUFFO, A.C. Chuvas intensas no estado de São Paulo: estudos existentes e análise comparativa. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.5, n.3, p.45-58, 2000.
- NAGHETTINI, M.; PINTO, É. J. de. A. **Hidrologia Estatística**. Belo Horizonte: CPRM, 2007. 552 p.
- OLIVEIRA, L. F. C.; VIOLA, M. R.; PEREIRA, S., MORAIS, N. R. Modelos de predição de chuvas intensas para o estado do Mato Grosso, Brasil. **Ambi-Agua**, Taubaté, v. 6, n. 3, p. 274-290, 2011.
- SANTOS, G. G. et al. Intensidade-duração-frequência de chuvas para o Estado de Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, (Suplemento), p.899-905, 2009.
- SILVA, B. M. et al. Chuvas Intensas em localidades do Estado de Pernambuco. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 17, n. 3, p. 135-147, 2012.
- SILVA, F.O.E.; PALÁCIO JÚNIOR, F.F.R.; CAMPOS, J.N.. Equações de chuvas para Fortaleza-CE com dados do pluviógrafo da UFC. **Revista DAE**, São Paulo n. 192, p.48-59, 2013.
- SILVA, S.R. da; ARAÚJO, G.R. de S. Algoritmo para Determinação da Equação de Chuvas Intensas. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v.6, n.5, p. 1371-1383, 2013.
- SOUZA, R. O. R. de M.; SCARAMUSSA, P. H. M.; AMARAL, M. A. C. M. do; NETO, J. A. P.; PANTOJA, A. V.; SADECK, L. W. R.. Equações de chuvas intensas para o estado do Pará. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 9, p.999-1005, 2012.
- SOUZA, V.A.S. de.; DIAS, R.H.S.; SILVA FILHO, E.P. de.; NUNES, M.L.A.; ANDRADE, C.D.; ROSA, A.L.D.de.. Determining IDF Equations for the State of Rondônia. **Revista Brasileira de Climatologia**, v.18, n.12, p. 10-26, 2016.
- TORRICO, J. J. T. **Práticas Hidrológicas**. Rio de Janeiro: Transcon, 1974. 119 p.
- WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION - WMO. Manual for Estimation of Probable Maximum Precipitation. **Meteorological Organization**. Geneva, 1973. 190 p.