

XXIV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

ANÁLISE DE DESEMPENHO DO MODELO ALTERNATIVO DE EQUAÇÃO DE CHUVAS INTENSAS APLICADO A LOCALIDADES DO CEARÁ

Dayanne Rodrigues Oliveira¹; Tatiane Lima Batista²; Alan Michell Barros Alexandre³; Janine Brandão de Farias Mesquita⁴

RESUMO - Back (2020) propôs um modelo alternativo de equação IDF com base na desagregação da chuva diária que apresenta como vantagens uma melhor precisão da estimativa das intensidades em relação aos dados desagregados e a facilidade de atualização da equação IDF. Diante disso, o objetivo deste trabalho foi propor e avaliar o desempenho de equações IDF ajustadas ao modelo alternativo. Para isso, séries históricas de precipitações diárias máximas foram construídas e ajustadas a distribuições de probabilidade a partir de dados pluviométricos de estações localizadas nos municípios de Fortaleza-CE e Quixeramobim-CE. Os parâmetros das equações IDF foram ajustados de acordo com a metodologia de Back (2020). A qualidade do ajuste dos parâmetros foi verificada pelo cálculo do coeficiente de NASH, EPE e análise do somatório dos quadrados dos desvios. As equações foram comparadas a equações levantadas na literatura ajustadas para as regiões. O modelo apresentou bons resultados, se sobressaindo em relação ao modelo tradicional no que diz respeito à qualidade do ajuste das equações IDF às intensidades de chuva desagregadas.

ABSTRACT - Back (2020) proposed an alternative model of the IDF equation based on the disaggregation of daily rain, which presents as advantages the better precision of the estimation of the intensities in relation to the disaggregated data and the ease of updating the IDF equation. Therefore, the objective of this work was to propose and evaluate the performance of IDF equations adjusted to the alternative model. For this, historical series of maximum daily rainfall were constructed and adjusted to probability distributions based on data from rainfall gauge station located in the municipalities of Fortaleza and Quixeramobim. The parameters of the IDF equations were adjusted according to the methodology of Back (2020). The quality of the adjustment of the parameters was verified by calculating the NASH, EPE coefficient and analyzing the sum of the squares of the deviations. The equations were compared equations raised in the literature adjusted for the regions. The model presented good results, standing out in relation to the traditional model with regard to the quality of the adjustment of the IDF equations to the disaggregated rainfall intensities.

Palavras-Chave –Equação IDF, Método das relações entre durações, Modelo alternativo.

¹) Graduanda em Engenharia Civil, Universidade Federal do Ceará: BR 226, km 4, Lado par. Bairro José Rosa. Crateús-CE, (88) 3691-9700, oliveirarodriguesdayanneday@gmail.com.

²) Prof^a Assistente, Universidade Federal do Ceará. BR 226, km 4, Lado par. Bairro José Rosa. Crateús-CE, (88) 3691-9700, tatiane@crateus.ufc.br.

³) Prof. Adjunto, Universidade Federal do Ceará: BR 226, km 4, Lado par. Bairro José Rosa. Crateús-CE, (88) 3691-9700, alanmichell@crateus.ufc.br.

⁴) Prof^a. Assistente, Universidade Federal do Ceará: BR 226, km 4, Lado par. Bairro José Rosa. Crateús-CE, (88) 3691-9700, janine@crateus.ufc.br.

INTRODUÇÃO

Uma completa caracterização de um evento de chuva é feita quando se conhece sua intensidade, duração e frequência. As relações entre essas variáveis são expressas por meio de uma equação de chuvas intensas ou equação IDF (BACK, 2020). É necessário conhecer as características desses eventos de chuvas intensas para desenvolver projetos de planejamento e dimensionamento de obras hidráulicas, como, por exemplo, vertedouros e dispositivos de drenagem (PASSOS *et al.*, 2021).

A chuva diária, medida uma vez ao dia em um pluviômetro, é o dado mais acessível em termos do tamanho das séries históricas e da densidade das redes. Na ausência de pluviógrafos, aparelhos que fornecem dados de chuva com alta resolução temporal, é possível estimar intensidades de precipitações diretamente ou através de interpolação espacial dos dados de um outro posto pluviográfico. Entretanto, essa prática tende a não fornecer valores representativos comprometendo a segurança e economia de projetos de engenharia (HERNANDEZ, 2008).

Os dados de chuvas diárias podem ser desagregados em chuvas de durações menores por meio do emprego de métodos de desagregação, como a metodologia de Bell, das isozonas e o método das relações entre durações (BACK, 2020). O método das relações entre durações, proposto pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental de São Paulo (CETESB) em 1979, tem grande aplicação em função da vasta rede de pluviômetros com séries históricas longas disponíveis espalhadas em quase todo o território brasileiro, e consiste no emprego de coeficientes de desagregação (TUCCI, 1997).

Esse modelo tradicional gera valores do quadrado dos desvios altos para valores extremos de períodos de retorno e para curtas durações. Em casos como projetos de drenagem é comum utilizar o período de retorno como 2 anos e duração de 5 a 10 minutos. Para estes valores, o modelo tradicional pode propor alturas pluviométricas subestimadas. Sendo assim, uma forma de obter um valor mais preciso seria ajustar mais de uma equação para diferentes intervalos de duração. No entanto, essa alternativa pode dificultar ainda mais o processo de obtenção da equação e tornar a implementação computacional inviável (BACK, 2020).

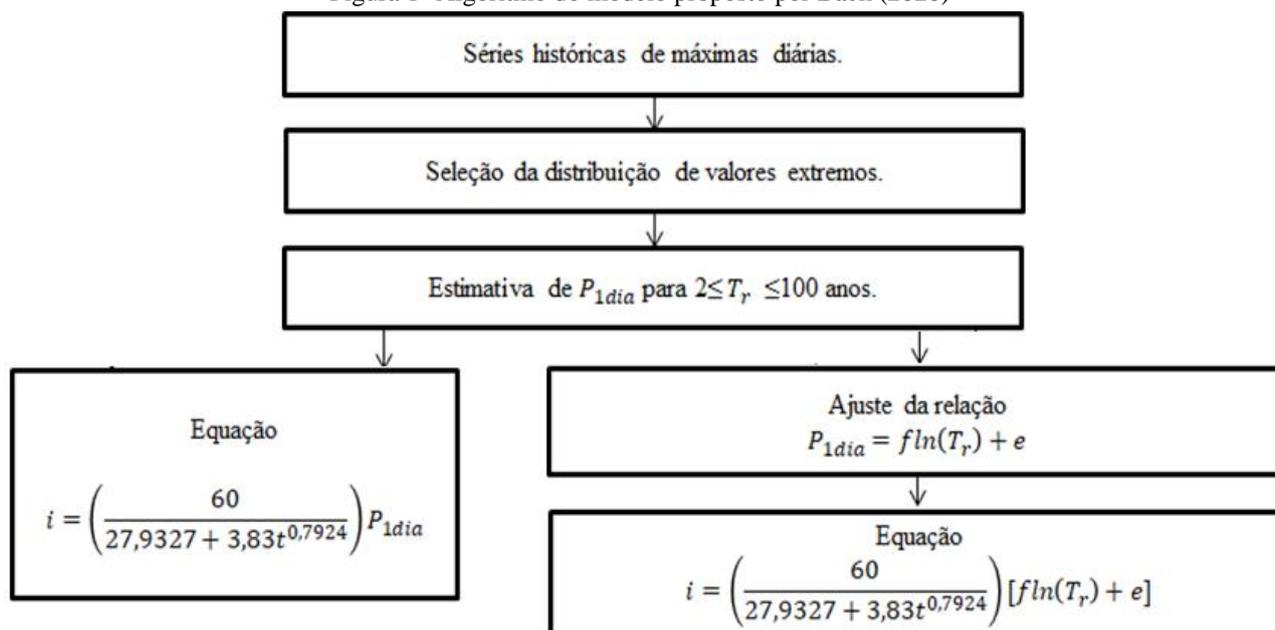
O modelo alternativo de equação de chuvas intensas foi proposto por Back (2020) para obtenção de equações IDF com base nos coeficientes de desagregação de chuvas diárias do método de relações entre durações. O autor aponta como vantagens a melhor precisão da estimativa das intensidades em relação aos dados desagregados e a facilidade de atualização da equação IDF, que pode ser realizada alterando apenas o valor da chuva máxima diária, associada ao período de retorno correspondente, que varia de acordo com a localidade (BACK, 2020).

Diante dessa nova metodologia de construção de equações IDF baseada em dados pluviométricos apresentada na literatura, este trabalho teve por objetivo propor e avaliar o desempenho de equações IDF ajustadas ao modelo alternativo, comparando-as com as equações ajustadas por Silva *et al.* (2013) e Denardin e Freitas (1982) para Fortaleza-CE e Quixeramobim-CE, respectivamente, através de dados pluviográficos.

MATERIAL E MÉTODOS

A Figura 1 mostra o algoritmo do modelo alternativo proposto por Back (2020) que foi seguido neste trabalho. As etapas serão descritas de forma mais detalhada nas seções seguintes.

Figura 1- Algoritmo do modelo proposto por Back (2020)



Fonte: Adaptado de Back (2020).

Séries históricas de máximas diárias

Os municípios de Quixeramobim-CE e Fortaleza-CE foram escolhidos por possuírem equações IDF ajustadas com base em dados de postos pluviográficos (Equações 1 e 2, respectivamente), que foram usadas como referência para a avaliação do desempenho das equações ajustadas neste trabalho.

$$i = \frac{2.847,22 \times Tr^{0,30}}{(t+43)^{0,97}} \quad (1)$$

Em que: i é a intensidade em mm/h; Tr é o período de retorno e t é a duração da chuva em minutos. A Equação 1 tem validade para durações inferiores a 1440 min e períodos de retorno inferiores a 15 anos.

$$i = \frac{2.345,29 \times Tr^{0,173}}{(t+28,31)^{0,904}} \quad (2)$$

Em que: i é a intensidade em mm/h; Tr é o período de retorno e t é a duração da chuva em minutos. A Equação 2 tem validade para durações entre 5 e 120 min e períodos de retorno entre 5 e 100 anos.

Os dados pluviométricos foram coletados no portal Hidroweb, disponibilizados pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). Após análise das séries de dados, foi escolhido o posto com maior quantidade de anos de observação para cada município. Em seguida, foram geradas a séries anuais de precipitações diárias máximas para cada posto escolhido. A Tabela 1 apresenta as informações dos postos.

Tabela 1- Informações dos postos pluviométricos

Município	Código	Lat (°)	Lon (°)	Quantidade de anos
Fortaleza	00338001	-3,75	-38,58	93
Quixeramobim	00539012	-5,20	-39,28	46

Fonte: Os autores (2021).

Seleção da distribuição de valores extremos e estimativa da precipitação de 1 dia para vários períodos de retorno

Foram analisados os ajustes das séries de máximas anuais a cinco distribuições de probabilidade: Gamma com 2 parâmetros, Gumbel, Log- Normal com 2 parâmetros, Gamma com 3 parâmetros e Log-Normal com 3 parâmetros. Para definir a distribuição, na qual os dados se ajustaram de maneira mais satisfatória, foram levados em consideração os resultados do teste de aderência do Qui-Quadrado e o coeficiente de determinação, além da análise de três índices estatísticos: Desvio Quadrático Médio (DQM), Desvio Quadrático Residual (DQR) e Desvio Médio Absoluto (DMA). A distribuição selecionada foi a que teve teste de aderência aceito e melhores resultados dos índices estatísticos. Utilizando a função inversa da distribuição de probabilidade escolhida, foram determinadas as precipitações diárias máximas associadas aos períodos de retorno de 2, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 50 e 100 anos. Essa etapa foi realizada automaticamente através do software *Gerador IDF* desenvolvido por Alves (2015) e Batista (2018).

Ajuste dos parâmetros da equação IDF

Os coeficientes da Tabela 2 foram calculados pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental de São Paulo (CETESB) em 1979. A partir desses coeficientes é possível desagregar chuvas diárias em chuvas de durações menores, a esta metodologia de desagregação foi atribuído o nome de Método das Relações entre Durações.

Tabela 2 – Relações entre durações

Relação	Brasil	Relação	Brasil	Relação	Brasil
5min/30min	0,34	30min/1h	0,74	12h/24h	0,85
10min/30min	0,54	1h/24h	0,42	24h/1dia	1,14*
15min/30min	0,70	6h/24h	0,72	24h/1dia	1,10**
20min/30min	0,81	8h/24h	0,78	*Valor da cidade de São Paulo.	
25min/30min	0,91	10h/24h	0,82	**TaborgaTorrico (1974).	

Fonte: Tucci (1997).

No modelo tradicional, as precipitações diárias máximas anuais são desagregadas, aplicando-se esses coeficientes e então são calculadas as intensidades para várias durações e períodos de retorno. Utilizando esses dados desagregados, são ajustados os parâmetros da equação IDF, que, geralmente, são da forma mostrada na Equação 3:

$$i = \frac{a \times T_r^b}{(t+c)^d} \quad (3)$$

Em que: i é a intensidade da precipitação (mm/h), t é a duração da precipitação (min); T_r é o período de retorno (anos) a, b, c, d são parâmetros regionais.

Back (2020) propôs um modelo alternativo de equação IDF e a partir desses coeficientes (Tabela 2), ajustou a Equação 4:

$$i = \left(\frac{60}{27,9327 + 3,8346t^{0,7924}} \right) P_{1dia} \quad (4)$$

Em que: i é a intensidade da precipitação em mm/h; t é a duração da precipitação em minutos; P_{1dia} é a precipitação máxima diária em mm associada a um período de retorno.

A Equação 4 varia com a precipitação máxima diária associada ao período de retorno, T_r , para o qual pretende-se calcular a intensidade, i , de duração, t .

Back (2020) sugere, ainda, a substituição de P_{1dia} por uma expressão que inclua o período de retorno, T_r (Equação 5). Sendo assim, a Equação 6 fornece uma forma mais generalista da Equação 2, em que a intensidade da precipitação varia com a duração, t , e o período de retorno, T_r .

$$P_{1dia} = dLn(T_r) + e \quad (5)$$

$$i = \left(\frac{60}{27,9327 + 3,8346t^{0,7924}} \right) [dLn(T_r) + e] \quad (6)$$

Em que: P_{1dia} é a precipitação máxima diária em mm associada a um período de retorno; T_r é o período de retorno em anos; d, e são parâmetros regionais ajustados por regressão logarítmica dos valores de máxima precipitação diária e período de retorno.

Os coeficientes d e e foram ajustados por regressão logarítmica dos valores de máxima precipitação diária e período de retorno com o auxílio da ferramenta *Linha de Tendência – Regressão logarítmica* disponível no software *Excel*. Além disso, o programa fornece a equação que melhor descreve o comportamento dos dados e o valor do R^2 .

Verificação da qualidade do ajuste dos parâmetros

Para avaliar a qualidade do ajuste dos parâmetros, as precipitações diárias associadas aos períodos de retorno foram desagregadas, utilizando os coeficientes da Tabela 2. As intensidades obtidas com essa desagregação foram tomadas como referência para a análise.

As métricas estatísticas utilizadas foram o cálculo do coeficiente NS proposto por Nash-Sutcliffe (1970), Erro Padrão de Estimativa (EPE), conforme Batista (2018), e análise da função S, que é a soma do quadrado dos desvios.

Essa análise foi realizada para as Equações 4 e 6.

Avaliação de desempenho do método de desagregação

Foram realizadas comparações entre as equações IDF ajustadas neste trabalho e equações IDF geradas a partir de dados de pluviógrafos propostas por Dernadin e Freitas (1982) para Quixeramobim (Equação 1) e por Silva *et al.* (2013) para Fortaleza (Equação 2).

As métricas utilizadas para analisar a concordância entre as duas equações foram o cálculo do Índice de Concordância (IC), descrito na Equação 7, e o Índice de Desempenho (ID) de Willmott. O valor de ID é definido pelo produto entre IC e o coeficiente de determinação R^2 . Um valor de ID acima de 0,85 indica um desempenho considerado Ótimo. (CAMARGO; SENTELHAS, 1997).

$$IC = \left(1 - \frac{\sum(O_i - E_i)^2}{\sum(|O_i - O_m| + |E_i - E_m|)^2} \right) \quad (7)$$

Em que: O_i e E_i são as intensidades calculadas pela equação IDF feita com base em dados de pluviógrafos e pluviômetros, respectivamente. O_m e E_m são as médias das intensidades calculadas pela equação IDF feita com base em dados de pluviógrafos e pluviômetros, respectivamente.

Foi realizada também uma análise da reta de regressão linear entre as intensidades calculadas pelas duas equações e do coeficiente de determinação R^2 .

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Seleção da distribuição de valores extremos e estimativa da precipitação de 1 dia para vários períodos de retorno

As distribuições de probabilidade escolhidas foram a Gumbel e a Gamma 2P para Fortaleza-CE e Quixeramobim-CE, respectivamente, por apresentarem melhor desempenho na análise global

dos resultados do teste de aderência e índices estatísticos. Os resultados dos testes de aderência e dos índices estatísticos para os dados desses postos estão descritos em Oliveira (2021).

A Tabela 3 apresenta as estimativas para precipitações diárias máximas associadas aos diferentes períodos de retorno para cada estação.

Tabela 3 – Precipitação máxima diária associada a períodos de retorno e as estações pluviométricas

T_r (anos)	Precipitação diária máxima (mm)		T_r (anos)	Precipitação diária máxima (mm)	
	Fortaleza-CE	Quixeramobim-CE		Fortaleza-CE	Quixeramobim-CE
2	92,7	65,5	25	168,1	102,8
5	122,9	82,1	30	173,0	104,8
10	142,9	91,7	50	182,5	110,3
15	154,1	96,8	100	205,4	117,5
20	162,0	100,2			

Fonte: Os Autores (2021).

Os valores obtidos foram utilizados para estimativa dos parâmetros d e e .

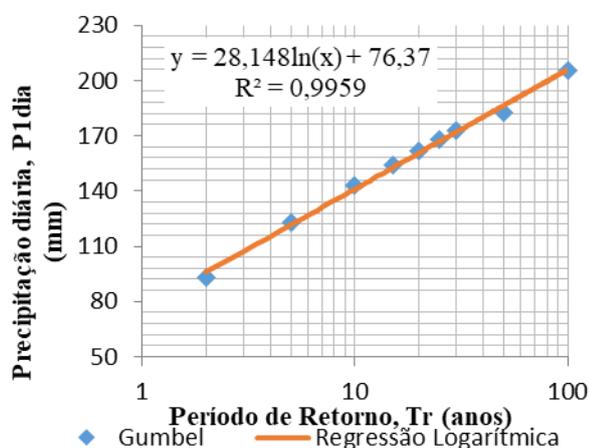
Ajuste dos parâmetros da equação IDF

As Figuras 2 e 3 apresentam a reta de regressão obtida no ajuste dos parâmetros d e e para Fortaleza – CE e Quixeramobim – CE, respectivamente.

A série de precipitações diárias máxima anuais da estação pluviométrica de Fortaleza – CE foi ajustada a distribuição de Gumbel, obtendo-se resultados bons para os índices estatísticos e com teste de aderência aceito. Através da Figura 2 é possível notar que os valores obtidos pela função de probabilidade (pontos em azul) estão bem próximos da reta de regressão (reta laranja). Além disso, o valor do coeficiente de determinação, R^2 , é superior a 0,99 sugerindo que o ajuste dos dados ao modelo logarítmico é bom.

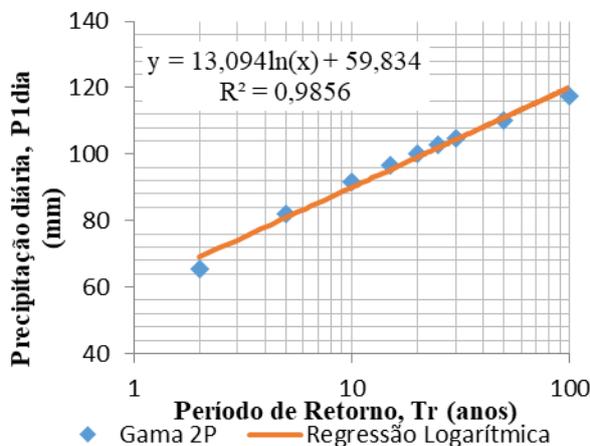
A série de precipitações diárias máxima anuais da estação pluviométrica de Quixeramobim – CE foi ajustada a distribuição de Gama 2P, obtendo-se resultados bons para os índices estatísticos e com teste de aderência aceito. Pela Figura 3 é possível notar que os valores obtidos pela função de probabilidade (pontos em azul), assim como no caso da estação de Fortaleza – CE, estão bem próximos da reta de regressão (reta laranja). Além disso, o valor do coeficiente de determinação, R^2 , é igual a 0,9856, indicando que o ajuste dos dados ao modelo logarítmico é bom.

Figura 2 – Ajuste dos parâmetros d e e – Fortaleza-CE



Fonte: Os Autores (2021).

Figura 3 – Ajuste dos parâmetros d e e – Quixeramobim-CE



Fonte: Os Autores (2021).

As equações IDF encontradas pelo modelo alternativo para os municípios de Fortaleza - CE e Quixeramobim – CE estão descritas nas Equações 8 e 9, respectivamente.

$$i = \frac{60}{27,9327+3,8346t^{0,7924}} [28,148 \ln (T_r) + 76,370] \quad (8)$$

$$i = \frac{60}{27,9327+3,8346t^{0,7924}} [13,094 \ln (T_r) + 59,834] \quad (9)$$

Em que: i é a intensidade da precipitação em mm/h; t é a duração da precipitação em minutos e T_r é o período de retorno em anos.

Verificação da qualidade do ajuste dos parâmetros

As Tabelas 4 e 5 apresentam os valores das intensidades máximas associadas a diferentes durações e períodos de retorno, obtidas através da aplicação dos coeficientes de desagregação do método das relações entre durações para Fortaleza-CE e Quixeramobim-CE, respectivamente. Estes valores foram utilizados como referência para avaliação da qualidade do ajuste dos parâmetros das equações.

Tabela 4 – Intensidades máximas associadas a diferentes períodos de retorno e durações (mm/h) – Método das relações entre durações para Fortaleza

t (min)	T_r (anos)								
	2	5	10	15	20	25	30	50	100
5	129,3	171,4	199,3	214,9	226,0	234,5	241,3	254,6	286,5
10	102,7	136,1	158,3	170,7	179,4	186,2	191,6	202,2	227,5
15	88,7	117,6	136,8	147,5	155,1	160,9	165,6	174,7	196,6
20	77,0	102,1	118,7	128,0	134,6	139,7	143,7	151,6	170,6
25	69,2	91,8	106,7	115,1	121,0	125,5	129,2	136,3	153,4
30	63,4	84,0	97,7	105,4	110,8	114,9	118,3	124,8	140,4
60	42,8	56,8	66,0	71,2	74,8	77,7	79,9	84,3	94,9
360	12,2	16,2	18,9	20,3	21,4	22,2	22,8	24,1	27,1
480	9,9	13,2	15,3	16,5	17,4	18,0	18,6	19,6	22,0
600	8,4	11,1	12,9	13,9	14,6	15,2	15,6	16,5	18,5
720	7,2	9,6	11,1	12,0	12,6	13,1	13,5	14,2	16,0
1440	4,2	5,6	6,5	7,1	7,4	7,7	7,9	8,4	9,4

Fonte: Os Autores (2021).

Tabela 5 – Intensidades máximas associadas a diferentes períodos de retorno e durações (mm/h) – Método das relações entre durações para Quixeramobim

t (min)	T_r (anos)								
	2	5	10	15	20	25	30	50	100
5	91,4	114,5	127,9	135,0	139,8	143,4	146,2	153,9	163,9
10	72,6	90,9	101,6	107,2	111,0	113,9	116,1	122,2	130,2
15	62,7	78,6	87,8	92,7	95,9	98,4	100,3	105,6	112,5
20	54,4	68,2	76,2	80,4	83,2	85,4	87,1	91,6	97,6
25	48,9	61,3	68,5	72,3	74,8	76,8	78,3	82,4	87,7
30	44,8	56,1	62,7	66,2	68,5	70,3	71,7	75,4	80,3
60	30,3	37,9	42,4	44,7	46,3	47,5	48,4	51,0	54,3
360	8,6	10,8	12,1	12,8	13,2	13,6	13,8	14,6	15,5
480	7,0	8,8	9,8	10,4	10,7	11,0	11,2	11,8	12,6
600	5,9	7,4	8,3	8,7	9,0	9,3	9,5	9,9	10,6
720	5,1	6,4	7,1	7,5	7,8	8,0	8,2	8,6	9,2
1440	3,0	3,8	4,2	4,4	4,6	4,7	4,8	5,1	5,4

Fonte: Os Autores (2021)

Na Tabela 6 estão expostos os valores encontrados para o coeficiente de NS, Erro Padrão de Estimativa e a função S para as Equações 8 e 9.

Tabela 6– Coeficiente de Nash-Sutcliffe, EPE e S

Estação	NS	EPE	S ($mm.h^{-1}$) ²
Fortaleza – CE	1,00	0,04	2353,30
Quixeramobim - CE	1,00	0,05	975,40

Fonte: Os Autores (2021)

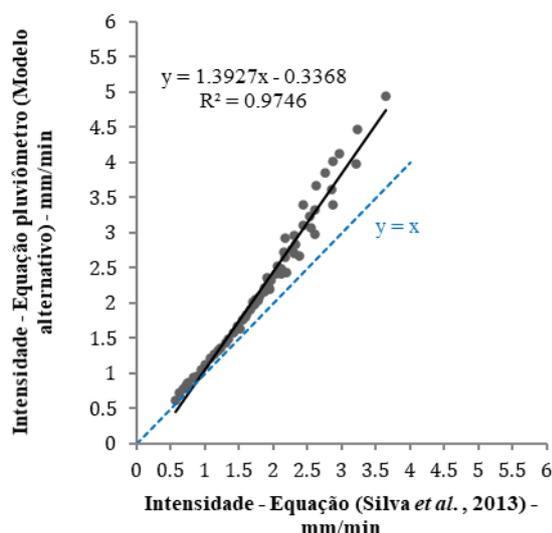
Analisando os valores obtidos é possível perceber que o modelo alternativo apresenta excelentes ajustes em relação aos dados desagregados, com NS igual a 1 e EPE próximo de 0 para as duas estações. A equação não ajustada (Equação 4) fornece valores ainda melhores da função S, 2131,1 ($mm.h^{-1}$)² para a estação de Fortaleza – CE e 808,1 ($mm.h^{-1}$)² para a estação de Quixeramobim. Esses valores devem ser comparados com os encontrados utilizando equações IDF ajustadas através do método tradicional para verificar se um se sobressai em relação ao outro. Para as estações pluviométricas aqui estudadas, esses valores foram apresentados em Oliveira (2021) e são de S=3691,46 ($mm.h^{-1}$)² para Fortaleza-CE e 1263,00 ($mm.h^{-1}$)² para Quixeramobim-CE. Percebe-se, portanto, que o modelo alternativo se sobressai em relação ao modelo tradicional em relação a qualidade do ajuste de seus parâmetros às intensidades desagregadas.

Avaliação do desempenho das equações

Para o município de Quixeramobim, comparou-se as equações para um tempo de retorno de até 15 anos e durações de até 1440min. Para o município de Fortaleza, a comparação foi realizada para durações de até 120min e períodos de retorno de até 100 anos, considerando o intervalo de validade das equações.

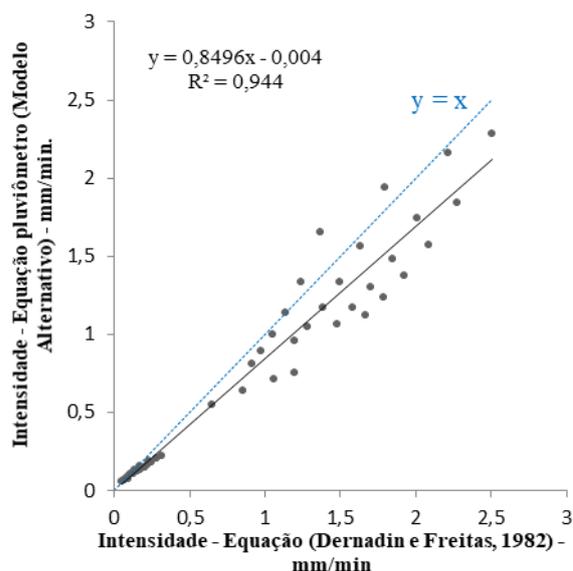
As Figuras 4 e 5 apresentam os gráficos de correlação entre as equações ajustadas neste trabalho e as equações padrões para Fortaleza-CE e Quixeramobim-CE, respectivamente.

Figura 4 – Correlação linear – Fortaleza



Fonte: Os Autores (2021)

Figura 5 – Correlação linear – Quixeramobim



Fonte: Os Autores (2021)

A Tabela 7 apresenta a classificação da comparação de acordo com o índice de desempenho (ID).

Tabela 7 – Índice de Concordância (IC) e Índice de Desempenho (ID)

Estação	IC	ID	Classificação
Fortaleza – CE	0,91	0,89	Ótimo
Quixeramobim - CE	0,97	0,92	Ótimo

Fonte: Os Autores (2021)

O ID encontrado para as duas estações ficou acima de 0,85, classificando o desempenho das equações como ótimo. Para o município de Fortaleza, o coeficiente angular da linha de tendência foi de 1,39 e o coeficiente linear de -0,34. A distância dos pontos em relação a linha de referência $Y=X$ é menor para pequenas intensidades, estando bem próximos para valores inferiores a 1,5 mm/min. Infere-se disso que os valores das intensidades calculadas pela equação ajustada neste trabalho tendem a ser superiores aos valores calculados pela equação padrão e essa tendência aumenta com o aumento dos valores de intensidades. O valor negativo do coeficiente linear da equação da reta de tendência reforça essa afirmação, já que tende a reduzir de forma mais significativa os valores das intensidades quando estas são mais próximas de seu valor.

Para o município de Quixeramobim, o coeficiente angular da linha de tendência foi de 0,85 e o coeficiente linear apresentou valor muito próximo de zero. Sendo assim, pode-se inferir que a equação IDF ajustada neste trabalho tende a subestimar em torno de 15 % os valores das intensidades calculadas pela equação obtida por Denardin e Freitas (1982). É possível perceber, no entanto, que alguns pontos estão situados acima da reta de referência $Y=X$. Uma dispersão maior pode ser vista para valores de intensidades superiores a 0,5mm/min.

CONCLUSÃO

O modelo alternativo proposto por Back (2020) para a metodologia das relações entre durações, apresentou bons resultados, se sobressaindo em relação ao modelo tradicional no que diz respeito à qualidade do ajuste das equações IDF às intensidades de chuva desagregadas. É um modelo que possui vantagens relacionadas a uma maior facilidade para encontrar valores de intensidades de chuvas associadas a uma duração e a um período de retorno, utilizando apenas o valor da chuva diária associada ao período de retorno correspondente, sem a necessidade de utilizar métodos mais sofisticados para ajuste de parâmetros de equações IDF e sem a necessidade de realizar o procedimento de desagregação. Esse modelo pode ser útil também em situações em que não se dispõe de recursos para aplicação do método tradicional.

As equações encontradas se comportaram de formas diferentes para os dois municípios estudados, apresentando intensidades superiores às da equação padrão para Fortaleza-CE e inferiores para Quixeramobim-CE. É importante ressaltar que a equação proposta por Denardin e Freitas (1982) foi ajustada há quase 40 anos e necessita de atualização. Uma equação atualizada poderia apresentar resultados diferentes dos que foram encontrados neste trabalho, incorporando informações pluviométricas mais recentes e permitindo a análise de outros períodos de retorno.

A utilização de métodos de geração de equações de chuvas intensas a partir de dados pluviométricos é frequente no Brasil, em especial, no Ceará, onde os registros de precipitações com durações inferiores são, ainda, insuficientes. Diante disso, pode-se concluir que este trabalho trouxe contribuições relevantes, discutindo a análise de um modelo recente aplicado à região cearense, que se apresenta como uma alternativa para o cálculo de chuvas intensas.

REFERÊNCIAS

- ALVES, F.M. (2015). “*Desenvolvimento de um aplicativo computacional para obtenção de equações IDF em regiões desprovidas de pluviógrafos utilizando o método das isozonas*” (Brasil). (2015). Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil: Recursos Hídricos) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Juazeiro do Norte, 2015.
- BACK, Á.J. (2020). “*Modelo alternativo de equação de chuvas intensas obtida a partir da desagregação da chuva diária*”. RBRH- Revista Brasileira de Recursos Hídricos. Porto Alegre, v.25, e2, 2020.
- BATISTA, T.L. (2018). “*Geração de equações IDF dos municípios cearenses pelo método de desagregação por isozonas implementado em um programa computacional*” (Brasil). 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Centro de Tecnologia, Programa de PósGraduação em Engenharia Civil: Recursos Hídricos, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2018.
- CAMARGO, A.P.; SENTELHAS, P.C. (1997). “*Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativas de evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo, Brasil.*” Revista Brasileira de Agrometeorologia, v. 5, p. 89-97, 1997.
- DENARDIN, J. E.; FREITAS, P. L. de. (1982). “*Características fundamentais da chuva no Brasil.*” Pesq. agropec. bras., Brasília, v. 17, n.10: 1409-1416, out. 1982.
- HERNANDEZ, V. (2008). “*Regionalização dos Parâmetros de Escala em Chuvas Intensas*”. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Campinas, v. 13, n. 1, p. 91-98, mar. 2008.
- OLIVEIRA, D. R. “*Métodos de desagregação na geração de equações IDF: estudo comparativo aplicado a municípios cearenses providos de pluviógrafos*”. (2021). Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Campus de Crateús, Universidade Federal do Ceará, Crateús, 2021.
- PASSOS, J.B.M.C.; SILVA, D.D.; LIMA, R.P.C. (2021). “*Daily rainfall disaggregation coefficients for the doce river basin, Brazil: regional applicability and the return period influence*”. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.41, n.2, p.223-234, mar./apr. 2021
- SILVA, F.O.E.; PALÁCIO JÚNIOR, F.F.R.; CAMPOS, J.N.B. (2013) “*Equação de chuvas para Fortaleza-CE com dados do pluviógrafo da UFC.*” Revista DAE. Fortaleza, n. 192, p. 48 – 59, mai/ago. 2013.
- TUCCI, C.E.M. (Org.). (1997). *Hidrologia: ciência e aplicação*. 2. ed. Porto Alegre: Editora da Universidade: ABHR, 943p. 1997.