

## **IX-041 – ELABORAÇÃO DE UMA EQUAÇÃO DE CHUVAS INTENSAS PARA A CIDADE DE SOBRAL/CE POR MEIO DO MÉTODO ANALÍTICO**

**Gustavo Paiva Weyne Rodrigues<sup>(1)</sup>**

Engenheiro Civil. Professor Adjunto da Universidade Estadual Vale do Acaraú (UVA).

**Sarah Silveira Leite<sup>(2)</sup>**

Engenheira Civil pela Universidade Estadual do Vale do Acaraú (UVA).

**Luís Henrique Magalhães Costa<sup>(3)</sup>**

Engenheiro Civil. Professor Adjunto da Universidade Estadual Vale do Acaraú (UVA).

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Av. Dr. Guarany, 535 – Derby Clube – Sobral – CE – CEP: 62042-030 – Brasil – Tel.: (85) 99973.4672 - e-mail: gustavo\_weyne@uvanet.br

### **RESUMO**

A obtenção e conhecimento de dados pluviométricos têm importância significativa para se estimar as precipitações máximas que ocorrem com determinada frequência num lugar qualquer. Esses valores de precipitação ajudam na elaboração de projetos hidráulicos, como por exemplo: drenagem pluvial, vertedouros de barragens, sarjetas, galerias, calhas, bocas de lobo, piscinões, bueiros, entre outros.

As equações IDF são modelos matemáticos que relacionam intensidade, duração e frequência das chuvas intensas e são uma das maneiras de se conseguir estimar precipitações máximas, mesmo que não haja registros históricos dessas precipitações, ou quando esses estão em pequeno número. Esse estudo é feito a partir de dados pluviométricos da região que se estuda. A escassez desses dados resulta na dificuldade do desenvolvimento dessa equação.

Como existem obstáculos com os dados pluviométricos, são poucas as cidades que possuem essa equação, tornando, assim, necessário que para o dimensionamento de diversas obras hidráulicas sejam utilizadas equações de outros locais, o que leva à redução da confiabilidade na execução.

A cidade de Sobral, no Estado do Ceará, possui uma equação desenvolvida por Martins (2015). Com a importância do desenvolvimento de uma equação IDF e de uma atualização periódica, neste trabalho foi desenvolvida uma nova equação IDF, a partir de um método analítico como forma de se obter um resultado mais próximo da realidade.

**PALAVRAS-CHAVE:** Chuvas intensas, equação IDF, distribuição de probabilidade.

### **INTRODUÇÃO**

A obtenção e conhecimento de dados pluviométricos têm importância significativa para se estimar as precipitações máximas que ocorrem com determinada frequência em um lugar qualquer. Estes valores de precipitação ajudam na elaboração de projetos hidráulicos, como por exemplo: drenagem pluvial, vertedouros de barragens, sarjetas, galerias, calhas, bocas de lobo, piscinões, bueiros, entre outros.

As equações IDF são modelos matemáticos que relacionam intensidade, duração e frequência das chuvas intensas e são uma das maneiras de se conseguir estimar precipitações máximas, mesmo que não haja registros históricos dessas precipitações, ou quando esses estão em pequeno número. Este estudo é realizado a partir de dados pluviométricos da região que se estuda. A escassez destes dados resulta na dificuldade do desenvolvimento dessa equação.

Como existem obstáculos com os dados pluviométricos, são poucas as cidades que possuem essa equação, tornando, assim, necessário que para o dimensionamento de diversas obras hidráulicas sejam utilizadas equações de outros locais, o que leva a uma confiabilidade menor na execução.

A cidade de Sobral, no estado do Ceará, possui uma equação desenvolvida por Martins (2015). Com a importância do desenvolvimento de uma equação IDF e da atualização constante, neste trabalho foi

desenvolvida uma nova equação IDF, a partir de um método analítico como forma de se obter um resultado mais próximo da realidade.

As chuvas intensas são as responsáveis por cheias e estas causam grandes prejuízos quando os rios transbordam causando inundações. As cheias também são responsáveis por prejuízos à saúde, pois elas difundem doenças de veiculação hídrica. Deste modo, há um interesse no conhecimento completo das chuvas máximas do projeto de estruturas hidráulicas.

Para Collischonn e Tassi (2010), o problema de se analisar a frequência de chuvas máximas é realizar o cálculo da precipitação que abrange uma área em uma duração, com uma probabilidade determinada de ocorrência para um ano qualquer. A melhor forma de associar todas essas variáveis é a curva de Intensidade-Duração-Frequência (ou curva IDF).

Essa curva é obtida mediante a análise estatística de séries de dados suficientemente longas de um pluviógrafo (com pelo menos 15 anos). A curva IDF é desenvolvida com o emprego das maiores chuvas de determinada duração em cada ano na série de dados. Após este passo, realiza-se um ajuste na distribuição de frequência que represente da melhor forma a distribuição dos valores observados. O método é repetido com as outras durações e esses resultados são colocados em um gráfico ou equação que envolva essas três variáveis.

As curvas IDF são diferentes em cada localidade. Porém não existem séries de dados longas o suficiente em todas as cidades, dessa forma é, muitas vezes, necessário que se considere uma curva IDF de um local para toda região do entorno. No Brasil, existem curvas IDF para a maioria das capitais e para apenas algumas cidades do interior. (COLLISCHONN e TASSI, 2010)

Essa curva também pode ser representada por uma fórmula, geralmente apresentada na forma expressa da equação (1).

$$i = \frac{a \cdot Tr^b}{(t_d + c)^d} \quad (1)$$

Em que:

i: Intensidade da chuva em mm/hora;

a, b, c e d: são parâmetros característicos da equação em cada lugar;

Tr: Tempo de retorno em anos;

T<sub>d</sub>: duração da precipitação em minutos.

Para a utilização dessas equações é necessário que se informe a duração da chuva e o tempo (ou período) de retorno, sendo este último relacionado ao tipo de obra que será projetada. Quando se trata da duração da chuva, deve ser adotado um critério onde se considera a duração igual ao tempo de concentração da bacia em questão.

Durante a elaboração de um projeto hidráulico são utilizados dados levantados a partir de uma série histórica de precipitações. Segundo Miguez, Veról e Rezende (2010), a chuva de projeto é um evento idealizado, que está relacionado com o tempo de retorno. Quando se utiliza uma chuva de projeto é uma precipitação padrão máxima para a qual o sistema terá plena capacidade de resposta ao volume de água precipitado. Quando se utiliza uma chuva de projeto que possui como período de retorno 5 anos, é suposto que a vazão máxima que pode ser gerada por essa chuva também é de 5 anos, tendo como base o uso de um modelo de transformação de chuva em vazão.

É realizada a adoção de um padrão de precipitação onde se consideram os valores que têm maior influência no diagrama de precipitação da bacia estabelecidos pela relação intensidade-duração-frequência. Em geral são levados em conta intervalos de tempo inferiores que o de duração total das chuvas. As chuvas de projeto costumam ser obtidas por meio de curvas IDF, ou ainda de dados de pluviômetros desagregados para durações que são menores que um dia.

A tabela 1 foi elaborada pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB). Ela retrata a desagregação das chuvas que têm um dia de duração, por meio da utilização de alturas pluviométricas entre as durações que são consideradas típicas em uma região. De acordo com CETESB (1986), ela pode ser aplicada para todo o território brasileiro.

Como as chuvas têm a propriedade de ter a intensidade tendendo a diminuir com o aumento da duração, aquelas que possuem mais potencial para causar grandes vazões no exutório de uma bacia são consideradas com duração igual ao valor do tempo de concentração da bacia. Adota-se que as chuvas de projeto tenham tempo de duração semelhante ao de concentração da bacia.

**Tabela 1: Desagregação das chuvas sugerida para o Brasil.**

Duração Original	Duração Final	Relação Pluviométrica
1 dia	24 horas	1,14
24 horas	12 horas	0,85
24 horas	10 horas	0,82
24 horas	8 horas	0,78
24 horas	6 horas	0,72
24 horas	1 hora	0,42
1 hora	30 minutos	0,74
30 minutos	25 minutos	0,91
30 minutos	20 minutos	0,81
30 minutos	15 minutos	0,70
30 minutos	10 minutos	0,54
30 minutos	5 minutos	0,34

Fonte: CETESB (1986).

## OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho foi gerar uma equação IDF de chuvas intensas para a cidade de Sobral-CE, utilizando-se de dados pluviométricos oriundos da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME).

## MATERIAIS E MÉTODOS

Estão presentes no município de Sobral 18 (dezoito) postos pluviométricos, eles são monitorados pela FUNCEME e pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Os postos estão localizados em distritos: Salgado dos Machados, Jaibaras, Caracará, Taparuaba, Patriarca, Caioca, Jordão, São José do Torto, Rafael Arruda, Bilheira, Bonfim, Aracatiaçu, Aprazível, Boqueirão, Fazenda Poço Verde e na sede do município: Sinhá Sabóia, Centro de Treinamento e Sobral.

O posto “Sobral”, localizado no bairro Colina Boa Vista, foi o selecionado para o estudo, tendo como coordenadas de Latitude 3º 39’ 38” S e Longitude 40º 20’ 42” W. Ele é classificado como o principal pela FUNCEME, por ser o que possui maior número de registros.

Os dados de precipitações diárias utilizados como base para o estudo foram desde 01 de janeiro de 1974 até 31 de agosto de 2015. Primeiramente, foram separadas as precipitações máximas diárias que ocorrem em cada ano, colocando-as em ordem cronológica de ocorrência, conforme ilustra a tabela 2. A maior precipitação ocorreu em 21 de março de 2003, quando foram registrados 141 mm, e o menor registro foi em 21 de abril de 1993, com uma precipitação de 36 mm.

Com os dados organizados, foram realizados os cálculos da média e do desvio padrão das chuvas registradas, cujos valores são, respectivamente, 69,00 e 22,7867. Após os cálculos desses valores, eles foram aplicados no modelo de distribuição de *Gumbel* e foram estimados valores para os tempos de retorno de 5, 10, 15, 20, 25, 50 e 100 anos, como apresentado na tabela 3.

**Tabela 2: Precipitações máximas diárias anuais de Sobral de janeiro de 1974 até agosto de 2015.**

Ano	Precipitação (mm)	Ano	Precipitação (mm)	Ano	Precipitação (mm)
1974	100,00	1989	80,00	2002	54,00
1975	65,00	1990	63,00	2003	141,00
1976	56,00	1991	71,00	2004	71,00
1977	50,00	1992	55,00	2005	42,00
1978	84,00	1993	76,00	2006	75,00
1979	65,00	1994	36,00	2007	70,00
1980	45,00	1995	135,00	2008	81,00
1981	72,00	1996	70,00	2009	85,00
1982	50,00	1997	83,00	2010	68,00
1983	41,00	1998	41,00	2011	39,00
1984	70,00	1999	57,50	2012	40,00
1985	68,50	2000	69,00	2013	72,00
1986	95,00	2001	57,00	2014	56,00
1987	103,00	2002	86,00	2015	60,00

**Tabela 3: Chuvas máximas estimadas pela aplicação do método de Gumbel.**

Tempo de Retorno	Equação para precipitação máxima (mm)	Precipitação (mm)
5 anos	$X = 69,00 + 0,71950 \times 22,7867$	85,395
10 anos	$X = 69,00 + 1,30461 \times 22,7867$	98,728
15 anos	$X = 69,00 + 1,63472 \times 22,7867$	106,250
20 anos	$X = 69,00 + 1,86586 \times 22,7867$	111,517
25 anos	$X = 69,00 + 2,04390 \times 22,7867$	115,574
50 anos	$X = 69,00 + 2,59234 \times 22,7867$	128,071
100 anos	$X = 69,00 + 3,13072 \times 22,7867$	140,339

Com base nessas estimativas, as chuvas máximas foram desagregadas para chuvas com duração menor. Tal operação foi efetivada com as relações pluviométricas da tabela 1.

**Tabela 4: Desagregação das chuvas de 1 dia em durações menores (mm).**

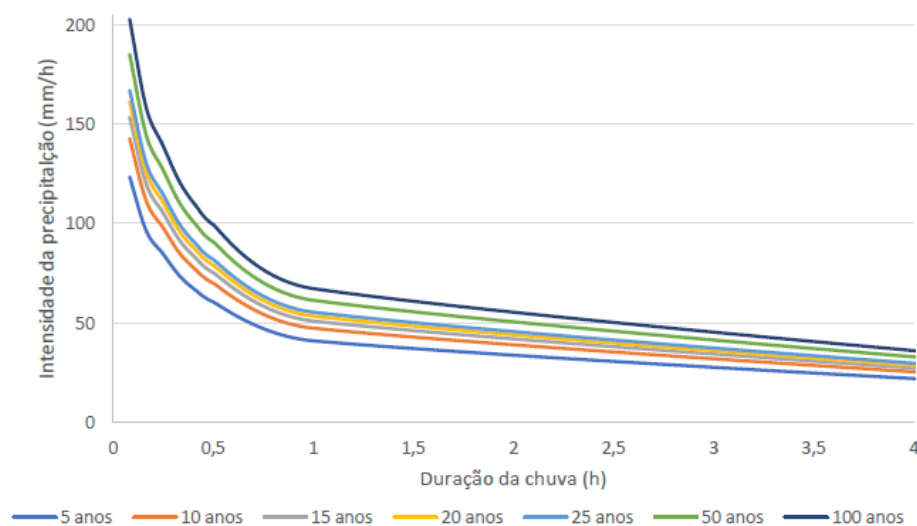
Duração	Tempo de retorno (anos)						
	5	10	15	20	25	50	100
Precipitação 1 dia	85,395	98,728	106,250	111,517	115,574	128,071	140,339
Para 24 horas ou 1440 minutos	97,35	112,55	121,13	127,13	131,75	146,00	159,99
Para 12 horas ou 720 minutos	82,75	95,67	102,96	108,06	111,99	124,10	135,99
Para 10 horas ou 600 minutos	79,83	92,29	99,32	104,25	108,04	119,72	131,19
Para 8 horas ou 480 minutos	75,93	87,79	94,48	99,16	102,77	113,88	124,79
Para 6 horas ou 360 minutos	70,09	81,04	87,21	91,53	94,86	105,12	115,19
Para 1 hora ou 60 minutos	40,89	47,27	50,87	53,39	55,34	61,32	67,19
Para 30 minutos	30,26	34,98	37,65	39,51	40,95	45,38	49,72
Para 25 minutos	27,53	31,83	34,26	35,96	37,26	41,29	45,25
Para 20 minutos	24,51	28,33	30,49	32,00	33,17	36,76	40,28
Para 15 minutos	21,18	24,49	26,35	27,66	28,66	31,76	34,81
Para 10 minutos	16,04	18,54	19,95	20,94	21,70	24,05	26,35
Para 5 minutos	10,29	11,89	12,80	13,43	13,92	15,43	16,91

É perceptível que para um tempo de retorno maior, a precipitação máxima que se estima para um dado tempo de duração também é maior. Para que seja possível obter os parâmetros e desenvolver a equação IDF, é necessário que se disponha da intensidade das precipitações, sendo assim, todos os valores oriundos da desagregação foram divididos pela respectiva duração em horas, resultando na tabela 5.

**Tabela 5: Intensidade de precipitação (mm/hora).**

Duração	Tempo de retorno (anos)						
	5	10	15	20	25	50	100
Para 24 horas ou 1440 minutos	4,06	4,69	5,05	5,30	5,49	6,08	6,67
Para 12 horas ou 720 minutos	6,90	7,97	8,58	9,00	9,33	10,34	11,33
Para 10 horas ou 600 minutos	7,98	9,23	9,93	10,42	10,80	11,97	13,12
Para 8 horas ou 480 minutos	9,49	10,97	11,81	12,40	12,85	14,24	15,60
Para 6 horas ou 360 minutos	11,68	13,51	14,54	15,26	15,81	17,52	19,20
Para 1 hora ou 60 minutos	40,89	47,27	50,87	53,39	55,34	61,32	67,19
Para 30 minutos	60,51	69,96	75,29	79,02	81,90	90,75	99,45
Para 25 minutos	66,08	76,40	82,22	86,29	89,43	99,10	108,60
Para 20 minutos	73,52	85,00	91,48	96,01	99,51	110,27	120,83
Para 15 minutos	84,72	97,95	105,41	110,63	114,66	127,06	139,23
Para 10 minutos	96,22	111,24	119,71	125,65	130,22	144,30	158,12
Para 5 minutos	123,45	142,72	153,59	161,21	167,07	185,14	202,87

Com os valores presentes na tabela 5 pode ser gerada a curva IDF para o município de Sobral, que está representada na figura 1. Com as intensidades das chuvas máximas obtidas, com as durações e tempos de retorno definidos, torna-se possível o cálculo dos parâmetros ( $a$ ,  $b$ ,  $c$  e  $d$ ) da equação (1) de chuvas intensas.



**Figura 1: Curva IDF do município de Sobral.**

Para se obter a equação das chuvas, um obstáculo é determinar o tipo de equação que melhor se adequa às curvas de chuva. Neste trabalho foi utilizado o método de cálculo clássico que foi descrito por Wilken (1978). A partir dos estudos deste autor foi observado que as curvas são pouco acentuadas e que, quando o diagrama é traçado, as curvas que equivalem aos tempos de retorno possuem todas a mesma forma geral. 7

Tal fato possibilita a obtenção dessa fórmula. Como o diagrama é logarítmico nos dois eixos, se as linhas fossem retas, elas corresponderiam à equação (2).

$$\log_i = \log_A + d \cdot \log t \quad (2)$$

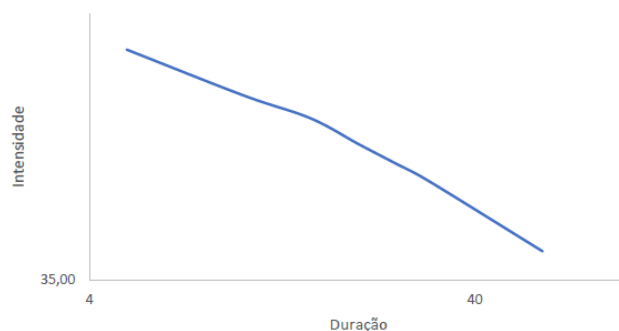
Em que  $i$  é intensidade (mm/min);  $t$  é a duração da chuva (min);  $d$  é a tangente do ângulo de inclinação da reta;  $A$  é intercepto, ou ordenada correspondente à duração de um minuto.

O trecho mais acentuado da curva, localizado onde estão as menores durações, impede que se use uma equação tão simples. Dessa forma, é feita uma correção no termo que se refere à duração, fazendo com que a equação tenha a forma geral a seguir da equação (3).

$$\log_i = \log_A + d \cdot \log(t + c) \quad (3)$$

Para que se determine a constante  $c$  da equação de chuvas, é feito o uso da curva IDF com tempo de retorno de 5 anos. Em um gráfico bilogarítmico, como o da figura 2, é traçada a curva de tempo de retorno de 5 (cinco) anos e são arbitrados dois pontos das extremidades cujas coordenadas são respectivamente  $(t_1, i_1)$  e  $(t_2, i_2)$ . A relação matemática destes dois pontos em relação aos parâmetros é a equação (4).

$$i_n = \frac{A}{(t_n + c)^d} \quad (4)$$



**Figura 2: Curva de intensidade-duração-frequência.**

É considerado, então, um terceiro ponto da mesma curva, com as coordenadas  $(t_3, i_3)$ , em que o  $i_3$  é calculado a partir da equação (5), e  $t_3$  é lido na curva.

$$i_3 = \sqrt{i_1 \cdot i_2} \quad (5)$$

Efetuada-se a substituição da equação (4) na (5), resulta a equação (6).

$$\frac{A}{(t_3 + c)^d} = \sqrt{\frac{A}{(t_1 + c)^d} \cdot \frac{A}{(t_2 + c)^d}} \quad (6)$$

Desenvolvendo-se a equação (6) e isolando a incógnita  $c$ , tem-se a equação (7).

$$c = \frac{t_3^2 - t_1 \cdot t_2}{t_1 + t_2 - 2t_3} \quad (7)$$

Para a verificação se o valor de  $c$  calculado é satisfatório, realizou-se um novo traçado da curva nos quais os pontos usados foram  $(t + c, i)$ , o que faz com que a curva provisória se deslocasse horizontalmente para a direita em todos os pontos. O valor de  $c$  foi considerado aceitável onde a curva passar a representar o mais próximo possível de uma reta.

Neste trabalho foram consideradas apenas as chuvas com duração de 5, 10, 15, 20, 25, 30 e 60 minutos. Como para encontrar o valor mais adequado de  $c$ , deve ser seguido o método de tentativa e erro, foram criados três cenários com combinações de pontos da extremidade diferentes.

Neles, o primeiro ponto escolhido foi (7; 111,8) e o segundo foi alterado em cada tentativa, sendo ele (45; 50,57) para a primeira, (50; 47,35) para a segunda e (55; 44,13) na terceira. Com a substituição desses valores na equação (5), foram obtidos os valores de  $i_3$  e com eles, foram lidos na curva o  $t_3$  equivalente, esses valores foram organizados na tabela 6.

**Tabela 6: Coordenadas do ponto 3.**

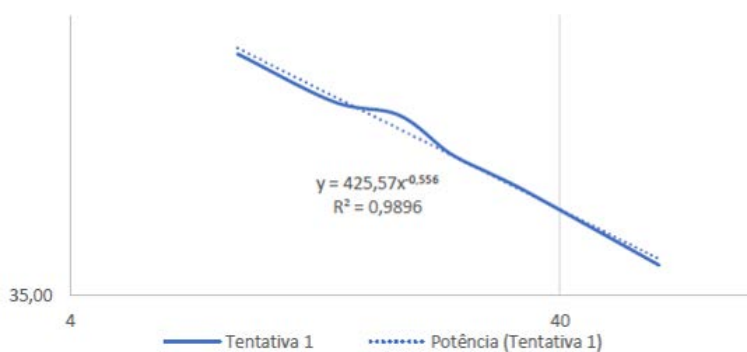
Tentativa	$t_3$	$i_3$
1	19,15	75,19
2	20,42	72,76
3	21,96	70,24

A partir da equação (7) foram obtidos dos valores de  $c$ , os quais estão listados na tabela 7.

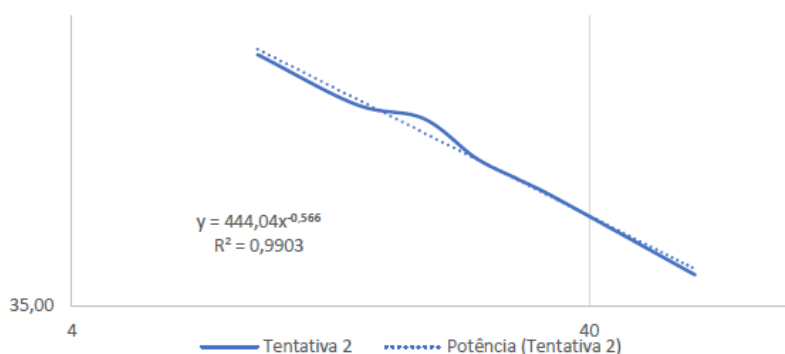
**Tabela 7: Valores de  $c$ .**

Tentativa	$c$
1	3,775
2	4,145
3	5,378

As novas curvas traçadas foram as representadas nas figuras 3, 4 e 5. A curva tracejada representa a linha de tendência para a regressão. Esta curva, bem como a equação da reta e o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) foram encontrados a partir de ferramentas de regressão do aplicativo de planilha eletrônica *EXCEL*.

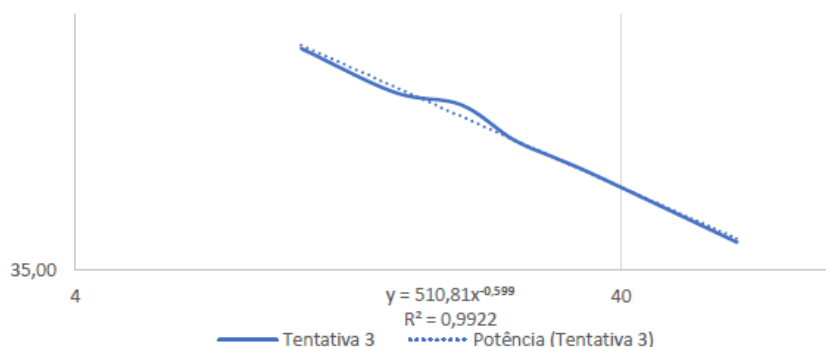


**Figura 3: Curva provisória da tentativa 1.**



**Figura 4: Curva provisória da tentativa 2.**





**Figura 5: Curva provisória da tentativa 3.**

A partir dos coeficientes de determinação apresentados nas figuras 3, 4 e 5, conclui-se que aquela que mais se aproximou de uma reta foi a tentativa 3, pois está mais próximo do valor 1. Sendo assim, adotou-se  $c$  igual a 5,378. A inclinação dessa reta equivale ao valor provisório do parâmetro  $d$ , para isso foram considerados os pares de pontos ( $t_1 = 5$  min;  $i_1 = 194,79$  mm/h) e ( $t_2 = 50$  min;  $i_2 = 49,04$  mm/h) tendo como resultado o valor de 0,599, apresentado pela equação (8).

$$d = \frac{\log 49,04 - \log 194,79}{\log 5 - \log 50} = 0,599 \quad (8)$$

Para a determinação de  $A$  e  $d$ , tem-se como base a Primeira e a Segunda Equação Normal, sendo elas, respectivamente as equações 9 e 10.

$$\sum \log i = n \cdot \log A - d \sum \log(t + c) \quad (9)$$

$$\sum [\log i \cdot \log(t + c)] = \log A \cdot \sum \log(t + c) - d \sum [\log(t + c)]^2 \quad (10)$$

Para a resolução desse sistema de equações normais e consequente obtenção de  $d$  e  $\log A$ , utilizou-se a tabela 8 para o tempo de retorno de 5 (cinco) anos.

**Tabela 8: Parâmetros utilizados para o cálculo de  $d$  e  $\log A$  para tempo de retorno de 5 anos.**

T	t + c	log (t + c)	[log (t + c)] <sup>2</sup>	i observado	log i	log i . log (t + c)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
5						
10						
15						
-						
-						
Somas				-		

Fonte: Wilken (1978).

A resolução simultânea das equações normais, fornece os valores a seguir para as incógnitas representadas pelas equações (11) e (12), respectivamente.



$$\log A = \frac{\sum \log i \cdot \sum [\log(t+c)]^2 - \sum \log(t+c) \cdot \sum [\log i \cdot \log(t+c)]}{n \cdot \sum [\log(t+c)]^2 - [\sum \log(t+c)]^2} \quad (11)$$

$$d = \frac{\sum \log(t+c) \cdot \sum \log i - n \sum [\log i \cdot \log(t+c)]}{n \cdot \sum [\log(t+c)]^2 - [\sum \log(t+c)]^2} \quad (12)$$

Em que  $n$  é o número de itens que estão na coluna 1, ou seja, a quantidade de tempos de duração que foram empregados no estudo, nesse caso, 7 (sete). Os valores encontrados foram  $\log A = 2,698$  e  $d = 0,594$ . Para os outros períodos de retorno, foram criadas tabelas similares, tendo como modelo a tabela 9. Os valores da coluna 7 da tabela 8 são determinados a partir da equação 3.

**Tabela 9: Parâmetros utilizados para o cálculo de  $d$  e  $\log A$  para os demais tempos de retorno.**

T	t + c	log (t + c)	d . log (t + c)	i observado	log i	log A
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
5						
10						
15						
-						
-						
Somas	-	-	-	-	-	-

Fonte: Wilken (1978).

O valor de  $\log A$  a ser adotado será a média dos valores da coluna 7 da tabela 9, os quais estão exibidos na tabela 10.

**Tabela 10:  $\log A$  para cada tempo de retorno.**

Tr	c
5	2,697624
10	2,760632
15	2,792521
20	2,813533
25	2,829052
50	2,873642
100	2,91337

Com o valor médio aritmético de  $\log A$  para os tempos de retorno estudados, obtiveram-se os valores das constantes  $a$  e  $b$ . Para esse cálculo, elaborou-se a tabela 11 e, posteriormente, empregaram-se esses dados nas equações 13 e 14, em que  $n$  é o número de itens da coluna 1 da tabela 11.

$$\log A = \frac{\sum (\log Tr)^2 \cdot \log A - \sum (\log A \cdot \log Tr) \cdot \sum \log Tr}{n \cdot \sum (\log Tr)^2 - (\sum \log Tr)^2} \quad (13)$$

$$d = \frac{n \cdot \sum (\log A \cdot \log Tr) - \sum \log Tr \cdot \sum \log A}{n \cdot \sum (\log Tr)^2 - (\sum \log Tr)^2} \quad (14)$$

**Tabela 11: Ajuste da reta  $\log A = \log c - d \times \log Tr$ .**

T	A	log (Tr)	log (A)	[log (Tr)] <sup>2</sup>	log (A) . log (Tr)
5	498,4528682	0,698970004	2,697624099	0,488559067	1,885558328
10	576,277941	1	2,760631996	1	2,760631996
15	620,1840535	1,176091259	2,792520595	1,38319065	3,284259063
20	650,9276714	1,301029996	2,813532734	1,69267905	3,660490481
25	674,6084875	1,397940009	2,829051801	1,954236268	3,954844699
50	747,5538062	1,698970004	2,873642457	2,886499076	4,882232338
100	819,1624459	2	2,913370	4	5,826740068
SOMA		9,273001272	19,68037372	13,40516411	26,25475697

## RESULTADOS OBTIDOS

Os resultados determinados para todos os parâmetros são os apresentados na tabela 12 e resultaram na equação 15.

**Tabela 12: Parâmetros determinados para a Equação.**

Parâmetro	Valor
a	392,827
b	0,164
c	5,378
d	0,594

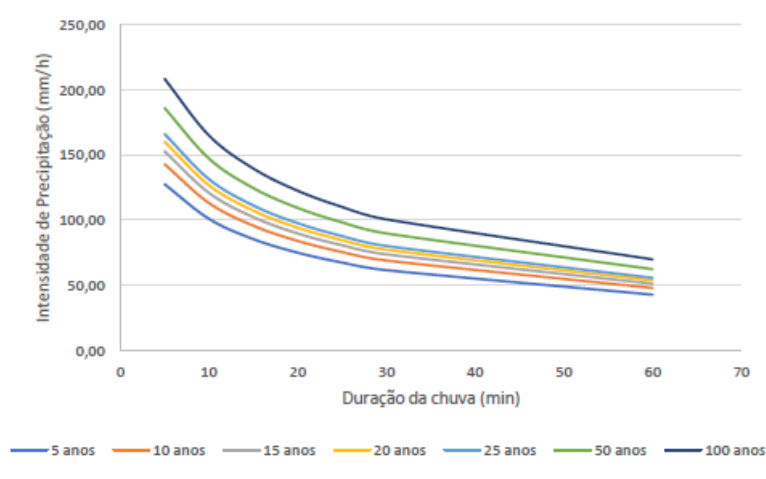
$$i = \frac{392,827 \cdot Tr^{0,164}}{(t + 5,378)^{0,594}} \quad (15)$$

## ANÁLISE DOS RESULTADOS

A partir da equação (15) foram calculadas as novas intensidades das precipitações, as quais estão apresentadas na tabela 13. Valendo-se desta tabela, foi gerado o gráfico com as curvas para os períodos de retorno do estudo, representado pela figura 6.

**Tabela 13: Ajuste da reta  $\log A = \log c - d \times \log Tr$ .**

Duração	Tempo de retorno						
	5	10	15	20	25	50	100
Para 1 hora ou 60 minutos	42,68	47,82	51,11	53,58	55,58	62,27	69,77
Para 30 minutos	61,47	68,88	73,61	77,17	80,05	89,68	100,48
Para 25 minutos	67,30	75,40	80,59	84,48	87,63	98,18	110,00
Para 20 minutos	74,89	83,90	89,67	94,01	97,51	109,25	122,41
Para 15 minutos	85,32	95,59	102,16	107,10	111,09	124,47	139,45
Para 10 minutos	100,85	112,99	120,76	126,60	131,31	147,13	164,84
Para 5 minutos	127,39	142,73	152,54	159,91	165,87	185,85	208,22



**Figura 6: Curvas obtidas com os dados da tabela 12.**

As curvas IDF encontradas para Sobral apresentam o modelo que se esperava para o trabalho, não sendo localizadas divergências entre as características encontradas. No estado do Ceará são poucas as cidades que possuem a equação das chuvas, sendo elas Fortaleza, Sobral, Crateús, Barbalha, Juazeiro do Norte, Crato e Pentecoste.

Por meio do erro percentual foi feita a comparação entre os valores reais das precipitações e os valores estimados. Esse cálculo é realizado dividindo-se o módulo da diferença entre o valor calculado e o valor real, pelo valor real, conforme a equação (16).

$$Er = \frac{|V_{est} - V_{ext}|}{V_{ext}} \quad (16)$$

A média do erro percentual encontrada foi de 1,74%, conforme pode ser constatado na tabela 14. O erro encontrado é relativamente baixo, mas são perceptíveis as diferenças entre os valores estimados pela distribuição de *Gumbel* e aqueles calculados a partir da equação desenvolvida. Observa-se que os maiores erros encontrados foram para tempos de retorno de 5 e 100 anos, com valores maiores que 4%. Convém salientar que para obras de drenagem, por exemplo, os valores usados para essa variável são a partir de 10 anos.

**Tabela 14: Erros percentuais.**

Duração	Tempo de retorno						
	5	10	15	20	25	50	100
Para 1 hora ou 60 minutos	4,39	1,16	0,47	0,35	0,43	1,54	3,83
Para 30 minutos	1,59	1,55	2,23	2,35	2,26	1,18	1,04
Para 25 minutos	1,84	1,30	1,98	2,10	2,02	0,93	1,30
Para 20 minutos	1,86	1,29	1,97	2,09	2,00	0,92	1,31
Para 15 minutos	0,71	2,41	3,08	3,20	3,11	2,04	0,16
Para 10 minutos	4,81	1,58	0,87	0,75	0,84	1,96	4,25
Para 5 minutos	3,19	0,01	0,68	0,80	0,72	0,38	2,64

## CONCLUSÕES

Com base na análise das chuvas diárias máximas de cada ano, desenvolveram-se as curvas que descrevem a relação entre as variáveis de intensidade, duração e frequência, também chamadas curvas IDF, das chuvas intensas para a cidade de Sobral, no Estado do Ceará. Para a representação matemática dessas curvas foi desenvolvida, também, uma equação IDF, que possibilita o cálculo das intensidades máximas das chuvas dadas durações das precipitações e tempos de retorno quaisquer.

A partir dos valores encontrados durante os estudos, foi percebido que o uso da distribuição probabilística de *Gumbel* foi compatível com o esperado, haja vista que as estimativas previstas pelo método representaram fielmente o comportamento das precipitações, isso pode ser notado a partir do formato da curva IDF obtida utilizando essas estimativas.

É importante enfatizar a necessidade de que sejam feitas revisões periódicas nas equações das chuvas intensas, pois sempre que são acrescentados novos dados de chuvas às séries históricas ou ainda pode-se utilizar métodos de cálculo diferentes, tornando, assim, que seja possível pesquisar uma potencial tendência de variação dos eventos extremos levando em consideração, por exemplo, as mudanças climáticas, precipitações fracas, precipitações extremas e outros eventos. Essa atualização faz-se importante para que seja feito um dimensionamento adequado dos projetos hidráulicos, pois resultará em equações com uma representação mais aproximada dos valores estimados a partir dos dados de precipitações coletados.

Para futuros trabalhos recomenda-se que seja aplicada a equação desenvolvida para cálculos de projetos, além da própria atualização desta equação e comparação dos resultados. Por fim, pode ser utilizado o modelo de cálculo explanado neste trabalho para o desenvolvimento de equações IDF para outras cidades.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. CETESB. Drenagem urbana: manual de projeto. 3ª. ed. São Paulo: CETESB, 1986.
2. COLLISCHONN, W. TASSI, R. Introduzindo Hidrologia. Rio Grande do Sul. IPH UFRS, Apostila V.7, 2010.
3. MARTINS, I. L. A. Elaboração da equação IDF de chuvas intensas para a cidade de Sobral. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Estadual do Vale Acaraú, Sobral, 2015.
4. MIGUEZ, M. G. VERÓL, A. P. REZENDE, O. M. Drenagem urbana: do projeto tradicional à sustentabilidade. Rio de Janeiro: Elsevier, 2016.
5. WILKEN, P. S. Engenharia de Drenagem Superficial. 18ª. ed. São Paulo: CETESB, 1978.