

EQUAÇÃO DA INTENSIDADE-DURAÇÃO-FREQÜÊNCIA DE PRECIPITAÇÕES INTENSAS DO MUNICÍPIO DE PATOS-PB

Deividy Kaik de Lima Araujo (*), Marco Antônio Assis de Oliveira, Arthur Nóbrega de Sousa, Edmilson Roque da Silva Junior, Marcos David dos Santos

*Universidade Federal de Campina Grande, @deividy.kaik@estudante.ufcg.edu.br

RESUMO

O ambiente natural é constantemente impactado pelo crescente processo de urbanização, desse modo a modificação não planejada do uso do solo gera problemas com a ação de precipitações intensas, com enchentes e deslizamentos sendo recorrentes. Nesse sentido, os estudos hidrológicos são vitais para um planejamento urbano adequado, viabilizando a concepção de um sistema de drenagem de águas pluviais que se adequa ao ambiente natural, minimizando os impactos ambientais, econômicos e sociais decorrente da ocupação humana. O presente trabalho tem como objetivo avaliar hidrológicamente a bacia peri urbana na cidade de Patos-PB. A metodologia aplicada consiste no levantamento de dados hidrológico e a realização de estudos hidrológicos. Desse modo foram coletados dados sobre as séries históricas de chuva disponíveis no banco de dados da ANA (Agência Nacional de Água) e AESA (Agência Executiva das Águas do Estado), em seguida, foi realizado o ajustamento a uma distribuição de probabilidade de Gumbel possibilitando determinar as intensidades de precipitações de 5 a 100 anos para durações de chuvas de até 120 minutos e foram determinados os coeficientes a, b, c e K para a determinação da equação de chuva da cidade. Os resultados obtidos mostraram uma boa adequação aos valores da série histórica e permite o cálculo da intensidade máxima de chuvas apresentando-se assim como uma ferramenta valiosa para o dimensionamento de sistemas de drenagem urbana da cidade.

PALAVRAS-CHAVE: Precipitação, Equação da chuva, Série Histórica, Bacia Hidrográfica.

INTRODUÇÃO

No Brasil as enchentes urbanas são um problema cada vez mais recorrente. Este cenário foi criado ao longo dos anos, principalmente, pela gerência inadequada do planejamento urbano e pela falta de infraestrutura, como é o caso da drenagem de águas pluviais, que sempre foi postergada em virtude de outras necessidades mais urgentes e imediatas. A gestão deficiente é resultado da falta de mecanismos, legais e administrativos, para o controle de ampliação do escoamento superficial provocado pela crescente e desordenada urbanização (Zuffo, 2003).

A Agência Nacional de Águas (ANA) é uma instituição governamental responsável pela coordenação das atividades da Rede Hidrometeorológica Nacional que monitoram o volume de chuva, o nível e a vazão dos rios, a qualidade de sedimentos, a evaporação e a qualidade das águas, disponibilizando as informações gratuitamente aos usuários em seu site eletrônico. Estas informações são utilizadas em estudos técnicos e científicos diversos. Uma das informações disponibilizadas pela ANA e utilizadas nesta pesquisa é a precipitação pluviométrica, através da Rede Hidrometeorológica Nacional, no porta HidroWeb. A precipitação é um dos elementos físicos pertinentes à classificação climática de uma determinada área, bem como, é base para os processos da gestão ambiental, econômico e social (MACIEL & OLIVEIRA, 2017).

A precipitação é caracterizada como toda forma de água oriunda da atmosfera e que atinge a superfície terrestre na forma de chuva, granizo, orvalho, neblina, neve ou geada. A análise pluviométrica constitui um elemento importante no estudo do clima, e por este motivo, muitos municípios possuem postos destinados ao monitoramento de chuvas. A precipitação pluviométrica é o principal fator que limita o crescimento de matéria seca das plantas, sendo que a eficiência hídrica no solo afeta seus aspectos anatômicos, fisiológicos e bioquímicos, conforme a espécie de planta e o tempo de escassez hídrica (FIORESE & TORRES, 2019).

É imprescindível que haja séries históricas de vazão máxima observados empiricamente, para que sejam utilizadas nos projetos de obras hidráulicas, tais como canais de terraços, drenagem agrícola, urbana e rodoviária, vertedouros de barragens, entre outros. Visto a escassez de vazões medidas na área de estudo, um dos métodos que nos possibilitam obter a vazão de projeto quando não se tem dados históricos da mesma, é realizar um estudo de precipitações intensas da região. Esta exigência é atendida, geralmente, a partir de informações exatas, ou seja, são utilizadas equações do tipo intensidade-duração-frequência (equações de chuvas intensas) derivadas de pluviógrafos específicos da região em estudo.

OBJETIVOS

O presente estudo tem por objetivo obter equação da chuva (parâmetros K, a, b e c) e analisar estatisticamente, através das séries históricas coletadas da ANA (Agência Nacional de Água) e AESA (Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado), enfatizando a estatística explicativa com um utensílio de estudo de variação da precipitação pluviométrica.

METODOLOGIA

Este trabalho foi realizado no riacho do Frango, localizado no município de Patos – PB, cuja a exutório tem coordenadas de latitude 7°01'S e longitude 37°22'W. O riacho pertence a bacia do Rio Espinhara, sub bacia da bacia hidrográfica dos rios Piancó-Piranhas-Açu situada na região semiárida do nordeste brasileiro, conforme ilustrada na Figura 1.



Figura 1: Localização da bacia hidrográfica dos rios Piancó-Piranhas-Açu.

Para determinação da equação da chuva, primeiro buscou-se os dados de chuvas para o município de Patos-PB. Para isso, foi utilizado os portais HidroWeb e AESA (Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado). Os dados da AESA, foram cedidos após solicitação via e-mail, diferentemente do portal HidroWeb onde é possível fazer o download de planilhas com dados.

Tabela 1. Coleta de dados de precipitações. Fonte: Autoria própria, 2021.

Código da Estação	Dados	Responsável	Município	Período de Observações
00737009	ANA	DNOCS	PATOS	1924-1985
-	AESA	EMBRAPA	PATOS	1995-2018

Verificaram-se dados de chuvas dos anos de 1925 e 1985 da ANA, e dos anos de 1995 a 2018 da AESA, somando ao todo 88 anos de dados de chuvas diárias. Entretanto, os dados foram tratados (desprezando os anos em que os dados estavam incompletos), o que resultou em uma série de 85 anos. Após coletar os dados é necessário fazer o tratamento dos dados no Microsoft Excel, para que assim seja extraída a chuva máxima anual diária e assim listada em um rol ordenado de forma decrescente. A princípio, calculou-se a média e do desvio padrão da amostra, com auxílio das funções MÉDIA e DESVPAD.A disponíveis no Microsoft Excel.

Em seguida, fez-se a ordenação das precipitações em ordem decrescente, calculando a frequência teórica para cada uma (Equação 1). Em posse da frequência, foi possível calcular o período de retorno (Equação 2), para cada chuva, que neste caso é o tempo que um determinado evento possa ser igualado ou superado.

$$f = \frac{m}{n+1} \quad \text{equação (1)}$$

$$T = \frac{1}{f} \quad \text{equação (2)}$$

Onde T é o período de retorno em anos; f é a frequência com que um evento de ordem “m” é igualado ou superado (adimensional); m é a ordem, variando de 1 a “n” valores (adimensional); n é o número de anos observados (adimensional).

A seguir, calculou-se a variável de Gumbel observada pela Equação 3 e o fator de frequência pela Equação 4.

$$Y_{obs} = -\ln(-\ln\left(\frac{T-1}{T}\right)) \quad \text{equação (3)}$$

$$K_t = 0,7797 * Y_{obs} - 0,45 \quad \text{equação (4)}$$

Onde, Y_{obs} é a variável de Gumbel observada (adimensional); T é o período de retorno, em anos; K_t é um fator de frequência (adimensional).

Finalizando, em posse do K_t (fator de frequência) calculou-se H_{teo} a partir da Equação 5, podendo também ser denominada de precipitação teórica de Gumbel.

$$H_{teo} = \mu + k_t \times s \quad \text{equação (5)}$$

Onde H_{teo} é a precipitação teórica em mm; s é o desvio padrão, em mm; e μ é a média, em mm.

Dando continuidade para obtenção da equação de chuva, foram calculadas magnitude do evento de precipitações para os períodos de retorno de 2, 5, 10, 15, 20, 25, 50, 75 e 100 anos. O coeficiente de desagregação de precipitação empregado para a desagregação da chuva de 24h foi o da Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB, 1986), de valor igual a 1,14. Os demais coeficiente de desagregação foram calculados pela Equação 6, recomendada por Silveira (2000).

$$C24(d) = e^{1,5 * \ln\left(\frac{\ln(d)}{7,3}\right)} \quad \text{equação (6)}$$

Onde: C24(d) é o coeficiente de desagregação em função da duração escolhida (adimensional); d é a duração escolhida, em minutos.

Para a aplicação do método de desagregação, as precipitações máximas obtidas pela equação 6 foram desagregadas em durações menores de 5, 10, 15, 20, 25, 30, 60, 90, 120, 150, 180, 210, 240, 300, 360, 420, 480, 540, 600, 720, 900, 1200 e 1440 minutos. Inicialmente, o valor da precipitação foi multiplicado pelo coeficiente que transforma a chuva diária em chuva de 24 horas. A partir dessa precipitação, são determinadas as demais precipitações, multiplicando-se cada uma pelo valor do coeficiente referente àquela duração. A rotina foi repetida e realizada para todas as durações e períodos de retorno.

Em seguida, foram calculadas as intensidades, dividindo a precipitação pela duração, podendo assim produzir o gráfico com as curvas de intensidade, duração e frequência. Aplicando o logaritmo à tabela de intensidade, o gráfico IDF linearizado pode ser obtido. Isso foi feito para extrair as equações da reta para cada uma das curvas, nas quais seus valores de coeficiente linear e coeficiente angular foram usados para obter os parâmetros da equação de chuva. A equação da chuva é representada pela seguinte Equação 8.

$$i = \frac{c}{(t+to)} = \frac{KT^m}{(t+to)^n} \quad \text{equação (8)}$$

Onde: i é a intensidade da chuva, em mm/h; T é o período de retorno, em anos; t é a duração da chuva, em minutos; K , m , t_0 e n são parâmetros que descrevem as características locais, extraídos dos processos anteriores.

Em seguida aplicou-se a anamorfose logarítmica conforme a Equação 9.

$$\log(i) = \log(C) - n * \log(t + t_0) \quad \text{equação (9)}$$

Onde t_0 é obtido através de tentativa e erro, o qual somado a t , dará uma equação da reta com $R^2=0,998$; n será o valor do coeficiente angular da equação da reta, em módulo, obtido no gráfico linearizado das curvas IDF; $\log(C)$ são os coeficientes lineares das equações da reta obtidas no gráfico linearizado das curvas IDF dada pela Equação 10.

$$\log(C) = \log(k) + m * \log(T) \quad \text{equação (10)}$$

O $\log(C) \times \log(T)$ foi representado graficamente para obter a equação da reta, em que m é a inclinação desta equação e K será a operação inversa do log aplicado ao valor do coeficiente linear desta equação da linha, obtendo assim todos os parâmetros da equação da chuva. Em seguida, as intensidades foram calculadas para os mesmos períodos de retorno e duração, agora usando a equação de chuva encontrada.

RESULTADOS

Na Figura 2 são expostos os dados de chuvas máximas diárias anuais determinadas a partir dos dados coletados.

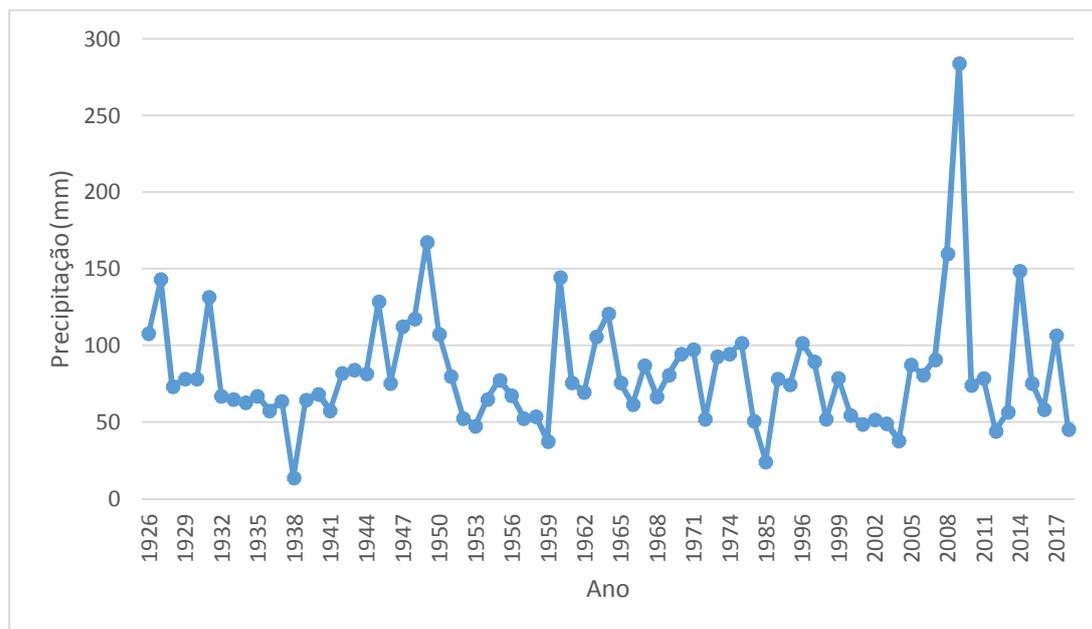


Figura 2: Chuva máxima diária anual de Patos - PB. Fonte: Autor do Trabalho.

É notório que possui um período que não apresentou dados, entre os anos 70 e os anos 80. Também pode-se notar um valor muito acima da média, no ano de 2009, com 284,6 mm precipitados segundo AESA, o ano foi considerado atípico, muito chuvoso. A Tabela 1 apresenta as precipitações máximas calculadas para cada tempo de retorno.

Tabela 1. Precipitações máximas para Patos - PB. Fonte: Autoria própria, 2021.

TR (Período de Retorno)	Y (Variável Reduzida)	Kt	P (mm)
2	0,37	-0,16	76,71
5	1,50	0,72	110,03
10	2,25	1,30	132,09
15	2,67	1,63	144,53
20	2,97	1,87	153,25
25	3,20	2,04	159,96

50	3,90	2,59	180,64
75	4,31	2,91	192,66
100	4,60	3,14	201,16

Podemos analisar a partir dos valores apresentados que quanto maior o período de retorno maior será o valor do evento, desse modo, a maior precipitação é esperada para um tempo de retorno de 100 anos.

Os valores de eventos máximos determinadas a partir da desagregação das chuvas podem ser observadas na Tabela 2.

Tabela 2. Precipitações máximas da cidade de Patos-PB (mm) em. Fonte: Autoria própria, 2021.

Coefficientes	Duração (min)	2	5	10	15	20	25	50	75	100
0,1	5	8,74	12,54	15,06	16,48	17,47	18,24	20,90	21,96	22,98
0,18	10	15,74	22,58	27,10	29,66	31,45	32,82	37,07	39,53	41,28
0,23	15	20,11	28,85	34,63	37,90	40,18	41,94	47,36	50,52	52,75
0,26	20	22,74	32,61	39,15	42,84	45,42	47,41	53,54	57,10	59,63
0,29	25	25,36	36,37	43,67	47,78	50,66	52,88	59,72	63,69	66,51
0,32	30	27,98	40,14	48,19	52,73	55,91	58,35	65,90	70,28	73,78
0,42	60	36,73	52,68	63,24	69,20	73,78	76,59	86,49	92,24	96,32
0,48	90	41,97	60,21	72,28	70,09	83,86	87,53	98,85	105,42	110,08
0,53	120	46,35	66,48	79,81	87,33	92,59	96,65	109,14	116,40	121,54
0,57	150	49,84	71,50	85,83	93,92	99,58	103,94	117,38	125,19	130,72
0,6	180	52,47	75,26	90,35	98,86	104,82	109,41	123,56	131,78	137,60
0,63	210	55,09	79,02	94,87	103,80	110,06	114,88	129,74	138,37	144,48
0,65	240	56,84	81,53	97,88	107,10	113,56	118,53	133,85	142,76	149,06
0,69	300	60,34	86,55	103,90	113,69	120,55	125,83	142,09	151,55	158,24
0,72	360	62,96	90,31	108,42	118,63	125,79	131,30	148,27	158,13	165,12
0,75	420	65,58	94,07	112,93	123,58	131,03	136,77	154,45	164,72	172,00
0,78	480	68,21	97,84	117,45	128,52	136,27	142,24	160,62	171,31	178,88
0,80	540	69,96	100,34	120,46	131,81	139,76	145,88	164,74	175,70	183,46
0,82	600	71,71	102,85	123,48	135,11	143,26	149,53	168,86	180,10	188,05
0,86	720	75,20	107,87	129,50	141,70	150,24	156,83	177,10	188,88	197,22
0,9	900	78,70	112,89	135,52	148,29	157,23	164,12	185,34	197,67	206,40
0,96	1200	83,95	120,41	144,56	158,18	167,72	175,06	197,69	210,85	220,15
1,14	1440	87,45	125,43	150,58	164,77	174,70	182,36	205,93	219,63	229,33

Conforme pode ser observado na Tabela 2, assim ao determinado pela distribuição Gumbel, quanto maior o período de Retorno, maior será também o evento, e quanto maior for a duração da chuva, maior será a lâmina precipitada.

A Tabela 3 apresenta os valores de intensidade máxima anuais calculadas a partir da desagregação das chuvas.

Tabela 3. Intensidade máxima anuais da cidade de Patos-PB (mm/h) em. Fonte: Autoria própria, 2021.

Duração (min)	Tempo de Retorno – TR (anos)									
	2	5	10	15	20	25	50	75	100	
5	104,93	150,52	180,70	197,72	209,64	218,83	247,11	263,56	275,19	
10	94,44	135,46	162,63	177,85	188,68	196,94	222,40	237,20	247,67	
15	80,45	115,40	138,53	151,59	160,73	167,77	189,45	202,06	210,98	
20	68,21	97,84	117,45	128,52	136,27	142,24	160,62	171,31	178,88	
25	60,86	87,30	104,80	114,68	121,59	126,92	143,33	152,86	159,61	
30	55,97	80,28	96,37	105,45	111,81	116,71	131,79	140,56	146,77	
60	36,73	52,68	63,24	69,20	73,78	76,59	86,49	92,24	96,32	
90	27,98	40,14	48,19	52,73	55,91	58,35	65,90	70,28	73,38	

120	23,17	33,24	39,90	43,66	46,30	48,32	54,57	58,20	60,77
150	19,94	28,60	34,33	37,57	39,83	41,58	46,95	50,08	52,29
180	17,49	25,09	30,12	32,95	34,94	36,47	41,19	43,93	45,87
210	15,74	22,58	27,10	29,66	31,45	32,82	37,07	39,53	41,28
240	14,21	20,38	24,47	26,77	28,39	29,63	33,46	35,69	37,27
300	12,07	17,31	20,78	22,74	24,11	25,17	28,42	30,31	31,65
360	10,49	15,05	18,07	19,77	20,96	21,88	24,71	26,36	27,52
420	9,37	13,44	16,13	17,65	18,72	19,54	22,06	23,53	24,57
480	8,53	12,23	14,68	16,06	17,03	17,78	20,08	21,41	22,36
540	7,77	11,15	13,38	14,65	15,53	16,21	18,30	19,52	20,38
600	7,17	10,29	12,35	13,51	14,33	14,95	16,89	18,01	18,80
720	6,27	8,99	10,79	11,81	12,52	13,07	14,76	15,74	16,44
900	5,25	7,53	9,03	9,89	10,48	10,94	12,36	13,18	13,76
1200	4,20	6,02	7,23	7,91	8,39	8,75	9,88	10,54	11,01
1440	3,64	5,23	6,27	6,87	7,28	7,60	8,58	9,15	9,56

Pode-se observar na Tabela 3 que quanto maior a duração, menor será a intensidade dela. A partir da Tabela 3 foi possível gerar o gráfico das curvas IDF (intensidade-duração-frequência), conforme apresentado na Figura 3. E construir a relação $\text{Log}(i) \times \text{Log}(\text{min})$, conforme apresentado na Figura 4.

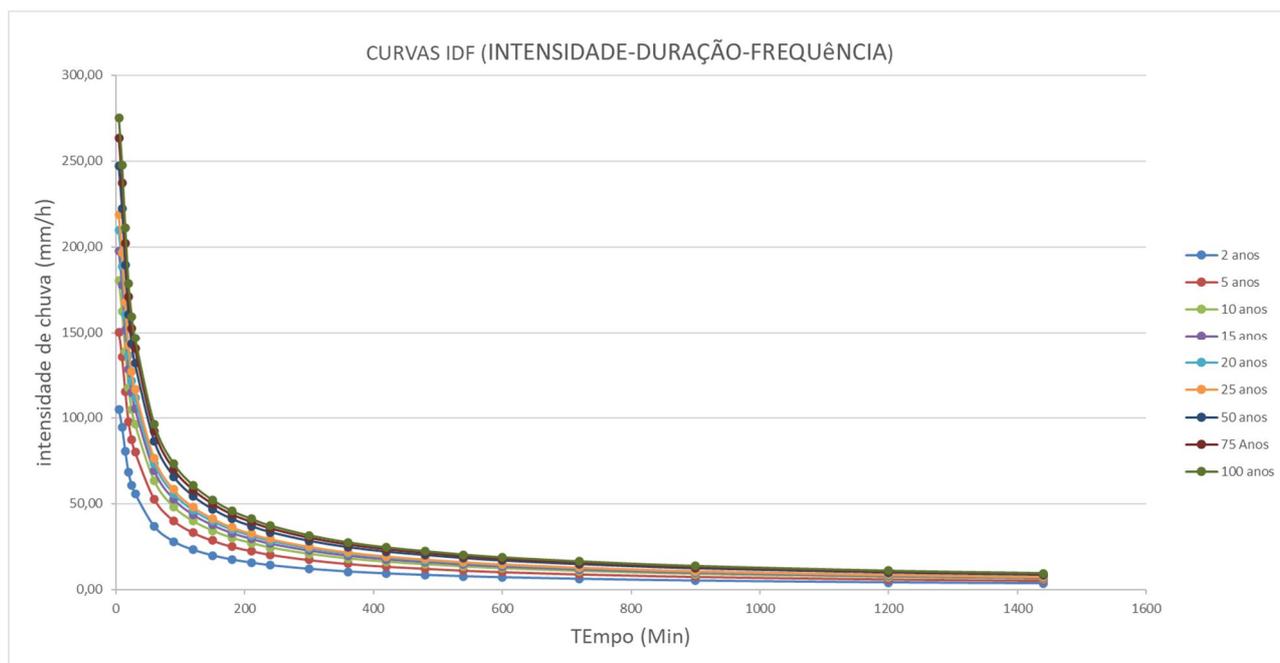


Figura 3: Curvas IDF's. Fonte: Autor do Trabalho.

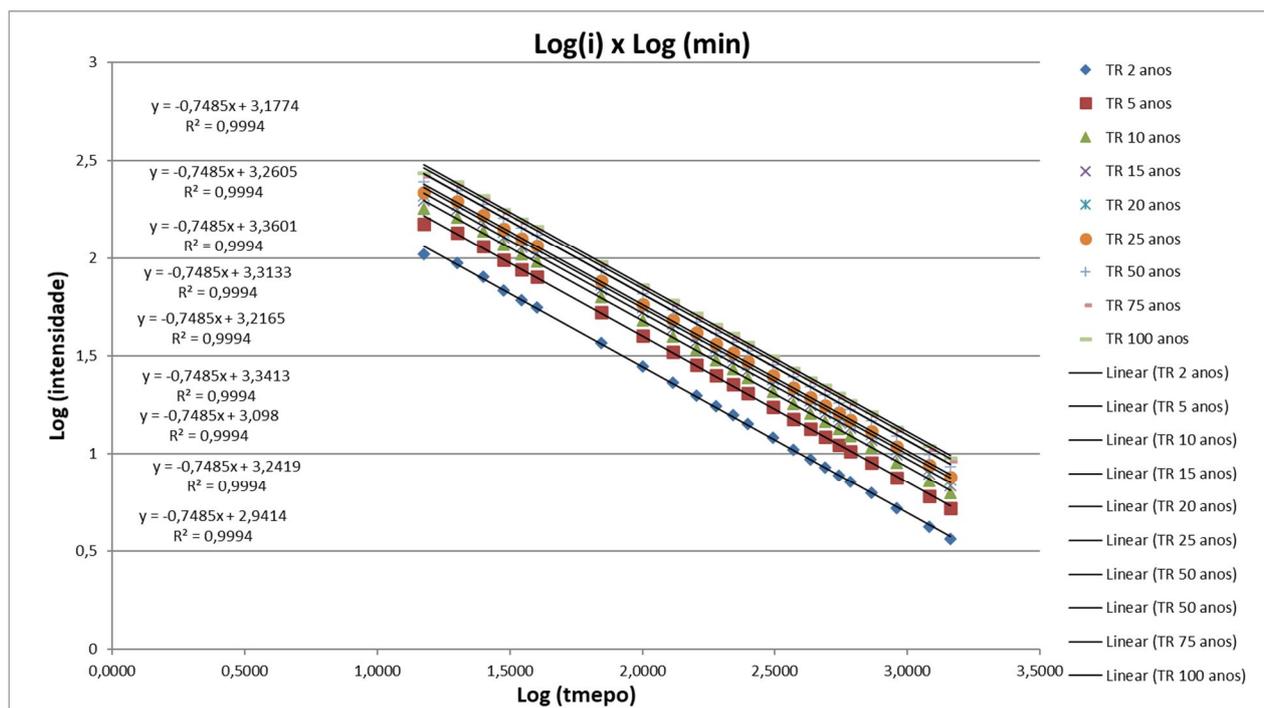


Figura 4: IDF linearizadas. Fonte: Autor do Trabalho.

Analisando a Figura, podemos afirmar que o parâmetro t_0 que melhor se adequou foi igual a 10 minutos, produzindo equações da reta com $R^2=0,999$. A Tabela 4 apresenta o valores T, C, Log(T) e Log (C) determinado a partir dos coeficientes lineares das equações y exibidas na Figura 4.

Tabela 4. Log (T) x Log (C). Fonte: Autoria própria, 2021.

T (min)	Log T	C	Log C
2	0,301	2,941	0,468
5	0,698	3,09	0,491
10	1	3,177	0,502
15	1,176	3,216	0,507
20	1,301	3,241	0,510
25	1,397	3,260	0,513
50	1,698	3,313	0,520
75	1,875	3,341	0,523
100	2	3,360	0,526

Por fim, a Tabela 5 apresenta os coeficientes K, a, b e c da equação da chuva para a cidade de Patos – PB, conforme pode ser observado na Equação 11.

Tabela 5. Parâmetros da equação da chuva Fonte: Autoria própria, 2021.

a	b	c	K
0,2342	10	0,7485	829,47

$$I = \frac{829,47 * T^{0,2342}}{(t+10)^{0,7485}} \quad \text{equação (11)}$$

As intensidades máximas anuais das precipitações calculadas a partir da equação da chuva da cidade de Patos – PB podem ser observadas na Tabela 5. A Figura 5 apresenta as IDF's linearizadas determinadas a partir da Equação 11.

Tabela 3. Intensidade máxima anuais da cidade de Patos-PB pela equação da chuva (mm/h). Fonte: Autoria própria, 2021.

Duração (min)	Tempo de Retorno – TR (anos)								
	2	5	10	15	20	25	50	75	100
5	128,53	159,29	187,37	206,03	220,39	232,22	273,15	300,36	321,29
10	103,63	128,43	151,07	166,12	177,70	187,23	220,23	242,17	259,05
15	87,69	108,68	127,83	140,57	150,36	158,43	186,36	204,92	219,20
20	76,50	94,81	111,53	122,64	131,18	138,22	162,58	178,78	191,24
25	68,17	84,48	99,37	109,27	116,89	123,16	144,87	159,30	170,40
30	61,68	76,45	89,92	98,88	105,77	111,44	131,09	144,14	154,19
60	40,57	50,29	59,15	65,04	69,57	73,31	86,23	94,82	101,42
90	31,07	38,50	45,29	49,80	53,27	53,13	66,02	72,60	77,66
120	25,53	31,64	37,21	40,92	43,77	46,12	54,25	59,66	63,81
150	21,85	27,08	31,86	35,03	37,47	39,48	46,44	51,07	54,63
180	19,22	23,82	28,01	30,80	32,95	34,72	40,84	44,90	48,03
210	17,22	21,34	25,10	27,60	29,53	31,11	36,59	40,24	43,04
240	15,65	19,39	22,81	25,08	26,83	28,27	33,25	36,57	39,11
300	13,32	16,51	19,42	21,35	22,84	24,07	28,31	31,13	33,30
360	11,67	14,46	17,01	18,70	20,01	21,08	24,80	27,27	29,17
420	10,43	12,92	15,20	16,71	17,88	18,84	22,16	24,37	26,06
480	9,46	11,72	13,78	15,16	16,21	17,08	20,09	22,10	23,64
540	8,67	10,75	12,64	13,90	14,87	15,67	18,43	20,27	21,68
600	8,03	9,95	11,70	12,87	13,76	14,50	17,06	18,76	20,06
720	7,02	8,70	10,23	11,25	12,03	12,68	14,91	16,40	17,54
900	5,95	7,37	8,67	9,54	10,20	10,75	12,64	13,90	14,87
1200	4,81	5,96	7,01	7,71	8,24	8,68	10,21	11,23	12,02
1440	4,20	5,20	6,12	6,73	7,20	7,58	8,92	9,81	10,49

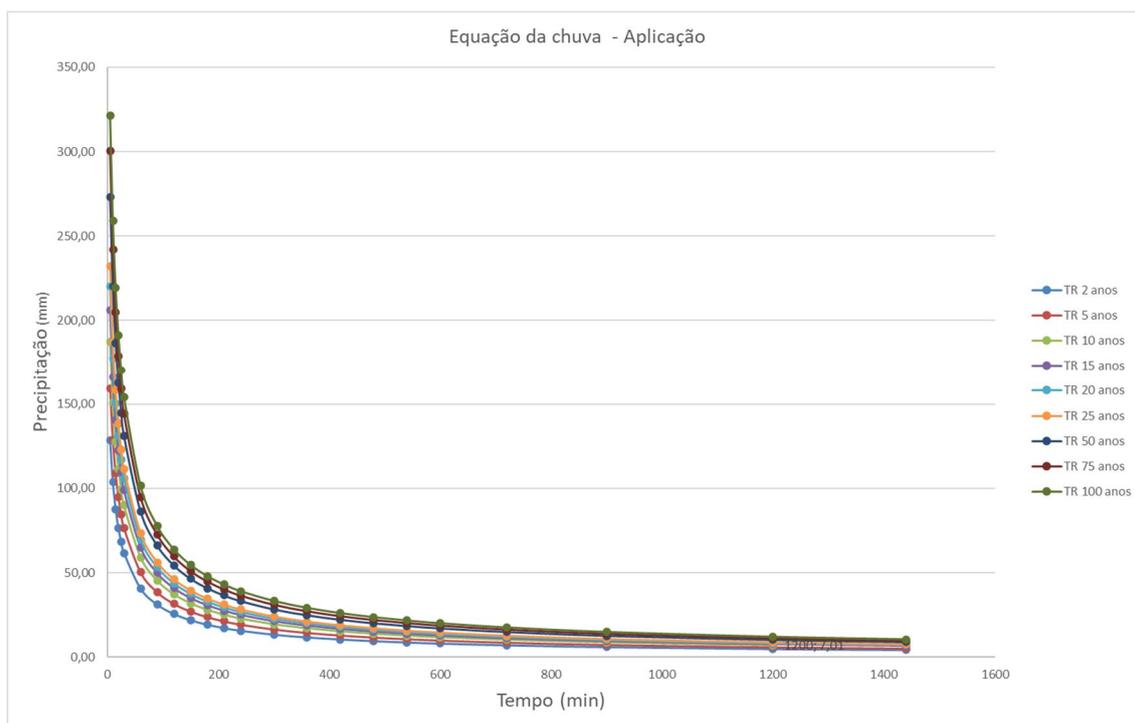


Figura 5: IDF linearizadas. Fonte: Autor do Trabalho.

CONCLUSÃO

A existência de um banco de dados a respeito dos eventos pluviométricos de uma região é muito importante para embasar os estudos hidrológicos que são etapas fundamentais em projetos urbanos, desse modo, a determinação da equação da chuva propicia a determinação das vazões de projeto da bacia de estudo.

A série de chuva máxima diária anual foi adequadamente ajustada pela Distribuição Gumbel, o processo de desagregação resultou em séries de intensidade de chuva para valores de período de retorno de 2 a 100 anos consistentes. A resolução do sistema de equações não lineares formadas com os valores de intensidade de chuva para cada período de retorno resultou numa relação I-D-F bem consistente e uma equação de chuva bem ajustada com $R^2=0,998$. Os modelos de tempo de concentração forneceram valores médio bem razoável para a bacia do riacho do Frango.

A equação pode ser utilizada no dimensionamento de projetos agrícolas e agropecuários e de obras hidráulicas implantados na região de Patos, onde a distribuição Gumbel foi adaptada para ajustar todas as séries de intensidade máxima anual de precipitação. É importante determinar os parâmetros dessa equação para otimizar a estimativa da precipitação obtendo maior segurança no dimensionamento e menores custos nas obras hidráulicas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ZUFFO, A. C. **Relações estatísticas entre precipitações intensas e vazões máximas**: o método GRADEX. 1993. Dissertação (Mestrado) – Universidade Politécnica de São Paulo, São Paulo, 1993.
2. MACIEL, S. A.; OLIVEIRA, L. A. Análise da variabilidade pluviométrica utilizando a frequência de ocorrência e as medidas de assimetria e curtose na bacia hidrográfica do rio Araguari – MG, período de 1975 a 2014. In: Perez Filho, Archimedes; Amorim, Raul Reis (org.). **Os desafios da geografia física na fronteira do conhecimento**. Campinas: UNICAMP, 2019, pag. 1822-1832.
3. FIORESE, C. H. U; Torres, H. Análise estatística da série histórica da precipitação pluviométrica mensal do município de Castelo – Es. Revista Brasileira de Pesquisa Animal e Ambiental, v. 2, n. 3, p. 908-916, 2019.