

## DETERMINAÇÃO DA EQUAÇÃO REGIONALIZADA DE CHUVAS INTENSAS PARA A BACIA HIDROGRÁFICA DO COBRE EM SALVADOR-BA

DETERMINATION OF THE REGIONALIZED EQUATION OF HEAVY RAINFALL FOR THE  
COPPER HYDROGRAPHIC BASIN IN SALVADOR-BA

DETERMINACIÓN DE LA ECUACIÓN REGIONALIZADA DE LLUVIA FUERTE PARA LA  
CUENCA HIDROGRAFICA DEL COBRE EN SALVADOR-BA

Fabício Ribeiro Garcia<sup>1</sup>; Mauro José Alixandrini Júnior<sup>2</sup>

1. Universidade Federal da Bahia – UFBA. E-mail: [rgfabricio@gmail.com](mailto:rgfabricio@gmail.com)
2. Universidade Federal da Bahia – UFBA. E-mail: [mauro.alixandrini@gmail.com](mailto:mauro.alixandrini@gmail.com)

### RESUMO

O conhecimento sobre as chuvas intensas baseado nas equações de intensidade, duração e frequência é uma importante ferramenta no planejamento urbano e dimensionamento de projetos hidráulicos. A bacia hidrográfica do Rio do Cobre em Salvador-BA possui uma área de 20,65 km<sup>2</sup>, sendo a quinta maior bacia do município. A região possui uma densidade populacional de 4.319,56 hab./km<sup>2</sup>, tendo ainda como agravante por ser um dos maiores territórios de pobreza da capital baiana, frequentemente sofre com problemas de alagamentos e inundações. Nesse sentido, este trabalho objetivou determinar as precipitações máximas associadas a diferentes períodos de retorno utilizando métodos probabilísticos e obter os parâmetros da equação regionalizada de chuvas intensas para a bacia hidrográfica do Rio do Cobre em Salvador. Para tanto, utilizou-se uma série histórica de 75 anos, a qual foi ajustada pela distribuição de extremos, ou distribuição de Gumbel, para obtenção das precipitações máximas. Os resultados dos parâmetros obtidos para equações IDF foram  $K=360,1246$ ,  $m=0,1992$  e  $n=-0,61926$ , com um coeficiente de determinação  $r^2=0,975$ .

### Palavras-Chave

Distribuição de Gumbel, Intensidade-Duração-Frequência, Desagregação de chuvas.

### RESUMEN

*El conocimiento de las lluvias torrenciales basado en ecuaciones de intensidad, duración y frecuencia es una herramienta importante en la planificación urbana y dimensionamiento de proyectos hidráulicos. La cuenca hidrográfica Rio do Cobre en Salvador-BA tiene un área de 20,65 km<sup>2</sup>, siendo la quinta cuenca más grande del municipio. La región tiene una densidad de población de 4.319,56 hab/km<sup>2</sup>, y como agravante, por ser una de las zonas de mayor pobreza de la capital bahiana, sufre con frecuencia inundaciones e inundaciones. En ese sentido, este trabajo tuvo como objetivo determinar la precipitación máxima asociada a diferentes períodos de retorno utilizando métodos probabilísticos y obtener los parámetros de la ecuación regionalizada de lluvia intensa para la cuenca del Río do Cobre en Salvador. Para ello se utilizó una serie histórica de 75 años, la cual fue ajustada por la distribución de extremos, o distribución Gumbel, para obtener la máxima*

precipitación. Los resultados de los parámetros obtenidos para las ecuaciones IDF fueron  $K=360.1246$ ,  $m=0.1992$  y  $n=-0.61926$ , con un coeficiente de determinación  $r^2=0.975$ .

### **Palabras clave**

*Distribución de Gumbel, Intensidad-Duración-Frecuencia, Desglose de precipitaciones.*

### **ABSTRACT**

*Knowledge about heavy rainfall based on intensity, duration and frequency pressures is an important tool in urban planning and dimensioning of hydraulic projects. The Rio do Cobre hydrographic basin in Salvador-BA has an area of 20.65 km<sup>2</sup>, being the fifth largest basin in the municipality. The region has a population density of 4,319.56 inhabitants/km<sup>2</sup>, with the aggravating factor being one of the areas of greatest poverty in the capital of Bahia, often suffering from flooding and flooding. In this sense, this work aimed to determine the maximum rainfall associated with different return periods using probabilistic methods and to obtain the parameters of regionalized protection from intense rainfall for the Rio do Cobre watershed in Salvador. For that, a historical series of 75 years was used, which was adjusted by the distribution of extremes, or Gumbel distribution, to obtain the maximum precipitation. The results of the migration parameters for the IDF were  $K=360.1246$ ,  $m=0.1992$  and  $n=-0.61926$ , with a coefficient of instruction  $r^2=0.975$ .*

### **Key Words**

*Gumbel Distribution, Intensity-Duration-Frequency, Rainfall breakdown.*

## **1 INTRODUÇÃO**

A ocorrência mais frequente e intensa de eventos extremos de precipitação até o final do século XXI é esperada sob condições de mudança climática (Pohl et al., 2017). Isso leva a um aumento do risco de inundação com impacto adverso na infraestrutura de drenagem urbana existente, resultando em danos humanos e perdas econômicas. A infraestrutura de drenagem e as estruturas de controle de inundações são tipicamente projetadas com base nas propriedades de precipitação extrema na forma de curvas intensidade-duração-frequência (IDF) (Hosseinzadehtalaei et al., 2017).

As IDF são baseadas em séries históricas de precipitação com uma suposição de estacionariedade temporal. No entanto, as mudanças climáticas vêm alterando as propriedades das precipitações extremas e violam essa suposição. Portanto, os padrões atuais de projeto baseados nas curvas IDF, precisam ser revisados e as mudanças esperadas nas propriedades de precipitação devem ser incorporadas para os futuros projetos de infraestrutura.

As curvas IDF são representações gráficas da quantidade de água que cai dentro de um determinado período nas áreas de captação. As curvas IDF constituem o estabelecimento de relação entre a intensidade da precipitação (mm/h), o tempo de duração da precipitação (min) e o período de retorno de um evento de precipitação, em anos.

A avaliação da precipitação extrema é um problema importante na análise e projeto de risco hidrológico. As curvas IDF são uma ferramenta comum da prática de engenharia e são usadas para

uma variedade de aplicações (Fortier & Mailhot, 2014). A avaliação dos extremos de chuva, incorporada na relação IDF, tem sido um foco importante da hidrologia teórica e aplicada.

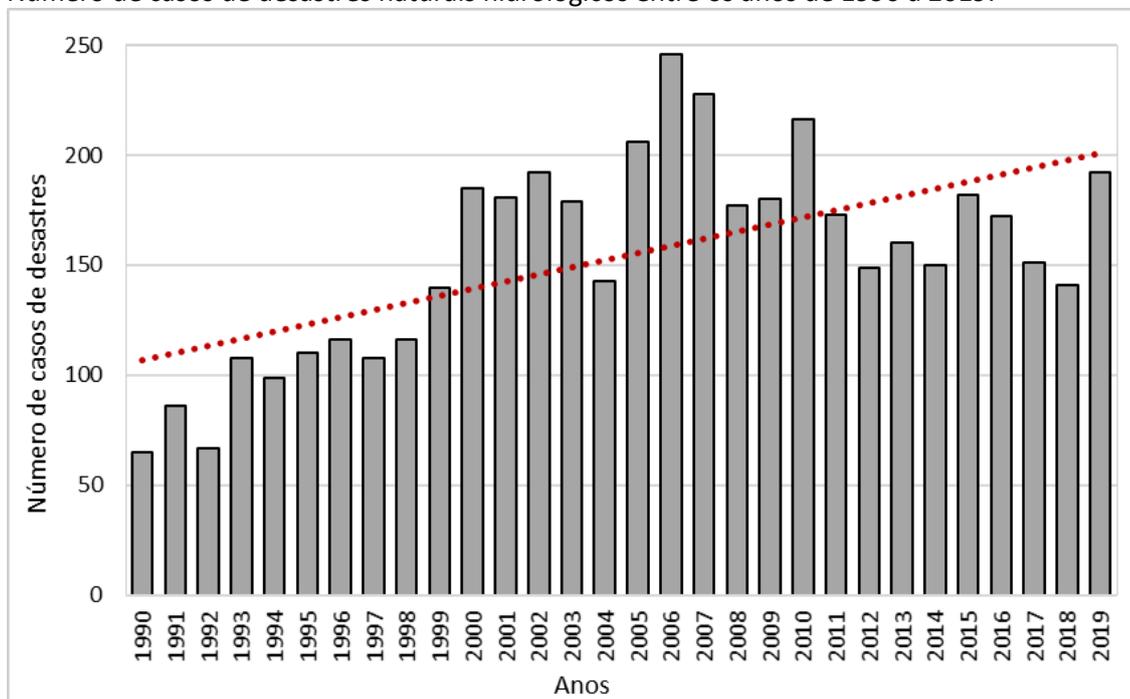
De acordo com Simonovic et al. (2017), o cálculo para determinação das relações de IDF de precipitação tipicamente envolve três etapas, sendo, (1) determinação das máximas alturas pluviométricas no período de 24 horas (2) ajustar os dados a uma função de distribuição de probabilidade (PDF) e (3) relacionar a precipitação de máxima intensidade para cada duração a um período de retorno correspondente (TR). Segundo Pizarro et al. (2018), esses procedimentos permitem a geração de exibições numéricas e gráficas de curvas IDF, para qualquer localização espacial selecionada e para qualquer combinação da função de distribuição de probabilidade.

Os desastres hidrometeorológicos estão relacionados, na maioria das vezes, com chuvas intensas, podendo ser agravados pelas ações antrópicas (Naghetini & Pinto, 2007). De acordo com Mihiu-Pintilie et al. (2019) as sociedades humanas sempre tentaram reduzir o impacto dos alagamentos e inundações e sempre buscaram proteção contra desastres naturais, instalando-se em áreas seguras ou construindo infraestruturas de defesa.

Segundo Gigovic et al. (2017) as inundações estão entre os riscos naturais mais recorrentes e devastadores, afetando a vida humana e causando graves danos econômicos em todo o mundo. Na figura 1, observa-se os dados da DAT (Emergency Events Database referente número de casos de desastres naturais hidrológicos referente ao período de 1990 a 2019.

**Figura 1**

Número de casos de desastres naturais hidrológicos entre os anos de 1990 a 2019.



Fonte: EM-DAT-The International Disaster Database, 2020.

O conhecimento, e atualização, das relações entre intensidade, duração e frequência de chuvas intensas é fundamental para um adequado desenvolvimento de um sistema de drenagem

urbana. Desta forma, este estudo tem como objetivo estimar as relações intensidade-duração-frequência de precipitação regionalizada, utilizando a distribuição de Gumbel e o método de desagregação de chuvas diárias em estações localizadas na região da bacia hidrográfica do rio do Cobre no município de Salvador-BA.

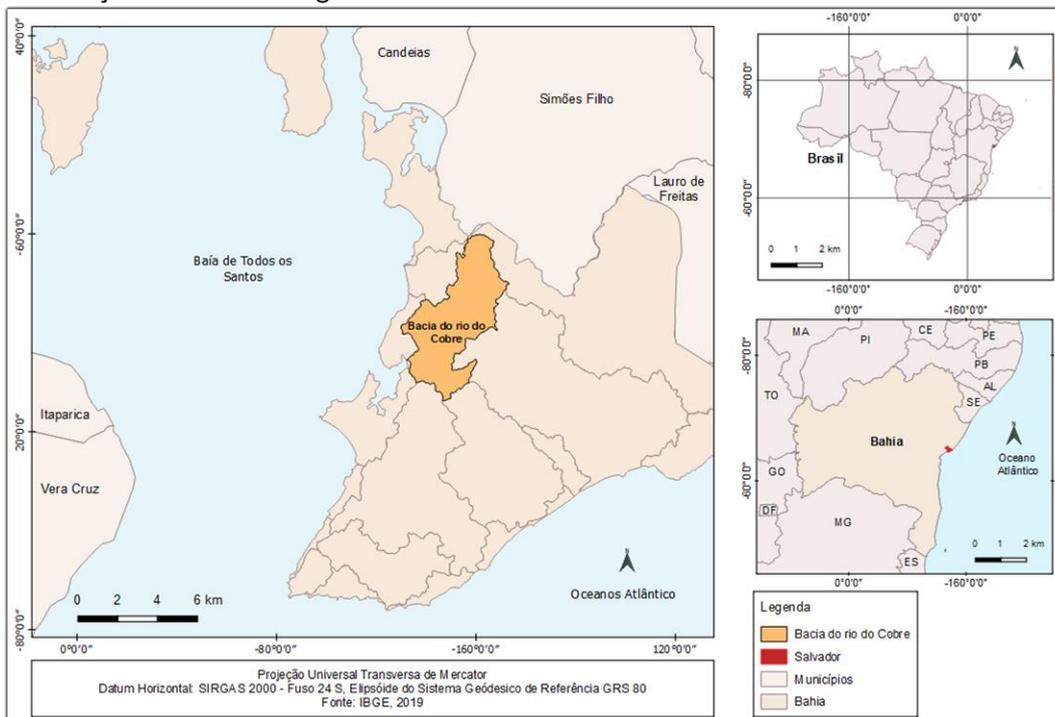
## 2 METODOLOGIA

### 2.1 Área de Estudo

A área de estudo compreende a bacia hidrográfica do Rio do Cobre, a qual fica inserida na região do Subúrbio Ferroviário da cidade de Salvador-BA, (figura 2), e, segundo Santos (et al., 2010), possui uma área de 20,65 km<sup>2</sup>, sendo a quinta maior bacia do município. De acordo com Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2010) a bacia do rio do Cobre possui uma população de 89.188 habitantes, que corresponde a 6,69% da população de Salvador, densidade populacional de 4.319,56 hab./km<sup>2</sup>, possui 22.747 unidades habitacionais, que equivalem a 3,45 % dos domicílios da cidade.

#### Figura 2

Localização da bacia hidrográfica do Rio do Cobre em Salvador



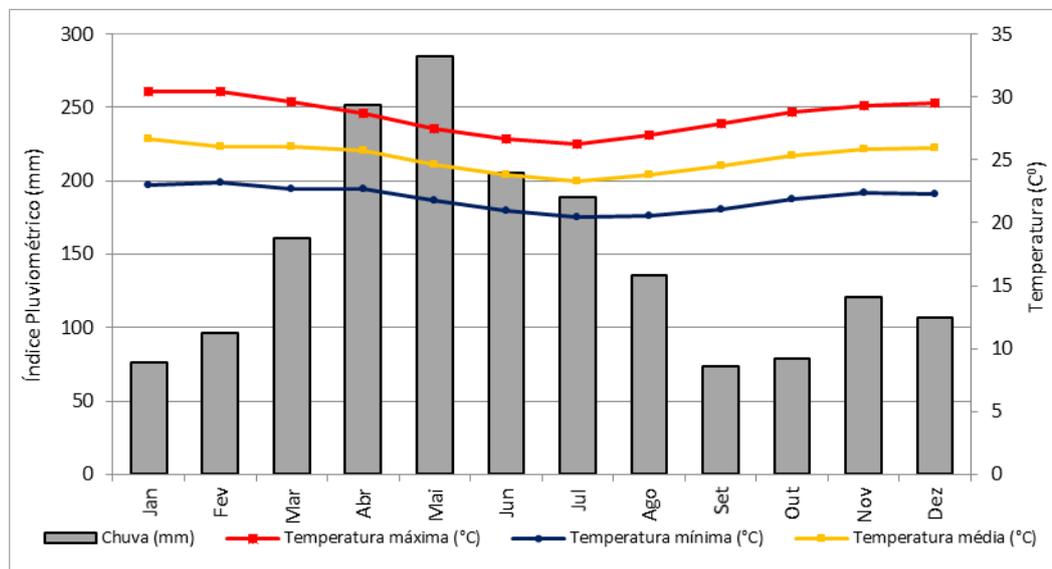
A bacia hidrográfica do Rio do Cobre compõe um dos maiores territórios de pobreza de Salvador e que frequentemente sofre com problemas de alagamentos e inundações. Soares (2009) destaca que nesta área há predominância de habitações precárias e deficientes, com aglomerados de barracos em morros e encostas.

## 2.2 Características climáticas

De acordo com a classificação climática realizada por Köppen (1936), em que são levadas em consideração as variações sazonais e os valores médios mensais e anuais de temperatura e precipitação, a cidade de Salvador -BA está inserida numa zona Af', clima tropical chuvoso de floresta, sem estação seca; pluviosidade média mensal superior a 60,0 mm e anual inferior a 1500,0 mm; temperatura do mês mais frio acima de 18,0 °C; verões longos e quentes com temperatura média do mês mais quente superior a 22,0 °C. Algumas dessas características são corroboradas pelo climograma (Figura 3).

**Figura 3**

Valores médios de pluvimetria e temperatura de Salvador-BA



Fonte: INMET (2019). Elaboração: Autor (2020)

Na figura 3, verifica-se que as maiores precipitações são concentradas entre os meses de março e julho, sendo que os maiores valores médios ocorrem nos meses de abril e maio, com 252,0 mm e 285,0 mm, respectivamente. No período de precipitações mais baixas, que se estende dos meses setembro a fevereiro, as médias dos totais de precipitações se mantêm próximas de 100,0 mm, sendo os meses de setembro e outubro com os menores valores médios de precipitação, com 74,0 mm e 79,0 mm, respectivamente. A precipitação média anual para a cidade de Salvador-BA é de 1.781,0 mm.

Concernente às temperaturas médias, os meses com maiores valores de temperatura compreendem o período de dezembro e fevereiro, com valores médios acima dos 23,0 °C, sendo os meses de outubro e fevereiro os com valores mais elevados, com 30,4 °C. No período de maio a agosto, as temperaturas são mais amenas, sendo no período de junho e agosto os meses mais frios, com temperatura mínimas próximas a 20,0 °C. A temperatura média anual da cidade de Salvador é de 25,3 °C e o gradiente entre o mês mais quente para o mês mais frio é de 3,4 °C.

### 2.3 Dados de séries históricas de precipitação

Os dados de precipitação utilizados para construção dos gráficos IDF e respectiva equação de chuvas intensas foram coletados a partir do banco de dados da Agência Nacional de Águas (ANA) e do Instituto de Meteorologia (Inmet), considerando as estações mais próximas da região de estudo. Na tabela 1 são apresentadas as estações pluviométricas utilizadas para o desenvolvimento. Foram utilizados dados de precipitação máxima no intervalo de 24 horas, do período de 1931 a 2019, consistindo em 35640 observações.

**Tabela 1**

Estações pluviométricas selecionadas.

Código	Nome Estação	Operador	Latitude	Longitude	Período
1238045	AREIAL DE CIMA	ANA	S 12° 55' 0.12"	W 38° 30' 0.00"	1944-1963
1238001	AÇUDE COBRE	ANA	S 12° 53' 0.00"	W 38° 27' 0.00"	1949-1971
1338007	SALVADOR - ONDINA	INMET	S 13° 01' 0.12"	W 38° 53' 0.00"	1963-2019
1238117	COBRE	SUDENE	S 12° 53' 0.00"	W 38° 27' 0.00"	1949-1971
1338003	SALVADOR	SUDENE	S 12° 00' 0.00"	W 38° 00' 0.00"	1911-1985
1238018	PITUAÇU	RFFSA	S 12° 56' 0.00"	W 38° 30' 0.00"	1949-1971
1338005	SALVADOR - ONDINA	DNOCS	S 13° 01' 0.12"	W 38° 29' 0.00"	1943-1964

### 2.4 Análise estatística dos dados hidrológicos

Concernente ao ajuste de dados de chuvas, existem inúmeros métodos que podem ser utilizados para encontrar essa probabilidade, como distribuição Log-Normal com dois parâmetros, Log-Normal com três parâmetros, distribuição Pearson tipo III, distribuição Log-Pearson tipo III e distribuição dos Distribuição de Gumbel. Segundo Pizarro et al (2018), dentre os métodos mais aceitos, destacam-se os ajustes de Log-Normal, distribuição de Gumbel, distribuição Normal e Log Pearson tipo III.

A aplicação da técnica da distribuição de frequência de Gumbel é a mais popular para avaliar frequências de tempestades de chuva e enchentes (Devkota, 2018). Também chamada de distribuição de valores extremos, a distribuição de Gumbel é descrita pelo desvio padrão e pela média da amostra. Trabalhando as equações é possível obter em função do risco ou do tempo de retorno adotado, os valores estimados pela distribuição, em que a função cumulativa de probabilidade dessa distribuição é dada pela equação 1. Títulos das seções

$$P = 1 - e^{-e^{-b}} \quad (1)$$

Em que P é a probabilidade e b é dado pela equação 2:

$$b = \frac{1}{0,7797.s} (x - \bar{x} 0.45. \sigma_x) \quad (2)$$

Onde:

$x$  = precipitação máxima anual;

$\sigma_x$  = desvio padrão das precipitações máximas anuais;

$\bar{x}$  = média das precipitações máximas anuais.

O valor de uma precipitação qualquer analisada ( $x$ ) pode ser em função do tempo de retorno (TR). Combinando as das equações acima para um dado tempo de retorno em anos se obtêm a equação 3 abaixo, na qual é possível estimar a precipitação máxima desejada.

$$x = \bar{x} - \sigma_x(0.45 - 0.7797 \cdot \ln\left(\ln\left(\frac{TR}{TR-1}\right)\right)) \quad (1)$$

Onde:

$x$  = precipitação máxima anual;

$\sigma_x$  = desvio padrão das precipitações máximas anuais;

$\bar{x}$  = média das precipitações máximas anuais;

TR= tempo de retorno em anos;

$\ln(\ln(TR/(TR-1)))$  = variável reduzida.

Os valores de precipitação máxima anual para cada tempo de recorrência foram desagregados em durações menores que 1 dia. As durações utilizadas foram 60, 120, 180, 240, 300, 360, 480, 720, 1080 e 1440 minutos. Para obtenção da precipitação nas durações citadas, procedeu-se multiplicando a precipitação de duração maior pelo coeficiente de desagregação que a transforma na precipitação de menor duração.

Assim, a desagregação representa a porcentagem de chuva precipitada à cada momento do evento. Os coeficientes desagregados, constantes na tabela 2, são bases para o cálculo da precipitação máxima com diferentes durações e respectivos períodos de retorno. Para determinar as concentrações de chuvas em intervalos de tempo horários, adotou-se o método de desagregação de chuvas apresentado em Campos-Aranda (1978).

## Tabela 2

Coeficientes de desagregação para diferentes durações de chuvas

Coeficientes de desagregação de chuvas diárias										
Coeficiente de desagregação	0,30	0,39	0,46	0,52	0,57	0,61	0,68	0,80	0,91	1,00
Duração das precipitações (min)	60	120	180	240	300	360	480	720	1080	1440

Fonte: Campos, 1978.

## 2.5 Equação de Intensidades Durações e Frequências

As curvas IDF podem ser expressas por uma equação genérica seguindo a forma apresentada abaixo. Existem diferentes metodologias aplicáveis para a construção das equações IDF. Estas equações podem assumir diversos formatos, dentre os mais comuns pode-se citar o tipo Log-Log, Talbot e Shreman. A expressão proposta por Sherman (1931) foi validada e usada em grande parte por muitos pesquisadores sendo este o mais amplamente utilizado Damé (2008), como apresentado abaixo na equação 4.

$$I = \frac{K.TR^m}{t^n} \quad (4)$$

Onde:

I = intensidade máxima dada em mm/h;

TR = período de retorno em anos;

t = duração do evento em min;

K, m e n = parâmetros da equação obtidos empiricamente para cada localidade.

A determinação dos parâmetros é feita com base nos valores de precipitação observados e estimados. Para determinar os parâmetros (K, m e n) da equação de chuvas intensas para foi realizado uma mudança de variável na equação 4, substituindo o numerador por uma variável qualquer denominada de "d", obtendo-se a equação 5:

$$d = K.TR^m \quad (5)$$

O que resulta na equação 6:

$$I = d.t^{-n} \quad (6)$$

Por fim, foi aplicada uma regressão potencial comum a todos as demais regressões potências dos períodos de retorno. A partir dessa aplicação é que se conhece os parâmetros d e n necessários para a composição da equação de intensidade de chuvas. Montada a tabela de intensidade, é possível gerar o gráfico IDF das precipitações máximas.

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os maiores volumes pluviométricos precipitados no período de 24 horas, em cada ano ao longo da série histórica, estão sintetizados na tabela 3. Com base nos dados apresentados na tabela 3, percebe-se uma considerável variação interanual entre as precipitações máximas.

Tabela 3

Mês de ocorrência e a máxima altura pluviométrica (mm) da série entre os anos de 1945 a 2019

Ano	Mês	Precipitação (mm)	Ano	Mês	Precipitação (mm)	Ano	Mês	Precipitação (mm)
1945	SET	72,38	1970	MAI	120,62	1995	MAI	95,30
1946	ABR	66,52	1971	ABR	146,25	1996	ABR	232,50
1947	NOV	135,20	1972	MAI	69,00	1997	OUT	84,00
1948	MAR	69,73	1973	MAI	127,40	1998	JUN	141,00
1949	JUN	92,52	1974	FEV	144,80	1999	MAR	180,20
1950	FEV	69,12	1975	ABR	109,40	2000	JUN	75,80
1951	ABR	134,99	1976	MAI	79,30	2001	OUT	73,90
1952	MAI	93,66	1977	JUN	134,60	2002	JUL	108,60
1953	ABR	54,27	1978	JUN	79,40	2003	MAI	112,20
1954	ABR	79,94	1979	ABR	114,20	2004	JAN	89,30
1955	JAN	49,91	1980	FEV	159,85	2005	MAR	144,80
1956	NOV	94,41	1981	JUN	90,00	2006	ABR	110,60
1957	ABR	68,58	1982	ABR	136,50	2007	FEV	67,80
1958	MAR	64,77	1983	JUN	98,20	2008	FEV	130,80
1959	AGO	51,90	1984	ABR	133,40	2009	ABR	123,00
1960	ABR	82,97	1985	ABR	139,50	2010	ABR	118,00
1961	JUN	47,14	1986	ABR	113,20	2011	ABR	97,60
1962	NOV	86,91	1987	MAI	99,80	2012	MAI	186,40
1963	FEV	95,67	1988	MAR	85,00	2013	NOV	117,70
1964	NOV	129,99	1989	JAN	106,00	2014	MAI	104,90
1965	ABR	100,23	1990	JUL	97,80	2015	MAI	105,40
1966	MAI	114,71	1991	JAN	124,00	2016	AGO	97,50
1967	MAI	70,46	1992	NOV	87,30	2017	NOV	61,90
1968	MAI	79,93	1993	MAI	68,70	2018	DEZ	81,80
1969	MAI	106,18	1994	JUN	114,00	2019	MAR	121,00

As máximas anuais variaram entre 47,14 e 232,50 mm, ocorridas em junho/1961 e abril/1996, respectivamente. As maiores concentrações em 24 horas foram de 232,50 e 186,40 mm, ocorridas respectivamente nos meses de abril de 1996 e maio de 2012, sendo os meses de abril e maio os mais recorrente. Observa-se ainda o trimestre abril-maio-junho concentrou os valores de máximas anuais em 58 % dos casos, devido a isso, deve-se atentar, sobretudo, pelo potencial gerador de desastres hidrológicos neste período.

Após a identificação das ocorrências de precipitações máximas em 24 horas para todos os anos da série histórica, foi aplicada a distribuição de Gumbel para encontrar as probabilidades de ocorrência da precipitação máxima para distintos períodos de retorno (anos). Na tabela 4 estão apresentados os valores das variáveis reduzidas, calculadas pela equação 3, as probabilidades de ocorrência e os incrementos de 14 % nos valores de precipitação, que corresponderá a magnitudes próximas às reais, como recomendado pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental - CETESB (1986).

Tabela 4

Correção de precipitação máxima e pela variável reduzida para cada período de retorno

Período de retorno (anos)	Variável Reduzida	Precipitação (mm)	Precipitação corrigida (mm)
2	0,3665	89,4684	101,9940
5	1,4999	117,9369	134,4480
10	2,2504	136,7855	155,9354
25	3,1985	160,6007	183,0848
50	3,9019	178,2682	203,2258
100	4,6001	195,8053	223,2181

Utilizando os coeficientes da desagregação de chuvas propostos por Campos (1978), apresentados na tabela 2, é estimada a precipitação máxima (mm) para os distintos períodos de retorno (anos) em função da duração (h), apresentados na tabela 5. É notória a relação proporcional entre o aumento dos máximos de precipitação prevista com o avanço dos períodos de retorno.

Tabela 5

Precipitação máxima (mm) desagregadas para diferentes tempos de duração e tempo de retorno

Tempo de duração (min)	Coeficiente de desagregação	Período de retorno					
		2	5	10	25	50	100
60	0,30	30,33	39,98	46,37	54,44	60,43	66,38
120	0,39	39,43	51,97	60,28	70,78	78,56	86,29
180	0,46	46,51	61,30	71,10	83,48	92,66	101,78
240	0,52	52,57	69,30	80,38	94,37	104,75	115,06
300	0,57	57,63	75,96	88,10	103,44	114,82	126,12
360	0,61	61,67	81,29	94,29	110,70	122,88	134,97
480	0,68	68,75	90,62	105,11	123,41	136,98	150,46
720	0,80	80,88	106,61	123,65	145,18	161,15	177,01
1080	0,91	92,00	121,27	140,66	165,15	183,31	201,35
1440	1,00	101,10	133,27	154,57	181,48	201,44	221,26

Após a desagregação das precipitações para os tempos de duração e tempo de retorno, foi aplicado os ajustamentos e análises de tendências dos dados. A tabela 6 agrupa os coeficientes de determinação das retas de regressão: Exponencial, Linear, Polinomial e Potência, sendo que, quanto mais próximo de 1, melhor é o ajuste de dados.

Tabela 6

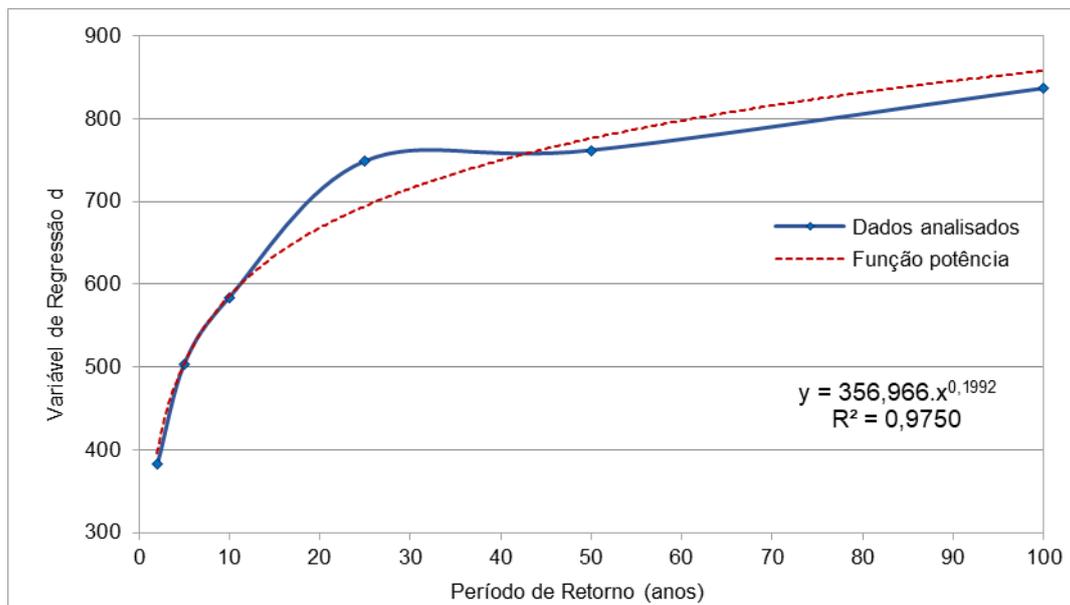
Coeficientes de determinação ( $r^2$ ) para diferentes ajustes de tendência

Tipo de Ajuste	Equação de ajuste	$R^2$
Exponencial	$y = 503,460.e^{0,0062.x}$	0,613
Linear	$y = 3,857.x + 512,771$	0,690
Logarítmica	$y = 117,939.ln(x) + 314,978$	0,952
Polinomial	$y = -0,00791.x^2 + 11,838.x + 432,053$	0,892
Potência	$y = 356,966.x^{0,1992}$	0,975

Pela tabela 6, verifica-se que o melhor ajuste se deu com a função Potência, sendo que, as funções Linear, Logarítmica e Polinomial também apresentaram elevados valores de  $r^2$ . Apenas a função Exponencial não se ajustou bem aos dados. Após encontrar na função Potência a melhor aderência, foram aplicadas regressões em função de cada retorno, realizou-se uma regressão geral para todos os períodos de período de retorno. Na figura 4 as linhas de tendência entre os dados observados em comparação com os dados modelados.

**Figura 4**

Intensidade estimada para todos os períodos de retorno



Na tabela 7, verifica-se os valores de  $K=360,1246$ ,  $m=0,1992$  e  $\ln(K): 5,8865$ . O valor de “n”, necessário para completar a equação 4 é obtido pela média dos coeficientes de regressão obtidos para as regressões potência de todos os períodos de retorno separadamente, que foi de  $-0,61926$ .

**Tabela 7**

Regressão (potência) para todos os períodos de retorno

Regressão potencial						
Nº amostra	x	d	Ln(x)	Ln(d)	Ln(x).Ln(d)	(lnx) <sup>2</sup>
1	2	385,5907	0,6931	5,9548	4,1275	0,4805
2	5	508,2841	1,6094	6,2310	10,0285	2,5903
3	10	589,5178	2,3026	6,3793	14,6889	5,3019
4	25	755,3513	3,2189	6,6272	21,3321	10,3612
5	50	768,3003	3,9120	6,6442	25,9922	15,3039
6	100	843,8815	4,6052	6,7380	31,0297	21,2076
6	192	3850,9257	16,3412	38,5745	107,1989	55,2453
$\ln(K) = 5,8865$		$K = 360,1246$	$m = 0,1992$			

Sabidos os valores das variáveis, substitui-se na equação 7, resultando na Equação de Chuvas Intensas para a cidade de Salvador-BA.

$$I = \frac{360,1246 \cdot TR^{0,1992}}{t^{0,61926}} \quad (6)$$

Onde:

I= intensidade da chuva (mm/h);

360,124= constante de regressão para todos os períodos de retorno;

T= período de retorno (anos);

0,1992= coeficiente de regressão de todos os períodos de retorno;

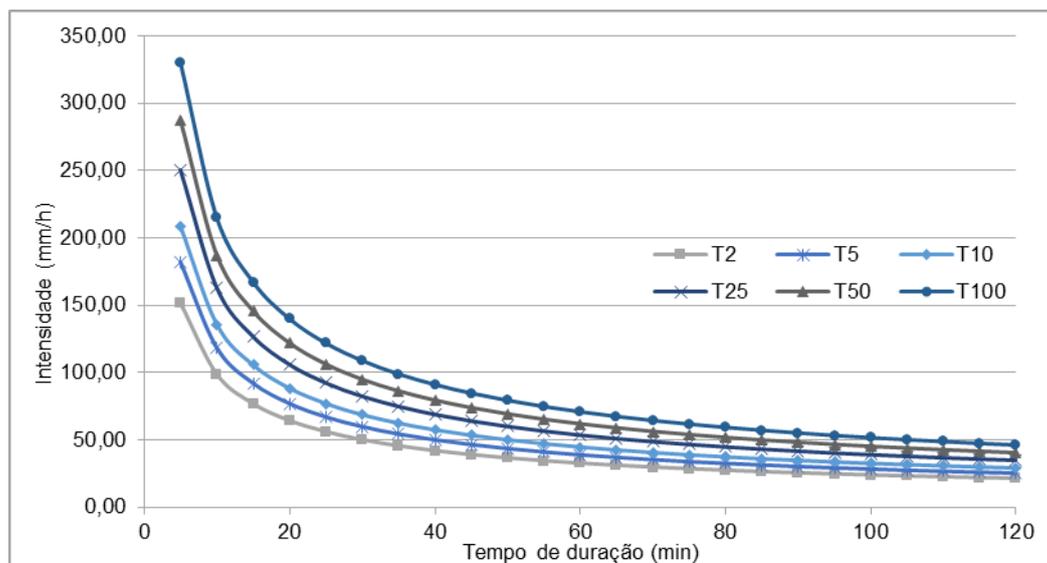
T= tempo de duração da precipitação (min);

0,61926= coeficiente de regressão aplicado à cada período de retorno.

Inserindo os valores de “T” e “t” na equação de chuvas intensas é possível calcular os distintos tempos de duração, bem como seus períodos de retorno, cujos resultados estão na tabela 8, e sua representação gráfica na figura 5.

**Figura 5**

Curvas I-D-F das Chuvas Intensas de Salvador-BA



As intensidades apresentam relação direta com o aumento do período de retorno e, inversa em função do aumento da duração. Desta forma, são observadas chuvas de maior intensidade nos primeiros minutos do evento e em maiores períodos de retorno. Por exemplo, a intensidade

verificada para o período de retorno de 2 anos, para 5 primeiros minutos é de 151,27 mm/h, passando para 49,87 mm/h nos 30 min e, para a duração de 60 minutos (1 hora) a intensidade diminui para 38,97 mm/h. A partir disso, o volume pluviométrico para o retorno de 2 anos, diminui para aproximadamente 75% no limite da primeira hora de duração.

De modo geral, em todos os períodos de retorno as intensidades são maiores no início dos eventos, sendo que, para a frequência de 2 anos a curva de IDF é mais suavizada do que para a frequência de 100 anos, que apresentou maior diminuição da intensidade nos minutos iniciais da precipitação, enquanto as curvas de IDF são mais suavizadas após os 20 minutos.

#### 4 CONCLUSÕES

A metodologia empregada foi satisfatória e permitiu gerar a equação de chuvas intensas e estimar graficamente as relações entre a intensidade, duração e frequência (IDF) das precipitações máximas do período de 24 horas para a cidade de Salvador-BA, em dados do período de 1944 a 2019. Os resultados das funções de tendências apresentaram bons resultados de ajustes, sendo a regressão potencial a que apresentou um melhor resultado com coeficiente de determinação ( $r^2$ ) para diferentes ajustes de tendência de 0,9750.

Os regimes pluviométricos das estações analisadas apresentaram uma variabilidade nos padrões de precipitação temporal, porém em média apresentaram um comportamento similar. A distribuição da precipitação média mensal apresentou variabilidade, com duas estações bem definidas, sendo os maiores valores médios ocorrem entre os meses de março e julho, enquanto o período menos chuvoso se estende dos meses agosto, com médias mensais próximas a 100 mm.

O aumento da impermeabilização do solo devido à urbanização modifica o regime hidrológico. Estas mudanças podem ter um impacto profundo sobre a intensidade e variabilidade das precipitações. Os resultados das relações de intensidades durações e frequências obtidas dos eventos de precipitação máxima, variando em função das durações e dos períodos de retorno, são importantes ferramentas para auxiliar no desenvolvimento de obras de engenharia de drenagem urbana, subsidiando as devidas tomadas de decisões de prevenção de desastres de eventos extremos de precipitação.

Desta forma, diante das incertezas de aumento de frequências de chuvas intensas, cabe destacar a importância da conservação e continuidade de registros de dados nas estações de coleta, para que não haja falhas ou interrupção nas séries temporais.

#### Agradecimentos

Agradecimento à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo apoio financeiro e suporte à pesquisa, visto que este trabalho é parte integrante de dissertação de mestrado.

### Contribuições dos autores

FRG: Metodologia, Administração do Projeto, Escrita, Recursos, Software, Validação, Visualização, Conceituação, Curadoria de Dados

MJAJ: Conceituação, Metodologia, Recursos, Análise Formal, Software, Supervisão, Escrita, Revisão e Edição

### REFERÊNCIAS

- Aranda, Daniel Francisco Campos et al. Cálculo de las Curvas Intensidad-Duración-Período de Retorno, a partir de Registros de Lluvia Máxima en 24 horas y Relaciones Duración-Lluvia Promedio. Subdirección Regional Noreste de Obras Hidráulicas e Ingeniería Agrícola para el Desarrollo Rural., San Luis Potosí, p. 25, set. 1978.
- CETESB - Companhia de tecnologia de saneamento ambiental. Drenagem urbana: manual de projeto. São Paulo: DAEE/CETESB, 1986. 466p.
- Dame, Rita De C. F.; Teixeira, Claudia F. A.; Terra, Viviane S. S.. Comparação de diferentes metodologias para estimativa de curvas intensidade-duração-freqüência para Pelotas - RS. Eng. Agrícola., Jaboticabal, v. 28, n. 2, p. 245-255, Junho, 2008.
- Devkota, Sanjaya; Shakya, Narendra Man; SUDMEIER-RIEUX, Karen.;
- EMERGENCY DATABASE (EM-DAT). OFDA/CRED The Office of Foreign Disaster Assistance/Centre for Research on the Epidemiology of Disasters - Université Catholique de Louvain, Brussels, Belgium. Disponível em: <<https://www.emdat.be>>. Acesso em: 20 de fevereiro de 2020.
- Gigovic, Ljubomir; Pamucar, Dragan; Bajić, Zoran; Drobnjak, Siniša. Application of GIS-Interval Rough AHP Methodology for Flood Hazard Mapping in Urban Areas. Water 2017, 9, 360.
- Hosseinzadehtalaei, Parisa, Tabari, Hossein & Willems, Patrick. Uncertainty assessment for climate change impact on intense precipitation: how many model runs do we need?. International Journal of Climatology 2017. V.37, P1105-1117
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. CENSO DEMOGRÁFICO 2010. Características da população e dos domicílios: resultados do universo. Rio de Janeiro: IBGE, 2011. Disponível em: <<https://censo2010.ibge.gov.br/index.php>> Acesso em março de 2019.
- Jaboyedoff, Michel; Van Westen, Cees; Mcadoo, Brian; Adhikari, Anu. A. Development of Monsoonal Rainfall Intensity-Duration-Frequency (IDF) Relationship and Empirical Model for Data-Scarce Situations: The Case of the Central-Western Hills (Panchase Region) of Nepal. Hydrology 2018, 5, 27.
- Köppen, W. Das Geographische System der Klimatologie. Berlin, 1936. 44 p..

- Mihu-Pintilie, A.; Cîmpianu, C.I.; Stoleriu, C.C.; Pérez, M.N.; Paveluc, L.E.. Using High-Density LiDAR Data and 2D Streamflow Hydraulic Modeling to Improve Urban Flood Hazard Maps: A HEC-RAS Multi-Scenario Approach. *Water* 2019, 11, 1832.
- Naghattini, M.. Pinto, E.J.A.. Hidrologia estatística. Belo Horizonte: CPRM, 2007. 552 p..
- Pohl, B., Macron, C. & Monerie, P. Fewer rainy days and more extreme rainfall by the end of the century in Southern Africa. *Scientific Reports*, 2017. v7, n 46466.
- Santos, E; Pinho, J. A.G.; Moraes, L. R. S.; Fischer, T.. organizadores. O Caminho das Águas em Salvador: Bacias Hidrográficas, Bairros e Fontes. Salvador: CIAGS/UFBA; SEMA, 2010. 486p..
- Sherman, C.W. Frequency and Intensity of Excessive Rainfall at Boston, Boston-Massachusetts. *American Society of Civil Engineers*, 1931, v.95, p.951–960.
- Simonovic, S. P.; A.Schardong; D.Sandink; R.Srivastav. Mapping extreme rainfall statistics for Canada under climate change using updated intensity-duration-frequency curves. *Journal Water Resourch. Plann. Manage.* 2017. 143.
- Soares, A. M.. Cidade Revelada: pobreza urbana em Salvador. *Geografias (UFMG)*, v. 5. 2009, p. 83-96.
- Pizarro, R.; Ingram, B.; Gonzalez-Leiva, F.; Valdés-Pineda, R.; Sangüesa, C.; Delgado, N.; García-Chevesich, P.; Valdés, J.B. Webse-Idf: A Web-Based System for the Estimation of IDF Curves in Central Chile. *Hydrology* 2018, v.5, p.40.
- Tucci, C.E.M. Urban Flood Management. Global Water Partnership, WMO – World Meteorologic Organisation, Cap-Net. 2011.Rech, Adir Ubaldo & Rech, Adivandro (2013). *Zoneamento ambiental como plataforma de planejamento da sustentabilidade*. Caxias do Sul: EducS, 2013.