



## XIII SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE

### **DETERMINAÇÃO DE EQUAÇÃO DE CHUVAS INTENSAS PARA A CIDADE DE CARUARU POR MEIO DO MÉTODO DE BELL**

*Hugo Cesar Cândido Pessoa<sup>1</sup>; Emerson Thiago da Silva<sup>2</sup>, Artur Paiva Coutinho<sup>3</sup>; Edevaldo Miguel Alves<sup>4</sup>; Saulo de Tarso Marques Bezerra<sup>5</sup>*

**RESUMO** - A obtenção de equações de intensidade duração e frequência é fundamental para o dimensionamento hidrológico e hidráulico nas obras de infraestrutura hídrica. Nesse sentido, esse trabalho tem por objetivo a determinação de equações idf para a Cidade de Caruaru. Foi aplicada o método de Bell, que é uma metodologia que permite relacionar as precipitações pluviométricas máximas prováveis com o tempo de retorno e a duração. Foi aplicada a distribuição teórica de Gumbel a distribuição de frequência empírica para um posto da Cidade de Caruaru. A série de precipitações diárias máximas anuais apresentou boa aderência a distribuição de Gumbel, sendo comprovado com a aplicação do teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov (KS), com nível de significância de 5%. A equação de intensidade duração e frequência gerada poderá auxiliar na tomada de decisão nos projetos hidrológicos para o município de Caruaru.

**ABSTRACT** - The obtaining intensity duration and frequency equations is fundamental to the hydrologic and hydraulic dimensioning in the works of water infrastructure. Thus, this study aims to determine idf equations for City Caruaru. It was applied to Bell's method, which is a methodology to relate the probable maximum rainfall, with return time and duration. The theoretical distribution Gumbel the distribution of empirical frequency for a station of the city of Caruaru was applied. The series of annual maximum daily rainfall showed good adherence to Gumbel distribution, being proven with the application of the Kolmogorov-Smirnov adherence test (KS), with 5% significance level. The equation of intensity-duration-frequency generated can assist in decision making in hydrological projects for the city of Caruaru.

**Palavras-chave:** chuvas intensas, método de Bell. Distribuição de Gumbel

---

1)Graduando em Engenharia Civil, NT/CAA/UFPE, Rodovia BR-104, Km 59, s/n - Nova Caruaru, Caruaru - PE, 55002-970; e-mail: h.cesar1995@gmail.com

2)Graduando em Engenharia Civil, NT/CAA/UFPE, Rodovia BR-104, Km 59, s/n - Nova Caruaru, Caruaru - PE, 55002-970; e-mail: emerson.thiago@outlook.com

3)Professor Doutor em Engenharia Civil, NT/CAA/UFPE, Rodovia BR-104, Km 59, s/n - Nova Caruaru, Caruaru - PE, 55002-970, e-mail: arthur.coutinho@gmail.com

4)Professor Doutor em Engenharia Civil, NT/CAA/UFPE, Rodovia BR-104, Km 59, s/n - Nova Caruaru, Caruaru - PE, 55002-970, e-mail: edevaldo.miguel@ufpe.br

5)Professor Doutor em Engenharia Civil, NT/CAA/UFPE, Rodovia BR-104, Km 59, s/n - Nova Caruaru, Caruaru - PE, 55002-970, e-mail: s.bezerra@hotmail.com

## 1. INTRODUÇÃO

O projeto de obras hidráulicas na drenagem urbana, drenagem de rodovias, drenagem na agricultura e drenagem de obras geotécnicas depende do levantamento de uma série de informações hidrológicas. Dentre as informações hidrológicas, o conhecimento das equações de intensidade, duração e frequência é fundamental para o cálculo das chuvas máximas de projeto.

As precipitações de projeto são aquelas associadas a um tempo de recorrência e a uma duração determinada. Tradicionalmente, as equações de intensidade, duração e frequência são determinadas através de dados pluviográficos. No entanto, a falta de uma série longa e contínua de dados pluviográficos, ou mesmo a inexistência desses dados, leva muitos hidrólogos a utilizarem metodologias alternativas, muitas vezes baseadas em longas séries de dados pluviométricos.

O método de Bell e os métodos das relações entre durações estão entre as metodologias que proporcionam a determinação de equações idfs a partir de uma série histórica anual de precipitações pluviométricas máximas diárias. Essas metodologias apresentam grande potencial de aplicação no território brasileiro, uma vez que a rede pluviométrica brasileira é muito maior que a rede pluviográfica. Nesse caso, a rede pluviométrica está disponível para dar subsídios ao monitoramento dos diversos reservatórios para a abastecimento d'água e principalmente para o planejamento dos reservatórios do setor elétrico.

Nesse sentido, o objetivo desse trabalho é aplicar o método de Bell para determinação de uma equação de intensidade, duração e frequência para a cidade de Caruaru, situada no Agreste Pernambucano.

## 2. METODOLOGIA

Utilizaram-se, neste trabalho, a série histórica consistida de precipitações, disponíveis na página (web) da Agência Nacional das Águas (ANA, 2016), com uma série de precipitação de 57 anos de observações diárias para a estação Caruaru de código 00835009 conforme Figura 1.



Figura 1 – Localização da região de Caruaru no Estado de Pernambuco.

Foram selecionados para a estação 00835009, para cada ano, os valores máximos das precipitações diárias, permitindo, assim, a preparação das séries anuais dos valores extremos. O período de observação utilizado no foi o disponível entre os anos de 1914 e 1974. Com o objetivo de se obter as precipitações máximas possíveis de serem igualadas ou superadas a cada 2, 5, 10, 25, 50 e 100 anos, a partir das séries anuais, foi empregado o método de Bell.

Conforme descrito em Tucci (2004), as equações de intensidade – duração – frequência (i-d-f) podem ser resumidas por uma expressão genérica da seguinte maneira:

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

onde  $i$  é a intensidade de precipitação, normalmente dada em mm/h; TR é o tempo de retorno, em anos;  $t$  é a duração da precipitação, em minutos, e  $a$ ,  $b$ ,  $c$  e  $d$  são parâmetros a serem determinados para cada local.

Para a análise estatística foi utilizada a distribuição de Gumbel. Segundo Naghettini (2007) a distribuição de Gumbel (máximos) é a distribuição extrema mais usada na análise de frequência de variáveis hidrológicas, com inúmeras aplicações na determinação de relações intensidade- duração-frequência de precipitações intensas e estudos de vazões de enchentes.

A função de probabilidades acumuladas da distribuição de Gumbel é dada por:

$$Fy(y) = \exp\left[-\exp\left(-\frac{y-\beta}{\alpha}\right)\right] \quad (2)$$

na qual,  $\beta$  representa o parâmetro de escala e  $\alpha$  o parâmetro de posição.

A inversa da função acumulada de probabilidade da distribuição de Gumbel pode ser escrita da seguinte forma:

$$x(T) = \beta - \alpha \ln\left(-\ln\left(1 - \frac{1}{T}\right)\right) \quad (3)$$

Onde  $\beta$  é parâmetro de posição,  $\alpha$  é o parâmetro de escala já definidos acima,  $T$  é o tempo de retorno em anos.

A estimativa do parâmetro de posição e do parâmetro de escala da distribuição usando o método dos momentos resulta nas equações a seguir:

$$\beta = \bar{X} - 0,45s_x \quad (4)$$

$$\alpha = \frac{s_x}{1,283} \quad (5)$$

onde  $\bar{X}$  e  $s_x$  representam respectivamente a média e o desvio padrão amostrais.

Para avaliar a qualidade dos ajustes da distribuição estatística foi utilizado o teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov (KS), com nível de significância de 5%.

O teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov (KS) é um teste não paramétrico, cuja estatística de teste tem como base a diferença máxima entre as funções de probabilidades acumuladas, empírica e teórica, de variáveis aleatórias contínuas.

A estatística do teste KS é dada por:

$$D_N = \sup_{-\infty < x < \infty} |F_N(x) - F_x(x)| \quad (6)$$

e corresponde, portanto, a maior diferença entre as probabilidades empírica e teórica.

Segundo Righetto (1998), o método de Bell associa a altura pluviométrica de uma chuva intensa de duração ( $d_c$ ) e período de retorno (T), isto é,  $h(d_c; T)$ , com uma chuva intensa padrão de 60 min de duração e 2 anos de período de retorno,  $h(60; 2)$ . Utilizando-se a seguinte relação empírica:

$$h(d_c; T) \approx (a_0 \ln T + a_1) \cdot (a_2 \cdot d_c^b - a_3) \cdot h(60; 2) \quad (7)$$

sendo  $a_0$ ,  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $a_3$  e  $b$  parâmetros regionais. A utilização de dados de postos brasileiros levou à fixação de valores para esses parâmetros, de modo que  $h(d_c; T)$  pode ser expresso por:

$$h(d_c; T) \approx (0,31 \ln T + 0,7) \cdot (0,38 \cdot d_c^{0,31} - 0,39) \cdot h(60; 2) \quad (8)$$

Como o método só se aplica se for possível estimar  $h(60; 2)$ , recomenda-se que seja utilizada a seguinte relação empírica:

$$h(60; 2) = K \cdot h_{dia}(2) \quad (9)$$

sendo  $K = 0,510$  e  $h_{dia}(2)$  a altura pluviométrica máxima diária anual correspondente ao período de retorno,  $T = 2$  anos.

A fim de validar a qualidade do ajustada distribuição estatística foi utilizado o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) (equação 10). Para o valor do coeficiente de determinação  $R^2$ , espera-se uma tendência ao valor 1 (um). Tal coeficiente determina a proporção da variância nos valores experimentados que podem ser atribuídos aos observados.

$$R^2 = \frac{[n \cdot (\sum M_i \cdot T_i) - \sum M_i \cdot \sum T_i]^2}{n \cdot [\sum T_i^2 - (\sum T_i)^2] [n \cdot \sum M_i^2 - (\sum M_i)^2]} \quad (10)$$

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A distribuição de Gumbel mostrou-se adequada para o município de Caruaruno que se refere à estimativa da precipitação máxima avaliada pelo teste de Kolmogorov-Smirnov para um nível de significância de 5%. Na Figura 2 são apresentadas as distribuições de frequência empírica e teóricas pelo modelo de Gumbel da série das precipitações diárias máximas anuais para o município de

Caruaru. Os valores dos parâmetros de escala e de posição obtidos foram 18,80 mm e 43,26 mm, respectivamente.

A diferença máxima observada entre a distribuição de frequência empírica e a teórica foi de 0,073. Valor esse muito menor que o valor crítico de 0,2 estabelecido pelo teste de Kolmogorov-Smirnov para um nível de significância de 5%.

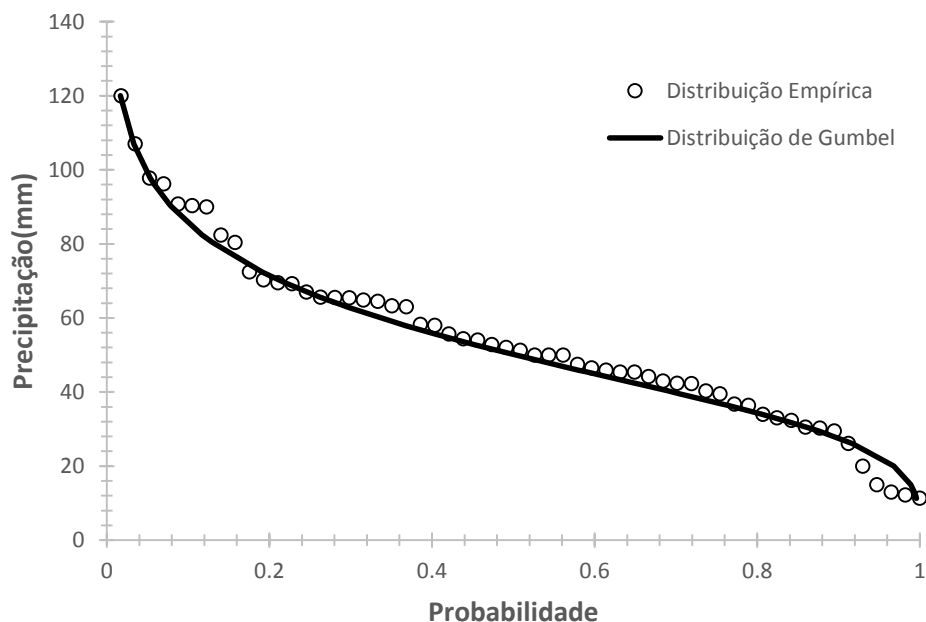


Figura 2 - Distribuição de frequência das precipitações máximas anuais diárias do município de Caruaru.

Após verificação da aderência do modelo de Gumbel, foram estimadas as precipitações máximas diárias para os períodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 e 100 anos, conforme demonstrado na Tabela 1.

Tabela 1 - Precipitações máximas diárias (mm) estimadas pela distribuição de Gumbel

Estações	Período de retorno (Anos)					
	2	5	10	25	50	100
Caruaru	5,72	12,19	21,62	46,09	81,73	144,89

As curvas IDF para o município de Caruaru por meio do método de Bell são demonstradas na Figura 3. Foram traçadas as curvas para os tempos de retorno de 2, 10, 50 e 100 anos. As durações de no máximo 120 minutos e no mínimo 5 minutos refletem o intervalo recomendado para a validade de aplicação do método de Bell.

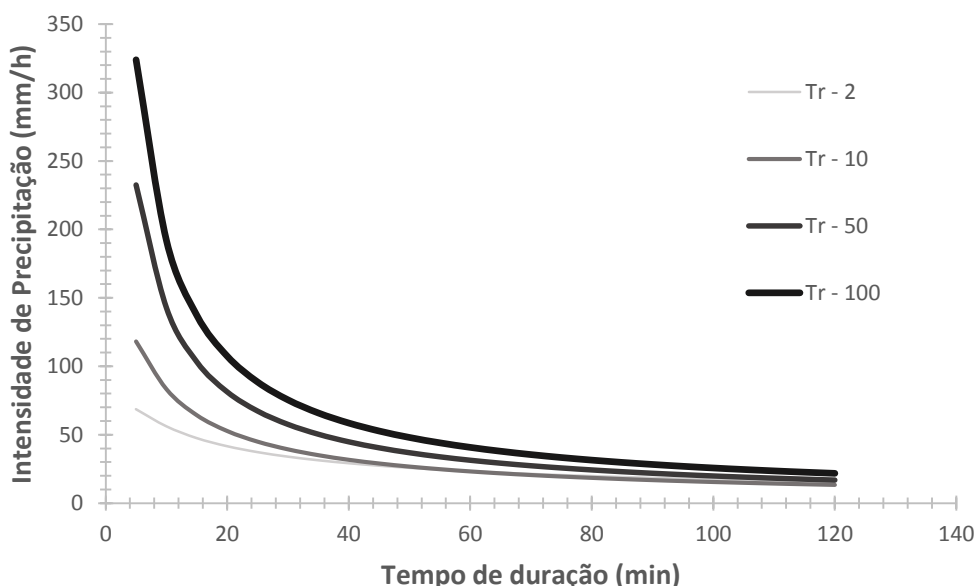


Figura 3 - Curvas IDF –Método de Bell – Caruaru/PE

Na Tabela 2 são apresentados os valores encontrados dos coeficientes a, b, c e d da equação 1, após ajuste utilizando a metodologia proposta pela CETESB/1989. Os parâmetros obtidos são válidos para a estação usada nesse trabalho, no entanto, podem ser também utilizados em projetos realizados em outras cidades próximas, uma vez que escassez de dados hidrológicos é uma realidade para alguns municípios do agreste pernambucano.

Tabela 2 – Parâmetros da equação de chuvas intensas para a cidade de Caruaru.

<b>Parâmetros da Equação de Chuvas Intensas</b>				
<b>Estação</b>	<b>a</b>	<b>b</b>	<b>c</b>	<b>d</b>
<b>Caruaru</b>	348,9	0,826	16,596	1,079

Para a validação dos parâmetros na cidade de Caruaru foram calculados os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e observou-se que estes valores para o método de Bell foram todos superiores a 0,90.

#### 4. CONCLUSÃO

Para a estação pluviométrica estudada da Cidade de Caruaru, a distribuição de Gumbel mostrou-se adequada para representar as estimativas dos valores das precipitações máximas no nível de significância de 5%, pelo teste de Kolmogorov-Smirnov.

A equação de chuva intensa determinada neste trabalho, por meio do método de Bell, apresentou bons ajustes, com coeficientes de determinação ( $R^2$ ) superior a 0,90. Tal equação representa uma grande contribuição para a cidade de Caruaru, sendo uma boa alternativa para

atender aos projetos hidrológicos com período de retorno de até 100 anos e durações de até 120 minutos.

## 5. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ANA – Agência Nacional das Águas. Hidroweb: Sistemas de informações hidrológicas. <http://hidroweb.ana.gov.br>. 10 Junho 2010.

BELL, F.C.; "Generalized rainfall-duration-frequency relationships". *Journal of the Hydraulics Division-ASCE*, v.95, p311-327, 95: 311-327, 1969.

DAEE-CETESB. *Drenagem urbana: Manual de projeto*. São Paulo: 466p. 1980.

NAGHETTINI, M.; PINTO, E. J. de A.; *Hidrologia estatística*. Belo Horizonte: CPRM, 552 p. 2007.

RIGHETTO, A. M. *Hidrologia e Recursos Hídricos*. EESC / USP, São Carlos- SP, 840 p. 1998.

ROBAINA, A. D. "Modelo para geração de chuvas intensas no Rio Grande do Sul". *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Vol4, No 2, pp 95-98, 1996.

TUCCI, C. E. M. *Hidrologia Ciência e Aplicação*. Editora da UFRGS, Porto Alegre, 943 p. 2004.