

ATUALIZAÇÃO DA EQUAÇÃO DE CHUVA PARA BELÉM DO PARÁ

UPDATE TO THE RAINFALL EQUATION FOR BELÉM, PARÁ

ACTUALIZACIÓN DE LA ECUACIÓN DE LLUVIA PARA BELÉM, PARÁ

Marco Antônio Macedo de Oliveira¹
Matheus Augusto Oliveira Mattos²
Marco Valério de Albuquerque Vinagre³
Francisco Denis Pereira Chaves⁴
Fábio Moreira da Costa Júnior⁵
Luan da Silva Freitas⁶

RESUMO: Para o avanço na urbanização de uma localidade, no que tange principalmente o saneamento, o conhecimento da interação de intensidade, duração e frequência das precipitações (relação IDF) das chuvas intensas, é imprescindível, tendo em vista que para o bom desempenho dos projetos de drenagem e macrodrenagem é necessário dados aderentes oriundos dessa interação, obtidos através de uma equação de chuva. Nesse contexto, esse trabalho teve como objetivo, determinar uma equação de chuva atualizada para Belém do Pará. Para isso utilizou-se os dados de precipitação da estação pluviométrica Belém, código 148002, onde a mesma mostrou-se com maiores quantidades de séries totalizando 68 anos de observações de dados. Para os coeficientes de desagregação adotou-se o método de Torga Torrico (1974) revisto por Basso et al (2016), para as distribuições de frequência foi utilizado a função de Log Pearson Tipo III sendo a que mais se ajustou no modelo de dados utilizados e por fim, para a determinação dos parâmetros da equação de chuva K, a, b, c, utilizou-se o método de regressão linear.

1

Palavras-chave: Chuvas intensas. Coeficientes de desagregação. Equação de chuva.

ABSTRACT: For the advancement of urbanization in a given area, particularly with regard to sanitation, an understanding of the interaction between the intensity, duration, and frequency of rainfall (IDF ratio) during heavy rains is essential. This is because the effective performance of drainage and stormwater management projects requires accurate data derived from this interaction, obtained through a rainfall equation. In this context, the objective of this study was to determine an updated rainfall equation for Belém, Pará. For this purpose, precipitation data from the Belém rain gauge station (code 148002) were used, as this station provided the most extensive data series, totaling 68 years of observations. For the disaggregation coefficients, the method of Torga Torrico (1974), revised by Basso et al. (2016), was adopted; for the frequency distributions, the Log Pearson Type III function was used, as it best fit the data model; and finally, for determining the parameters of the rainfall equation (K, a, b, c), the linear regression method was used.

Keywords: Heavy rainfall. Disaggregation coefficients. Rainfall equation.

¹Graduação em Engenharia Civil (UNAMA)

²Doutorando em Engenharia Civil (UFPA)

³Doutor em Engenharia de Recursos Naturais da Amazônia (UNAMA)

⁴Doutorando em Desenvolvimento e Meio Ambiente Urbano (PPDMU/UNAMA)

⁵Mestrando em Desenvolvimento e Meio Ambiente Urbano (PPDMU/UNAMA)

⁶Doutorando em Desenvolvimento e Meio Ambiente Urbano (PPDMU/UNAMA)

RESUMEN: Para el avance de la urbanización de una localidad, especialmente en lo que se refiere al saneamiento, es imprescindible conocer la interacción entre la intensidad, la duración y la frecuencia de las precipitaciones (relación IDF) de las lluvias intensas, ya que para el buen funcionamiento de los proyectos de drenaje y macrodrenaje se necesitan datos precisos derivados de dicha interacción, obtenidos mediante una ecuación de lluvia. En este contexto, el objetivo de este trabajo fue determinar una ecuación de lluvia actualizada para Belém do Pará. Para ello se utilizaron los datos de precipitación de la estación pluviométrica de Belém, código 148002, que presentaba las mayores cantidades de series, con un total de 68 años de observaciones de datos. Para los coeficientes de desagregación se adoptó el método de Taborga Torrico (1974), revisado por Basso et al. (2016); para las distribuciones de frecuencia se utilizó la función de Log Pearson Tipo III, ya que fue la que mejor se ajustó al modelo de datos utilizado; y, por último, para la determinación de los parámetros de la ecuación de lluvia K , a , b , c , se utilizó el método de regresión lineal.

Palabras clave: Luvias intensas. Coeficientes de desagregación. Ecuación de la precipitación.

INTRODUÇÃO

O município de Belém, a capital do Pará é a cidade mais populosa do estado, possuindo uma população estimada de 1.303.389 habitantes, sendo a décima segunda mais populosa do país e a segunda da Região Norte (IBGE, 2022).

De acordo com o Plano Municipal de Saneamento Básico de Belém (PMB, 2020) Belém está situada em uma região marcada pela alta umidade, também conta com um alto volume de chuvas ao longo do ano, sendo dezembro a maio o período com maiores incidência de chuvas. Com o aumento populacional, houve um crescimento das ocupações urbanas desordenadas, frequentemente situadas sobre ou nas proximidades de rios, afluentes e canais das bacias hidrográficas da cidade, resultando no assoreamento de suas margens, dificultando a drenagem das águas pluviais e, conseqüentemente, provocando inundações em diversos locais da cidade.

Em estudos hidrológicos necessita-se, além do conhecimento das chuvas máximas observadas nas séries históricas, a previsão de precipitações máximas que possam vir a ocorrer com determinada frequência (VILLELA & MATTOS, 1975). Esta previsão pode ser obtida a partir da análise das observações das chuvas intensas durante um período suficientemente longo e representativo dos eventos extremos (TUCCI, 2004).

O engenheiro Otto Pfafstetter (1956, 1982) publicou um estudo abrangente sobre chuvas intensas no Brasil em 1956. Até hoje, é uma fonte de informação quase obrigatória para consultores que trabalham em projetos de drenagem em diversos seguimentos. O objetivo do estudo foi apresentar as relações entre as curvas $i-d-f$ (intensidade-duração-frequência) para diversas regiões do Brasil com base em 98 pontos com pluviógrafos. Os postos pluviográficos localizam-se principalmente nas regiões sul e sudeste, e nas capitais da região norte e nordeste.

Muitos dos dados originais obtidos por Otto Pfafstetter não estão mais disponíveis, porém sua publicação original de 1956, republicada em 1982, denominada “Chuvas Intensas no Brasil”, ainda é uma referência para estudos hidrológicos desenvolvidos por consultores e projetistas.

Devido à não disposição de dados de pluviógrafos e, conseqüentemente, de curvas i-d-f para grandes regiões não monitoradas em diversas partes do país, Tabora Torrico desenvolveu em 1974 o seu método das Isozonas (TORRICO, 1974).

O método das Isozonas de Tabora Torrico foi revisado por Basso et al. (2016) na Nota Técnica publicada na Revista Engenharia Sanitária e Ambiental, intitulada “Revisão das Chuvas Intensas no Brasil”.

Basso et al. (2016) propuseram uma revisão das Isozonas de Tabora Torrico com base na análise de chuvas intensas a partir de um banco de dados de 1.000 estações pluviométricas no Brasil, dez vezes mais estações do que aquelas utilizadas no trabalho original de Otto Pfafstetter.

Segundo Back (2001), para a obtenção da máxima precipitação, é de suma importância a aplicação de um método arrojado de análise de frequência, onde o objetivo é determinar, a partir dos dados amostrais, a função de densidade de probabilidade que mais adequadamente representa a população de dados em questão, inferida por métodos estatísticos fundamentados na amostra observada.

Desta forma, para subsidiar a elaboração de projetos de saneamentos para a solução dos problemas de infraestrutura citados, é de grande importância o estudo de determinação da equação de chuvas intensas, tendo em vista que o mesmo tem o intuito de apresentar uma correta avaliação das vazões, possibilitando assim uma maior compreensão dos fluxos d’água oriundos de precipitações.

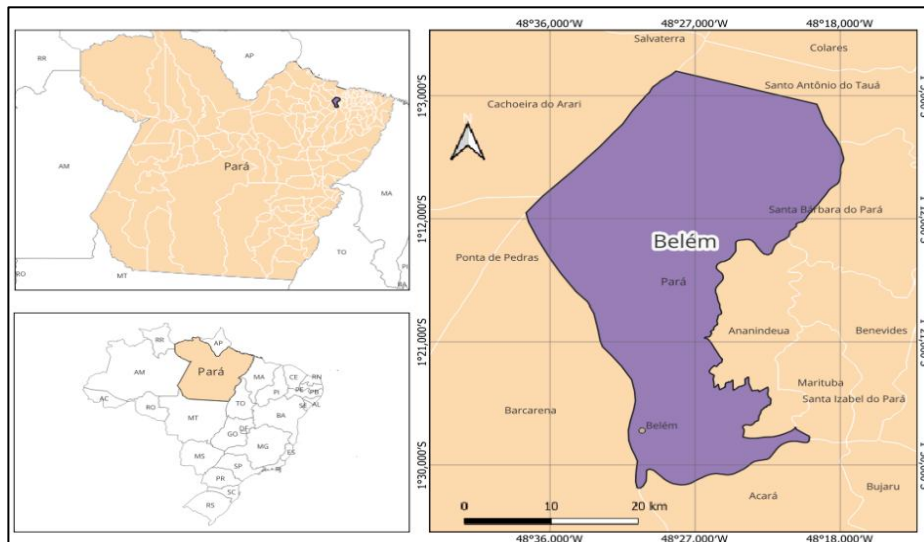
Esse trabalho tem como objetivo a determinação de uma equação de chuva atualizada para Belém do Pará, com a intenção de subsidiar a elaboração de estudos hidrológicos, dimensionamento de projetos de drenagem urbana, de forma segura e eficaz.

MÉTODOS

Neste trabalho, será abordado a determinação de uma equação de chuva atualizada para Belém do Pará, utilizando método de Isozonas de Tabora Torrico (1974) revisado por Basso et al (2016), teste de aderência para a determinação do método estatístico de distribuição de

frequência a ser utilizado e os cálculos de regressão linear para os ajustes dos parâmetros regionais da IDF.

Figura 1 – Mapa do local dos estudos



Fonte: Autores (2024).

No estudo, foram utilizados os dados de observações da estação pluviométrica Belém, código 148002, de coordenadas geográficas: Latitude - 1,4350, Longitude -48,4378, onde a mesma apresenta uma série de dados de 68 anos. Vale salientar, que os estudos hidrológicos desse trabalho, serão centrados nas análises das séries de precipitações máximas anuais.

4

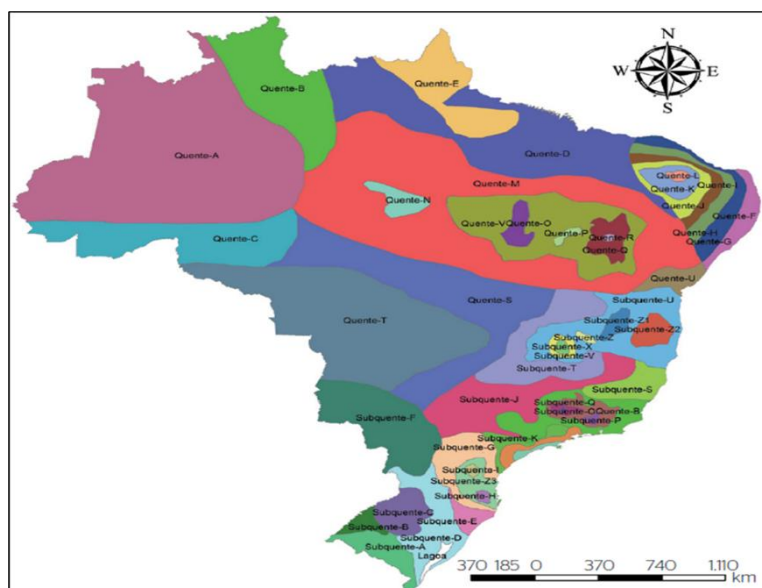
As informações das precipitações, estão disponíveis no SNIRH – Sistema Nacional de Informações em Recursos Hídricos, pertencente a Agência Nacional de Águas e Saneamento, denominado Sistema Hidroweb/ANA.

Para os coeficientes de desagregação de chuva, será adotada método de Isozonas de Taborga Torrico (1974) revisto por Basso et al (2016), onde o mesmo apresenta os coeficientes de desagregação das relações (r_{min}/r_{24h}) entre as precipitações das novas Isozonas para o período de retorno de 10 anos.

Apesar dos coeficientes de desagregação terem sido calculados apenas para o período de retorno de 10 anos, elas podem ser consideradas válidas para os demais períodos de retorno segundo os autores, citando Tucci (1993).

A Figura 2 apresenta o novo mapa das novas Isozonas revistas por Basso et al (2016), a tabela 1 apresenta a identificação das Isozonas, e quanto a tabela 2 apresenta os novos coeficientes de desagregação para as respectivas Isozonas

Figura 2 – Mapa das novas isozonas de chuvas intensas



Fonte: Basso et al (2016).

A Tabela 1 apresenta a identificação das novas Isozonas contendo suas respectivas nomenclaturas e abreviações das mesmas.

Tabela 1 – Identificação das novas Isozonas.

Isozonas	Abreviação	Isozonas	Abreviação
Quente - Semiárido A	QsemiA - A	Subquente - Semi-Úmido C	SQsemi - C
Quente - Semiárido B	QsemiA - B	Subquente - Semi-Úmido D	SQsemi - D
Quente - Semiárido C	QsemiA - C	Subquente - Semi-Úmido E	SQsemi - E
Quente - Semiárido D	QsemiA - D	Subquente - Semi-Úmido F	SQsemi - F
Quente - Semiárido E	QsemiA - E	Subquente - Semi-Úmido G	SQsemi - G
Quente - Semiárido F	QsemiA - F	Subquente - Superúmido A	SQsuper - A
Quente - Semiárido G	QsemiA - G	Subquente - Superúmido B	SQsuper - B
Quente - Semiárido H	QsemiA - H	Subquente - Superúmido C	SQsuper - C
Quente - Semiárido I	QsemiA - I	Subquente - Superúmido D	SQsuper - D
Quente - Semiárido J	QsemiA - J	Subquente - Superúmido E	SQsuper - E
Quente - Semiárido K	QsemiA - K	Subquente - Superúmido F	SQsuper - F
Quente - Semiárido L	QsemiA - L	Subquente - Superúmido G	SQsuper - G
Quente - Semiárido M	QsemiA - M	Subquente - Superúmido H	SQsuper - H
Quente - Semi-úmido A	QsemiU - A	Subquente - Superúmido I	SQsuper - I
Quente - Semi-úmido B	QsemiU - B	Subquente - Superúmido J	SQsuper - J
Quente - Semi-úmido C	QsemiU - C	Subquente - Superúmido K	SQsuper - K
Quente - Superúmido - Sem Seca	Qsuper	Subquente - Superúmido L	SQsuper - L
Quente - Úmido A	Qumid - A	Subquente - Úmido A	SQumid - A
Quente - Úmido B	Qumid - B	Subquente - Úmido C	SQumid - C
Quente - Úmido C	Qumid - C	Subquente - Úmido D	SQumid - D
Quente - Úmido D	Qumid - D	Subquente - Úmido E	SQumid - E
Quente - Úmido E	Qumid - E	Subquente - Úmido F	SQumid - F
Subquente - Semi-Úmido A	SQsemi - A	Subquente - Úmido G	SQumid - G
Subquente - Semi-Úmido B	SQsemi - B	Subquente - Úmido H	SQumid - H

Fonte: Basso et al (2016).

A Tabela 2 apresenta os coeficientes de desagregação das relações (r_{min}/r_{24h}) entre as precipitações das novas Isozonas para o período de retorno de 10 anos.

Tabela 2 – Coeficientes de desagregação das relações (r_{min24h}) entre as precipitações das novas isozonas para o período de recorrência de dez anos.

Abreviação	10 (min)	15 (min)	20 (min)	30 (min)	45 (min)	60 (min)	120 (min)	240 (min)	360 (min)	720 (min)	1440 (min)
QsemiA - A	19,9	26,4	31,7	39,9	48,5	54,6	68,0	79,0	84,4	97,7	100,0
QsemiA - B	20,4	27,4	33,1	42,1	51,6	58,3	73,1	84,3	89,2	99,9	100,0
QsemiA - C	21,2	28,4	34,2	43,2	52,5	59,0	73,0	83,6	88,3	100,0	100,0
QsemiA - D	21,7	29,1	35,1	44,5	54,3	61,2	75,7	86,4	90,8	100,0	100,0
QsemiA - E	22,9	30,4	36,4	45,6	54,8	61,1	74,3	84,1	88,6	100,0	100,0
QsemiA - F	23,0	30,7	36,8	46,1	55,6	62,1	75,6	85,4	89,7	100,0	100,0
QsemiA - G	23,8	31,7	38,1	47,8	57,7	64,3	78,0	87,6	91,6	100,0	100,0
QsemiA - H	16,5	21,8	26,0	32,8	39,9	45,0	57,2	68,8	75,5	91,5	100,0
QsemiA - I	16,9	22,3	26,6	33,4	40,6	45,8	58,0	69,5	76,0	93,1	100,0
QsemiA - J	16,9	22,3	26,7	33,6	40,9	46,1	58,5	70,0	76,5	93,1	100,0
QsemiA - K	16,8	22,2	26,6	33,5	40,8	46,1	58,6	70,2	76,7	92,7	100,0
QsemiA - L	16,7	22,1	26,5	33,5	41,0	46,4	59,0	70,6	77,1	92,8	100,0
QsemiA - M	16,5	21,9	26,3	33,3	40,8	46,2	58,9	70,5	77,1	92,3	100,0
QsemiU - A	19,1	25,2	30,1	37,6	45,6	51,3	64,3	75,5	81,4	94,7	100,0
QsemiU - B	17,8	23,1	27,3	33,8	40,5	45,4	57,0	68,4	75,1	89,7	100,0
QsemiU - C	17,7	22,7	26,6	32,5	38,7	43,1	54,0	65,3	72,3	86,9	100,0
Qsuper	20,1	26,0	30,7	37,8	45,1	50,2	62,0	72,7	78,8	91,5	100,0
Qumid - A	19,7	25,5	30,0	36,8	43,7	48,6	60,0	70,8	77,0	88,7	100,0
Qumid - B	20,5	26,9	31,9	39,7	47,6	53,2	65,8	76,5	82,1	97,7	100,0
Qumid - C	19,3	25,4	30,3	37,8	45,8	51,4	64,3	75,5	81,4	96,1	100,0
Qumid - D	16,1	21,5	25,9	32,9	40,4	45,9	58,7	70,5	77,0	92,0	100,0
Qumid - E	19,3	26,1	31,6	40,4	49,7	56,2	70,5	81,6	86,7	94,2	100,0
SQsemi - A	21,1	27,7	33,0	41,0	49,3	55,0	67,5	78,0	83,3	99,3	100,0
SQsemi - B	22,4	29,8	35,7	44,9	54,2	60,6	74,1	84,2	88,7	100,0	100,0
SQsemi - C	25,4	33,5	40,0	49,8	59,7	66,2	79,5	88,6	92,3	100,0	100,0
SQsemi - D	26,4	35,0	41,8	52,0	62,1	68,9	82,2	90,9	94,1	100,0	100,0
SQsemi - E	24,2	32,2	38,6	48,5	58,4	65,2	78,8	88,1	91,8	100,0	100,0
SQsemi - F	24,5	32,6	39,0	48,9	58,9	65,6	79,3	88,7	92,4	100,0	100,0
SQsemi - G	24,3	32,4	38,9	49,0	59,1	66,0	79,9	89,4	93,1	100,0	100,0
SQsuper - A	13,5	17,6	21,0	25,3	32,0	36,3	47,3	59,4	67,1	73,8	100,0
SQsuper - B	16,0	20,9	24,9	31,0	37,5	42,3	53,8	65,4	72,4	81,5	100,0
SQsuper - C	18,7	24,2	28,5	35,1	41,9	46,8	58,2	69,3	75,8	93,2	100,0
SQsuper - D	21,9	28,2	33,0	40,3	47,6	52,6	64,1	74,4	80,1	92,0	100,0
SQsuper - E	24,8	32,1	37,8	46,1	54,4	59,9	71,4	80,8	85,5	96,4	100,0
SQsuper - F	25,5	32,9	38,5	46,8	54,8	60,2	71,4	80,7	85,3	98,7	100,0
SQsuper - G	24,6	32,1	38,0	46,8	55,4	61,2	73,2	82,6	87,0	96,6	100,0
SQsuper - H	20,9	26,9	31,5	38,5	46,6	50,6	61,9	72,4	78,3	84,7	100,0
SQsuper - I	19,6	24,7	28,7	34,5	40,5	44,8	55,2	66,1	72,8	82,6	100,0
SQsuper - J	18,4	23,2	26,9	32,4	38,1	42,3	52,7	63,8	70,9	78,4	100,0
SQsuper - K	17,5	21,8	25,2	30,2	35,5	39,4	49,6	60,9	68,4	76,6	100,0
SQsuper - L	18,1	22,7	26,2	31,4	36,9	40,9	51,0	62,2	69,4	79,9	100,0
SQumid - A	19,5	25,7	30,8	38,5	46,6	52,3	65,1	76,0	81,7	90,7	100,0
SQumid - C	23,4	30,6	36,3	45,0	53,7	59,6	72,3	82,0	86,7	100,0	100,0
SQumid - D	24,4	32,0	38,0	47,2	56,3	62,6	75,5	85,2	88,1	88,1	100,0
SQumid - E	25,7	33,5	39,7	48,9	58,0	64,1	76,7	85,8	89,8	100,0	100,0
SQumid - F	27,4	35,6	42,1	51,7	61,2	67,5	80,2	88,8	92,3	100,0	100,0
SQumid - G	17,9	23,5	28,0	35,0	42,3	47,5	59,6	71,0	77,4	91,2	100,0
SQumid - H	18,9	24,6	29,1	36,0	43,1	48,2	60,0	71,2	77,5	92,5	100,0

Fonte: Basso et al (2016).

Para a determinação da Função de Densidade de Probabilidade (FDP) a ser utilizada nesse trabalho, será empregado um teste de aderência, a fim de verificar a compatibilidade dos métodos com os dados empregados no estudo.

Segundo (BACK 2001), as funções densidade de probabilidade mais comumente utilizadas em hidrologia, representadas juntamente com seus respectivos modelos matemáticos, são:

Distribuição Normal;

Normal (curva de Gauss), é dada pela equação 1.

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2\sigma^2}(x-\mu)^2} \quad (1)$$

Sendo:

μ : Parâmetro de locação (média da população)

σ : Parâmetro de escala (desvio-padrão da população) da variável aleatória x

Distribuição Log-Normal 2 Parâmetros;

A distribuição Log-Normal-2P é dada pela Equação 2.

$$f(x) = \frac{1}{x\sigma_y\sqrt{2\pi}} \exp\left\{-\frac{[\ln x - \mu_y]^2}{2\sigma_y^2}\right\} \quad (2)$$

Sendo:

μ_y : Média dos logaritmos naturais da variável aleatória x

σ_y : Desvio-padrão dos logaritmos naturais da variável aleatória x.

x: Variável aleatória

Distribuição Extrema Tipo I (Gumbel);

A distribuição Extrema Tipo I, também chamada dupla exponenciação ou Gumbel, é dada pela Equação 3.

$$f(x) = e^{-e^{-y}} \quad (3)$$

Onde y é a variável reduzida de Gumbel, dada pela Equação 3.1:

$$y_T = -\ln\left[-\ln\left(\frac{T-1}{T}\right)\right] \quad (3.1)$$

Sendo:

T: Período de retorno em anos

Distribuição Pearson Tipo III;

A distribuição Pearson Tipo III (fdp) é dada pela Equação 4.

$$f(x) = \frac{1}{\alpha\Gamma(\beta)} \left(\frac{x-y}{\alpha}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{x-y}{\alpha}\right)} \quad (4)$$

Sendo:

β : Parâmetro de forma, dado pela Equação

α : É o parâmetro de escala dado por

γ : É o limite inferior de truncamento ou parâmetro de locação

x: Variável aleatória

Distribuição Log-Pearson Tipo III (LP₃).

A distribuição Log-Pearson tipo III ou LP₃ emprega a mesma equação de função densidade de probabilidade (fdp) que a distribuição de Pearson tipo III (Equação 4), porém são empregados os logaritmos da variável aleatória ($\ln x$) ao invés do valor natural correspondente à variável aleatória.

A função de distribuição de probabilidade de não-excedência ou função de distribuição cumulativa $F(x)$ de uma LP₃ é dada pela Equação 5:

$$f(x) = \frac{1}{\alpha\Gamma(\beta)} \int_0^x \frac{1}{x} \left[\frac{\ln(x)-y}{\alpha} \right]^{\beta-1} e^{-\left[\frac{\ln(x)-y}{\alpha} \right]} dx \quad (5)$$

Sendo:

β : Parâmetro de forma, dado pela Equação;

α : É o parâmetro de escala;

γ : É o limite inferior de truncamento ou parâmetro de locação;

x : Logaritmo da variável aleatória ($\ln x$).

O teste de aderência tem como objetivo quantificar a qualidade da aderência da curva de distribuição de frequência em relação aos dados observados, especificamente à série histórica anual de precipitações máximas diárias.

Existem diversos teste de aderência das funções densidade de probabilidade aos dados observados. Nesse trabalho utilizou-se o Método do Qui-quadrado (χ^2) com um nível de significância de 5% (ou seja, com 95% de possibilidade de acerto).

No teste do qui-quadrado os dados observados são primeiramente divididos em k intervalos de classe, normalmente adotando-se k de 8 a 10 classes, como número de classes suficiente para uma análise. Para cada intervalo de classe são contadas no histórico de dados o número de observações O_i com $i=1, \dots, k$.

Então, para cada intervalo de classe, calcula-se o valor esperado E_i empregando-se a função de distribuição de probabilidade cuja aderência aos dados amostrais se quer avaliar. Calcula-se então a estatística: Portanto, temos que, para cada intervalo de classe, calcula-se o valor esperado E_i utilizando a função de distribuição de probabilidade cuja aderência aos dados amostrais que se pretende avaliar. Logo temos o cálculo da estatística, apresentado na equação 6, a seguir:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} \quad (6)$$

Sendo:

χ^2 : Qui-quadrado;

k: Intervalos de classe;

O_i: Número de observações sendo $i=1$;

E_j: Valores dos intervalos de classe.

O valor acima corresponde ao chamado “qui-quadrado calculado” ou X^2_{calc} que será então comparado com a estatística da distribuição qui-quadrado de McCuen, (1996), que é uma distribuição assintótica de cauda única para a esquerda, definida pelo nível de significância α e pelos graus de liberdade $v = k-1$. Contendo as respectivas premissas:

Se o valor do $X^2_{\text{calc}} \leq X^2_{\alpha}$ então aceita-se a hipótese de que os dados seguem a distribuição de probabilidade em análise. Ao contrário, se $X^2_{\text{calc}} > X^2_{\alpha}$ então não se pode afirmar que os dados amostrais pertençam à população representada por aquela distribuição de probabilidade em análise.

A seguir, a figura 3 apresenta a distribuição de qui-quadrado de McCuen, (1996).

Sendo:

V = Número de variáveis

α = Nível de significância

A Equação de Chuva genérica de uma determinada localidade é normalmente expressa pela forma da equação 7.

$$i = \frac{k \cdot T_r^a}{(t + b)^c} \quad (7)$$

Onde: i = intensidade de precipitação (mm/h);

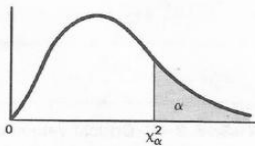
T_r = período de retorno (anos);

t = duração da chuva (min);

K, a, b, c = parâmetros estatísticos locais.

Figura 3 – Distribuição Qui-quadrado

TABLE 2-7 Critical values of the chi-square distribution



v	α							
	0.995	0.99	0.975	0.95	0.05	0.025	0.01	0.005
1	0.0 ⁺ 393	0.0 ³ 157	0.0 ³ 982	0.0 ² 393	3.841	5.024	6.635	7.879
2	0.0100	0.0201	0.0506	0.103	5.991	7.378	9.210	10.597
3	0.0717	0.115	0.216	0.352	7.815	9.348	11.345	12.838
4	0.207	0.297	0.484	0.711	9.488	11.143	13.277	14.860
5	0.412	0.554	0.831	1.145	11.070	12.832	15.086	16.750
6	0.676	0.872	1.237	1.635	12.592	14.449	16.812	18.548
7	0.989	1.239	1.690	2.167	14.067	16.013	18.475	20.278
8	1.344	1.646	2.180	2.733	15.507	17.535	20.090	21.955
9	1.735	2.088	2.700	3.325	16.919	19.023	21.666	23.589
10	2.156	2.558	3.247	3.940	18.307	20.483	23.209	25.188
11	2.603	3.053	3.816	4.575	19.675	21.920	24.725	26.757
12	3.074	3.571	4.404	5.226	21.026	23.337	26.217	28.300
13	3.565	4.107	5.009	5.892	22.362	24.736	27.688	29.819
14	4.075	4.660	5.629	6.571	23.685	26.119	29.141	31.319
15	4.601	5.229	6.262	7.261	24.996	27.488	30.578	32.801
16	5.142	5.812	6.908	7.962	26.296	28.845	32.000	34.267
17	5.697	6.408	7.564	8.672	27.587	30.191	33.409	35.718
18	6.265	7.015	8.231	9.390	28.869	31.526	34.805	37.156
19	6.844	7.633	8.907	10.117	30.144	32.852	36.191	38.582
20	7.434	8.260	9.591	10.851	31.410	34.170	37.566	39.997
21	8.034	8.897	10.283	11.591	32.671	35.479	38.932	41.401
22	8.643	9.542	10.982	12.338	33.924	36.781	40.289	42.796
23	9.260	10.196	11.689	13.091	35.172	38.076	41.638	44.181
24	9.886	10.856	12.401	13.848	36.415	39.364	42.980	45.558
25	10.520	11.524	13.120	14.611	37.652	40.646	44.314	46.928
26	11.160	12.198	13.844	15.379	38.885	41.923	45.642	48.290
27	11.808	12.879	14.573	16.151	40.113	43.194	46.963	49.645
28	12.461	13.565	15.308	16.928	41.337	44.461	48.278	50.993
29	13.121	14.256	16.047	17.708	42.557	45.722	49.588	52.336
30	13.787	14.953	16.791	18.493	43.773	46.979	50.892	53.672

Fonte: McCuen, (1996).

Sendo K, a, b, c, os parâmetros locais, subentende-se que os mesmos são as constantes a serem calculadas para a obtenção de uma equação de chuva atualizada para Belém.

Diante disso, utilizou-se a seguinte metodologia para a obtenção dos resultados dos parâmetros em questão: O primeiro passo é calcular o valor do parâmetro b: a substituição gráfica dos logaritmos naturais das intensidades de precipitação (para cada período de retorno) em relação aos logaritmos naturais das durações (t+b), produz, por anamorfose (isto é, substituindo-se valores diferentes para “b”) funções lineares para as curvas de intensidade de duração. Neste procedimento, “b” é uma constante escolhida através de otimização do coeficiente de ajuste R² da regressão linear. As retas assim obtidas têm a forma geral da equação 8 a seguir:

$$\ln(i) = \ln(A) - C \cdot \ln(t + b) \quad (8)$$

Para determinação dos coeficientes “K” e “a”, aplica-se novamente uma regressão linear no qual o coeficiente angular da reta fornece o valor de “a” da curva i-d-f e o coeficiente linear fornece ln(K), conforme a Equação 9:

$$\ln(A) = \ln(K) + a \cdot \ln(Tr) \quad (9)$$

RESULTADOS

Resultados da análise dos dados referente ao posto pluviométrico de Belém (148002).

Conforme dito anteriormente, os estudos hidrológicos de interesse para esse trabalho serão focados na análise da série de precipitações máximas anuais. Diante disso, a tabela 3 demonstra os dados das séries de precipitações máximas anuais do posto Belém (148002).

Tabela 3 – Série de Precipitações Diárias Máximas Anuais para o Posto Pluviométrico de Belém.

ANO	DATA	Pmax (mm)	ANO	DATA	Pmax (mm)
2019	11/jun	93	1984	17/mar	107,0
2018	04/fev	132,3	1983	07/fev	49,6
2016	27/mar	76,6	1982	03/mar	115,1
2015	15/abr	81,2	1981	28/mar	67,6
2014	01/mar	86,3	1980	11/fev	117,4
2013	13/fev	161,2	1979	16/jan	74,4
2012	12/mar	81,9	1978	05/abr	94,6
2011	19/fev	115	1977	14/dez	65,8
2010	07/mar	101,6	1976	29/mar	95,2
2009	26/abr	78,6	1975	16/abr	82,9
2008	01/abr	131,4	1974	13/jul	111,0
2007	22/abr	98,2	1973	09/abr	106,6
2006	21/abr	96,7	1972	10/fev	61,4
2005	25/abr	200,8	1971	10/jan	118,0
2004	12/jan	82,9	1970	22/jan	84,2
2003	06/abr	67,7	1969	18/jan	82,4
2002	16/abr	85,9	1968	12/abr	102,6
2001	30/mar	75,7	1967	27/abr	112,8
2000	15/abr	133,7	1964	22/jan	90,0
1999	29/dez	117,4	1963	25/mar	73,0
1998	27/abr	112,5	1962	29/abr	105,0
1997	17/mar	75,7	1961	27/mar	67,0
1996	20/jun	99,7	1960	24/dez	59,8
1995	29/mar	96,2	1959	17/fev	82,6
1994	01/fev	80,5	1958	01/fev	72,8
1993	17/jan	71,4	1957	18/abr	92,3
1992	19/fev	116,2	1956	30/abr	63,9
1991	18/fev	117,5	1955	07/abr	90,7
1990	29/abr	76,8	1954	29/mar	73,2
1989	21/dez	121,4	1953	23/fev	80,7
1988	17/jun	85,4	1952	16/dez	84,8
1987	26/mar	70,9	1951	10/abr	68,2
1986	23/abr	84,2	1950	18/abr	101,1
1985	23/mar	136,9	1949	02/jul	102,0

Fonte: Autores (2024)

A análise da estatística descritiva realizado nos dados pluviométricos da estação BELÉM, em função a tabela 3, apresentam os respectivos resultados:

Média: 94,10 mm, (referente a precipitação máxima anual);

Desvio padrão: 25,31mm;

Máximo: 200,8 mm, (registrado em 25/04/2005);

Mínimo: 49,6 mm, (registrado em 07/02/1983).

Nota-se que a precipitação máxima de 200,8 mm poderia, teoricamente, ser classificada como um outlier na série; no entanto, o valor será mantido, uma vez que outras capitais do Norte apresentaram precipitações de magnitude similar no mesmo período. Além disso, pesquisas anteriores indicam que as chuvas intensas, em períodos recentes do século XXI, têm se tornado progressivamente mais intensas e de maior magnitude, possivelmente em

decorrência das mudanças climáticas (BASTOS, 2002).

Coefficientes de desagregação das relações (rmin24h) entre as precipitações das novas isozonas.

Localizou-se a cidade de Belém na isozona SQumid-D conforme análise da figura 2 (Mapa das novas isozonas de chuvas intensas de Basso et al, 2016) em relação a tabela 1 (identificação das novas isozonas). Com base na identificação da nomenclatura/abreviação da Isozona, foi possível localizar e extrair os coeficientes de desagregação das novas Isozonas pela na tabela 2 (Coeficientes de desagregação para as novas Isozonas para período de retorno de 10 anos).

A seguir a tabela 4, mostra os coeficientes de desagregação para Belém extraídos da tabela 2, que serão utilizados nesse trabalho.

Tabela 4 – Coeficientes de desagregação das relações (rmin24h) entre as precipitações da isozona SQumid-D.
Fonte: Autores (2024).

ISOZONA	Relação Imin/24h										
	10 (min)	15 (min)	20 (min)	30 (min)	45 (min)	60 (min)	120 (min)	240 (min)	360 (min)	720 (min)	1140 (min)
SQumid-D	24,40	32,00	38,00	47,20	56,30	62,60	75,60	85,20	88,10	88,10	100,00

Teste de aderência das funções densidade de probabilidade.

A aplicação dos cinco modelos de ajuste de distribuição de frequência aos dados amostrais da série anual de precipitações máximas diárias apresentadas na Tabela 3 resulta no quadro resumo apresentado na Tabela 5.

Tabela 5 – Resumo da Análise de Distribuição de Frequência e valores dos testes Qui-quadrado (χ^2 calc).

Período de Retorno (anos)	Precipitação máxima de 1 Dia de Duração (mm)					
	Normal	LogNormal 2 Parâmetros	Extrema Tipo I	Pearson Tipo III	LogPearson Tipo III	Melhor Distribuição
2,00	94,10	91,15	89,95	92,38	89,61	89,61
2,33	98,61	95,31	94,13	96,90	93,70	93,70
5,00	115,40	112,51	112,32	114,72	111,75	111,75
10,00	126,55	125,59	127,13	127,44	126,70	126,70
25,00	138,43	141,23	145,84	141,79	146,01	146,01
50,00	146,10	152,35	159,72	151,52	160,73	160,73
100,00	153,00	163,10	173,50	160,57	175,77	175,77
1000,00	172,34	197,43	219,04	187,53	229,43	229,43
χ^2 calc	23,90	10,18	31,78	12,52	5,39	

Fonte: Autores (2024).

Sendo assim, quando se comparam diversas distribuições de probabilidade (Normal, Lognormal-2P, Gumbel, Pearson tipo III, LP3, etc), aquelas distribuições de frequência cujo $X^2_{\text{calc}} > X^2_{\alpha}$ são de pronto rejeitadas, e a seleção da melhor será dentre aquelas que atendam à condição de $X^2_{\text{calc}} \leq X^2_{\alpha}$ e, pelo raciocínio lógico, aquela que tiver menor X^2_{calc} tenderá a ser a distribuição de frequência de melhor ajuste.

Comparando os resultados da tabela acima com os respectivos resultados da estatística da distribuição extraídos da figura 3 (qui-quadrado de McCuen, 1996), Temos:

$\alpha = 0.05$ (encontrado na figura 3)

$\chi^2_{\text{cri}} = 12,59$ (encontrado na figura 3)

$v = 6$, (encontrado na figura 3 com base no número de variáveis da tabela 5)

Sendo:

α : nível de significância

χ^2_{cri} : Qui-quadrado crítico

X^2_{calc} : Qui-quadrado calculado

X^2_{α} : qui-quadrado de McCuen, (1996)

Assim, analisando-se os resultados dos valores dos qui-quadrados dos ajustes de frequência apresentados na figura 1, pode-se concluir que:

A distribuição Normal, não apresenta bom ajuste e deve ser descartada como representativa da população de dados de precipitação máxima diária. A distribuição Normal é normalmente adequada para totais anuais de precipitação ou até mesmo mensais, porém, para distribuição de valores extremos que gozam de elevada assimetria, a distribuição Normal raramente se aplica;

Enquanto a distribuição LogNormal 2 parâmetros, apresenta bom ajuste aos dados, sendo a distribuição “vice-campeã”, apresentando um $\chi^2 = 10,18$, portanto dentro da faixa de aceitação quando comparada ao valor do $\chi^2_{\text{cri}} = 12,59$;

Já a distribuição Extrema Tipo I (Gumbel), não se ajustou bem aos dados amostrais. Note-se que muitos hidrólogos e projetistas de drenagem adotam a distribuição Extrema Tipo I como a curva preferível, sem sequer fazer um teste de aderência tal como aqui foi adotado;

A distribuição Pearson Tipo III, se enquadra aos dados amostrais, por conta que seu valor de χ^2 ficou no limite aceitável pelo valor do $\chi^2_{\text{cri}} = 12,59$;

Logo a distribuição Log Pearson Tipo III, é disparadamente (quase) sempre a de melhor ajuste para dados amostrais assimétricos, tais como distribuições de valores extremos de precipitação máxima diária. O valor de $\chi^2 = 5,39$, sendo o menor dentre as distribuições testadas,

comprova a boa aderência desta distribuição aos dados amostrais trabalhados.

Dessa forma, a distribuição de frequência selecionada para representar a população dos valores extremos de precipitação máxima diária anual para o posto pluviométrico de Belém é a distribuição LogPearson Tipo III, frequentemente abreviada para LP₃. Com isso, em função dos estudos de definição de métodos e a determinação do modelo de distribuição de frequência, podemos iniciar com a elaboração de uma nova equação de chuva atualizada para Belém, é o que veremos no item a seguir.

Nova equação de chuva para Belém.

A Equação de Chuva para Belém foi atualizada com base nos seguintes procedimentos metodológicos:

A precipitação máxima diária (mm) prevista pela distribuição de frequência LogPearson Tipo III (LP₃) resultante da análise de frequência apresentada na Tabela 5 para os períodos de retorno de 2; 5; 10; 15; 20; 25; 50 e 100 anos foi transformada para precipitação de 24 horas conforme a Eq-10 indicada pelo Método de Torga Torrico:

$$P_{24h} = 1,1 \cdot P_{1dia} (10)$$

Assim a tabela 6 apresenta os resultados do primeiro passo:

Tabela 6 – Transformação da chuva de 1 dia em chuva de 24 horas.

TR (anos)	2	5	10	15	20	25	50	100
P _{1dia} (mm)	89,61	111,75	126,7	135,26	141,31	146,01	160,73	175,77
P _{24h} (mm)	98,57	122,93	139,37	148,79	155,44	160,61	176,80	193,35

Fonte: Autores (2024).

Localizou-se a cidade de Belém na isozona SQ_{umid-D} na Figura 2, e tirou-se os coeficientes de desagregação da nova isozona SQ_{umid-D} pela Tabela 2, devida à Basso et al (2016). Com os coeficientes de desagregação das novas isozonas foram calculadas as precipitações de 24 horas desagregadas para durações de 10; 15; 20; 30; 45; 60; 120; 240; 360; 720; e 1440 minutos. A Tabela 7 apresenta os resultados em termos de precipitação total (mm) para cada período de retorno (anos) e cada duração (minutos):

Tabela 7 – Precipitação total (mm) desagregada por duração para cada período de retorno

Isozona	SQumid-D	Precipitação Total (mm)								
		Duração (min)	Períodos de Retorno (anos)							
			2	5	10	15	20	25	50	100
24,40	10,00	24,05	29,99	34,01	36,30	37,93	39,19	43,14	47,18	
32,00	15,00	31,54	39,34	44,60	47,61	49,74	51,40	56,58	61,87	
38,00	20,00	37,46	46,71	52,96	56,54	59,07	61,03	67,19	73,47	
47,20	30,00	46,53	58,02	65,78	70,23	73,37	75,81	83,45	91,26	
56,30	45,00	55,50	69,21	78,47	83,77	87,51	90,42	99,54	108,85	
62,60	60,00	61,71	76,95	87,25	93,14	97,31	100,54	110,68	121,04	
75,60	120,00	74,52	92,93	105,36	112,48	117,51	121,42	133,66	146,17	
85,20	240,00	83,98	104,73	118,74	126,77	132,44	136,84	150,64	164,73	
88,10	360,00	86,84	108,30	122,78	131,08	136,94	141,50	155,76	170,34	
88,10	720,00	86,84	108,30	122,78	131,08	136,94	141,50	155,76	170,34	
100,00	1.440,00	98,57	122,93	139,37	148,79	155,44	160,61	176,80	193,35	

Fonte: Autores (2024).

A precipitação total da Tabela 7 foi dividida pela duração e transformada em intensidade de precipitação (mm/h), resultando na Tabela 8:

Tabela 8 – Precipitação total (mm) desagregada por duração para cada período de retorno

Duração (min)	Intensidade de Precipitação (mm/h)							
	Período de Retorno (anos)							
	2	5	10	15	20	25	50	100
10,00	144,31	179,96	204,04	217,82	227,57	235,13	258,84	283,06
15,00	126,17	157,34	178,39	190,45	198,96	205,58	226,31	247,48
20,00	112,37	140,13	158,88	169,62	177,20	183,10	201,56	220,42
30,00	93,05	116,04	131,57	140,45	146,74	151,62	166,90	182,52
45,00	73,99	92,28	104,62	111,69	116,68	120,57	132,72	145,14
60,00	61,71	76,95	87,25	93,14	97,31	100,54	110,68	121,04
120,00	37,26	46,47	52,68	56,24	58,76	60,71	66,83	73,09
240,00	21,00	26,18	29,69	31,69	33,11	34,21	37,66	41,18
360,00	14,47	18,05	20,46	21,85	22,82	23,58	25,96	28,39
720,00	7,24	9,02	10,23	10,92	11,41	11,79	12,98	14,19
1440,00	4,11	5,12	5,81	6,20	6,48	6,69	7,37	8,06

Fonte: Autores (2024).

Os valores da Tabela 8 correspondem às curvas i-d-f, as quais podem ser convertidas em uma equação de chuva, pelo cálculo dos parâmetros K, a, b, c. O primeiro passo é calcular o valor do parâmetro b: a substituição gráfica dos logaritmos naturais das intensidades de precipitação (para cada período de retorno) em relação aos logaritmos naturais das durações (t+b), produz, por anamorfose (isto é, substituindo-se valores diferentes para “b”) funções lineares para as curvas de intensidade de duração. Neste procedimento, “b” é uma constante escolhida através de otimização do coeficiente de ajuste R² da regressão linear. As retas assim obtidas têm a forma geral da 8:

$$\ln(i) = \ln(A) - C \cdot \ln(t + b) \quad (8)$$

Onde: c = coeficiente angular das retas;

A = K Tra, logo o coeficiente linear das retas é ln(A).

As Tabelas 9 e 10 mostram os cálculos parciais da Eq-8 considerando a tentativa para o valor de $b=12,37$.

Tabela 9 – Valores da Equação 8, para TR= 2 anos

Duração (min)	2	b	ln(t + b)	ln(i)
10,00	144,31	12,37	3,1077	4,972
15,00	126,17	12,37	3,3094	4,838
20,00	112,37	12,37	3,4772	4,722
30,00	93,05	12,37	3,7464	4,533
45,00	73,99	12,37	4,0495	4,304
60,00	61,71	12,37	4,2818	4,122
120,00	37,26	12,37	4,8856	3,618
240,00	21,00	12,37	5,5309	3,044
360,00	14,47	12,37	5,9199	2,672
720,00	7,24	12,37	6,5963	1,979
1440,00	4,11	12,37	7,2810	1,413

Fonte: Autores (2024).

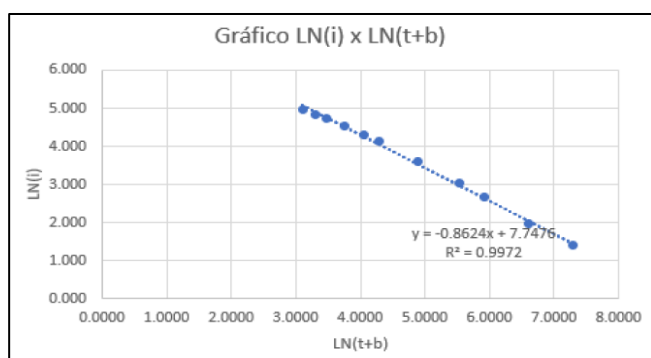
Tabela 10 – Valores da Equação 8, para TR= 100 anos

Duração (min)	100	b	ln(t+b)	ln(i)
10,00	283,06	12,37	3,1077	5,6460
15,00	247,48	12,37	3,3094	5,5110
20,00	220,42	12,37	3,4772	5,3960
30,00	182,52	12,37	3,7464	5,2070
45,00	145,14	12,37	4,0495	4,9780
60,00	121,04	12,37	4,2818	4,7960
120,00	73,09	12,37	4,8856	4,2920
240,00	41,18	12,37	5,5309	3,7180
360,00	28,39	12,37	5,9199	3,3460
720,00	14,19	12,37	6,5963	2,6530
1440,00	8,06	12,37	7,2810	2,0860

Fonte: Autores (2024).

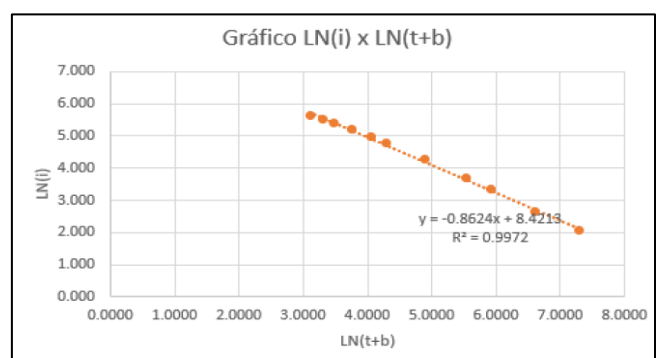
As Figuras 3 e 4 apresentam os gráficos da Equação 8 para os períodos de retorno de 2 anos e 100 anos, respectivamente, dos quais se extraem o coeficiente angular das retas “c”.

Figura 3 – Gráfico de Regressão da Equação 8 para TR=2



Fonte: Autores (2024).

Figura 4 – Gráfico de Regressão da Equação 8 para TR=100



Fonte: Autores (2024).

Logo, para todos os períodos de retorno são construídos gráficos semelhantes aos das figuras 3 e 4, resultando que para o valor de $b=12,37$, chega-se a um coeficiente angular das retas com $|c|=0,8624$, atingindo-se um coeficiente de determinação $R^2 = 0,997$.

Diante dos dados obtidos, inicia-se a montagem da nova equação de chuva para Belém, como demonstra a equação 10.

$$i = \frac{A}{(t + 12,37)^{0,8624}} \quad (10)$$

Para determinação dos coeficientes “K” e “a”, lança-se para todos os períodos de retorno, um novo gráfico dos logaritmos naturais de “A” em função dos logaritmos naturais dos períodos de retorno. Aplica-se novamente uma regressão linear no qual o coeficiente angular da reta fornece o valor de “a” da curva *i-d-f* e o coeficiente linear fornece $\ln(K)$, conforme a Equação 9:

$$\ln(A) = \ln(K) + a \cdot \ln(Tr) \quad (9)$$

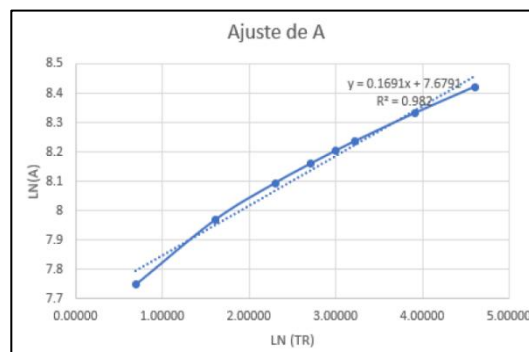
Com isso, a tabela 7, mostra os cálculos resultantes da equação 9, e a figura 5 mostra o gráfico da equação da regressão:

Tabela 7 – Valores da Equação 9

TR	ln(A)	ln(TR)
2	7,7476	0,69315
5	7,9684	1,60944
10	8,0939	2,30259
15	8,1593	2,70805
20	8,2031	2,99573
25	8,2358	3,21888
50	8,3318	3,91202
100	8,4213	4,60517

Fonte: Autores (2024)

Figura 5 – Gráfico de Regressão da Equação 9



Fonte: Autores (2024)

Logo, do gráfico da Figura 4, tira-se $a = 0,1691$ e $\ln(K) = 7,6791$, a partir do qual se determina $K=2.162,672$.

Por fim, determina-se a Equação de Chuva atualizada para Belém, dada pela equação 11:

$$i = \frac{2.162,672 \cdot Tr^{0,1691}}{(t + 12,37)^{0,8624}} \quad (11)$$

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo apresentou o conjunto de métodos para a obtenção de uma equação de chuva atualizada para Belém, chegando assim, aos seguintes resultados:

A estação pluviométrica BELÉM, apresentou dados de 68 anos de observações, e uma Máxima precipitação: 200,8 mm, (registrado em 25/04/2005). Para o ajuste de distribuição de frequência aos dados amostrais da série anual de precipitações máximas diárias apresentadas foi utilizado o modelo de Log Pearson Tipo III, onde o mesmo foi escolhido através de um teste de aderência pelo método qui-quadrado. Para os cálculos dos parâmetros estatístico locais K, a, b, c, da equação de chuva, foi adotado o método de regressão linear onde se obteve os respectivos valores dos parâmetros: $K= 2162,672$, $a= 0,1691$, $b=12,37$, $c = 0,8624$.

Dessa forma, os estudos apresentaram uma equação de chuva atualizada para Belém do Pará, possibilitando assim, que gestores, engenheiros e projetistas possam elaborar projetos de saneamento e estudos hídricos de forma aderente, chegando a um alto desempenho nos trabalhos desenvolvidos e evitando subdimensionamentos da rede hidráulica de drenagem e consequentemente alagamentos.

AGRADECIMENTOS

Os autores expressam seu agradecimento à Universidade da Amazônia (UNAMA), pelo suporte institucional concedido.

Estendemos os agradecimentos ao grupo de pesquisa Modelagem Urbana e Ambiental (MURBA), pela colaboração acadêmica. Por fim, agradecemos à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo fomento concedido por meio de bolsa de estudos, recurso fundamental para a viabilização de pesquisas.

18

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS-ANA, **Séries Históricas de Estações**, snirh hidroweb. Disponível em: <https://www.snirh.gov.br/hidroweb/serieshistoricas>. Acesso em: 09/2024.

BASSO, Raviel Eurico et al. Revisão das isozonas de chuvas intensas do Brasil. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 21, p. 635-641, 2016.

BACK, A. J. Seleção de distribuição de probabilidade para chuvas diárias extremas do estado de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 16, n. 2, p. 211-222, 2001.

BASTOS, Therezinha Xavier et al. **Aspectos climáticos de Belém nos últimos cem anos**. 2002.

DE MELLO, Carlos Rogério; DA SILVA, Antônio Marciano. Métodos estimadores dos parâmetros da distribuição de Gumbel e sua influência em estudos hidrológicos de projeto. **Irriga**, v. 10, n. 4, p. 334-350, 2005.

DO RÊGO, Paulinne Maysi Mastop; DA SILVA MENDES, Izabela Mendonça; AGUIAR, Marcelo Figueiredo Massulo. Equações de Chuvas Intensas para Auxílio das Obras de Drenagem Urbana no Estado do Pará. **Revista Científica ANAP Brasil**, v. 16, n. 38, 2023.

IBGE, **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Cidades. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pa/belem/panorama>. Acesso em: 09/2024.

MCCUEN, Richard H. et al. **Hydrologic analysis and design**. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1989.

NAGHETTINI, Mauro; PINTO, Éber José de Andrade. **Hidrologia estatística**. CPRM, 2007.

PFAFSTETTER, Otto. Chuvas Intensas no Brasil; 2a. edição. **DNOS (BR), Brasil**, 1982.

PREFEITURA MUNICIPL DE BELÉM-PMB, **Plano Municipal de Saneamento Básico**. ARBEL. Disponível em: <https://arbel.belem.pa.gov.br/legislacao/pmsb-plano-municipal-de-saneamento-basico/>. Acesso em: 09/2024.

RODRIGUES, Sandra Cristina Antunes. **Modelo de regressão linear e suas aplicações**. 2012. Dissertação de Mestrado. Universidade da Beira Interior (Portugal).

SOUZA, Rodrigo OR de M. et al. Equações de chuvas intensas para o estado do Pará. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, p. 999-1005, 2012.

TUCCI, C.E.M. (2009). **Hidrologia. Ciência e Aplicação**. UFRGS Editora.

VIEIRA, D. B. Análise das máximas intensidades de chuvas na cidade de Campinas. **SIMPÓSIO BRASILEIRO de HIDROLOGIA e RECURSOS HÍDRICOS**, p. 375-386, 1981.

VIEIRA, V. P. P. B. Análise de risco em recursos hídricos: fundamentos e aplicações. **Porto Alegre: ABRH**, v. 361, p. 25, 2005.

ZUFFO, A.C.(2004). *Equações de chuva são eternas?* In XXI Congresso Latino Americano de Hidráulica. São Pedro-SP.