

**Equações de Chuvas Intensas para Auxílio das Obras de Drenagem
Urbana no Estado do Pará**

Intense Rain Equations To Support Urban Drainage Works In The State Of Pará

Ecuaciones De Lluvia Intensa Para Apoyo A Obras De Drenaje Urbano En El Estado De Pará

Paulinne Maysi Mastop do Rêgo

Bacharel em Engenharia Civil, UFPA, Brasil.

Paulinne.mastop12@gmail.com

Izabela Mendonça da Silva Mendes

Bacharel em Engenharia Civil, UFPA, Brasil.

izabelasilva150@gmail.com

Marcelo Figueiredo Massulo Aguiar

Professor Doutor, UFPA, Brasil.

mmassulo@ufpa.br

RESUMO

Os projetos e obras de drenagem urbana precisam de estudos de dados históricos de chuvas, tais como duração, intensidade e frequência. No entanto, para o Estado do Pará, há carência de pesquisas recentes que disponham de equações de chuvas intensas, visto que essas equações são modificadas à medida que novos dados são coletados e consistidos. Logo, o objetivo do presente trabalho é gerar as equações de chuvas intensas para 12 municípios paraenses, sendo um por região de integração do estado. Para isto, foram analisadas as séries históricas de precipitação, disponíveis no Portal HIDROWEB e, com o tratamento dos dados, aplicou-se a distribuição de probabilidades de Gumbel e a desagregação de chuvas (Método das Isozonas). Depois, adotou-se a linearização de Villela (1975), da qual foram retirados os coeficientes das equações de chuvas intensas, que foram validados pelo Coeficiente de Eficiência (COE). Os principais resultados foram: 12 equações de chuvas intensas com boa confiabilidade. Assim, calcularam-se as precipitações críticas para os dispositivos de drenagem e obtiveram-se as maiores precipitações em Paragominas, para dispositivos de drenagem superficial (228,37 mm/h) e de transposição de talwegues (192,80 mm/h), e em Cametá, para dispositivos de drenagem subsuperficial (54,01 mm/h). As menores precipitações calculadas foram em Belém, para obras de drenagem superficial (150,96 mm/h), e em Breves, para dispositivos de drenagem de transposição de talwegues (128,37 mm/h) e subsuperficial (35,11 mm/h). Concluiu-se que, as equações geradas são válidas para auxílio de projetos de sistemas de drenagem, atualizando as equações de chuvas existentes, para cada região de integração.

PALAVRAS-CHAVE: Equações de chuva. Estado do Pará. Drenagem Urbana.

SUMMARY

Urban drainage projects and works need studies of historical rainfall data, such as duration, intensity and frequency. However, for the State of Pará, there is a lack of recent research that has equations for intense rainfall, since these equations are modified as new data are collected and consisted. Therefore, the objective of the present work is to generate the equations of intense rainfall for 12 municipalities in Pará, one per region of integration of the state. For this, the historical series of precipitation, available on the HIDROWEB Portal, were analyzed and, with the treatment of the data, the Gumbel probability distribution and the rainfall disaggregation (Isozone Method) were applied. Then, the linearization of Villela (1975) was adopted, from which the coefficients of the heavy rainfall equations were taken, which were validated by the Efficiency Coefficient (COE). The main results were: 12 equations of intense rainfall with good reliability. Thus, the critical precipitations were calculated for the drainage devices and the highest precipitations were obtained in Paragominas, for surface drainage devices (228,37 mm/h) and for the transposition of thalwegues (192,80 mm/h), and in Cametá, for subsurface drainage devices (54,01 mm/h). The lowest rainfall calculated was in Belém, for surface drainage works (150,96 mm/h), and in Breves, for drainage devices for transposing thalwegues (128,37 mm/h) and subsurface (35,11 mm/h). It was concluded that the generated equations are valid to aid drainage systems projects, updating the existing rainfall equations, for each integration region.

KEYWORDS: Rainfall equations. State of Pará. Urban Drainage.

RESUMEN

Los proyectos y obras de drenaje urbano necesitan estudios de datos históricos de precipitaciones, como duración, intensidad y frecuencia. Sin embargo, para el Estado de Pará, faltan investigaciones recientes que tengan ecuaciones para precipitaciones intensas, ya que estas ecuaciones se modifican a medida que se recopilan y consisten nuevos datos. Por lo tanto, el objetivo del presente trabajo es generar las ecuaciones de lluvia intensa para 12 municipios de Pará, uno por región de integración del estado. Para ello se analizaron las series históricas de precipitación, disponibles en el Portal HIDROWEB y, con el tratamiento de los datos, se aplicó la distribución de probabilidad de Gumbel y la desagregación de precipitaciones (Método Isozone). Luego, se adoptó la linealización de Villela (1975), de la cual se tomaron los coeficientes de las ecuaciones de lluvia intensa, que fueron validados por el Coeficiente de Eficiencia (COE). Los principales resultados fueron: 12 ecuaciones de lluvia intensa con buena confiabilidad. Así, se calcularon las precipitaciones críticas para los dispositivos de drenaje y las mayores precipitaciones se obtuvieron en Paragominas, para dispositivos de drenaje superficial (228,37 mm/h) y para transposición de vaguadas (192,80 mm/h), y en Cametá, para dispositivos de drenaje subsuperficial (54,01 mm/h). La precipitación más baja calculada fue en Belém, para obras de drenaje superficial (150,96 mm/h), y en Breves, para dispositivos de drenaje para trasposición de vaguadas (128,37 mm/h) y subsuperficial (35,11 mm/h). Se concluyó que las ecuaciones generadas son válidas para auxiliar proyectos de sistemas de drenaje, actualizando las ecuaciones de lluvia existentes, para cada región de integración.

PALABRAS CLAVE: Ecuaciones de lluvia. Estado de Pará. Drenaje Urbano.

1 INTRODUÇÃO

As obras hidráulicas, como sistemas de drenagem urbana e de rodovias, dependem diretamente das características das chuvas para o seu dimensionamento e bom funcionamento (PEREIRA; DUARTE; SARMENTO, 2017), visto que quando mal projetadas, estão diretamente ligadas à ocorrência de diversos problemas, como enchentes, erosões, deslizamentos, e inundações urbanas. “A água exerce um papel importante no meio urbano, havendo necessidades de atendimento a demandas diferenciadas, questões relativas à sua qualidade, disponibilidade e escoamento de águas de chuva” (POMPÊO, 2000, p. 17). Por isso, há interesse em se registrar a ocorrência de chuvas ao longo dos anos, utilizando medidores de precipitação, como pluviômetros e pluviógrafos, que registram a precipitação diária, a fim de compor uma série histórica de dados de chuva com o passar dos anos.

As chuvas de projeto são as precipitações críticas que podem ocorrer em um determinado local, as quais são definidas por meio das relações hidrológicas, como as Equações de Chuvas Intensas, que fornecem elementos para o cálculo da vazão e o dimensionamento dos dispositivos de drenagem. As primeiras equações para o Brasil foram definidas por Otto Pfafstetter (1957), para 98 postos com pluviógrafos, e a partir deste estudo, foram se atualizando as relações Intensidade-Duração-Frequência (IDF) para diversos municípios brasileiros.

Essas equações são geradas para cada localidade, por meio das séries históricas de chuvas da região, e possuem grande importância para diversas atividades, como o dimensionamento de sistema de drenagem urbana e rodoviária, visto que problemas como alagamentos, inundações e erosão dos solos são causados pela chuva, atrelada a má gestão urbana. E, para conter esses problemas, necessita-se dimensionar infraestruturas hidráulicas com capacidade de suportar a chuva mais intensa, para cada período de retorno e tempo de concentração a serem adotados, além do melhor gerenciamento das infraestruturas urbanas, por meio dos órgãos competentes.

Entende-se por Tempo de Retorno, o intervalo de ocorrência de chuva de mesma intensidade, definido, em anos, de acordo com a obra a ser desenvolvida, usualmente, utilizam-se os valores de 1, 5, 10, 15, 20, 25, 50 e 100 anos. E compreende-se por tempo de concentração o período, a partir do início da chuva, que leva para que toda a bacia contribua para o escoamento superficial, até chegar em um ponto de controle (SECRETARIA DO PLANEJAMENTO ESTRATÉGICO, 2017), o qual é determinado em minutos. Estas são as variáveis essenciais para a determinação de vazão crítica, por meio da equação de chuvas intensas.

É importante frisar que, o Pará, por estar na Região Amazônica e próximo a linha do Equador, possui clima equatorial marcado por altos índices de chuvas, ratificando a necessidade em manter as equações de chuvas atualizadas para auxiliar a Drenagem Urbana de modo sustentável, sob o ponto de vista ecológico, social e econômico, visando combater preventivamente problemas oriundos e recorrentes das falhas no planejamento. Vale ressaltar que, é importante que as séries históricas de precipitação possuam dados longos, contínuos e confiáveis, para o melhor estudo da ocorrência de chuvas e melhor definição dos parâmetros das equações de chuva.

Assim, em relação às infraestruturas hidráulicas, o estudo de chuvas intensas tem elevada importância para seu projeto e execução. São exemplos de obras hidráulicas; as obras de drenagem urbana, vertedouros de barragens, drenagem e água pluvial residencial; estes

dependem das chuvas intensas para escolha do tipo de obra a ser projetada, seu dimensionamento e execução, visando suportar a precipitação e manter a qualidade da estrutura. Em suma, para o correto dimensionamento dos dispositivos do sistema de drenagem, são necessários estudos hidrológicos que tem a caracterização do regime pluviométrico, que permitem calcular a vazão de projeto para que se determine o tipo de obra que deve ser executada em cada curso d'água (DELGADO, 2008).

Destaca-se ainda que, ao longo dos anos, algumas equações foram obtidas para o Estado do Pará, como em Souza *et al.* (2012) que desenvolveu equações de chuva para 74 cidades do estado e Cruz *et al.* (2019) que desenvolveu equações de chuvas para o município de Altamira-PA, porém, sabendo-se da inviabilidade em se realizar o dimensionamento de infraestruturas hidráulicas a partir de equações com séries históricas antigas, é importante atualizar as equações de chuvas intensas, a fim de contribuir para o estudo hidrológico, principalmente, para o Estado do Pará, em razão do seu clima, com grande ocorrência de chuvas e poucos estudos nesta área.

2 OBJETIVOS

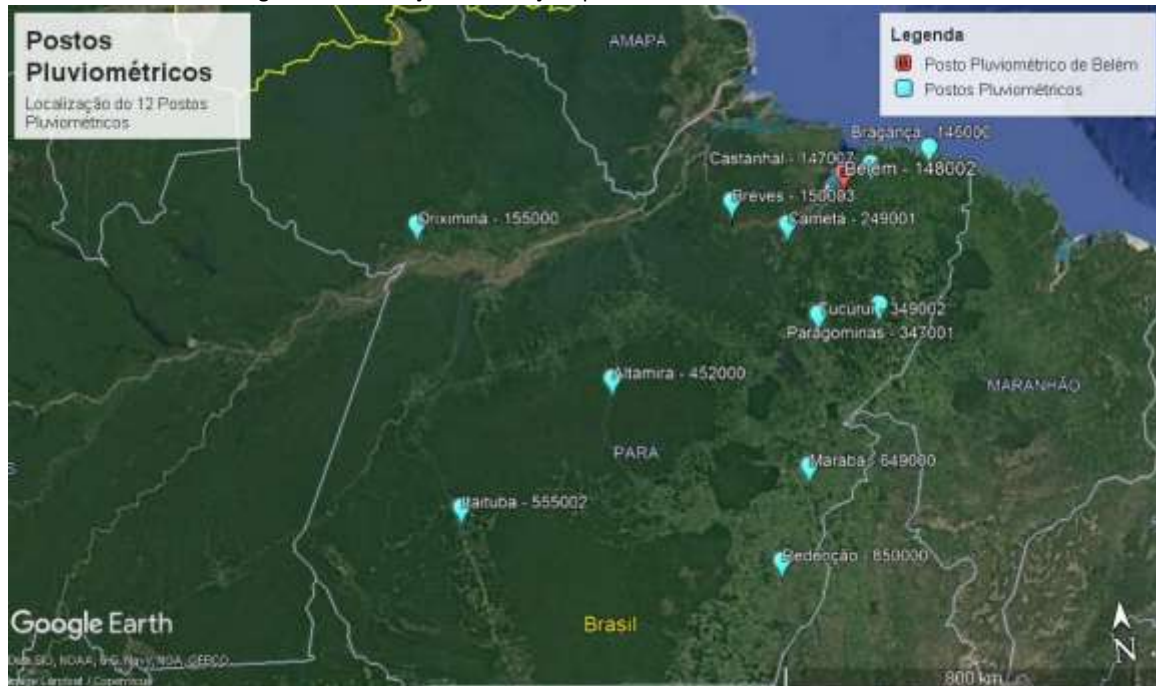
Gerar equações de chuvas intensas para 12 municípios do Estado do Pará, sendo uma para cada região de integração do estado, utilizando o método de Gumbel e o método de Desagregação de Chuvas das Isozonas, para auxílio dos projetos de Drenagem Urbana Sustentável. Assim como, determinar as chuvas de projeto para os dispositivos de drenagem superficial, subsuperficial e de transposição de talvegues, conforme a determinação do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT, 2016).

3 MÉTODO DE ANÁLISE

Com o intuito de determinar as equações de chuvas intensas para o estado do Pará, escolheu-se séries históricas de 12 cidades (uma de cada Região de Integração) com base em sua centralidade no mapa, a população e a duração de cada série histórica de dados pluviométricos, as quais foram obtidas no Portal HIDROWEB disponível no site da Agência Nacional das Águas (ANA). As cidades são: Altamira, Belém, Bragança, Breves, Cametá, Castanhal, Itaituba, Marabá, Oriximiná, Paragominas, Redenção e Tucuruí. Na figura 1, são apresentados os postos pluviométricos de cada município escolhido.

Após a coleta de dados, fez-se o tratamento, definindo as precipitações máximas de cada ano das séries históricas, a fim de calcular a Média e o Desvio-Padrão dessas máximas. A partir disso, foi possível indicar os anos mais chuvosos, os meses com mais e menos chuvas e as chuvas críticas registradas para cada município.

Figura 1 - Localização das estações pluviométricas no Estado do Pará



Fonte: GOOGLE EARTH, 2021

É importante fazer uso das distribuições de probabilidade para tratamento e ajuste dos dados, visando observar o seu comportamento, isto se dá pela impossibilidade de definir chuvas de projeto para longos Tempos de Retorno (T_R), como 100 anos ou mais, visto que não há registros de chuvas com longo período. Sabendo disso, para o processo de cálculo da distribuição de probabilidade, escolheu-se o Método de Gumbel, desenvolvido por Emil Julius Gumbel, que visa “modelar os valores máximos de ocorrência de um determinado fenômeno de interesse” (COTTA; CORREA; ALBUQUERQUE, 2016, p. 204), o qual é mais usual e promove bons resultados para a determinação das equações de chuvas (SOUZA *et al.*, 2012 & CRUZ *et al.*, 2019 & OLIVEIRA, 2017 & OLIVEIRA; ANTONINI; FIOREZE, 2008). Sendo assim, considerando os Tempos de Retorno de 5, 10, 20, 25, 50 e 100 anos, utilizou-se as equações 1, 2 e 3, sequencialmente, com a finalidade de determinar a precipitação máxima diária para cada T_R .

$$Y_{TR} = -\ln \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{TR} \right) \right] \tag{1}$$

$$K_{TR} = -0,45 + 0,78 \times Y_{TR} \tag{2}$$

$$X_{TR} = \bar{X} + K_{TR} \times S \tag{3}$$

em que:

Y_{TR} → variável reduzida da distribuição de Gumbel;

T_R → tempo de retorno (anos);

X_{TR} → precipitação máxima diária para determinado T_R (mm);

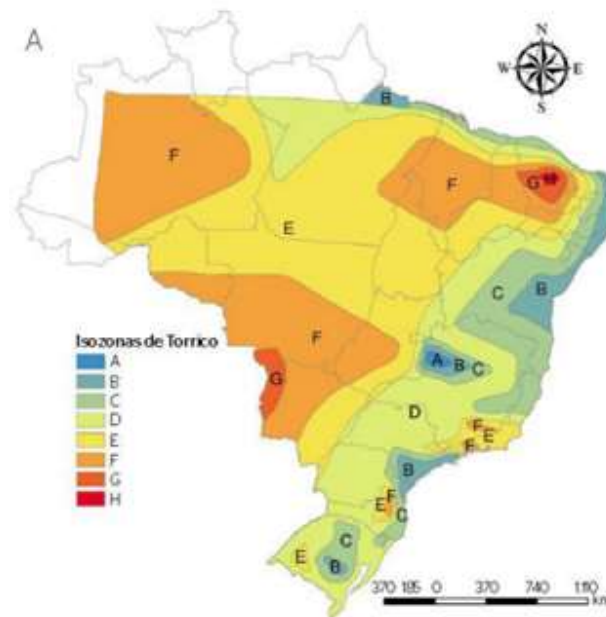
K_{TR} → fator de frequência (adimensional);

\bar{X} → média da precipitação máxima diária (mm);

S → desvio padrão dos dados de precipitação máxima diária (mm).

Após a aplicação do método de Gumbel, realizou-se a desagregação de chuvas, transformando as chuvas de 24 horas em chuvas de menor duração, conforme o método das Isozonas, no qual, inicialmente, multiplica-se as precipitações encontradas (X_{TR}) por 1,095 (TORRICO, 1974), em seguida, desagregam-se as precipitações em chuvas de 24h, 1h e 6 min multiplicando-as pelos coeficientes tabelados, para cada período de retorno. Os coeficientes são obtidos por meio da divisão do Brasil em zonas de A a H, como indicado na Figura 2, nas quais verificou-se em qual faixa estavam localizadas as estações pluviométricas escolhidas. E ao determinar as zonas escolhidas, trabalhou-se com os coeficientes de desagregação, mostrados na Tabela 1, para cada faixa definida.

Figura 2 - Mapa do Brasil dividido em Zonas proposto por Torrico (1974)



Fonte: TORRICO, 1974 *apud* BASSO *et al.*, 2016

Tabela 1 - Coeficientes de desagregação das chuvas intensas associados às isozonas

Zonas	1h/24h (%)										6 min/24h (%)	
	Tempo de Recorrência (anos)										TR (anos)	
	5	10	15	20	25	30	50	100	1000	10000	5-50	100
A	36,2	35,8	35,6	35,5	35,4	35,3	35,0	34,7	33,6	32,5	7,0	6,3
B	38,1	37,8	37,5	37,4	37,3	37,2	36,9	36,6	35,4	34,3	8,4	7,5
C	40,1	39,7	39,5	39,3	39,2	39,1	38,8	38,4	37,2	36,0	9,8	8,8
D	42,0	41,6	41,4	41,2	41,1	41,0	40,7	40,3	39,0	37,8	11,2	10,0
E	44,0	43,6	43,3	43,2	43,0	42,9	42,6	42,2	40,9	39,6	12,6	11,2
F	46,0	45,5	45,3	45,1	44,9	44,8	44,5	44,1	42,7	41,3	13,9	12,4
G	47,9	47,4	47,2	47,0	46,8	46,7	46,4	45,9	44,5	43,4	15,4	13,7
H	49,9	49,4	49,1	48,9	48,6	48,6	48,3	47,8	46,3	44,8	16,7	14,9

Fonte: TORRICO, 1974

Após a análise do mapa, determinou-se as zonas dos doze postos de coleta dos dados, as quais são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 - Isozonas para cada município estudado (AUTOR, 2021)

Região de Integração	Município	Isozona
Araguaia	Redenção	E
Baixo Amazonas	Oriximiná	D
Carajás	Marabá	F
Guajará	Belém	D
Guamá	Castanhal	C
Lago do Tucuruí	Tucuruí	E
Marajó	Breves	E
Rio Caeté	Bragança	B
Rio Capim	Paragominas	F
Tapajós	Itaituba	E
Tocantins	Cametá	E
Xingu	Altamira	E

Fonte: TORRICO, 1974

Sendo assim, após aplicar a desagregação com os coeficientes da Tabela 1, gerou-se as curvas IDF para cada série histórica, e, a partir delas, pôde-se obter as equações de chuvas intensas, em função dos tempos de retorno e de concentração, conforme a equação 4.

$$i = \frac{a \times T_R^b}{(tc+c)^d} \quad (4)$$

em que:

$i \rightarrow$ intensidade (mm/h)

$a, b, c, d \rightarrow$ constantes relacionadas a cada local de estudo;

$T_R \rightarrow$ tempo de retorno (anos);

$tc \rightarrow$ tempo de concentração (minutos).

Ao obter os valores das precipitações de menor duração, foi possível desenvolver as curvas IDF e definir os parâmetros (a), (b), (c) e (d). Para definição do parâmetro (c) usou-se o procedimento abordado em Fendrich (1998), onde se escolhe dois pontos extremos e conhecidos das curvas para cada tempo de retorno (coordenadas i_1, t_1 e i_2, t_2) e considerou-se um terceiro ponto (coordenadas i_3, t_3) dessas mesmas curvas (GOMES, 2011), cuja intensidade é calculada por meio da equação 5.

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

O valor da coordenada t_3 foi definida a partir da leitura do gráfico IDF, após isso, calculou-se o valor do parâmetro (c) por meio da equação 6.

$$c = \frac{(t_3)^2 - t_1 \times t_2}{(t_1 + t_2 - 2 \times t_3)} \quad (6)$$

Os parâmetros (a), (b) e (d) podem ser definidos pela linearização proposta por Villela (1975), na qual, considerou-se um parâmetro (M) que substituiu o numerador da equação 4, o que resultou nas equações 7 e 8.

$$i = \frac{M}{(tc+c)^d} \quad (7)$$

$$M = a \times T_R^b \quad (8)$$

Deste modo, definido o coeficiente (c), aplicou-se o logaritmo natural nas equações 7 e 8, a fim de maximizar o coeficiente de Variância R^2 (OLIVEIRA, 2017) e fazer com que as curvas intensidade-duração se transformem em retas paralelas (VILLELA, 1975), resultando nas equações 9 e 10.

$$\ln(i) = \ln(M) - d \times \ln(tc+c) \quad (9)$$

$$\ln(M) = \ln(a) + b \times \ln(T_R) \quad (10)$$

A partir da aplicação do procedimento abordado em Fendrich (1998) e a linearização proposta por Villela (1975), definiu-se os parâmetros das equações de chuva para as 12 cidades. Por fim, fez-se a validação dos resultados, a partir do Coeficiente de Eficiência de Nash e Sutcliffe (COE), cuja análise está apresentada na equação 11 e na Tabela 3.

$$COE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (E_m - E_s)^2}{\sum_{i=1}^n (E_m - \bar{E}_s)^2} \quad (11)$$

em que:

E_m → evento observado;

E_s → evento simulado;

n → número de eventos;

\bar{E}_s → média do evento observado no período de simulação.

Tabela 3 - Classificação dos valores obtidos no COE

Variação do COE	Avaliação
Maior que 0,75	Bom Desempenho
Entre 0,36 e 0,75	Desempenho Aceitável
Menor que 0,36	Modelo Inaceitável

Fonte: SILVA *et. al.*, 2008 *apud* OLIVEIRA, 2017

Assim, foi possível obter as intensidades pluviométricas para diferentes tempos de retorno e de concentração. Além disso, foi possível obter as chuvas de projeto para os elementos de drenagem, de acordo com os pares de Tempo de Retorno e Concentração para cada dispositivo de drenagem, seguindo as recomendações propostas pelo DNIT (2006):

- Para os dispositivos de Drenagem Superficial, como as sarjetas e valetas: tempo de Retorno de 10 anos e tempo de Concentração de 5 minutos;

- Para os dispositivos de Drenagem Subsuperficial ou do Pavimento, como as camadas drenantes: tempo de Retorno de 1 ano e tempo de Concentração de 60 minutos;
- Para os dispositivos de Drenagem de Transposição de Talvegues, como os bueiros que drenam bacias pequenas: tempo de Retorno de 25 anos e tempo de Concentração de 10 minutos.

4 RESULTADOS

O procedimento para obtenção das equações de chuva seguiu o método de cálculo já descrito, onde se destaca que o primeiro passo é a coleta e tratamento dos dados. Logo, houve a análise dos postos pluviométricos das cidades estudadas, disponíveis no Portal HIDROWEB, onde a escolha foi determinada pelos postos com a maior quantidade de dados consecutivos e consistidos.

Após a coleta, fez-se o tratamento dos dados, assim, pôde-se verificar os meses mais e menos chuvosos, a chuva crítica, a média e desvio-padrão de cada cidade. Com isso, percebeu-se que o mês mais chuvoso, em todas as cidades, foi o mês de março, seguido pelos meses de dezembro, janeiro, fevereiro e abril, visto que este período se trata do inverno Amazônico, tendo seu ápice em março. Enquanto os meses com menos chuvas se distribuiu entre julho, agosto e outubro, de acordo com a localização geográfica da cidade.

Em linhas gerais, cidades mais ao sul do estado (Redenção, Itaituba, Marabá) apresentam estiagem crítica em julho e cidades mais ao norte (Belém, Bragança, Castanhal, Oriximiná) têm o mês de outubro como mais seco, bem como para cidades centrais (Paragominas, Tucuruí e Altamira), a seca ocorre no mês de agosto. As cidades que apresentaram as maiores precipitações foram e Castanhal (228,60 mm) e Paragominas (204,50 mm). E as cidades que apresentaram as menores precipitações foram Belém (136,90 mm) e Breves (111,20 mm).

Após a aplicação dos métodos de Gumbel, da de agregação de chuvas e da linearização das curvas IDF de Villela (1975), como já foi descrito, resultou-se nos parâmetros das 12 equações de Chuvas Intensas dispostos na Tabela 4.

Com a definição dos coeficientes das equações, fez-se a validação das equações, utilizando a equação 11, na qual adotou-se como E_S os valores resultantes da equação de chuva intensa encontrada ao considerar o tempo de retorno de 5, 10, 15, 20, 25, 50 e 100 anos e o tempo de concentração de 1440, 60 e 6 minutos. Exemplificando, adotou-se E_{S1} para $T_R = 5$ anos e $t_c = 1440$ min, E_{S2} para $T_R = 5$ anos e $t_c = 60$ min e E_{S3} para $T_R = 5$ anos e $t_c = 6$ min, e o mesmo processo foi realizado para todos os tempos de retorno. Para os valores de E_m utilizou-se a leitura das curvas IDF, correspondentes ao tempo de retorno e concentração de cada E_S . Esse processo foi realizado para cada T_R e a partir dos seus valores de COE foi possível obter a média, para cada cidade, resultando em elevados valores do Coeficiente de Eficiência de Nash e Sutcliffe (COE), retratados nas Tabela 4.

Tabela 4 - Parâmetros a, b, c e d das equações de chuvas intensas e informações gerais provenientes do tratamento de dados dos municípios estudados

Município	a	b	c	D	Valores Médios do COE	Séries Históricas (anos)	Desvio Padrão dos dados de precipitação máxima
Altamira	877,8713	0,0914	6,1500	0,7156	0,9853	23	22,80 mm
Belém	660,2378	0,0863	6,9643	0,6746	0,9752	38	21,19 mm
Bragança	533,8954	0,1043	5,0966	0,6242	0,9460	23	29,20 mm
Breves	739,0015	0,0936	6,9643	0,7247	0,9881	31	18,50 mm
Cametá	1136,7175	0,0802	6,9646	0,7247	0,9884	34	24,5 mm
Castanhal	702,9600	0,1402	5,9935	0,6643	0,9683	20	40,42 mm
Itaituba	887,1375	0,0618	6,9643	0,7247	0,9887	22	15,50 mm
Marabá	1069,2364	0,1014	6,9643	0,7448	0,9908	25	24,93 mm
Oriximiná	786,5844	0,1115	6,1500	0,6923	0,9795	27	29,02 mm
Paragominas	1038,2584	0,1126	6,1500	0,7355	0,9881	21	28,7 mm
Redenção	1034,2171	0,0911	6,7970	0,7229	0,9876	23	25,51 mm
Tucuruí	1048,9029	0,0843	6,3085	0,7174	0,9861	31	24,90 mm

Fonte: AUTOR, 2021

Sendo assim, percebe-se elevados valores do Coeficiente de Eficiência, sempre acima de 0,90, mostrando que as equações obtidas possuem boa qualidade, validade e confiabilidade. Vale frisar que a equação de chuvas intensas que apresentou o maior COE médio foi a de Marabá e a que apresentou o menor COE médio foi a de Bragança.

As equações obtidas são importantes para a determinação das chuvas de projeto para diversas atividades, principalmente, a drenagem de rodovias, que dependem da intensidade de chuva, ocorrência e duração. Com isso, foram obtidas as precipitações intensas, por meio das equações, utilizando os pares de Tempos de Retorno e de Concentração para cada dispositivo de drenagem. Sendo assim, calculou-se a chuva de projeto para cada tipo de obra nas cidades de estudo, conforme as Tabelas 5, 6 e 7.

Para dimensionamento das obras de Drenagem Superficial (como as valetas e sarjetas) utilizou-se o par de tempo de retorno de 10 anos e tempo de concentração de 5 minutos, conforme recomendação do DNIT, e as intensidades obtidas foram listadas na Tabela 5, assim como as intensidades obtidas através da equação de chuva proposta em 2012 no Trabalho "Equações de chuvas intensas para o Estado do Pará" de Souza *et al.*

É importante ressaltar que, para a drenagem superficial, a chuva mais intensa foi obtida na cidade de Paragominas com 228,37 mm/h e a menos intensa foi a de Belém com 150,96 mm/h, ou seja, a chuva de projeto de uma sarjeta de corte para Paragominas é 51,28% maior que a precipitação para o mesmo dispositivo de drenagem superficial na cidade de Belém.

Observa-se que, para a drenagem superficial, as equações do presente trabalho em comparação ao trabalho de Souza *et al.*, resultaram em intensidades maiores para as cidades de Breves (151,74 mm/h), Cametá (226,31 mm/h), Paragominas (228,37 mm/h) e Redenção (214,25 mm/h), enquanto as chuvas intensas obtidas para Belém, Marabá, Oriximiná e Tucuruí, praticamente, não variaram e os municípios de Altamira, Bragança, Castanhal e Itaituba sofreram redução da precipitação.

Tabela 5 - Intensidade pluviométrica para obras de drenagem superficial

Município	Intensidade (mm/h)	Intensidade (mm/h) Souza et al. (2012)	Diferença percentual (%)
Paragominas	228,37	212,39	7,5
Cametá	226,31	215,13	5,2
Tucuruí	223,25	226,98	1,7
Redenção	214,25	208,69	2,7
Marabá	212,65	225,40	6
Castanhal	197,47	231,43	17,2
Altamira	192,93	223,08	15,6
Oriximiná	191,52	201,68	5,3
Itaituba	169,30	206,64	22,1
Bragança	160,31	220,31	37,4
Breves	151,74	150,26	1
Belém	150,96	169,86	12,52

Fonte: AUTOR, 2021

Em seguida, calculou-se a chuva de projeto para as obras de drenagem subsuperficial, considerando o tempo de retorno de 1 ano e tempo de concentração de 60 minutos, conforme recomendação do DNIT. Feito isso, organizou-se na Tabela 6 os valores obtidos para cada cidade do estudo, e intensidades obtidas através da equação de chuva proposta por Souza et al. (2012) para esse mesmo tipo de drenagem.

Em relação aos dispositivos de drenagem subsuperficial (como as camadas drenantes e os drenos), nota-se que, a chuva mais intensa foi registrada na cidade de Cametá, com 54,01 mm/h, em contrapartida, a cidade de Breves registrou a precipitação menos intensa, com 35,11mm/h. Sendo assim, um dreno em Breves, possui uma chuva de projeto 35% menor que o mesmo dreno na cidade de Cametá. Observa-se ainda que, os municípios de Breves, Cametá, Itaituba, Paragominas e Redenção, praticamente, não variaram os valores de intensidade em comparação aos de Souza *et al.*, enquanto as cidades de Altamira, Belém, Bragança, Castanhal, Marabá, Oriximiná e Tucuruí obtiveram redução dos dados.

Tabela 6 - Intensidade pluviométrica para obras de drenagem subsuperficial

Município	Intensidade (mm/h)	Intensidade (mm/h) Souza et al. (2012)	Diferença percentual (%)
Cametá	54,01	56,17	4
Tucuruí	51,75	58,44	12,9
Redenção	49,60	53,42	7,7
Paragominas	47,57	51,98	9,3
Marabá	46,69	57,44	23
Altamira	43,72	72,51	65,9
Castanhal	43,47	56,20	29,3
Oriximiná	43,19	51,33	18,8
Itaituba	42,15	49,6	17,7
Bragança	39,39	55,75	41,5
Belém	38,72	44,33	14,5
Breves	35,11	38,93	10,9

Fonte: AUTOR, 2021

Por fim, calculou-se as chuvas de projeto para os dispositivos de drenagem de transposição de talvegues (bueiros de transposição), adotando os tempos de retorno e concentração de 25 anos e 10 min, respectivamente, conforme recomendações do DNIT, e os valores obtidos foram dispostos na Tabela 7, além das intensidades obtidas através da equação de chuva proposta por Souza et al. (2012).

Nota-se que, para os dispositivos de transposição de talvegues, a maior intensidade pluviométrica ocorre em Paragominas (192,80 mm/h), já no município de Breves tem-se a menor intensidade pluviométrica (128,37 mm/h), o que representa uma diferença de aproximadamente 33,42% da maior para a menor chuva. Comparando as intensidades, percebe-se que o município de Paragominas (192,80 mm/h) registrou aumento de intensidade. Já as cidades de Breves, Cametá e Redenção quase não variaram e as demais cidades resultaram em chuvas menores que as de Souza et al. (2012).

Tabela 7 - Intensidade pluviométrica para obras de drenagem de transposição de talvegues

Município	Intensidade (mm/h)	Intensidade (mm/h) Souza et al. (2012)	Diferença percentual (%)
Paragominas	192,80	192,55	0,1
Cametá	189,11	190,08	0,5
Tucuruí	185,69	201,67	8,6
Redenção	180,40	185,87	3
Marabá	179,91	201,10	11,8
Castanhal	175,04	210,47	20,2
Oriximiná	164,13	180,04	9,7
Altamira	160,93	200,76	24,7
Itaituba	139,10	188,80	35,7
Bragança	137,22	197,09	43,6
Belém	129,09	150,13	16,3
Breves	128,37	133,19	3,8

Fonte: AUTOR, 2021

Em relação ao presente trabalho, observou-se que com tempos de concentração baixos, a intensidade de chuvas é mais alta para um mesmo tempo de retorno, logo os valores de intensidade dos dispositivos de drenagem subsuperficial são menores que dos dispositivos de drenagem superficial e de transposição de talvegues.

A partir dos dados de intensidade pluviométrica para os diferentes tipos de dispositivo de drenagem, percebe-se que, cidades mais próximas geograficamente, tendem a apresentar condições de chuvas semelhantes (como em Paragominas e Tucuruí), o que possibilita que as equações de chuvas utilizadas nesse trabalho possam ser utilizadas para várias áreas entre essas cidades. Entretanto, nota-se que, Castanhal possui uma localização geográfica próxima de Belém e Bragança, porém as intensidades de chuva obtidas são diferentes, o que se justifica nas condições de chuva apresentadas em Castanhal, onde há um desvio padrão elevado em relação aos dados de precipitação máxima (conforme a Tabela 4).

Além disso, vale ressaltar que, ao comparar as equações obtidas no presente trabalho com as equações obtidas no estudo de Souza et al. (2012), as variações dos dados de precipitação podem ter ocorrido pela diferença entre as metodologias utilizados, visto que Souza et al. (2012) utilizou o método de DAEE-CETESB para desagregação de chuvas, enquanto

no presente trabalho, usou-se o método das Isozonas. Outro ponto é a diferença das séries históricas e o regime de chuvas que pode ter alterado com o passar dos anos. Por outro lado, mesmo com limitações e variação na análise comparativa, ressalta-se que estas podem auxiliar em planejamento de sistemas de drenagem, bem como, em diversas atividades econômicas, provendo dados recentes de precipitações intensas.

5 CONCLUSÃO

O presente artigo abordou a questão das equações de chuvas intensas, visando a sua importância para obras de drenagem urbana, visando prevenir eventos de inundações, deslizamentos e enchentes, tendo como objetivo principal gerar as equações de chuva para 12 cidades do Estado do Pará (com séries históricas variando entre 20 e 38 anos, conforme Tabela 4), possibilitando calcular as chuvas de projeto para os dispositivos de drenagem urbana. Com isso, pode-se afirmar que os objetivos foram cumpridos ao longo do trabalho, resultando em 12 equações de chuvas intensas para o Estado do Pará, utilizando os dados mais recentes e confiáveis disponíveis de precipitação, a fim de atualizar as equações definidas em outros estudos, podendo auxiliar, principalmente, o dimensionamento de infraestruturas de drenagem.

Diante dos resultados obtidos, é importante salientar que:

- Foram obtidas as 12 equações de chuvas intensas, seguindo o método de distribuição de probabilidade de Gumbel, o método de desagregação de Chuvas das Isozonas de Torricco (1974) e o método de linearização proposto por Villela (1975);
- O coeficiente “a” variou de 533,8954 a 1136,7175; o coeficiente “b” variou de 0,0618 a 0,1402; o coeficiente “c” variou de 5,0966 a 6,9643 e o coeficiente “d” variou de 0,6242 a 0,7448.
- A validação das equações pelo Coeficiente de Eficiência de Nash e Sutcliffe (COE), mostrou que as mesmas, possuem um bom desempenho, com COE sempre acima de 0,90. A equação de chuvas intensas que apresentou o maior COE médio foi a de Marabá (0,9908) e a que apresentou o menor COE médio foi a de Bragança (0,9460);
- Para a drenagem superficial, ao ser comparado com o estudo de Souza et al. (2012), destaca-se que as cidades de Breves, Cametá, Paragominas e Redenção, registraram aumento da precipitação, enquanto Belém, Marabá, Oriximiná e Tucuruí, praticamente não houve variação, e as cidades de Altamira, Bragança, Castanhal, Itaituba obtiveram redução na precipitação;
- Considerando a drenagem subsuperficial, percebe-se que a variação das intensidades foi pequena, assim, as cidades de Breves, Cametá, Itaituba, Paragominas e Redenção, praticamente, não variaram, entretanto, Altamira, Belém, Bragança, Castanhal, Marabá, Oriximiná, e Tucuruí sofreram redução na precipitação;
- E, para a drenagem de transposição de talvegues, observa-se que a cidade de Paragominas registrou um pequeno aumento dos valores. As cidades de Breves, Cametá e Redenção, praticamente não variaram, e as cidades de Altamira, Belém, Bragança, Castanhal, Itaituba, Marabá, Oriximiná e Tucuruí obtiveram redução dos valores de precipitação.
- Cidades próximas apresentam regimes de chuvas semelhantes, possibilitando a utilização das equações de chuvas obtidas nos 12 municípios para regiões próximas a esses.

Em suma, o trabalho apresentou equações confiáveis, com bons resultados, podendo auxiliar no planejamento das obras hidráulicas, principalmente os sistemas de drenagem

urbana. Em contrapartida, o estudo se deu apenas para 12 municípios do estado, por conta da restrição de tempo e indisponibilidade de dados, visto que o Portal HIDROWEB tem fornecido dados consistidos antigos.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. **HidroWeb**: Sistemas de informações hidrológicas. Disponível em: <https://www.snirh.gov.br/hidroweb/apresentacao>. Acesso em: 10 set. 2021

BASSO, Raviel Eurico; ALLASIA, Daniel Gustavo; TASSI, Rutinéia; PICKBRENNER, Karine. Revisão das isozonas de chuvas intensas do Brasil. **Eng. Sanit. Ambient.**, Rio de Janeiro, v. 21, n. 4, p. 635-641, dez. 2016. DOI: 10.1590/S1413-41522016133691. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/esa/a/gvTwTJsRtbmy95cgLYcjC5y/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 25 set. 2021.

COTTA, Higor Henrique Aranda; CORREA, Wesley de Souza Campos; ALBUQUERQUE, Taciana Toledo de Almeida. Aplicação da distribuição de Gumbel para valores extremos de precipitação no município de Vitória- ES. **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, Ano 12, v. 19, p 203-2017, dez. 2016. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/39440/29391>. Acesso em: 19 set. 2021.

CRUZ, Josias da Silva; ALVES, Igor Henrique Coelho; ALVES, Cleidson da Silva; FIGUEIREDO, Nélcio Moura de; GOMES, Evanice Pinheiro; COSTA, Carlos Eduardo Aguiar de Souza *et al.* Equações de chuvas intensas com dados CPC Morphing Technique (CMORPH) para o município de Altamira - PA. **IRRIGA**, [S. l.], v. 24, n. 1, p. 192–207, 2019. DOI: 10.15809/irriga.2019v24n1p192-207. Disponível em: <https://revistas.fca.unesp.br/index.php/irriga/article/view/3654>. Acesso em: 28 set. 2021.

DELGADO, Neila Carvalho Ferreira. **Hidrologia na drenagem das rodovias**. 2008. 38 p. Monografia apresentada como requisito parcial para a obtenção do título (Especialização em transporte e Trânsito) - Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFET/MG, Belo Horizonte. Disponível em: http://www.der.mg.gov.br/index.php?preview=1&option=com_dropfiles&format=&task=frontfile.download&catid=335&id=2361&Itemid=1000000000000. Acesso em: 24 set. 2021.

DNIT – DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Manual de Drenagem de Rodovias**. 2. ed. Rio de Janeiro, 2006. 333 p. IPR 724. Disponível em: https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-manuais/vigentes/724_manual_drenagem_rodovias.pdf. Acesso em: 18 set. 2021.

DNIT – DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Álbum de Projetos - Tipo de Dispositivos de Drenagem**. 3. ed. Rio de Janeiro, 2010. 110 p. IPR 736. Disponível em: https://solucoesparacidades.com.br/wp-content/uploads/2010/02/18%20-%20Album_de_projetos_tipo_dispositivos_de_drenagem_ipr_736.pdf. Acesso em: 24 mai. 2022.

FENDRICH, Roberto. **Chuvas intensas para obras de drenagem no Estado do Paraná**. 1. ed. Curitiba- PR: Champagnat, 1998.

GOMES, Ariel Ortiz. **Modelagem Estatística da Precipitação**: estudo de caso bacia do Rio Taquarizinho/ MS. 2011. 63 p. Dissertação (Mestrado em Saneamento Ambiental e Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 2011. Disponível em: <https://repositorio.ufms.br/bitstream/123456789/2185/1/Ariel%20Ortiz%20Gomes.pdf>. Acesso em: 28 set. 2021.

MENDES, Izabela Mendonça da Silva; RÊGO, Paulinne Maysi Mastop do. Determinação de equações de chuvas intensas para o estado do Pará com foco nas obras de drenagem rodoviária. Orientador: Marcelo Figueiredo Massulo Aguiar. 2021. 107 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará, Belém, 2021. Disponível em: <https://bdm.ufpa.br:8443/jspui/handle/prefix/3628>.

NAVEGAPARÁ (Brasil). **Regiões de Integração**. [S. l.], c2014. Disponível em: <http://www.navegapara.pa.gov.br/regioes-integracao>. Acesso em: 15 set. 2021.

OLIVEIRA, Rogério Silva. **Determinação da equação de chuvas intensas para o município de Toledo/PR**. 2017. 77 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Toledo, 2017. Disponível em:

<http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/15676/1/determinacaoequacaochuvasintensas.pdf>. Acesso em: 28 set. 2021.

OLIVEIRA, Luiz F. C. de; ANTONINI, Jorge C. dos A.; FIOREZE, Ana P.; SILVA, Mellissa A. S. da. Métodos de estimativa de precipitação máxima para o Estado de Goiás. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, n. 6, p. 620-625, 2008. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/Y6w5P8JL9RShqcwNcXDyqrG/?format=pdf&>. Acesso em: 10 set. 2021.

PFAFSTETTER, Otto. Chuvas intensas no Brasil: relação entre precipitação, duração e frequência de chuvas em 98 postos com pluviógrafos. Brasília: Departamento Nacional de Obras e Saneamento, 1957.

PEREIRA, Daniela Carneiro; DUARTE, Letícia Rodrigues; SARMENTO, Antover Panazzolo Determinação da curva de intensidade, duração e frequência do município de Ipameri – Goiás. **REEC - Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, Goiás, v. 13, n. 2, p. 233-246, 2017. DOI: 10.5216/reec.v13i2.43330. Disponível em: <https://www.revistas.ufg.br/reec/article/download/43330/pdf/203598>. Acesso em: 10 set. 2021.

POMPÊO, Cesar A. Drenagem Urbana Sustentável. **RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 5, n. 1, p. 15-23, 2000. Disponível em: https://abrh.s3-sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/46/c6be0bdb36e71f441b574b6a63d5a75a_2d24ccc39dcc0666232d4d538fcef31f.pdf &. Acesso em: 1 nov. 2022.

SECRETARIA DO PLANEJAMENTO ESTRATÉGICO. **Manual de Drenagem Urbana**. Toledo, 2017. 37 p. Disponível em: https://www.toledo.pr.gov.br/sites/default/files/manual_de_drenagem_urbana_-_volume_i.pdf. Acesso em: 10 set. 2021.

SOUZA, Rodrigo. O. R. de M.; SCARAMUSSA, Paulo H. M.; AMARAL, Marcos A. C. M. do; PEREIRA NETO, J. A.; PANTOJA, Alexandre V.; SADECK, Luis W. R. Equações de chuvas intensas para o Estado do Pará. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 9, p. 999-1005, 2012. Disponível em: <http://www.agriambi.com.br/revista/v16n09/v16n09a11.pdf>. Acesso em: 28 set. 2021.

TORRICO, José Jaime Taborga. **Práticas Hidrológicas**. Rio de Janeiro: Transcon, 1974.

VILLELA, Swami Marcondes; ARTHUR, Mattos. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975.