



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO PIAUÍ
CAMPUS POETA TORQUATO NETO
CENTRO DE TECNOLOGIA E URBANISMO
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

ANA HÉLLEN SALES SOBRAL

**DEFINIÇÃO DA EQUAÇÃO IDF A PARTIR DE DADOS DE
PLUVIÔMETRO AUTOMÁTICO - TERESINA/PI.**

TERESINA

2025

ANA HÉLLEN SALES SOBRAL

**DEFINIÇÃO DA EQUAÇÃO IDF A PARTIR DE DADOS DE PLUVIÔMETRO
AUTOMÁTICO - TERESINA/PI.**

Trabalho de Conclusão de Curso, TCC,
submetido à Graduação de Engenharia Civil da
Universidade Estadual do Piauí como requisito
para obtenção do título de Bacharelado em
Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dra. Josélia de Carvalho Leão

TERESINA

2025

S677d Sobral, Ana Héllen Sales.

Definição da equação IDF a partir de dados de pluviômetro automático - Teresina/PI / Ana Hellen Sales Sobral. - 2025.

74 f.: il.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Bacharelado em Engenharia Civil, Universidade Estadual do Piauí, 2025.

"Orientadora: Prof.^a Dra. Josélia de Carvalho Leão".

1. Equação IDF. 2. Pluviômetro automático. 3. Drenagem urbana.
I. Leão, Josélia de Carvalho . II. Título.

CDD 628.212

Ficha elaborada pelo Serviço de Catalogação da Biblioteca da UESPI
Francisca Carine Farias Costa (Bibliotecário) CRB-3^a/1637



ATA DE DEFESA PÚBLICA DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Aos vinte e um (21) dias do mês de novembro de dois mil e vinte e cinco (2025), às 18:30 horas, na presença da Banca Examinadora presidida pela orientadora Professora Dra. Josélia de Carvalho Leão, e pelos examinadores: Professora Dra. Margarita Maria López Gil e Engenheiro Msc. Jean Ricardo da Silva do Nascimento, a discente **ANA HELLEN SALES SOBRAL**, apresentou o Trabalho de Conclusão de Curso - TCC intitulado: “**Definição da equação IDF a partir de dados de pluviômetro automático - Teresina/PI**”, Palavras-chave: “*IDF, pluviômetro automático, drenagem urbana*”, como requisito curricular indispensável para a integralização do Curso de Bacharelado em Engenharia Civil. Após reunião, a Banca Examinadora deliberou e decidiu **aprovar (X)** **reprovar ()** o referido trabalho, divulgando o resultado formalmente à aluna e demais presentes e, para constar, foi lavrada esta Ata, assinada pelos membros da banca e a discente.

Josélia de Carvalho Leão

Dra. Josélia de Carvalho Leão
Orientadora

Margarita López Gil

Dra. Margarita Maria López Gil
Avaliador Interno

MSc. Jean Ricardo da Silva do Nascimento

Avaliador Externo

Ana Hellen Sales Sobral

Ana Hellen Sales Sobral
Discente

*"Vejo a vida passar num instante,
Será tempo o bastante que tenho pra viver?
Não sei, não posso saber.
Quem segura o dia de amanhã na mão?
Não há quem possa acrescentar um milímetro a cada estação.*

*Então, será tudo em vão? Banal? Sem razão?
Seria. Sim, seria, se não fosse o amor.
O amor cuida com carinho,
Respira o outro, cria o elo,
O vínculo de todas as cores,
Dizem que o amor é amarelo...*

*É certo na incerteza,
Socorro no meio da correnteza,
Tão simples como um grão de areia,
Confunde os poderosos a cada momento;*

*Amor é decisão, atitude,
Muito mais que sentimento,
Alento, fogueira, amanhecer.
O amor perdoa o imperdoável,
Resgata a dignidade do ser,
É espiritual; tão carnal quanto angelical,
Não tá no dogma ou preso numa religião;*

*É tão antigo quanto a eternidade,
Amor é espiritualidade.
Latente, potente, preto, poesia,
Um ombro na noite quieta,
Um colo pra começar o dia;*

*Filho, abrace sua mãe!
Pai, perdoe seu filho!
Paz é reparação, fruto de paz;
Paz não se constrói com tiro,
Mas eu miro de frente a minha fragilidade.*

*Eu não tenho a bolha da proteção...
Queria eu guardar tudo que amo
No castelo da minha imaginação,
Mas eu vejo a vida passar num instante,
Será tempo o bastante que tenho pra viver?*

*Eu não sei, eu não posso saber.
Mas enquanto houver amor,
Eu mudarei o curso da vida,
Farei um altar pra comunhão;
Nele, eu serei um com o mundo até ver
O ponto da emancipação;*

*Porque eu descobri o segredo que me faz humano!
Já não está mais perdido o elo:
O amor é o segredo de tudo
E eu pinto tudo em amarelo."*

Aos meus pais que, com dignidade, podaram as próprias asas para que eu alçasse voo.

À minha irmã, que viu meus sonhos nascerem e os adotou como seus.

Ao meu amor, por me lembrar que lutamos pelo mesmo porquê.

Aos meus amigos que, com leveza, me faziam esquecer que estávamos nas trincheiras.

Aos meus Professores, por me sustentarem no ringue na esperança de me ver no pódio.

RESUMO

As curvas Intensidade-Duração-Frequência (IDF) são ferramentas utilizadas para quantificar a intensidade das chuvas de um determinado local e correlacionam as principais características de precipitações intensas e a definição de uma equação IDF representativa da realidade pluviométrica local é imprescindível, pois trará maior precisão no planejamento e dimensionamento de obras hidráulicas, resultando em sistemas de drenagem mais eficientes e adequados às condições climáticas da região. Objetiva-se com esse trabalho obter a equação IDF para a cidade de Teresina com base na análise de séries históricas de precipitação registradas por pluviômetros automáticos por meio de duas metodologias: proposta pela CETESB (1986) e pela CPRM (2007), contribuindo para o planejamento de sistemas de drenagem e a mitigação de impactos causados por chuvas intensas. A série parcial de precipitações obtida ao organizar os dados foi analisada por durações, que tiveram seus tempos de retorno calculados e plotados em papéis bilogarítmicos como indica a metodologia CETESB (1986). Na metodologia CPRM (2007), foi aplicada a distribuição de Poisson para todas as durações, o que ajustou seus tempos de recorrência às excedências anuais. Os valores obtidos foram plotados em papéis de probabilidade Log-Normal. Com os gráficos, foi possível extrapolar os TRs aos de interesse e obter as intensidades máximas para todas as durações. Os parâmetros ajustados das equações CETESB (1986) e CPRM (2007) seguem a mesma ordem de grandeza, com diferenças pontuais - o maior desvio foi de 48,52%. As duas curvas apresentaram comportamentos semelhantes, embora a da CETESB tenha fornecido valores ligeiramente superiores. Por outro lado, as intensidades obtidas comparadas com a equação do Plano Diretor de Drenagem de Teresina, utilizado para o dimensionamento das obras de drenagem do município, mostraram-se significativamente superiores às do PDDrU para todos os TRs, o que pode indicar subestimação das chuvas intensas, fato que justificaria a ineeficiência dos dispositivos de drenagem do município atualmente.

Palavras-chave: IDF; pluviômetro automático; drenagem urbana.

ABSTRACT

The Intensity-Duration-Frequency (IDF) curves are tools used to quantify rainfall intensity at a given location, correlating the main characteristics of intense precipitation events. Defining an IDF equation that accurately represents the local pluviometric reality is essential, as it provides greater precision in the planning and design of hydraulic works, resulting in more efficient drainage systems adapted to regional climatic conditions. This study aims to obtain the IDF equation for the city of Teresina based on the analysis of historical precipitation series recorded by automatic rain gauges, using two methodologies: that proposed by CETESB (1986) and that by CPRM (2007). The partial duration series was analyzed by rainfall duration, with return periods calculated and plotted on bilogarithmic paper, as indicated by the CETESB (1986) methodology. In the CPRM (2007) method, the Poisson distribution was applied for all durations, adjusting the recurrence intervals to annual exceedances. The resulting plots allowed extrapolation of the return periods of interest and determination of the maximum intensities for all durations. The adjusted parameters of the CETESB (1986) and CPRM (2007) equations were found to be of the same order of magnitude, with only minor differences - the largest deviation being 48.52%. Both curves showed similar behavior, although the CETESB curve presented slightly higher values. On the other hand, when compared to the equation from Teresina's Urban Drainage Master Plan (PDDrU), the obtained intensities were significantly higher for all return periods, suggesting an underestimation of intense rainfall in the PDDrU, which could justify the current inefficiency of the city's drainage systems.

Keywords: IDF; automatic rain gauge; urban drainage.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Pluviômetro operado pelo Serviço Geológico do Brasil - SGB/CPRM.	18
Figura 2 - Pluviógrafo da estação Teresina (código ANA - 00542012), operada pelo Serviço Geológico do Brasil - SGB/CPRM.....	19
Figura 3 - Pluviograma do dia 19/01/2023 da estação Teresina (código ANA - 00542012)....	19
Figura 4 - Parte interna do pluviômetro automático da estação Ilhotas (Código 221100104A), operada pelo CEMADEN.....	20
Figura 5 - Pluviômetro automático ligado à plataforma de coleta de dados da estação Ilhotas (Código 221100104A).	20
Figura 6 - Mapa de localização espacial do município de Teresina.	33
Figura 7 - Enchente na Rua Professor Mário Batista, zona Leste de Teresina.	35
Figura 8 - Pluviômetros automáticos monitorados pelo CEMADEN em Teresina.....	36
Figura 9 - Localização da estação Santa Isabel (CEMADEN/MCTI).....	36
Figura 10 - Diferenças entre as intensidades das equações para TR = 1 ano.	46
Figura 11 - Diferenças entre as intensidades das equações para TR = 12 anos.....	46
Figura 12 - Diferenças entre as intensidades das equações para TR = 25 anos.....	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Limites mínimos para chuvas intensas.....	22
Tabela 2 - Mapa de falhas - Estação Santa Isabel (Código 221100101A).....	37
Tabela 3 - Valores adotados para precipitações mínimas.....	38
Tabela 4 - Precipitações máximas definidas pela metodologia CETESB (1986).....	39
Tabela 5 - Coeficientes de determinação para as precipitações máximas pela metodologia CETESB (1986).....	40
Tabela 6 - Intensidades definidas pela metodologia CETESB (1986).....	40
Tabela 7 - Graus de liberdade e valores da distribuição Qui- quadrado.....	41
Tabela 8 - Precipitações máximas definidas pela metodologia CPRM (2007).....	42
Tabela 9 - Coeficientes de determinação para os papéis de probabilidade.....	42
Tabela 10 - Intensidades definidas pela metodologia CPRM (2007).....	43
Tabela 11 - Valores de k, b, d0, m.....	44
Tabela 12 - Diferenças absoluta e relativa entre os parâmetros k, b, d0 e m.....	45

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ANA	Agência Nacional de Águas
CEMADEN	Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CPRM	Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais
IDF	Intensidade-Duração-Frequência
PDDrU	Plano Diretor de Drenagem Urbana
RNH	Rede Hidrometeorológica Nacional
SEMPLAN	Secretaria Municipal de Planejamento
SGB	Serviço Geológico do Brasil
TME	Tempo Mínimo entre Eventos
TR	Tempo de Retorno

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	14
1.1.	Contextualização.....	14
1.2.	Objetivos.....	15
1.2.1.	Objetivo geral	15
1.2.2.	Objetivos específicos.....	15
2.	REFERENCIAL TEÓRICO	16
2.1.	Precipitações.....	16
2.2.	Chuvas intensas	16
2.3.	Grandezas características das precipitações	17
2.4.	Instrumentos de medição de chuva.....	17
2.4.1.	Pluviômetros.....	17
2.4.2.	Pluviógrafos.....	18
2.4.3.	Pluviômetros automáticos	19
2.5.	Séries de precipitação	21
2.5.1.	Série de valores máximos anuais (SA)	21
2.5.2.	Séries de duração parcial (SDP)	21
2.6.	Tempo Mínimo entre Eventos (TME).....	23
2.7.	Alturas pluviométricas	24
2.7.1.	Metodologia CETESB (1986)	24
2.7.2.	Metodologia CPRM (2007)	25
2.7.3.	Variável reduzida da distribuição Normal	27
2.7.4.	Variável reduzida da distribuição Log - Normal	27
2.7.5.	Variável reduzida da distribuição Gumbel.....	27
2.8.	Intensidade das precipitações máximas.....	28
2.9.	Equações IDF	28
2.9.1.	Parâmetros k , b , $d0$, m	28
2.9.2.	Estimativa inicial para o parâmetro $d0$	29
2.9.3.	Estimativa inicial para o parâmetro m	30
2.9.4.	Estimativa inicial para os parâmetros k e b	30
3.	METODOLOGIA.....	33
3.1.	Caracterização local	33
3.2.	Obtenção e organização dos dados	35
3.3.	Montagem da série de durações parciais.....	38

3.4.	Cálculo das alturas pluviométricas e intensidades	39
3.4.1.	Metodologia CETESB (1986)	39
3.4.2.	Metodologia CPRM (2007)	41
3.5.	Ajuste da equação e da curva IDF	43
3.5.1.	Ajustes de k, b, d_0 , m.....	43
4.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	44
4.1.	Comparativo entre parâmetros das equações.....	44
4.2.	Comparativo entre intensidades das equações	45
5.	CONCLUSÕES.....	49
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	51
	ANEXOS	55

1. INTRODUÇÃO

1.1. Contextualização

As curvas Intensidade-Duração-Frequência (IDF) são ferramentas utilizadas para quantificar a intensidade das chuvas de um determinado local e correlacionam as principais características de precipitações intensas. Por esse motivo, segundo Silva (2022), são utilizadas como elementos de dimensionamento, planejamento, gestão de recursos hídricos e infraestrutura associada, como barragens, reservatórios, canais, rodovias, ferrovias e outras obras sujeitas a escoamento superficial. Além disso, seu uso se estende a pesquisas acerca de bacias hidrográficas, planejamento urbano, avaliação de impactos das mudanças climáticas, definição de políticas públicas e auxílio à tomada de decisões voltadas à redução de riscos de inundações.

Para as obras de drenagem, faz-se necessária a obtenção da vazão de projeto (Q_p), vazão máxima para qual o dispositivo será dimensionado de forma econômica, funcional e segura. Essa vazão pode ser calculada por meio de diferentes metodologias e é definida a partir de uma precipitação máxima, chamada chuva de projeto, cuja intensidade é calculada a partir das curvas IDF (RÊGO, 2020).

A definição de uma equação IDF representativa da realidade pluviométrica local é imprescindível, pois trará maior precisão no planejamento e dimensionamento de obras hidráulicas, resultando em sistemas de drenagem mais eficientes e adequados às condições climáticas da região. Para o cálculo dessa ferramenta probabilística, utiliza-se dados confiáveis, advindos de dispositivos específicos de medição de chuva, a exemplo dos pluviógrafos, que fornecem registros de precipitação acumuladas ao longo do tempo em gráficos, denominados pluviogramas, fonte de dados mais utilizada para o desenvolvimento das equações IDF atualmente (RÊGO, 2020), e dos pluviômetros, que mensuram volumes diários de precipitação e, em modelos atuais, podem transmitir em tempo real os dados de precipitação (automáticos).

Diferentemente de estudos anteriores, este trabalho utiliza uma base de dados com alta resolução temporal (transmissões automáticas com intervalo de 10 minutos) ainda pouco explorada no campo da hidrologia, os pluviômetros automáticos. A análise deste tipo de dados ainda é trabalhosa, devido ao volume de informações transmitidas pelo aparelho, que requer maior organização e critérios a serem considerados estatisticamente.

A velocidade de transmissão dessas informações possibilita maiores detalhes na análise e no tratamento das séries históricas de precipitação, contribuindo para o avanço das análises sobre eventos extremos no contexto urbano.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo geral

Obter a equação IDF para a cidade de Teresina com base na análise de séries históricas de precipitação registradas por pluviômetros automáticos, contribuindo para o planejamento de sistemas de drenagem e a mitigação de impactos causados por chuvas intensas.

1.2.2. Objetivos específicos

- Ajustar os dados obtidos a uma equação do tipo IDF para duas metodologias distintas: CETESB (1986) e CPRM (2007);
- Traçar comparativos entre as equações encontradas e equações de estudos existentes;
- Analisar de que forma as intensidades de precipitações calculadas com as equações impactam no sistema de drenagem frente às mudanças climáticas e no regime de escoamento superficial de águas urbanas.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Precipitações

A chuva, segundo Tucci (2001), forma mais comum da precipitação, ocorre quando as nuvens com presença significativa de umidade (vapor de água e núcleos de condensação como poeira ou gelo) sofrem fenômenos de aglutinação e crescimento das microgotículas, que acarretam a formação de gotas com tamanho e peso o bastante para que a turbulência normal ou os movimentos ascendentes do meio atmosférico sejam superados pela força da gravidade.

Segundo Mendonça e Danni-Oliveira (2007 apud Rêgo, 2020), as chuvas podem ser classificadas, conforme sua origem, nos seguintes tipos:

- Chuvas convectivas (ou de origem térmica): Ocorrem devido à elevação rápida de ar quente e úmido, provocado pelo forte aquecimento da superfície terrestre durante o dia. À medida que esse ar sobe, ele se resfria, formando nuvens e provocando chuvas intensas e de curta duração, típicas de regiões tropicais, especialmente no final da tarde;
- Chuvas orográficas (ou de relevo): São geradas quando massas de ar carregadas de umidade encontram barreiras naturais, a exemplo de serras e montanhas, sendo forçadas a subir. Ao atingir altitudes maiores, o ar se resfria e condensa, originando precipitações. Esse tipo de chuva está diretamente ligado à influência do relevo no fluxo atmosférico;
- Chuvas frontais: Acontecem com o encontro de duas massas de ar com temperatura e umidade distintas, formando uma frente. A massa de ar quente, ao ser empurrada para cima pela fria, se resfria e gera precipitação. A intensidade e a duração desse tipo de chuva variam de acordo com a velocidade das massas de ar, o quanto contrastam termicamente entre si e o tempo que a frente permanece sobre uma região.

2.2. Chuvas intensas

As chuvas intensas são definidas por Villela e Mattos (1975) como um “grande volume de água precipitado em um curto período de tempo”, o que explicita problemas no sistema de drenagem urbano quando ocorrem.

O estudo dessas chuvas é imprescindível para a engenharia, principalmente no que tange ao controle do escoamento superficial urbano. Dessa forma, é crucial quantificar os efeitos causados pela precipitação que ocorrerá, para que assim se torne possível prever a ocorrência de eventos extremos semelhantes e suas consequências de maneira fiel e real (CRUCIANI; MACHADO; SENTELHAS, 2002).

2.3. Grandezas características das precipitações

Dentre as grandezas utilizadas para caracterizar as precipitações, segundo Villela e Mattos (1975 apud Rêgo, 2020), destacam-se:

- Altura pluviométrica (P): representa a espessura média da lâmina d'água precipitada, expressa em milímetro (mm);
- Duração (t): expressa o período em que a chuva perdurou expresso em horas (h) ou minutos (min);
- Intensidade (i): encontrada a partir da divisão entre a altura pluviométrica e a duração.
- Tempo de recorrência (Tr): é uma estimativa anual durante o qual se espera que uma precipitação seja igualada ou superada.

Gonçalves (2011) deu ênfase ao estudo dessas grandezas para se obter precipitações pluviais máximas e médias para uma área urbana e, a partir dessas informações, identificar eventuais condições de risco e impacto sobre a drenagem da referida área.

2.4. Instrumentos de medição de chuva

A altura pluviométrica das precipitações é quantificada por meio de instrumentos de medição de chuva, que são os pluviômetros, equipamentos mais simples e difundidos que precisam de pessoas para realizarem as medições, os pluviógrafos, que possuem um mecanismo de registro automático da chuva no decorrer do tempo e os pluviômetros automáticos, que além do registro, também possuem transmissão automática.

2.4.1. Pluviômetros

Os pluviômetros são equipamentos dotados de um recipiente metálico (Figura 1A) acoplado a um funil com anel receptor (Figura 1B). Esses possuem uma proveta graduada para que seja feita a leitura direta da água precipitada. Esse registro é feito por um observador uma vez por dia, geralmente nas últimas 24 horas desde a última leitura (RÊGO, 2020).

Figura 1 - Pluviômetro operado pelo Serviço Geológico do Brasil - SGB/CPRM.



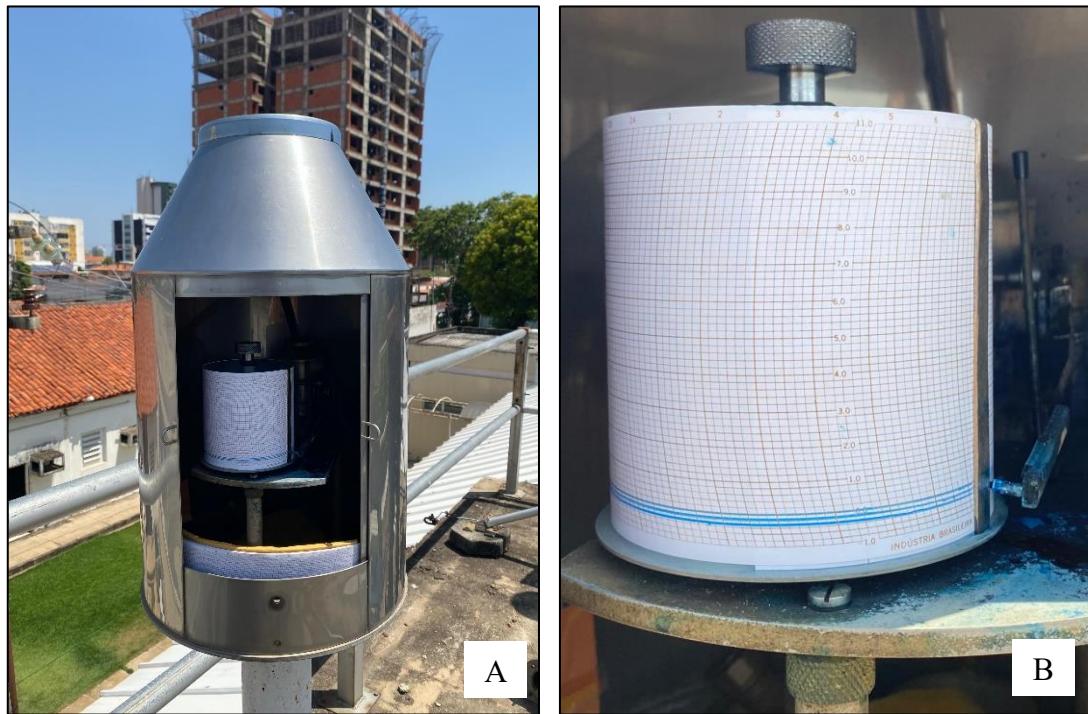
Fonte: Acervo pessoal (2025)

2.4.2. Pluviógrafos

Os trabalhos já desenvolvidos acerca da Curva IDF utilizam em peso as informações fornecidas por pluviógrafos (Figura 2A). Esses equipamentos possuem um mecanismo de registro automático, que é feito em um papel graduado no qual o traçado obtido representa a precipitação ocorrida ao longo do tempo (Figura 2B). Esse traçado corresponde a gráficos denominados pluviogramas (Figura 3), que são informações mais discretizadas (representadas em intervalos de tempo menores) (RÊGO, 2020).

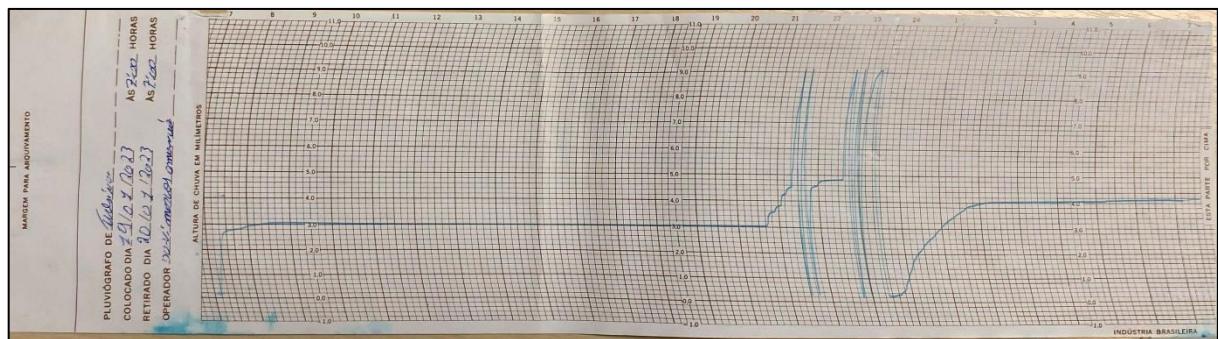
Os pluviogramas permitem individualizar os eventos chuvosos e avaliar a variação da intensidade com a sua duração. Ainda que os dados gerados sejam gráficos analógicos, existem ferramentas computacionais que permitem digitalizar as informações, facilitando, sobremaneira, o tratamento e utilização dos dados (ROCHA, 2017).

Figura 2 - Pluviógrafo da estação Teresina (código ANA - 00542012), operado pelo Serviço Geológico do Brasil - SGB/CPRM.



Fonte: Acervo pessoal (2025)

Figura 3 - Pluviograma do dia 19/01/2023 da estação Teresina (código ANA - 00542012).



Fonte: Acervo pessoal (2025)

2.4.3. Pluviômetros automáticos

Os pluviômetros automáticos, segundo Reda *et al.* (2008), são equipamentos compostos por duas básculas e operam de a partir do volume vertido em basculamentos. Uma vez que determinado volume de água é coletado por uma das básculas, essa cede para um lado devido ao peso da água, dando espaço para que a outra prossiga com a coleta. Essa sequência ocorre durante toda a duração da chuva e cada deslocamento de uma das básculas é considerado, por um sensor eletromagnético, uma fração de 0,2mm de altura de chuva (Figura 4).

Geralmente esses pluviômetros são dotados de parafusos de calibração que concedem o ajuste do volume de água necessário para que o movimento em torno do eixo ocorra (CUNHA,

2020). Segundo Reda *et al.* (2008), as frações mais comuns comercializadas são as de 0,1; 0,2 e 0,254mm (0,1 polegada).

Esses dados são salvos na memória de um *datalogger* e transmitidos em tempo real por meio de redes telemétricas (Figura 5).

Figura 4 - Parte interna do pluviômetro automático da estação Ilhotas (Código 221100104A), operada pelo CEMADEN.



Fonte: Acervo pessoal (2025)

Figura 5 - Pluviômetro automático ligado à plataforma de coleta de dados da estação Ilhotas (Código 221100104A).



Fonte: Acervo pessoal (2025)

Ainda segundo Cunha (2020), devido a área extensa e a grande diversidade climática do Brasil, o tempo e a distribuição dos índices pluviométricos são bastante irregulares – temporal e espacialmente – em algumas partes do país, como no semiárido do Nordeste. Para Reichardt (1987), um critério prático para determinação da quantidade de pluviômetros necessários para obtenção de uma boa resolução é um pluviômetro para cada 1 a 5 km².

Atualmente, existe no Brasil um projeto intitulado como “Pluviômetros Automáticos”, uma iniciativa do Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN), que visa minimizar prejuízos materiais e perdas humanas por intermédio da ampliação das redes de monitoramento pluviométrico do país e da emissão de alertas de desastres naturais, como deslizamentos de terra, inundações e enxurradas.

O Centro também desenvolve pesquisas e desenvolvimento, fornecendo amparo para tomadas de decisões governamentais ou particulares (CUNHA, 2020). As séries históricas dos pluviômetros automáticas são de domínio público, disponibilizadas em seu sítio na internet. São dados de chuva discretizados de 10 em 10 minutos, transmitidos em tempo real.

2.5. Séries de precipitação

Para realizar a análise estatística das informações fornecidas pelos instrumentos de medição de chuva, utiliza-se eventualmente dois tipos de séries de dados: as séries de máximos anuais, que consistem na seleção dos maiores valores de precipitações ocorridas num intervalo de tempo anual para as durações definidas, e as séries de duração parcial, para as quais são selecionados todos os valores observados superiores a um valor limite definido para cada duração.

2.5.1. Série de valores máximos anuais (SA)

Segundo Rêgo (2020), as séries de intensidades máximas anuais assim denominam-se por conter apenas os valores máximos de precipitação diária registrados em cada ano. Quando se utiliza as séries de valores máximos anuais, assume-se que os eventos selecionados são independentes e identicamente distribuídos. A independência dos eventos pode ser assegurada pela seleção dos dados de precipitação por ano hidrológico.

2.5.2. Séries de duração parcial (SDP)

A diferença básica entre a série de máximos anuais e a série de durações parciais é que a primeira comprehende um único valor para cada ano, o valor máximo anual e a segunda, comprehende somente os maiores eventos de chuvas superiores a uma determinada precipitação

de referência. Segundo Wilken (1978), para fins práticos, as séries de duração parcial e as séries anuais não diferem muito, exceto para baixos períodos de retorno.

No Atlas Pluviométrico do Brasil (2013), para montagem destas séries, são selecionados os valores observados superiores a um limite adotado para cada duração pré-definida (5, 10, 15,30...840,1440 minutos), dessa forma, dispondo de uma série de n anos, é possível analisar, 2N, 3N máximos, possibilitando a análise de séries históricas com poucos anos de duração.

Davis e Naghettini (2000) propuseram valores de precipitações mínimas para que os eventos pudessem ser classificados entre chuva intensa ou não de acordo com suas durações (Tabela 1), que foram ajustados às Equações (1) e (2) por Rocha (2017) e podem ser adotados como limites inferiores para a montagem da série de durações parciais.

Tabela 1 - Limites mínimos para chuvas intensas.

Autor	Pfafstetter (1957)		Wilken (1978)		Valores Adotados (1999)	
Duração	P(mm)	I (mm/h)	P(mm)	I (mm/h)	P(mm)	I (mm/h)
5 min	8	96	10	120	8	96
10 min			12	72	12	72
15 min	15	60	15	60	15	60
30 min	20	40	20	40	20	40
45 min			23	30,6	23	30,6
1h	25	25	25	25	25	25
2h	30	15	30	15	30	15
3h			33	11	33	11
4h	35	8,8	35	8,8	35	8,8
8h	40	5			40	5
14h	47	3,4			47	3,4
24h	55	2,3			55	2,3

Fonte: Davis e Naghettini (2000)

$$P_{min} = 7,0921 * \ln(d) - 3,973; \quad d \text{ (duração)} \leq 240 \text{ min} \quad (1)$$

$$P_{min} = -5,339 * 10^{-6} * d^2 + 2,572131 * 10^{-2} * d + 29,05319; \quad d \geq 240 \text{ min} \quad (2)$$

Bertoni e Tucci (1993) afirmam que a metodologia de séries parciais é utilizada quando o número de anos de dados é pequeno (< 12 anos) e os tempos de retorno que serão utilizados são inferiores a 5 anos.

Wang (1991) apud Laura (1997) mostrou que os modelos de séries parciais também se mostram eficazes para grandes períodos de retorno.

Segundo Kite (1977), a escolha das séries de duração parcial ou anual depende da relação entre o evento hidrológico e do tipo e características da infraestrutura a projetar-se.

Em estudo comparativo sobre a utilização de séries de duração parcial ou de máximos anuais para estimativa de vazões extremas através de séries sintéticas, Moreira *et al.* (1983) obtiveram resultados conflitantes para as duas séries de precipitação. Em alguns casos as séries parciais mostravam-se mais precisas, produzindo quantis estimados com menor erro médio absoluto com relação aos gerados nas séries sintéticas do que as séries de máximos anuais. Outras vezes, ocorria o inverso.

2.6. Tempo Mínimo entre Eventos (TME)

Para o caso de séries de duração parcial, pode-se ainda adotar um período de tempo mínimo para considerar dois eventos como independentes, chamado Tempo Mínimo entre Eventos (TME). A literatura não estabelece um único valor prescritivo, mas diversos estudos recomendam testar uma série de TMEs (ex.: 15 min a 24 h) e escolher um valor que equilibre independência entre eventos e número suficiente de observações para análise estatística.

Dunkerley (2008), no trabalho *Rainfall event separation and determination of the water quality capture volume*, discute a escolha do tempo mínimo entre eventos (TME) na faixa de 4 a 8 horas para a separação de chuvas em análises hidrológicas e de qualidade da água.

Em estudo sobre o rio Nilo Azul, Haile *et al.* (2011) avaliou de que forma a definição do TME, variando de 30 minutos a 8 horas, afeta as propriedades das chuvas identificadas. Observou-se que valores mais altos reduzem o número de eventos, mas aumentam sua duração média, reforçando a importância da escolha do TME de acordo com a finalidade da análise hidrológica.

No estudo intitulado como “*Rainfall timing and runoff: The influence of the criterion for rain event separation*”, Pekárová *et al.* (2016) investigou o efeito da escolha do TME em ambiente semiárido sobre a geração de escoamento superficial. Os resultados indicaram que um TME de 1 hora apresentou melhor desempenho para explicar a variabilidade do escoamento, evidenciando que a definição do parâmetro deve considerar as condições locais.

Brasil *et al.* (2022), no trabalho *Minimum Rainfall Inter-Event Time to Separate Rainfall Events in a Low Latitude Semi-Arid Environment*, analisou séries de chuva em ambiente semiárido brasileiro com intervalos de 5 minutos, testando TMEs de 15 minutos a 24 horas. O estudo mostrou que valores intermediários, como 4 a 6 horas, produzem um equilíbrio entre independência estatística dos eventos e número suficiente de observações para análise.

2.7. Alturas pluviométricas

A mudança para a interpretação dos dados ocorre quando estes advêm de pluviômetros automáticos devido a que o aparelho já entrega as informações do evento de forma discretizada em intervalos mínimos (10 minutos, 15 minutos...), sem necessidade de coeficientes de desagregação para que se encontre a precipitação máxima para determinado tempo de retorno.

Como é possível analisar cada parte do evento de forma isolada, consegue-se identificar de forma direta as precipitações intensas (maiores que P_{min}) para cada duração e trabalhar cada uma delas de forma separada, desde que a mínima duração seja o intervalo de discretização do aparelho, ou seja, se o pluviômetro entrega dados com intervalos de 10 minutos, a duração mínima a ser analisada é de 10 minutos.

Ao fazer uma análise das precipitações acima do limiar adotado para uma mesma duração, por exemplo, somente as precipitações maiores que P_{min} para 10 minutos, pode-se calcular as probabilidades e tempos de recorrência e encontrar as chuvas máximas para os tempos de retorno somente da duração trabalhada.

Das metodologias existentes para a análise de alturas pluviométricas em séries parciais, destacam-se a metodologia CETESB (1986), descrita no livro “Drenagem urbana – Manual e Projeto”, onde recomenda-se a plotagem direta das alturas pluviométricas por seus respectivos tempos de recorrência em papel bilogarítmico, e a metodologia descrita pela CPRM (2007) no livro “Hidrologia Estatística”, onde é aplicada a distribuição teórica de Poisson na série de precipitações.

2.7.1. Metodologia CETESB (1986)

Segundo a CETESB (1986), as alturas pluviométricas das séries consideradas, devem ser relacionadas em ordem decrescente, associando-lhes a perspectiva probabilidade de ocorrência p ou período de retorno T , como apontado nas Equações (3) e (4).

$$p = \frac{m}{n+1} \quad (3)$$

$$T = \frac{1}{p} \quad \text{ou} \quad T = \frac{n+1}{m} \quad (4)$$

Onde:

- p é a probabilidade acumulada de um evento ser igualado ou superado em magnitude;
- m é o número da ordem;

- n é o número de anos de registros considerado, consequentemente, para séries anuais, coincide com o número de eventos da amostra ;
- T é o período de retorno ou intervalo de recorrência em anos.

Para séries parciais, as alturas pluviométricas e os respectivos períodos de retorno devem ser plotados num papel monolog ou bilog, definindo-se, assim, a curva de frequência graficamente. As curvas só devem ser consideradas para períodos de retorno até 10 anos (CETESB, 1986).

2.7.2. Metodologia CPRM (2007)

Conforme a metodologia proposta por CPRM (2007), em séries de duração parcial, a distribuição de Poisson é frequentemente usada para modelar a taxa de excedências dos eventos, enquanto a distribuição exponencial é empregada para estimar a magnitude dos picos excedentes sobre o limiar estabelecido.

Os dados adotados acima do limiar adotado passam por uma contagem de excedências anuais, onde observa-se a quantidade de dados adotados por ano hidrológico de dados. Após a contagem, verifica-se se as taxas de excedências anuais seguem um modelo poissoniano. Esta verificação é realizada com o teste de Cunnane (1979) descrito pela Equação (5) (NAGHETTINI E PINTO, 2007):

$$\gamma = \sum_{k=1}^N \left(\frac{m_k - \hat{\nu}}{\hat{\nu}} \right)^2 \quad (5)$$

Onde:

- γ é a estatística de Cunnane;
- m_k é o número de excedências que ocorrem em cada ano k da série;
- $\hat{\nu}$ é a taxa de excedência anual.

O valor da estatística do teste deve ser comparado ao quantil $X_{1-\alpha,\eta}^2$ da distribuição de Qui-Quadrado, com $(n-1)$ graus de liberdade, sendo n o número de anos da série, e nível de significância α , descritos na Equação (6) (NAGHETTINI E PINTO, 2007):

$$\gamma = \sum_{k=1}^N \left(\frac{m_k - \hat{\nu}}{\hat{\nu}} \right)^2 < X_{1-\alpha,\eta}^2 \quad (6)$$

Onde:

- γ é a estatística de Cunnane;
- $X_{1-\alpha,\eta}^2$ o valor da distribuição Qui-quadrado para grau de liberdade η e nível de significância $1 - \alpha$.

Em seguida, pode-se calcular a distribuição empírica por meio da estimativa da posição de plotagem e dos tempos de retorno da série parcial e o seu correspondente anual. O cálculo da posição de plotagem foi realizado com a fórmula de Cunnane (1978), descrita na Equação (7) (NAGHETTINI E PINTO, 2007):

$$q^i = \frac{(i-0,4)}{(n+0,2)} \quad (7)$$

Onde:

- q^i é a posição de plotagem;
- i é o número da ordem;
- n é o número de dados adotados.

Calculadas as posições de plotagem, o tempo de retorno da série parcial T_p é expresso pela relação da Equação (8) e o seu correspondente anual pela Equação (9) (NAGHETTINI E PINTO, 2007):

$$T_p = \frac{1}{v * q_i} \quad (8)$$

Onde:

- T_p é o período de recorrência parcial;
- v é taxa de excedência anual;

$$T_a = \frac{1}{\left\{1-exp\left(-\frac{1}{T_p}\right)\right\}} \quad (9)$$

Onde:

- T_a é o período de recorrência anual.

Nessa metodologia, a associação das observações ordenadas às respectivas probabilidades empíricas de excedência, ou aos respectivos tempos de retorno podem ser

construídos por meio dos chamados papeis “de probabilidades”, que são gráficos para plotagem de observações amostrais e suas respectivas probabilidades empíricas.

A escala apropriada para a linearização de uma função acumulada de probabilidades $F_x(x)$ descrita por não mais de dois parâmetros, é construída por meio da variável padrão ou variável reduzida X da distribuição. A verificação visual de linearidade de um conjunto de dados amostrais, plotados em um papel de probabilidades, pode ser empregada para aceitar ou rejeitar, ainda que empiricamente, a hipótese de aderência a um certo modelo de distribuição de probabilidades (NAGHETTINI E PINTO, 2007).

2.7.3. Variável reduzida da distribuição Normal

Segundo Naghettini e Pinto (2007), a variável reduzida da distribuição pode ser expressa pela Equação (10):

$$Z = \phi^{-1}(P_{nexc}) \quad (10)$$

Onde:

- Z é a variável reduzida Normal;
- ϕ^{-1} é a função inversa da distribuição normal padrão;
- P_{nexc} é a probabilidade de não excedência ($P_{nexc} = 1 - \frac{1}{TR}$);

2.7.4. Variável reduzida da distribuição Log - Normal

A variável reduzida da distribuição Log-Normal é semelhante à da normal, mas aplicada sobre os logaritmos dos valores de precipitação observados, ou seja enquanto para a distribuição Normal plota-se a variável reduzida pela precipitação, na distribuição Log-Normal plota-se a variável reduzida pelos logaritmos das precipitações (NAGHETTINI E PINTO, 2007).

2.7.5. Variável reduzida da distribuição Gumbel

A variável reduzida da distribuição Gumbel, segundo Naghettini e Pinto (2007), pode ser expressa pela Equação (11):

$$Y = -\ln[-\ln(P_{nexc})] \quad (11)$$

Onde:

- Y é a variável reduzida Gumbel;

- P_{nexc} é a probabilidade de não excedência ($P_{nexc} = 1 - \frac{1}{Tr}$);

2.8. Intensidade das precipitações máximas

As intensidades das precipitações máximas encontradas para cada duração encontradas a partir da extração dos gráficos são utilizadas para fazer o ajuste da equação IDF, e podem ser calculadas de forma direta a partir da Equação (12) (TUCCI, 2001):

$$i = \frac{P}{t} \quad (12)$$

Onde:

- i é a intensidade da precipitação, em (mm/min);
- P é a precipitação em (mm);
- d é a duração trabalhada em (min).

2.9. Equações IDF

A equação do tipo IDF pode ser expressa, segundo Oliveira *et al.* (2016), pela Equação (13):

$$I = \frac{k * Tr^b}{(d + d_0)^m} \quad (13)$$

Onde:

- I é a intensidade da precipitação;
- Tr é o tempo de retorno, em anos;
- d é o intervalo de tempo em que ocorreu a chuva, em minutos;
- k, b, d_0, m são parâmetros a serem ajustados para o município.

2.9.1. Parâmetros k, b, d_0, m

Segundo a CPRM (2013), os parâmetros podem ser estimados de duas formas distintas com o algoritmo de gradiente reduzido generalizado (GRG2) desenvolvido por Lasdon e Waren (1981) para resolver problemas não lineares. Essa ferramenta encontra-se disponível no Microsoft Excel Solver.

Na primeira metodologia, busca-se a minimização da Raiz do Erro Quadrático Médio (REQM), ou seja, os valores dos parâmetros são alterados por meio de iterações até que se encontre o mínimo para a função representada pela Equação (19):

$$REQM = \sqrt{\frac{\sum(i_a - i_c)^2}{N-1}} \quad (19)$$

Já na segunda metodologia, o objetivo é minimizar o Desvio Percentual Médio Absoluto (DPMA). O algoritmo pesquisa, também de forma iterativa, o conjunto de parâmetros que minimiza a Equação (20):

$$DPMA = \frac{\sum \frac{|i_a - i_c|}{i_a} * 100}{N} \quad (20)$$

Onde:

- i_a é a intensidade obtida na análise de frequência;
- i_c é a intensidade calculada pela equação;
- N é o tamanho da amostra;

As soluções encontradas pelo Solver utilizando o algoritmo de gradiente reduzido generalizado (GRG2) são sensíveis aos parâmetros arbitrados inicialmente. Dessa forma, algumas sugestões devem ser acatadas para que os parâmetros iniciais da equação IDF resultem na melhor opção (CPRM, 2013).

Por anamorfose logarítmica, a equação (13) que representa as relações IDF é transformada na Equação (21):

$$\log I = \log A + m * \log(d + d_0) \quad (21)$$

Onde:

- $A = kTr^b$

2.9.2. Estimativa inicial para o parâmetro d_0

Ao demarcar, para cada tempo de retorno, os pares de pontos “ $(d + d_0)$ ” por “i” em papel bilogarítmico, adotando inicialmente “ $d_0 = 0$ ”, nota-se um alinhamento dos pontos. Porém, para durações menores, os pontos apresentam uma leve curvatura. Assim, procura-se determinar um valor para “ d_0 ” que retifica a curva. A determinação do parâmetro “ d_0 ” é feita variando-se o seu valor até a linearização da curva (CPRM, 2013).

2.9.3. Estimativa inicial para o parâmetro m

A partir da definição do parâmetro “ d_0 ”, é possível determinar para cada tempo de retorno, através do método dos mínimos quadrados, os valores de “ m ” e “ $\log A$ ”. Adotando a curva de ajuste como sendo a equação (21), os valores de “ m ” e “ $\log A$ ”, para cada tempo de retorno, são determinados de maneira que a soma dos quadrados dos desvios entre os valores calculados de “ i ” e os observados seja a menor possível (Equações 22 e 23).

$$m = - \left\{ \frac{n * \sum [\log I * \log(d+d_0)] - \sum \log I * \sum \log(d+d_0)}{n * \sum [\log(d+d_0)] - [\sum \log(d+d_0)]^2} \right\} \quad (22)$$

$$\log A = \frac{\sum \log I - m * \sum \log(d+d_0)}{n} \quad (23)$$

Onde:

- n é o número de dados da série.

Os valores de “ m ” e “ A ” são calculados pelas equações (22) e (23) após a determinação do “ d_0 ”, que ocorre quando a curva de ajuste for mais próxima de 1 (OLIVEIRA *et al.*, 2016).

2.9.4. Estimativa inicial para os parâmetros k e b

Os parâmetros k e b , são determinados a partir dos valores de “ $\log T$ ” e os de “ $\log A$ ” obtidos na análise para encontrar o parâmetro m . Como $A = kT^b$, temos por anamorfose logarítmica a Equação (24):

$$\log A = \log k + b * \log Tr \quad (24)$$

Ao adotar a equação (24) como a curva de ajuste e aplicando o método dos mínimos quadrados têm-se, em (25) e (26) que:

$$\log k = \frac{\sum (\log Tr)^2 * \sum \log A - \sum (\log A * \log Tr) * \sum \log Tr}{n \sum (\log Tr)^2 - (\sum \log Tr)^2} \quad (25)$$

$$b = \frac{n \sum \log A * \log Tr - \sum \log Tr * \sum \log A}{n \sum (\log Tr)^2 - (\sum \log Tr)^2} \quad (26)$$

Onde:

- n é o número de períodos de recorrência utilizados na definição das curvas.

O parâmetro k é obtido calculando o inverso do “log k”, que é obtido com a Equação (25) e o parâmetro b é estimado utilizando de forma direta a Equação (26) (CPRM, 2013).

Oliveira *et al.* (2016) propuseram um estudo de chuvas intensas para diversos postos pluviométricos existentes no Piauí, definindo suas curvas IDF e os parâmetros da curva para qualquer local do Estado a partir de sua localização geográfica pelo uso de mapas de isolinhas construídos a partir da interpolação gráfica dos dados pontuais observados nas curvas IDF dos postos analisados. Utilizando uma série de precipitações de máximas anuais e a metodologia, proposta pela CETESB em 1986, ajustou-se a Equação (27) para Teresina, determinada a partir dos dados pluviométricos monitorados no posto 542012 – localizado no pátio da Residência de Teresina da CPRM – da Agência Nacional de Águas – ANA em seu Sistema de Informações Hidrológicas:

$$I = \frac{15,993 * Tr^{0,223}}{(d+12)^{0,759}} \quad (27)$$

Onde I é expresso em mm/min, Tr em anos e d em minutos.

Segundo o Serviço Geológico do Brasil – SGB (2014), no Relatório técnico SGB / Atlas pluviométrico — Teresina, cujo objetivo principal é a definição das relações intensidade-duração-frequência (IDF) para os pontos da Rede Hidrometeorológica Nacional - RHN da Agência Nacional de Águas – ANA . Para o mesmo posto (542012), foram utilizadas séries de duração parcial e a distribuição de frequência ajustada aos dados foi a Exponencial, com os parâmetros calculados pelo método dos momentos-L. A equação determinada foi:

$$i = \frac{2491,6 * Tr^{0,142}}{(t+20)^{0,8943}} \quad (28)$$

Na qual a intensidade da chuva (i) foi expressa em mm/h, o tempo de retorno (T) em anos e a duração da precipitação (t) em minutos. Esta equação é válida para tempo de retorno até 100 anos e durações de 5 minutos a 24 horas.

Fragoso Jr. (2004) fez um estudo que ajustou os parâmetros k, b, d_0 e m de uma equação IDF para dados de chuvas intensas de projeto para diversas cidades brasileiras, entre elas Teresina. Os dados utilizados foram os de chuvas intensas de projeto obtidas por Pfafstetter apud CETESB (1986) em 24 cidades brasileiras, dentre as quais figura Teresina. A equação (29) apresenta a curva determinada pelo pesquisador mencionado, que utilizou os dados até a década de 1950:

$$i = \frac{1248,856 * Tr^{0,177}}{(t+10)^{0,769}} \quad (29)$$

Onde a intensidade da chuva é expressa em (mm/h).

A SEMPLAN – Secretaria Municipal de Planejamento e Coordenação (2010) estabelece, em seu Plano Diretor de Drenagem Urbana – PDDrU de Teresina, diretrizes para o gerenciamento das águas pluviais na cidade. A equação ajustada foi elaborada a partir de uma série histórica de chuvas máximas diárias anuais, correspondente ao período de 1914 a 2009, para o posto (542012) da Agência Nacional de Águas – ANA. Para a desagregação da chuva diária acumulada utilizou-se coeficientes de desagregação, obtendo-se alturas de chuva com intervalos de tempo de curta duração, prática comum em estudos de curvas IDF (CETESB, 1979). O estudo também foi utilizado como comparativo com a equação de Fragoso Jr. (2004), vista anteriormente. A equação do PDDrU foi representada pela Equação (30):

$$i = \frac{1194,273 * Tr^{0,173}}{(t+10)^{0,7457}} \quad (30)$$

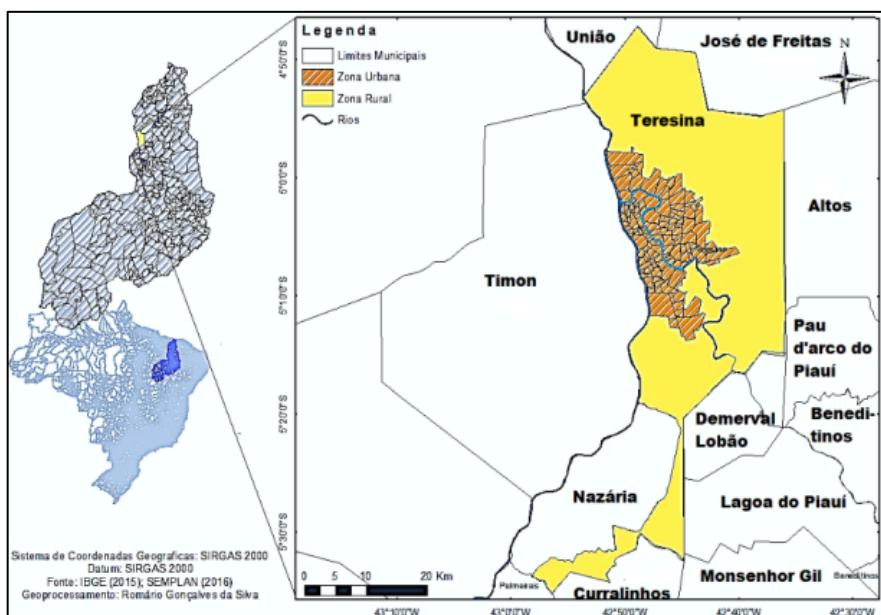
Onde a intensidade da chuva é expressa em (mm/h).

3. METODOLOGIA

3.1. Caracterização local

Teresina está localizada na região Nordeste do Brasil, no estado do Piauí, e faz divisa com as cidades de União, Altos, Monsenhor Gil, José de Freitas, Nazária e Demerval Lobão (Figura 5). A capital é banhada pelos rios Poti e Parnaíba e possui o clima tropical megatérmico segundo a classificação de Köppen (NASCIMENTO; FARIAS; PINTO, 2017.).

Figura 6 - Mapa de localização espacial do município de Teresina.



Fonte: SILVA; SANTOS (2017)

As chuvas do município se concentram no primeiro quadrimestre do ano, cerca de 75,65% do regime pluviométrico é registrado entre os meses de janeiro a abril, por conseguinte, um regime constituído por chuvas torrenciais (SEMPLAN, 2015), convectivas, de curta duração e de grandes intensidades (SEMPLAN, 2010).

No que se refere ao escoamento superficial, Teresina apresenta particularidades históricas que interferiram na dinâmica natural das águas. Por ser uma capital planejada, seu crescimento populacional *a priori* ocorreu de modo ordenado, todavia, essa ocupação urbana instigou a expansão dos serviços de pavimentação e as lagoas e vales foram submetidos a condicionamentos, aterros e transposições. Os serviços de calçamento e a alteração dos cursos naturais de corpos d'água (LIMA; BRUNA, 2017) somados à habitação de áreas ribeirinhas aumentaram a impermeabilização do solo e modificaram o sistema de escoamento de águas superficiais (RÊGO, 2020).

As chuvas intensas em Teresina são registradas desde as primeiras décadas do século XX. Nos anos 1926 e 1969, periódicos relatavam a desordem causada por enchentes no centro da cidade, com interdições de ruas, prejuízos em residências e comércios, além de danos a infraestruturas. Essas ocorrências estavam diretamente ligadas ao crescimento urbano desordenado e à ausência de um sistema de drenagem eficiente, o que agravava os efeitos das chuvas torrenciais (SILVA ; SANTOS, 2017).

Ainda segundo Silva e Santos (2017), Teresina enfrentou uma das piores enchentes de sua história recente em 2009. Chuvas intensas, somadas à abertura das comportas da Barragem de Boa Esperança, resultaram em alagamentos de grande proporção, atingindo bairros inteiros e obrigando famílias a deixar suas casas. A Prefeitura chegou a decretar estado de calamidade pública em algumas áreas, evidenciando a vulnerabilidade da capital a eventos extremos e a fragilidade das estruturas de contenção existentes.

Nos anos de 2018 e 2019, segundo a Prefeitura de Teresina (2019), houve um período chuvoso atípico, que se estendeu por quase seis meses, que trouxe novamente prejuízos significativos. Entre dezembro e abril, choveu mais de 1.576 mm, valor muito acima da média histórica, provocando sérios danos ao pavimento urbano. A malha viária foi fortemente comprometida, com a multiplicação de buracos, necessidade de recapeamento e operações emergenciais de reparo. Esse episódio reforçou a dependência da cidade de uma drenagem mais robusta e de maior planejamento de infraestrutura.

Durante um forte temporal em fevereiro de 2022, uma moradora local perdeu a vida quando o carro em que estava foi arrastado pela correnteza, fato que gerou investigação da Polícia Civil sobre falhas no sistema de drenagem urbana. Esse episódio extremo, ainda que raro, evidencia os riscos à vida humana associados às deficiências no controle de águas pluviais na zona urbana de Teresina. (G1, 2022).

Já em 2024, o Serviço Geológico do Brasil (SGB) divulgou mapas de risco de inundação para Teresina, apontando áreas mais suscetíveis a alagamentos. Esse estudo surgiu após anos de registros recorrentes de chuvas intensas e prejuízos materiais, incluindo milhares de imóveis sem energia elétrica em eventos recentes. Utilizando os veículos de comunicação, a Prefeitura reforçou a necessidade de limpeza preventiva das galerias e retirada de lixo acumulado, demonstrando que a manutenção é fator crucial na mitigação de riscos (SGB, 2024; PREFEITURA DE TERESINA, 2024).

Mais recentemente, em 2025, novas chuvas intensas acompanhadas de ventanias voltaram a causar estragos na cidade. Alagamentos em diversas regiões, quedas de árvores e

interrupções no fornecimento de energia elétrica atingiram cerca de 20 mil imóveis, além de danos a veículos e prejuízos para o comércio. A Defesa Civil e o Corpo de Bombeiros precisaram atuar em várias ocorrências, mostrando que, apesar dos avanços em planejamento, a capital ainda sofre com os efeitos de sua vulnerabilidade às chuvas intensas (PIAUÍ HOJE, 2025), como observado na Figura 6.

Figura 7 - Enchente na Rua Professor Mário Batista, zona Leste de Teresina.

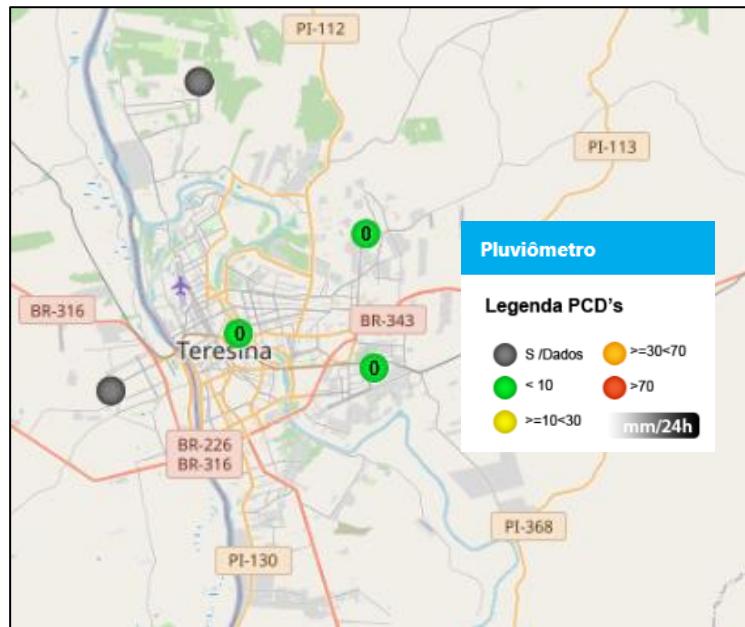


Fonte: SEMDUH (2023)

3.2. Obtenção e organização dos dados

No município teresinense, o Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais - Cemaden/MCTI detêm os pluviômetros automáticos dos postos Santa Isabel (Código 221100101A), na zona Leste da cidade, Renascença (Código 221100103A), na zona Sudeste, Residencial Jacinto Andrade (Código 221100102A), na zona Norte da cidade e Ilhotas (Código 221100104A), no Centro teresinense. Os dados pluviométricos são de domínio público e facilmente encontrados no site do Centro de Monitoramento.

Figura 8 - Pluviômetros automáticos monitorados pelo CEMADEN em Teresina.

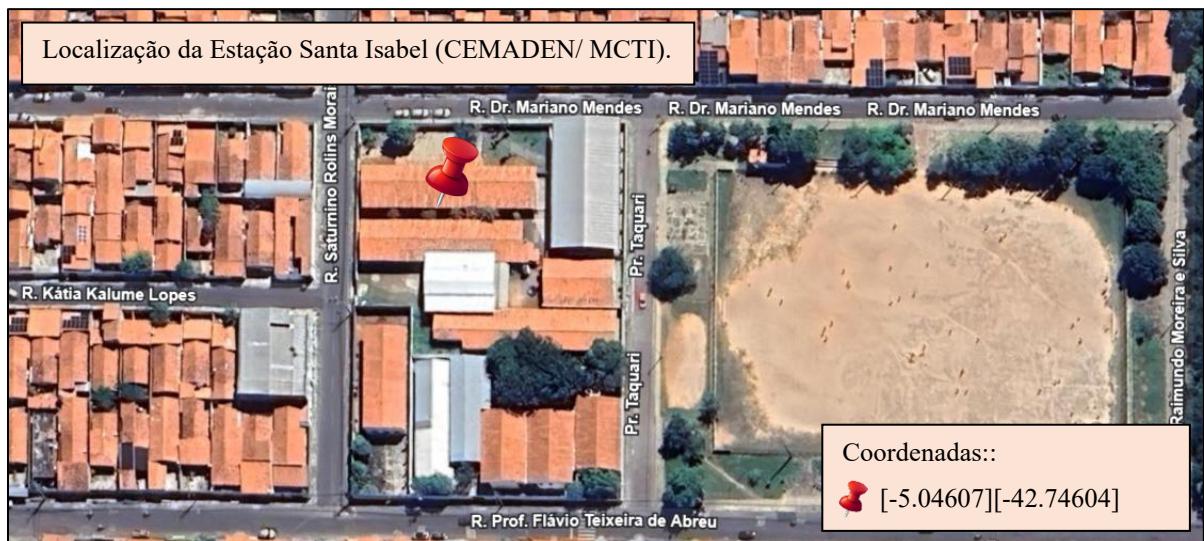


Fonte: CEMADEN (2025)

A escolha dessa base de dados se justifica por sua alta resolução temporal (10 minutos) e pelo potencial ainda pouco explorado desses registros em estudos hidrológicos regionais.

No presente trabalho, foram utilizados os dados da estação Santa Isabel (Código 221100101A), por ser a estação com maior série histórica e por estar localizada na zona Leste do município, região urbana historicamente suscetível a alagamentos, devido a falhas nos dispositivos de drenagem ou a ausência desses. O período de dados adotado para a obtenção da série de precipitações foi de 2018 a 2024.

Figura 9 - Localização da estação Santa Isabel (CEMADEN/MCTI).



Fonte: Google Earth (2025)

Precipuamente, foram identificados os meses em que não houve dados disponíveis para *download* na referida estação, a fim de mapear as falhas e avaliar seu eventual impacto na montagem da série histórica. Os meses foram representados como D para disponíveis e F para Falhas (Tabela 2).

Tabela 2 - Mapa de falhas - Estação Santa Isabel (Código 221100101A).

Anos	Meses											
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2018	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D
2019	D	D	F	F	F	D	D	D	D	D	D	D
2020	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D
2021	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D
2022	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D
2023	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D
2024	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	F

Foi feito o controle de qualidade e consistência dos dados seguindo os seguintes critérios:

- a) Removeu-se registros com valores negativos;
- b) Detectou-se saltos e valores atípicos (outliers) por meio do teste de Grubbs e Beck (1972), expresso pelas Equações (31) e (32) (NAGHETTINI E PINTO, 2007):

$$X_{sup} = \exp(\bar{X} + k_{N,\alpha} * S_x) \quad (31)$$

$$X_{inf} = \exp(\bar{X} - k_{N,\alpha} * S_x) \quad (32)$$

Onde:

- X_{sup} é o limite superior da amostra;
- X_{inf} é o limite inferior da amostra;
- \bar{X} é a média aritmética de uma amostra de tamanho N;
- S_x é o desvio padrão de uma amostra de tamanho N;
- $k_{N,\alpha}$ é o valor crítico da estatística de Grubbs e Beck, para um nível de significância α , onde:

$$k_{N,\alpha} = -3,62201 + 6,2446 N^{\frac{1}{4}} - 2,49835 N^{\frac{1}{2}} + 0,491436 N^{\frac{3}{4}} - 0,037911 N \quad (33)$$

c) Preencheu-se os intervalos não registrados pelo aparelho onde não houve precipitação para que a sequência de blocos dos dados seja ininterrupta, pois o aparelho há um mecanismo de economia de bateria em que não transmite dados quando não detecta chuva.

3.3. Montagem da série de durações parciais

A lista de durações que foram utilizadas baseia-se na resolução temporal do aparelho, pois o intervalo mínimo é de 10 minutos. Primeiro, foram consideradas as durações de 10, 20, 30, 40, 60, 120, 180, 240, 480, 840 e 1440 minutos. As precipitações mínimas (P_{min}) para cada uma dessas durações, foram calculadas a partir dos valores propostos por Davis e Naghettini (2000), ajustadas em equações por Rocha (2017), como mostrado na Tabela 3 .

Tabela 3 - Valores adotados para precipitações mínimas.

Duração (min)	Pmin (mm)
10	12,4
20	17,3
30	20,1
40	22,2
60	25,1
120	30,0
180	32,9
240	34,9
480	40,2
840	46,9
1440	55,0

Na série adotada, o número de dados encontrados para a duração de 840 minutos não foi suficiente para aplicar um teste de aderência, por isso preferiu-se não adotar a duração. Além disso, nenhuma precipitação de 1440 minutos ultrapassou a P_{min} adotada (55 mm) no período analisado. Dessa forma, foram trabalhadas as durações: 10, 20, 30, 40, 60, 120, 180, 240, 480 minutos.

O tempo mínimo para considerar dois picos como eventos independentes (TME) foi de 4 horas.

Delimitados os eventos, foram extraídas as precipitações intensas para cada duração por intermédio do cálculo das somas móveis (*sliding window*), em que se adota uma janela (um intervalo fixo de tamanho n) e a “desliza” sobre os dados, calculando a soma somente dos valores que estão dentro dessa janela a cada passo. Identificou-se dentro de cada evento qual bloco de 10 minutos teve volume maior que a P_{min} para 10 minutos (12,4 mm), quais blocos

de 20 minutos - soma de dois blocos sucessivos – tiveram volume maior que a P_{min} para 20 minutos (17,3 mm), e assim sucessivamente para todas as durações.

Assim garantiu-se que as precipitações identificadas foram maiores que P_{min} e que não sobreporam dois eventos distintos. A série de durações parciais pode ser encontrada na íntegra no Anexo I.

3.4. Cálculo das alturas pluviométricas e intensidades

Os tempos de recorrência adotados basearam-se em trabalhos que comprovaram maior eficiência das séries de precipitações parciais para tempos de retorno menores. Dessa forma, contemplaram-se os valores geralmente adotados para obras de microdrenagem, a exemplo de sarjetas, bocas de lobo, galerias de águas pluviais, bueiros pequenos (em vias urbanas) e drenagem subsuperficial. Os valores adotados foram 1, 2, 3, 5, 7, 10, 12, 51, 18, 20, 25 anos.

As precipitações máximas e suas intensidades foram calculadas a partir das metodologias CETESB (1986) e CPRM (2007).

3.4.1. Metodologia CETESB (1986)

As alturas pluviométricas foram analisadas por durações – por exemplo, somente as de 10 minutos, somente as de 20 minutos- e, para cada duração, foram classificadas de forma decrescente e de acordo com sua ordem, foram calculadas as probabilidades de excedência, não excedência e os tempos de retorno.

As probabilidades e tempos de recorrência foram plotados no papel bilog para que fosse feita a extração das chuvas para os tempos de retorno de interesse. Os valores encontrados foram expressos nas Tabelas 4 e os coeficientes de determinação de cada duração estão na Tabela 5. Os gráficos podem ser encontrados no Anexo II.

Tabela 4 - Precipitações máximas definidas pela metodologia CETESB (1986).

d (min)	Pmax (mm) - Escala bilogarítmica										
	TR (anos)										
	1	2	3	5	7	10	12	15	18	20	25
10	17,4	20,1	21,8	24,2	25,9	27,8	28,8	30,2	31,3	32,0	33,5
20	27,6	31,7	34,4	38,1	40,8	43,8	45,4	47,5	49,3	50,3	52,7
30	35,3	41,3	45,3	50,9	55,0	59,7	62,2	65,4	68,2	69,9	73,5
40	40,4	47,8	52,8	59,8	64,9	70,8	74,0	78,1	81,6	83,7	88,4
60	47,4	56,5	62,6	71,2	77,6	84,9	88,9	94,1	98,6	101,2	107,1
120	53,8	63,9	70,6	80,2	87,2	95,3	99,7	105,3	110,2	113,2	119,6
180	59,4	70,9	78,6	89,6	97,6	106,9	112,0	118,6	124,2	127,6	135,1

Pmax (mm) - Escala bilogarítmica											
d (min)	TR (anos)										
	1	2	3	5	7	10	12	15	18	20	25
240	64,5	78,4	87,9	101,5	111,6	123,4	129,9	138,4	145,7	150,1	159,8
480	65,5	80,4	90,6	105,3	116,3	129,2	136,3	145,6	153,7	158,5	169,3

Tabela 5 - Coeficientes de determinação para as precipitações máximas pela metodologia CETESB (1986).

d (min)	R ²
	Escala bilog
10	0,9636
20	0,9329
30	0,8919
40	0,901
60	0,9354
120	0,9206
180	0,9377
240	0,9407
480	0,9095

Com as precipitações máximas, calculou-se diretamente as intensidades, que podem ser definidas pela razão entre altura precipitada pela sua respectiva duração. Os valores foram expressos na Tabela 6.

Tabela 6 - Intensidades definidas pela metodologia CETESB (1986).

Intensidades (mm/min) - Escala bilogarítmica											
d (min)	TR (anos)										
	1	2	3	5	7	10	12	15	18	20	25
10	1,74	2,01	2,18	2,42	2,59	2,78	2,88	3,02	3,13	3,20	3,35
20	1,38	1,58	1,72	1,90	2,04	2,19	2,27	2,38	2,46	2,52	2,63
30	1,18	1,38	1,51	1,70	1,83	1,99	2,07	2,18	2,27	2,33	2,45
40	1,01	1,20	1,32	1,49	1,62	1,77	1,85	1,95	2,04	2,09	2,21
60	0,79	0,94	1,04	1,19	1,29	1,42	1,48	1,57	1,64	1,69	1,79
120	0,45	0,53	0,59	0,67	0,73	0,79	0,83	0,88	0,92	0,94	1,00
180	0,33	0,39	0,44	0,50	0,54	0,59	0,62	0,66	0,69	0,71	0,75
240	0,27	0,33	0,37	0,42	0,47	0,51	0,54	0,58	0,61	0,63	0,67
480	0,14	0,17	0,19	0,22	0,24	0,27	0,28	0,30	0,32	0,33	0,35

3.4.2. Metodologia CPRM (2007)

A metodologia CPRM (2007) indica utilizar a distribuição de Poisson para calcular as probabilidades e tempos de recorrência utilizando um ajuste de excedências anuais. Entretanto para utilizar a distribuição, faz-se necessário o teste de aderência comparando o valor da estatística de Cunanne com o valor tabelado da distribuição de Qui-Quadrado.

O valor da distribuição de Qui-quadrado foi de nível de significância de 5% , seus graus de liberdade e valores da distribuição estão na Tabela 7. Todos os valores tabelados podem ser encontrados no Anexo III.

Tabela 7 - Graus de liberdade e valores da distribuição Qui- quadrado.

Resultado Qui ² para distribuição de Poisson				
Duração (min)	Nº de anos	Grau de liberdade (η)	$X_{0,95,\eta}^2$	γ
10	6	5	11,1	2,5854
20	7	6	12,6	2,8065
30	7	6	12,6	2,8000
40	7	6	12,6	2,4444
60	7	6	12,6	2,1231
120	7	6	12,6	2,3019
180	7	6	12,6	2,2128
240	7	6	12,6	2,2727
480	7	6	12,6	3,9130

Após o teste de aderência, foram calculadas as posições de plotagem pela fórmula de Cunnane (1978) e o tempo de retorno parcial que, com o ajuste das frequências anuais, torna-se o tempo de recorrência anual.

O tempo de recorrência foi utilizado no cálculo das probabilidades de não excedência e suas respectivas variáveis reduzidas para as distribuições Normal, Log-Normal e Gumbel. Foram plotados os resultados das precipitações pelas variáveis reduzidas de cada distribuição em seu respectivo papel de probabilidade:

- a) $P_{max} \times Z_{normal}$ no papel de probabilidade Normal;
- b) $\ln(P_{max}) \times Z_{normal}$ no papel de probabilidade Log-Normal;
- c) $P_{max} \times Y_{Gumbel}$ no papel de probabilidade de Gumbel;

O papel de probabilidade que trouxe melhores coeficientes de determinação, Log-Normal, foi adotado para a determinação das precipitações máximas. Os valores das

precipitações estão na Tabela 8 e os coeficientes de determinação de cada papel de probabilidade na Tabela 9.

As plotagens dos papéis de probabilidade Log-Normal podem ser encontradas no Anexo IV.

Tabela 8 - Precipitações máximas definidas pela metodologia CPRM (2007).

d (min)	Pmax (mm) - Distribuição de Poisson										
	TR (anos)										
	1	2	3	5	7	10	12	15	18	20	25
10	18,1	20,0	21,1	22,3	23,1	23,9	24,3	24,8	25,1	25,4	25,8
20	29,4	32,6	34,2	36,2	37,4	38,7	39,3	40,1	40,6	41,0	41,7
30	36,7	40,6	42,7	45,2	46,7	48,3	49,1	50,0	50,7	51,2	52,1
40	42,0	46,8	49,4	52,4	54,3	56,2	57,2	58,3	59,3	59,8	60,9
60	49,4	55,5	58,8	62,6	65,1	67,6	68,8	70,3	71,5	72,2	73,6
120	56,4	63,6	67,6	72,3	75,2	78,2	79,7	81,5	83,0	83,8	85,5
180	62,4	71,0	75,6	81,2	84,8	88,4	90,2	92,3	94,1	95,1	97,2
240	68,3	78,8	84,7	91,7	96,2	100,8	103,1	105,9	108,2	109,5	112,2
480	69,1	82,5	90,2	99,6	105,6	111,9	115,1	119,0	122,1	123,9	127,7

Tabela 9 - Coeficientes de determinação para os papéis de probabilidade.

R ² das variáveis reduzidas (Z)			
Duração (min)	Normal	Log-Normal	Gumbel
10	0,9480	0,9705	0,9723
20	0,9524	0,9881	0,9896
30	0,9902	0,9873	0,9465
40	0,9796	0,9800	0,9522
60	0,9844	0,9895	0,9769
120	0,9882	0,9839	0,9640
180	0,9816	0,9799	0,9726
240	0,9832	0,9849	0,9777
480	0,9914	0,9627	0,9505
Média	0,9777	0,9808	0,9669

As intensidades foram determinadas a partir das precipitações máximas, considerando-se a razão entre a altura de chuva e sua duração associada. Os valores são apresentados na Tabela 10.

Tabela 10 - Intensidades definidas pela metodologia CPRM (2007).

d (min)	Intensidades (mm/min) - Distribuição de Poisson										
	TR (anos)										
	1	2	3	5	7	10	12	15	18	20	25
10	1,81	2,00	2,11	2,23	2,31	2,39	2,43	2,48	2,51	2,54	2,58
20	1,47	1,63	1,71	1,81	1,87	1,93	1,97	2,00	2,03	2,05	2,08
30	1,22	1,35	1,42	1,51	1,56	1,61	1,64	1,67	1,69	1,71	1,74
40	1,05	1,17	1,23	1,31	1,36	1,41	1,43	1,46	1,48	1,49	1,52
60	0,82	0,92	0,98	1,04	1,08	1,13	1,15	1,17	1,19	1,20	1,23
120	0,47	0,53	0,56	0,60	0,63	0,65	0,66	0,68	0,69	0,70	0,71
180	0,35	0,39	0,42	0,45	0,47	0,49	0,50	0,51	0,52	0,53	0,54
240	0,28	0,33	0,35	0,38	0,40	0,42	0,43	0,44	0,45	0,46	0,47
480	0,14	0,17	0,19	0,21	0,22	0,23	0,24	0,25	0,25	0,26	0,27

3.5. Ajuste da equação e da curva IDF

De posse das intensidades para as durações e tempos de recorrência desejados, estimou-se os demais parâmetros da curva equação IDF.

3.5.1. Ajustes de k, b, d_0 , m

O valor de d_0 foi estimado utilizando iterações de modo que seu valor gerasse o R^2 mais próximo de 1 possível para as duas metodologias simultaneamente. Os demais parâmetros foram calculados utilizando o método dos mínimos quadrados para cada metodologia separadamente.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

As equações de chuva obtidas para cada uma das metodologias adotadas foram as seguintes, com durações até 480 minutos e tempo de retorno até 25 anos:

- a) Para a metodologia CETESB (1986):

$$I = \frac{101,409 * Tr^{0,245}}{(d+20,60)^{0,833}} \quad (34)$$

- b) Para a metodologia CPRM (2007):

$$I = \frac{114,530 * Tr^{0,127}}{(d+20,60)^{0,836}} \quad (35)$$

Onde:

- I é a intensidade em mm/min;
- Tr é o tempo de retorno em anos;
- d a duração em minutos.

Os valores obtidos para os parâmetros k , b , d_0 , m foram expressos na Tabela 11.

Tabela 11 - Valores de k , b , d_0 , m .

Parâmetros	Valores	
	CETESB (1986)	CPRM (2007)
k	101,409	114,530
b	0,245	0,127
d_0	20,605	20,605
m	0,833	0,836

4.1. Comparativo entre parâmetros das equações

Considerando a equação obtida a partir da metodologia CETESB (1986) como referência, por ser uma metodologia amplamente utilizada para vários projetos de drenagem e hidráulica no Brasil e já ser amplamente citada na literatura, é possível fazer uma análise das diferenças absoluta e relativa entre os parâmetros, mostradas na Tabela 12:

Tabela 12 - Diferenças absoluta e relativa entre os parâmetros k, b, d0 e m.

Parâmetros	Diferenças	
	Absoluta	Relativa
k	13,121	12,94%
b	-0,118	-48,16%
d0	0,000	0,00%
m	0,003	0,36%

Embora todos os parâmetros estejam na mesma ordem de grandeza, observa-se um aumento geral, com diferença máxima de 12,94%, exceto para o parâmetro b, que diminuiu 48,16% entre as duas metodologias.

O aumento de k de 101,409 para 114,530, com diferença de 13,121 (12,94%) indica que a equação obtida pela metodologia da CPRM (2007) prevê chuvas mais intensas para uma mesma duração e tempo de retorno, pois esse parâmetro atua como fator de escala, elevando a curva IDF verticalmente.

A redução de b em 48,16% (0,245 para 0,127) mostra que na equação da CPRM (2007), a influência do tempo de retorno sobre a intensidade diminuiu, ou seja, o aumento da intensidade com o crescimento do tempo de retorno é menos acentuado.

O parâmetro d_0 foi idêntico nas duas equações, pois foi adotado um valor de referência que indicou um bom coeficiente de determinação (R^2) para as duas metodologias. A base de referência para as durações curtas permaneceu igual. Na prática, isso significa que a transição entre durações curtas e longas não foi alterada entre as metodologias.

O parâmetro m teve o menor aumento na diferença entre os demais (0,36%), tendo diferença absoluta somente na terceira casa decimal. A variação é pequena, mas o leve aumento indica que a curva gerada pela metodologia da CPRM (2007) decai um pouco mais rapidamente com o aumento da duração. Chuvas de curta duração tendem a ser ligeiramente mais intensas quando comparadas com as de durações maiores.

4.2. Comparativo entre intensidades das equações

As intensidades geradas pelas duas equações podem ser comparadas com as geradas pela equação do Plano Diretor de Drenagem Urbana – PDDrU de Teresina, utilizado para o dimensionamento das obras de drenagem do município.

Para o comparativo do comportamento das equações das metodologias CETESB (1986), CPRM (2007) e a equação do PDDrU de Teresina, foram apresentados gráficos (Figuras 10, 11 e 12), com as durações consideradas (10, 20, 30, 40, 60, 120, 180, 240 e 480 minutos), para os

TR = 1, 12 e 25 anos como amostras. As tabelas com os valores das intensidades podem ser encontradas no Anexo V.

Figura 10 - Diferenças entre as intensidades das equações para TR = 1 ano.

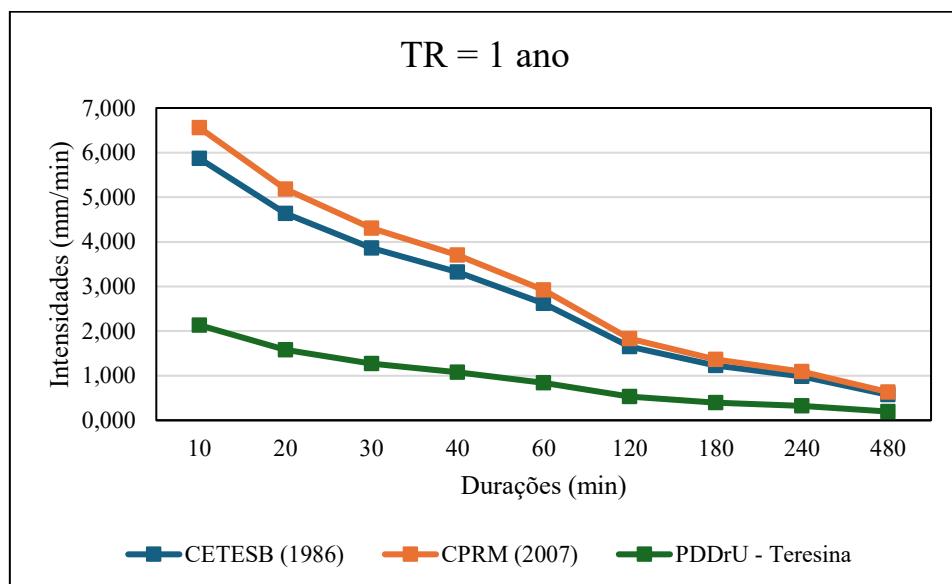


Figura 11 - Diferenças entre as intensidades das equações para TR = 12 anos.

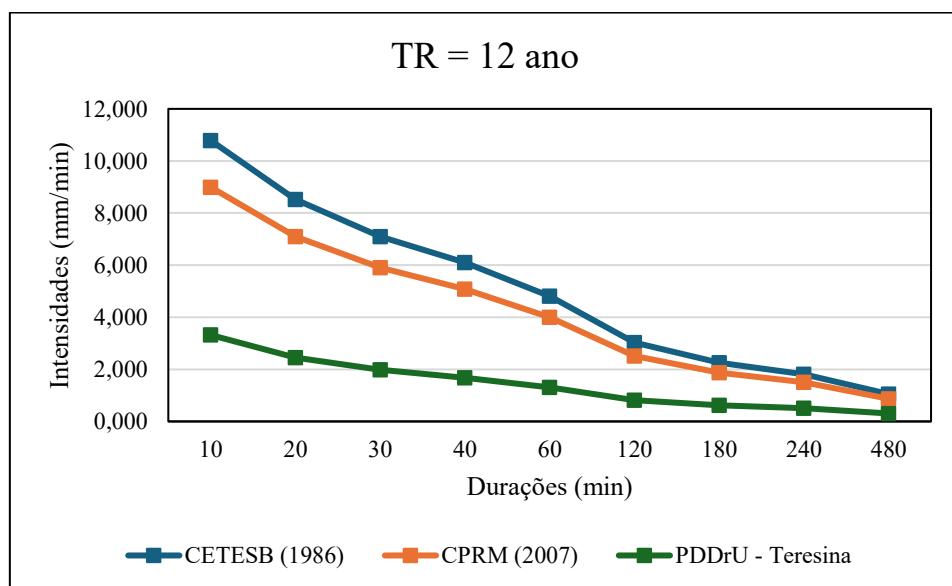
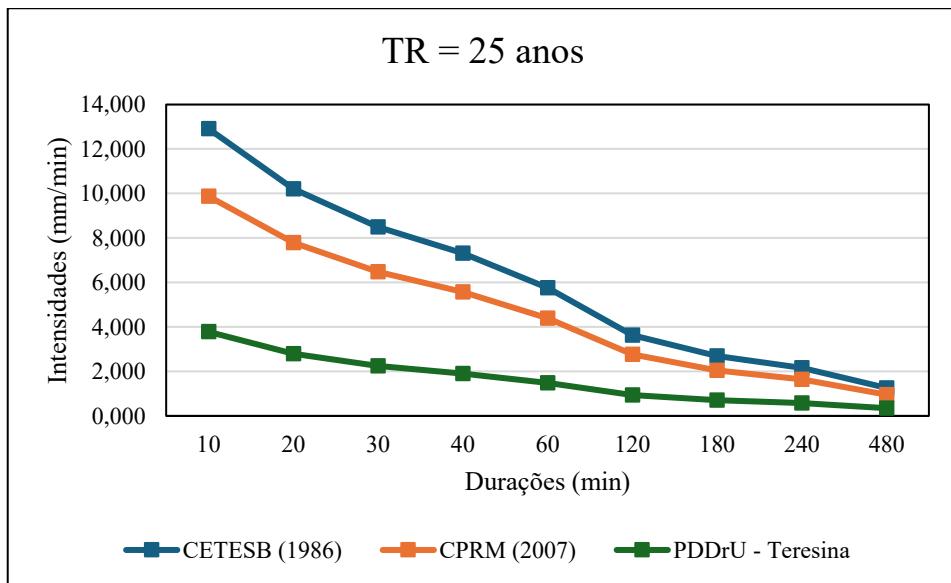


Figura 12 - Diferenças entre as intensidades das equações para TR = 25 anos.



Todas as curvas apresentam o comportamento típico de equações IDF: as intensidades diminuem com o aumento da duração da chuva, o que confirma a coerência dos ajustes, padrão observado de forma consistente para todos os tempos de retorno.

De modo geral, as curvas CETESB (1986) e CPRM (2007) são próximas, mas a CETESB tende a apresentar maiores intensidades nas durações até 60 minutos. Essa diferença é mais visível nos tempos de recorrência maiores (12 e 25 anos), indicando que a equação da CETESB projeta eventos mais severos para curtas durações, o que pode impactar o dimensionamento de dispositivos de microdrenagem. Para as durações mais longas, maiores que 120 minutos, as curvas se aproximam, indicando comportamento semelhante entre as metodologias nessas escalas.

A curva do Plano Diretor de Drenagem de Teresina apresenta valores bem inferiores em todas as durações e TRs. Isso sugere que o PDDrU subestima as intensidades máximas, possivelmente por utilizar dados – não tão recentes, de 1914 a 2009, - de pluviógrafos: obteve-se uma série histórica de dados de chuvas máximas diárias anuais e utilizou-se uma metodologia de desagregação da chuva diária acumulada com coeficientes de desagregação para transformar as alturas precipitadas em durações menores.

O aumento do tempo de retorno provoca o aumento esperado nas intensidades, porém a diferença relativa entre as metodologias também cresce. Na Figura 10, com TR = 1 ano, as curvas CETESB e CPRM quase coincidem, mas na Figura 12, com TR = 25 anos, a distância entre elas se acentua, especialmente nas durações curtas (de 10 a 60 minutos). As metodologias divergem mais na extrapolação para eventos raros, visto que as equações CETESB (1986) e

CPRM (2007) possuem a limitação da série histórica parcial de precipitações, que só é indicada para TR de até 10 anos enquanto a equação do Plano Diretor não possui essa limitação e funciona bem para tempos de recorrência de até 100 anos.

5. CONCLUSÕES

O presente trabalho trouxe a possibilidade do uso de dados gerados por pluviômetros automáticos para o ajuste de equações IDF. Os dados advindos desses equipamentos ainda são pouco utilizados devido:

- à dificuldade organizacional dos dados, pois o volume de informações transmitidas em tempo real é grande e incessável.
- à ausência de uma metodologia que padronize a forma como os dados separados por duração devem ser ajustados.

Os dados possuem a vantagem de não necessitarem de coeficientes de desagregação da chuva para transformar alturas pluviométricas acumuladas em chuvas menores, como os pluviômetros exigem. Por já serem disponibilizados de forma discretizada, os eventos são descritos de forma fiel como ocorreram, não estimados, então sabe-se ao certo como a intensidade da chuva se distribuiu ao longo do tempo.

O tamanho da série histórica disponível acarretou a escolha das séries parciais, que limitam os tempos de recorrência a valores baixos (10 anos) quando comparados as séries de máximas anuais (geralmente 100 anos) e, no caso da série utilizada, também não se supriu a quantidade mínima de dados para que as durações 840 e 1440 minutos fossem analisadas. Mesmo nessas condições, as séries de cada duração adaptaram-se bem às duas metodologias utilizadas, fato constatado pelos valores de R^2 tanto para a plotagem no papel bilogarítmico quanto para a distribuição de Poisson.

Quando comparados entre si, os parâmetros ajustados das equações CETESB (1986) e CPRM (2007) apresentam a mesma ordem de grandeza, ou seja, os valores de k , b , m e d_0 são numericamente próximos entre as duas formulações, diferindo apenas pontualmente. De modo geral, a equação da CETESB mostrou-se mais conservadora, atribuindo maiores intensidades para durações curtas, enquanto a CPRM resultou em uma relação mais suavizada entre intensidade e duração.

A análise das intensidades calculadas para diferentes tempos de retorno entre as equações CETESB, CPRM e a do Plano Diretor de Drenagem de Teresina confirmou o padrão esperado de decréscimo da intensidade com o aumento da duração, constatando coerência interna das três curvas. As curvas da CETESB e CPRM apresentaram comportamentos semelhantes, embora a CETESB tenha fornecido valores ligeiramente superiores. Por outro lado, as intensidades obtidas com a equação do PDDrU de Teresina mostraram-se

significativamente inferiores às demais para todos os TRs, o que pode indicar subestimação das chuvas intensas, fato que justificaria a ineficiência dos dispositivos de drenagem do município atualmente.

Os resultados mostram que a atualização das equações IDF é fundamental para garantir a representatividade dos eventos de chuva intensa frente às mudanças climáticas e às variações no regime pluviométrico. Curvas baseadas em dados antigos, embora amplamente utilizadas, podem não refletir mais o comportamento real das precipitações extremas, resultando em sub ou superdimensionamentos em obras de drenagem e infraestrutura urbana.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BERTONI, J. C.; TUCCI, C. E. M. Precipitação. In: TUCCI, C. E. M. (org.). Hidrologia: ciência e aplicação. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH/EDUSP, 1993. p. 177-241.
- BRASIL, J. B.; GUERREIRO, M. S.; XAVIER, R. A.; BARBOSA, M. S. Minimum rainfall inter-event time to separate rainfall events in a low latitude semi-arid environment. *Sustainability*, v. 14, n. 3, p. 1721, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/su14031721>.
- CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Drenagem urbana: manual de projeto. 3. ed. São Paulo: CETESB/ASCETESB, 1986. 464 p.
- COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS – CPRM. Atlas Pluviométrico do Brasil: metodologia para definição das equações intensidade-duração-frequência do Projeto Atlas Pluviométrico. Eber José de Andrade Pinto. Belo Horizonte: CPRM, 2013. 47 p. (Série Atlas Pluviométrico do Brasil).
- CRUCIANI, D. E.; MACHADO, R. E.; SENTELHAS, P. C. Modelos da distribuição temporal de chuvas intensas em Piracicaba, SP. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 6, n. 1, p. 76-82, 2002.
- CUNHA, R. A. Plataforma de prototipagem Arduino aplicada ao desenvolvimento de pluviômetro automático com armazenamento local e conexão GSM/GPRS. 2020. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Computação) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Pau dos Ferros, 2020. Disponível em: <https://repositorio.ufersa.edu.br/items/97da1fea-5073-4ca3-9043-8933e749ee50>. Acesso em: 21 set. 2025.
- DAVIS, E. G.; NAGHETTINI, M. C. Coletas e análises dos dados. In: DAVIS, E. G.; NAGHETTINI, M. C. (org.). Estudos de chuvas intensas no estado do Rio de Janeiro. Brasília, DF: CPRM, 2000. p. 13–14.
- DUNKERLEY, D. L. Rainfall event separation and determination of the water quality capture volume. *Water Science and Technology*, v. 58, n. 6, p. 1423-1430, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.2166/wst.2008.523>. Acesso em: 25 set. 2025.
- FRAGOSO JÚNIOR, C. R. Regionalização da vazão máxima instantânea com base na precipitação de projeto. *ReRH — Revista Eletrônica de Recursos Hídricos*, Porto Alegre, v. 1, n. 1, p. 5-13, jul./dez. 2004.
- G1 PIAUÍ. Polícia Civil investiga morte de professora após ter carro arrastado durante chuva em Teresina. G1, Teresina, 7 fev. 2022. Disponível em: <https://g1.globo.com/pi/piaui/noticia/2022/02/07/policia-civil-investiga-morte-de-professora-apos-ter-carro-arrastado-durante-chuva-em-teresina.ghtml>. Acesso em: 1 out. 2025.

GONÇALVES, L. S. Relações intensidade-duração-frequência com base em estimativas de precipitação por satélite. 2011. 135 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

HAILE, A. T.; RIENTJES, T. H. M.; GAO, H.; GEBREMICHAEL, M.; ALEMSEGED, T. H. Rain event properties at the source of the Blue Nile River. *Hydrology and Earth System Sciences*, v. 15, n. 3, p. 1023-1034, 2011. DOI: <https://doi.org/10.5194/hess-15-1023-2011>.

KITE, G. W. Frequency and risk analysis in hydrology. Colorado: Water Resources Publications, 1977. 224 p.

LASDON, L. S.; Waren, A. D. GRG2 - An All FORTRAN General Purpose Nonlinear Optimizer. *ACM SIGMAP Bulletin*, No. 30, pp. 10-11; February 1981.

LIMA, M. V. R.; BRUNA, G. C. Teresina, Piauí: da paisagem verde aos dias de hoje. *Revista Thésis*, v. 2, n. 4, p. 160-181, nov./dez. 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.51924/revthesis.2017.v2.104>. Acesso em: 21 set. 2025.

MOREIRA, J. C.; DAMÁZIO, J. M.; COSTA, J. P.; KELMAN, J. Estimação de vazões extremas: séries parciais ou máximos anuais?. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE HIDROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS, 5., 1983, Blumenau. Anais [...]. Blumenau: ABRH, 1983. p. 135-139.

NAGHETTINI, M. C.; PINTO, E. J. A. Hidrologia Estatística. Belo Horizonte: CPRM, 552 p.,2007.

NASCIMENTO, J. R. da S. do; FARIAS, J. A. M.; PINTO, E. J. de A. Definição de equação IDF para o município de Teresina obtida a partir de uma série pluviográfica. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 22., 2017, Florianópolis. Anais [...]. Florianópolis: ABRH, 2017. p. 1.

OLIVEIRA, J. S.; FERNANDES, R. J. A. R.; LEÃO, J. de C.; ROCHA, B. da S.; REI, F. W. N. Estudo das chuvas intensas – Estado do Piauí. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 13., 2016, Aracaju. Anais [...]. Aracaju: ABRHidro, 2016. Disponível em: <https://files.abrhidro.org.br/Eventos/Trabalhos/27/PAP021623.pdf>. Acesso em: 22 set. 2025.

PEKÁROVÁ, P.; PEKÁR, J.; MIKLÁNEK, P.; SZOLGAY, J. Rainfall timing and runoff: the influence of the criterion for rain event separation. *Journal of Hydrology and Hydromechanics*, v. 64, n. 3, p. 246-256, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1515/johh-2016-0024>.

PIAUÍ HOJE. Chuvas e ventos fortes deixam 20 mil imóveis sem energia em Teresina. Piauí Hoje, Teresina, 2025. Disponível em: <https://piauihoje.com/noticias/cidade/chuvas-e-ventos-fortes-deixam-20-mil-imoveis-sem-energia-em-teresina-433029.html>. Acesso em: 1 out. 2025.

PREFEITURA DE TERESINA. Período chuvoso atípico em Teresina já dura seis meses e causa danos à cidade. PMT, Teresina, 14 maio 2019. Disponível em:

<https://pmt.pi.gov.br/2019/05/14/periodo-chuvoso-atipico-em-teresina-ja-dura-seis-meses-e-causa-danos-a-cidade/>. Acesso em: 1 out. 2025.

PREFEITURA DE TERESINA. Prefeitura retira grande quantidade de lixo de galerias e alerta sobre risco de inundações. PMT, Teresina, 3 jun. 2024. Disponível em: <https://pmt.pi.gov.br/2024/06/03/prefeitura-retira-grande-quantidade-de-lixo-de-galerias-e-alerta-sobre-risco-de-inundacoes/>. Acesso em: 1 out. 2025.

PREFEITURA MUNICIPAL DE TERESINA. SEMDUH alerta sobre alagamento provocado por descarte irregular no São Cristóvão. Teresina: PMT, 5 jan. 2023. Disponível em: <https://pmt.pi.gov.br/2023/01/05/semduh-alerta-sobre-alagamento-provocado-por-descarte-irregular-no-sao-cristovao/>. Acesso em: 1 out. 2025.

REDA, A. G.; UEHARA, D. M.; REDA, A. L. de L.. Pesquisa de graduação: calibração dos erros de medição de pluviômetro automático de básculas para chuvas intensas no Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA, 36., 2008, São Paulo. Anais [...]. São Paulo: EE Mauá; EPUSP, 2008. p. 9-12.

RÊGO, R. L. S.. Estimativa de equações de chuva para a cidade de São Raimundo Nonato-PI. 2020. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual do Piauí, Teresina, 2020. 89 f.

REICHARDT, K. A água em sistemas agrícolas. São Paulo: Manole, 1987. 188 p.

ROCHA, B. da S. Modelo da distribuição temporal de chuvas intensas no município de Teresina, PI. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Estadual do Piauí, Teresina, 2017. 50 f.

SEMPLAN – Secretaria Municipal de Planejamento e Coordenação da Prefeitura Municipal de Teresina. Caracterização do Município. Teresina: Prefeitura Municipal de Teresina, 2015. 11 p.

SEMPLAN – Secretaria Municipal de Planejamento e Coordenação. Plano Diretor de Drenagem Urbana de Teresina – 2010. Teresina: Concremat Engenharia, 2010. v. 25, tomo 5/15. Relatório Final.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL (SGB). Município de Teresina (PI) conta com mapa que indica áreas com risco de inundaçao. Serviço Geológico do Brasil, 2024. Disponível em: <https://www.sgb.gov.br/w/municipio-de-teresina-pi-conta-com-mapa-que-indica-areas-com-risco-de-inundacao>. Acesso em: 1 out. 2025.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. Relatório técnico: Atlas pluviométrico — Teresina. Brasília, 2014. Relatório técnico. Disponível em: <https://www.sgb.gov.br/atlas-pluviometrico-teresina>. Acesso em: 01 out. 2025.

SILVA, D. F. Curvas IDF não estacionárias na avaliação do efeito de mudanças climáticas em precipitações intensas. 2022. 193 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2022.

SILVA, D. J.; SANTOS, A. B. Inundações urbanas em Teresina: causas, consequências e desafios da gestão municipal. Urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana, Curitiba, v. 9, n. 3, p. 435-450, 2017. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/urbe/a/vqcFHZFdw6VYgmjgyfnb3wC/>. Acesso em: 1 out. 2025.

TUCCI, C. E. M. Hidrologia: ciência e aplicação. 2. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH, 2001. 943 p.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. Hidrologia aplicada. São Paulo: McGraw-Hill, 1975. 245 p.

WANG, Q. J. The POT model described by the generalized Pareto distribution with Poisson arrival rate. Journal of Hydrology, n. 129, p. 263-280, 1991. Apud: LAURA, A. A.; FERREIRA FILHO, W. M. Uso de séries parciais para análise de frequência de chuvas intensas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 12., 1997, Vitória. Anais [...]. Vitória: ABRH, 1997. CD-ROM.

WILKEN, P. S. Engenharia de drenagem superficial. São Paulo: CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, 1978. 477 p.

ANEXOS

ANEXO I - Série parcial de precipitações da estação Santa Isabel (Código 221100101A) para o período de 2018 a 2024.

Ano	Data	Duração (min)	Pmin (mm)	P (mm)
2018	11/01/2018	10	12,4	20,8
2018	19/01/2018	10	12,4	13,8
2018	08/02/2018	10	12,4	12,8
2018	28/02/2018	10	12,4	16,4
2018	28/02/2018	10	12,4	15,8
2018	01/03/2018	10	12,4	14
2018	06/04/2018	10	12,4	18,8
2018	10/04/2018	10	12,4	15
2018	12/04/2018	10	12,4	13,8
2018	04/12/2018	10	12,4	12,8
2020	13/02/2020	10	12,4	13
2020	21/02/2020	10	12,4	12,8
2020	18/03/2020	10	12,4	15,4
2020	19/03/2020	10	12,4	14,6
2020	21/04/2020	10	12,4	18,2
2020	04/11/2020	10	12,4	20
2020	31/12/2020	10	12,4	17,2
2021	15/02/2021	10	12,4	14
2021	15/03/2021	10	12,4	13
2021	17/03/2021	10	12,4	15
2021	27/03/2021	10	12,4	21,4
2022	01/01/2022	10	12,4	13,2
2022	02/01/2022	10	12,4	12,8
2022	15/01/2022	10	12,4	13,4
2022	05/02/2022	10	12,4	24,8
2022	20/02/2022	10	12,4	13,2
2022	21/02/2022	10	12,4	13,8
2022	05/03/2022	10	12,4	13,2
2022	09/03/2022	10	12,4	21,2
2022	18/04/2022	10	12,4	12,6
2022	22/05/2022	10	12,4	15,6
2022	08/11/2022	10	12,4	13,4
2022	24/12/2022	10	12,4	14,6
2023	12/03/2023	10	12,4	14
2023	25/03/2023	10	12,4	15,4
2023	01/04/2023	10	12,4	12,4
2023	17/04/2023	10	12,4	20,8
2024	03/03/2024	10	12,4	12,8

Ano	Data	Duração (min)	Pmin (mm)	P (mm)
2024	04/03/2024	10	12,4	14
2024	22/03/2024	10	12,4	17
2024	13/04/2024	10	12,4	13,2
2018	11/01/2018	20	17,3	26,4
2018	14/01/2018	20	17,3	19,6
2018	19/01/2018	20	17,3	18,8
2018	08/02/2018	20	17,3	19
2018	28/02/2018	20	17,3	28,6
2018	28/02/2018	20	17,3	17,6
2018	01/03/2018	20	17,3	21,8
2018	29/03/2018	20	17,3	18
2018	04/04/2018	20	17,3	18,2
2018	06/04/2018	20	17,3	26,4
2018	10/04/2018	20	17,3	19,2
2018	12/04/2018	20	17,3	22,6
2018	16/04/2018	20	17,3	19
2018	29/04/2018	20	17,3	17,6
2018	31/07/2018	20	17,3	20,2
2018	03/12/2018	20	17,3	18
2019	14/01/2019	20	17,3	18,8
2019	07/02/2019	20	17,3	22,4
2020	13/02/2020	20	17,3	20,6
2020	21/02/2020	20	17,3	22,4
2020	18/03/2020	20	17,3	24,8
2020	19/03/2020	20	17,3	25,2
2020	21/04/2020	20	17,3	30,2
2020	16/05/2020	20	17,3	18,4
2020	04/11/2020	20	17,3	31,4
2020	31/12/2020	20	17,3	25
2021	09/02/2021	20	17,3	17,8
2021	15/02/2021	20	17,3	24,8
2021	26/02/2021	20	17,3	21,6
2021	15/03/2021	20	17,3	18,8
2021	17/03/2021	20	17,3	28,6
2021	27/03/2021	20	17,3	31
2021	03/06/2021	20	17,3	19,2
2021	29/12/2021	20	17,3	21
2021	30/12/2021	20	17,3	20,8
2021	31/12/2021	20	17,3	22,2
2022	01/01/2022	20	17,3	25,8
2022	02/01/2022	20	17,3	24,8

Ano	Data	Duração (min)	Pmin (mm)	P (mm)
2022	12/01/2022	20	17,3	18,2
2022	15/01/2022	20	17,3	18
2022	20/02/2022	20	17,3	18,4
2022	21/02/2022	20	17,3	17,8
2022	05/03/2022	20	17,3	25
2022	09/03/2022	20	17,3	31,6
2022	18/04/2022	20	17,3	21,4
2022	22/05/2022	20	17,3	21
2022	08/11/2022	20	17,3	22,2
2022	29/11/2022	20	17,3	23,2
2022	24/12/2022	20	17,3	29,2
2023	03/03/2023	20	17,3	18,6
2023	12/03/2023	20	17,3	21,2
2023	25/03/2023	20	17,3	28,4
2023	01/04/2023	20	17,3	21,4
2023	17/04/2023	20	17,3	35,6
2024	03/01/2024	20	17,3	21
2024	03/03/2024	20	17,3	24,8
2024	15/03/2024	20	17,3	18
2024	22/03/2024	20	17,3	32,8
2024	30/03/2024	20	17,3	19,4
2024	03/04/2024	20	17,3	18,4
2024	13/04/2024	20	17,3	22,6
2024	22/04/2024	20	17,3	20,2
2018	11/01/2018	30	20,1	27,8
2018	12/01/2018	30	20,1	20,6
2018	14/01/2018	30	20,1	21,4
2018	08/02/2018	30	20,1	22,2
2018	28/02/2018	30	20,1	40
2018	01/03/2018	30	20,1	24,6
2018	29/03/2018	30	20,1	28,8
2018	04/04/2018	30	20,1	21
2018	06/04/2018	30	20,1	32
2018	10/04/2018	30	20,1	24,6
2018	12/04/2018	30	20,1	29
2018	16/04/2018	30	20,1	24,4
2018	31/07/2018	30	20,1	22,6
2018	03/12/2018	30	20,1	25,4
2018	09/12/2018	30	20,1	22,2
2018	15/12/2018	30	20,1	20,6
2019	14/01/2019	30	20,1	23

Ano	Data	Duração (min)	Pmin (mm)	P (mm)
2019	25/01/2019	30	20,1	23
2019	07/02/2019	30	20,1	33,2
2020	13/02/2020	30	20,1	23,6
2020	15/02/2020	30	20,1	21,6
2020	21/02/2020	30	20,1	32,8
2020	18/03/2020	30	20,1	30,2
2020	19/03/2020	30	20,1	31
2020	21/04/2020	30	20,1	37,4
2020	04/11/2020	30	20,1	40,6
2020	31/12/2020	30	20,1	27,6
2021	09/02/2021	30	20,1	23,8
2021	15/02/2021	30	20,1	30,8
2021	26/02/2021	30	20,1	26,2
2021	15/03/2021	30	20,1	22
2021	17/03/2021	30	20,1	38,6
2021	27/03/2021	30	20,1	33,8
2021	22/04/2021	30	20,1	21,2
2021	03/06/2021	30	20,1	25,6
2021	29/12/2021	30	20,1	25
2021	30/12/2021	30	20,1	30
2021	31/12/2021	30	20,1	34
2022	01/01/2022	30	20,1	37,6
2022	02/01/2022	30	20,1	34,2
2022	12/01/2022	30	20,1	21,2
2022	15/01/2022	30	20,1	21,2
2022	20/02/2022	30	20,1	20,8
2022	05/03/2022	30	20,1	31,2
2022	07/03/2022	30	20,1	22
2022	09/03/2022	30	20,1	33
2022	15/03/2022	30	20,1	20,4
2022	30/03/2022	30	20,1	21,4
2022	18/04/2022	30	20,1	29,4
2022	22/05/2022	30	20,1	23,4
2022	08/11/2022	30	20,1	30,2
2022	29/11/2022	30	20,1	26,6
2022	02/12/2022	30	20,1	20,6
2022	22/12/2022	30	20,1	21,8
2022	24/12/2022	30	20,1	39,8
2023	03/03/2023	30	20,1	21,4
2023	12/03/2023	30	20,1	25,8
2023	25/03/2023	30	20,1	38

Ano	Data	Duração (min)	Pmin (mm)	P (mm)
2023	01/04/2023	30	20,1	27,8
2023	17/04/2023	30	20,1	44,6
2024	03/01/2024	30	20,1	27,2
2024	18/02/2024	30	20,1	21,8
2024	21/02/2024	30	20,1	20,6
2024	03/03/2024	30	20,1	25,2
2024	15/03/2024	30	20,1	20,6
2024	22/03/2024	30	20,1	40,6
2024	30/03/2024	30	20,1	26,6
2024	03/04/2024	30	20,1	23,4
2024	13/04/2024	30	20,1	31,6
2024	22/04/2024	30	20,1	26,6
2018	11/01/2018	40	22,2	29,2
2018	14/01/2018	40	22,2	22,6
2018	27/01/2018	40	22,2	22,6
2018	08/02/2018	40	22,2	23,4
2018	28/02/2018	40	22,2	46,8
2018	01/03/2018	40	22,2	25,6
2018	29/03/2018	40	22,2	35,2
2018	06/04/2018	40	22,2	32
2018	10/04/2018	40	22,2	26,2
2018	12/04/2018	40	22,2	32,6
2018	16/04/2018	40	22,2	25,4
2018	31/07/2018	40	22,2	24
2018	03/12/2018	40	22,2	33,2
2018	09/12/2018	40	22,2	29,6
2018	15/12/2018	40	22,2	22,8
2019	14/01/2019	40	22,2	23
2019	25/01/2019	40	22,2	26,2
2019	07/02/2019	40	22,2	35,2
2020	23/01/2020	40	22,2	22,4
2020	13/02/2020	40	22,2	27,2
2020	15/02/2020	40	22,2	23
2020	21/02/2020	40	22,2	36,8
2020	18/03/2020	40	22,2	31,6
2020	19/03/2020	40	22,2	35,6
2020	19/03/2020	40	22,2	24,6
2020	21/04/2020	40	22,2	38
2020	01/06/2020	40	22,2	22,6
2020	04/11/2020	40	22,2	42,6
2020	31/12/2020	40	22,2	29,4

Ano	Data	Duração (min)	Pmin (mm)	P (mm)
2021	09/02/2021	40	22,2	29,8
2021	15/02/2021	40	22,2	35,6
2021	26/02/2021	40	22,2	30,8
2021	15/03/2021	40	22,2	25
2021	17/03/2021	40	22,2	40,6
2021	27/03/2021	40	22,2	35,4
2021	31/03/2021	40	22,2	26
2021	22/04/2021	40	22,2	26,6
2021	13/05/2021	40	22,2	22,4
2021	03/06/2021	40	22,2	27,4
2021	29/12/2021	40	22,2	28,8
2021	30/12/2021	40	22,2	34,8
2021	31/12/2021	40	22,2	37,6
2022	01/01/2022	40	22,2	48,4
2022	02/01/2022	40	22,2	36,4
2022	12/01/2022	40	22,2	22,4
2022	05/03/2022	40	22,2	36,2
2022	07/03/2022	40	22,2	26,2
2022	09/03/2022	40	22,2	33,4
2022	30/03/2022	40	22,2	22,6
2022	18/04/2022	40	22,2	36
2022	22/05/2022	40	22,2	23,6
2022	08/11/2022	40	22,2	36,2
2022	29/11/2022	40	22,2	30
2022	02/12/2022	40	22,2	22,6
2022	22/12/2022	40	22,2	24,2
2022	24/12/2022	40	22,2	50,2
2023	03/03/2023	40	22,2	24,2
2023	12/03/2023	40	22,2	35,6
2023	25/03/2023	40	22,2	49,6
2023	01/04/2023	40	22,2	31,8
2023	17/04/2023	40	22,2	51,8
2024	03/01/2024	40	22,2	33,4
2024	12/01/2024	40	22,2	23,4
2024	18/02/2024	40	22,2	24
2024	21/02/2024	40	22,2	23,4
2024	03/03/2024	40	22,2	25,4
2024	15/03/2024	40	22,2	23
2024	22/03/2024	40	22,2	42,6
2024	30/03/2024	40	22,2	31,4
2024	03/04/2024	40	22,2	28,4

Ano	Data	Duração (min)	Pmin (mm)	P (mm)
2024	13/04/2024	40	22,2	35,6
2024	22/04/2024	40	22,2	30
2018	11/01/2018	60	25,1	29,8
2018	14/01/2018	60	25,1	26,8
2018	27/01/2018	60	25,1	29,4
2018	28/02/2018	60	25,1	55,4
2018	01/03/2018	60	25,1	26,6
2018	29/03/2018	60	25,1	44,8
2018	06/04/2018	60	25,1	32
2018	09/04/2018	60	25,1	25,8
2018	10/04/2018	60	25,1	30,2
2018	12/04/2018	60	25,1	37,2
2018	16/04/2018	60	25,1	30
2018	03/12/2018	60	25,1	40
2018	09/12/2018	60	25,1	38,4
2019	14/01/2019	60	25,1	28,4
2019	25/01/2019	60	25,1	27
2019	07/02/2019	60	25,1	36
2020	13/02/2020	60	25,1	31,2
2020	21/02/2020	60	25,1	39,6
2020	18/03/2020	60	25,1	33,4
2020	19/03/2020	60	25,1	40,6
2020	19/03/2020	60	25,1	34
2020	21/04/2020	60	25,1	38,8
2020	01/06/2020	60	25,1	28,4
2020	04/11/2020	60	25,1	46
2020	31/12/2020	60	25,1	30,6
2021	09/02/2021	60	25,1	35
2021	15/02/2021	60	25,1	39,8
2021	26/02/2021	60	25,1	37,2
2021	15/03/2021	60	25,1	25,6
2021	17/03/2021	60	25,1	42,8
2021	27/03/2021	60	25,1	37
2021	31/03/2021	60	25,1	32,4
2021	22/04/2021	60	25,1	28,6
2021	13/05/2021	60	25,1	31
2021	03/06/2021	60	25,1	28,2
2021	29/12/2021	60	25,1	32,4
2021	30/12/2021	60	25,1	46,4
2021	31/12/2021	60	25,1	45
2022	01/01/2022	60	25,1	65,8

Ano	Data	Duração (min)	Pmin (mm)	P (mm)
2022	02/01/2022	60	25,1	38,2
2022	15/01/2022	60	25,1	25,4
2022	05/03/2022	60	25,1	48,2
2022	07/03/2022	60	25,1	29,8
2022	09/03/2022	60	25,1	35,8
2022	18/04/2022	60	25,1	50
2022	08/11/2022	60	25,1	36,2
2022	29/11/2022	60	25,1	36,2
2022	22/12/2022	60	25,1	31,2
2022	24/12/2022	60	25,1	56,4
2023	03/03/2023	60	25,1	30,2
2023	12/03/2023	60	25,1	44
2023	25/03/2023	60	25,1	63
2023	01/04/2023	60	25,1	42
2023	17/04/2023	60	25,1	54,8
2023	01/12/2023	60	25,1	26,2
2024	03/01/2024	60	25,1	44,6
2024	12/01/2024	60	25,1	26,2
2024	18/02/2024	60	25,1	25,2
2024	21/02/2024	60	25,1	27,8
2024	03/03/2024	60	25,1	25,8
2024	22/03/2024	60	25,1	44,6
2024	30/03/2024	60	25,1	36,4
2024	03/04/2024	60	25,1	34,4
2024	13/04/2024	60	25,1	38,8
2024	22/04/2024	60	25,1	34,8
2018	11/01/2018	120	30,0	32,6
2018	27/01/2018	120	30,0	39,8
2018	29/03/2018	120	30,0	68,4
2018	06/04/2018	120	30,0	32
2018	10/04/2018	120	30,0	35,8
2018	12/04/2018	120	30,0	39,2
2018	16/04/2018	120	30,0	31
2018	03/12/2018	120	30,0	45,8
2018	09/12/2018	120	30,0	45,4
2019	14/01/2019	120	30,0	30,6
2019	07/02/2019	120	30,0	37,4
2020	13/02/2020	120	30,0	39,8
2020	21/02/2020	120	30,0	42
2020	18/03/2020	120	30,0	34,8
2020	19/03/2020	120	30,0	43

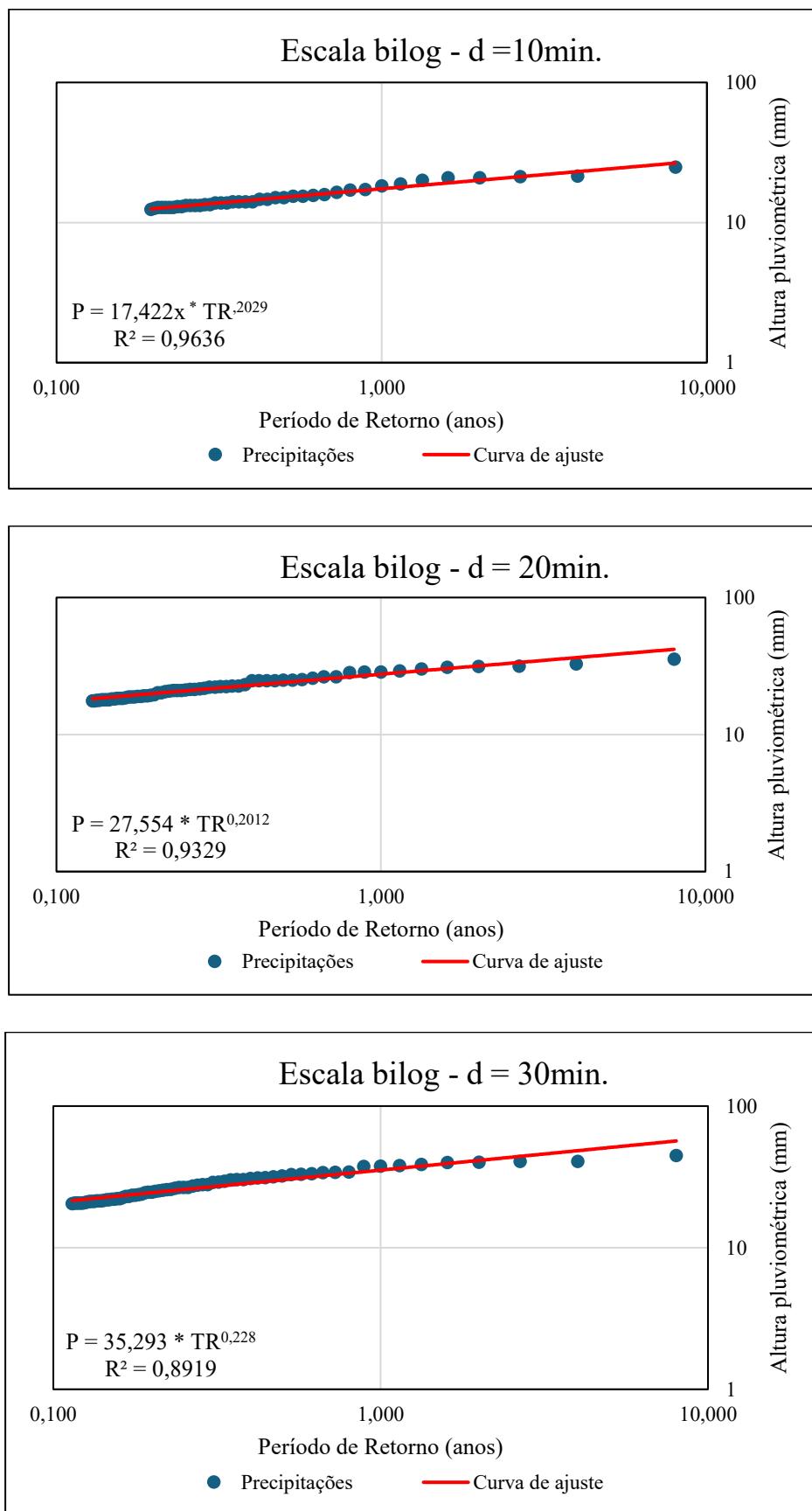
Ano	Data	Duração (min)	Pmin (mm)	P (mm)
2020	19/03/2020	120	30,0	35,4
2020	21/04/2020	120	30,0	40,4
2020	04/11/2020	120	30,0	55,4
2021	09/02/2021	120	30,0	47,6
2021	15/02/2021	120	30,0	55
2021	26/02/2021	120	30,0	48,6
2021	17/03/2021	120	30,0	43,4
2021	27/03/2021	120	30,0	39
2021	31/03/2021	120	30,0	34
2021	13/05/2021	120	30,0	37,6
2021	29/12/2021	120	30,0	34
2021	30/12/2021	120	30,0	54,2
2021	31/12/2021	120	30,0	46,8
2022	01/01/2022	120	30,0	73
2022	15/01/2022	120	30,0	31,2
2022	15/01/2022	120	30,0	30
2022	05/03/2022	120	30,0	54,4
2022	07/03/2022	120	30,0	36,2
2022	09/03/2022	120	30,0	36,8
2022	18/04/2022	120	30,0	53,4
2022	08/11/2022	120	30,0	36,2
2022	29/11/2022	120	30,0	43,2
2022	22/12/2022	120	30,0	39,2
2022	24/12/2022	120	30,0	66,2
2023	03/03/2023	120	30,0	30,6
2023	12/03/2023	120	30,0	46,8
2023	25/03/2023	120	30,0	67,4
2023	01/04/2023	120	30,0	61
2023	17/04/2023	120	30,0	58,8
2024	03/01/2024	120	30,0	52,2
2024	18/02/2024	120	30,0	40,4
2024	21/02/2024	120	30,0	40,8
2024	03/03/2024	120	30,0	30,4
2024	22/03/2024	120	30,0	48
2024	30/03/2024	120	30,0	38,6
2024	03/04/2024	120	30,0	43,8
2024	13/04/2024	120	30,0	45,6
2024	22/04/2024	120	30,0	40,8
2018	11/01/2018	180	32,9	33,4
2018	27/01/2018	180	32,9	40,8
2018	29/03/2018	180	32,9	88,2

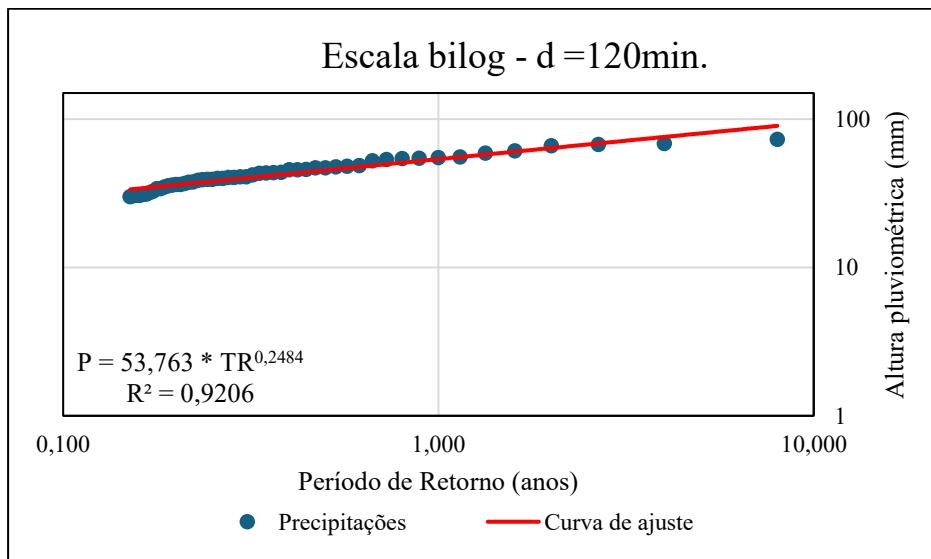
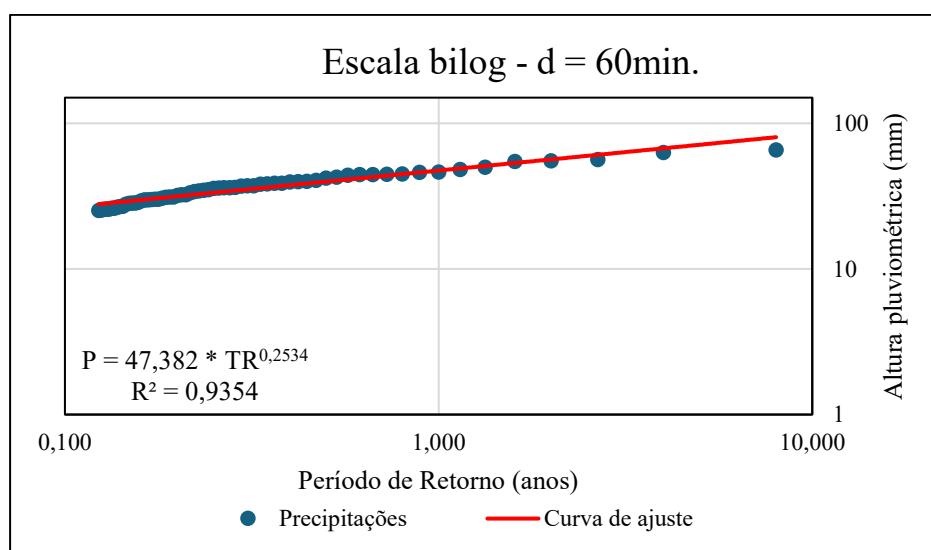
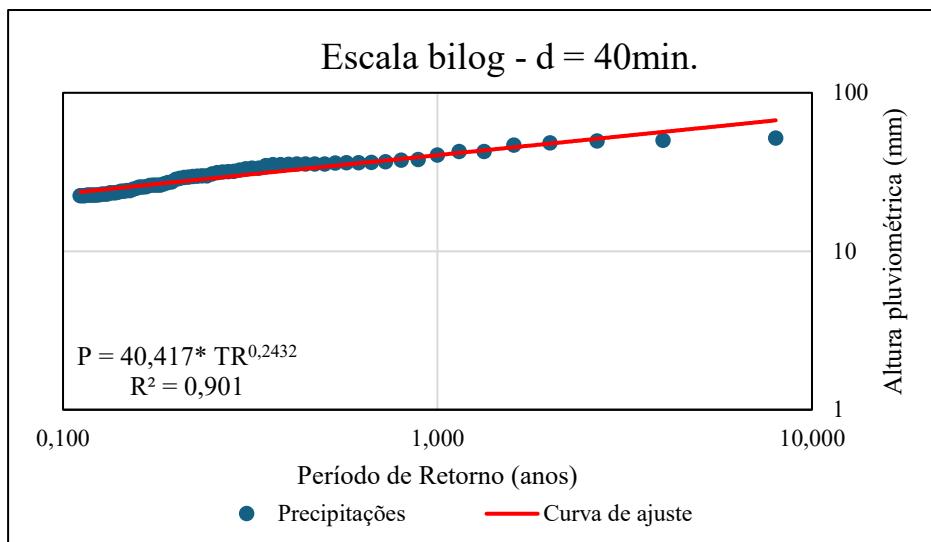
Ano	Data	Duração (min)	Pmin (mm)	P (mm)
2018	10/04/2018	180	32,9	38,6
2018	12/04/2018	180	32,9	41,6
2018	03/12/2018	180	32,9	47,8
2018	09/12/2018	180	32,9	49,2
2019	07/02/2019	180	32,9	42,2
2020	13/02/2020	180	32,9	45
2020	21/02/2020	180	32,9	44
2020	18/03/2020	180	32,9	36,6
2020	19/03/2020	180	32,9	46,2
2020	19/03/2020	180	32,9	35,4
2020	21/04/2020	180	32,9	43,4
2020	04/11/2020	180	32,9	59,2
2021	09/02/2021	180	32,9	52,2
2021	15/02/2021	180	32,9	58
2021	26/02/2021	180	32,9	50
2021	17/03/2021	180	32,9	43,6
2021	27/03/2021	180	32,9	40,8
2021	31/03/2021	180	32,9	35,4
2021	29/12/2021	180	32,9	38,8
2021	30/12/2021	180	32,9	58,6
2021	31/12/2021	180	32,9	47
2022	01/01/2022	180	32,9	73,4
2022	15/01/2022	180	32,9	33,6
2022	05/03/2022	180	32,9	59,4
2022	07/03/2022	180	32,9	47,6
2022	18/04/2022	180	32,9	54,4
2022	08/11/2022	180	32,9	38,4
2022	29/11/2022	180	32,9	43,2
2022	22/12/2022	180	32,9	53,2
2022	24/12/2022	180	32,9	66,6
2023	19/02/2023	180	32,9	34,8
2023	12/03/2023	180	32,9	50,6
2023	25/03/2023	180	32,9	67,4
2023	01/04/2023	180	32,9	74,4
2023	17/04/2023	180	32,9	61
2024	03/01/2024	180	32,9	73,8
2024	13/01/2024	180	32,9	33,6
2024	18/02/2024	180	32,9	47,8
2024	21/02/2024	180	32,9	59
2024	22/03/2024	180	32,9	49,2
2024	30/03/2024	180	32,9	40

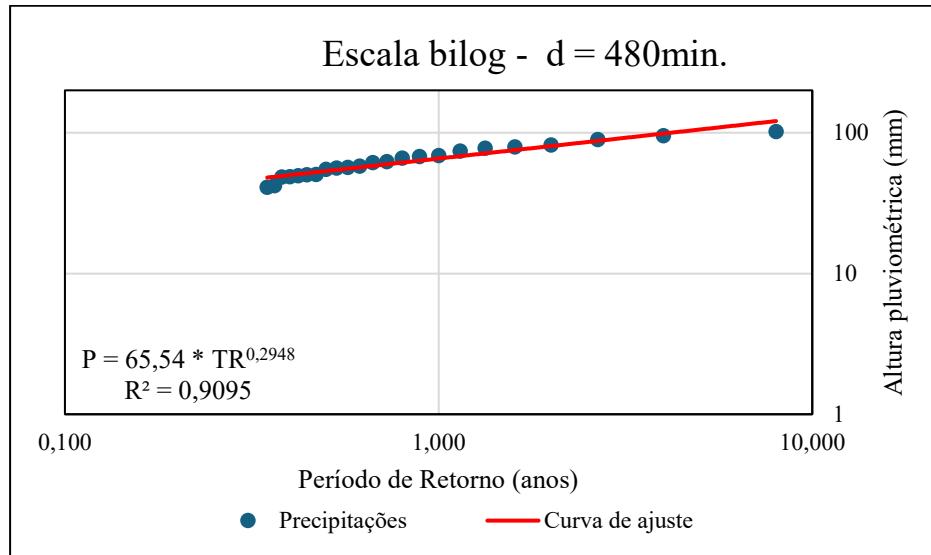
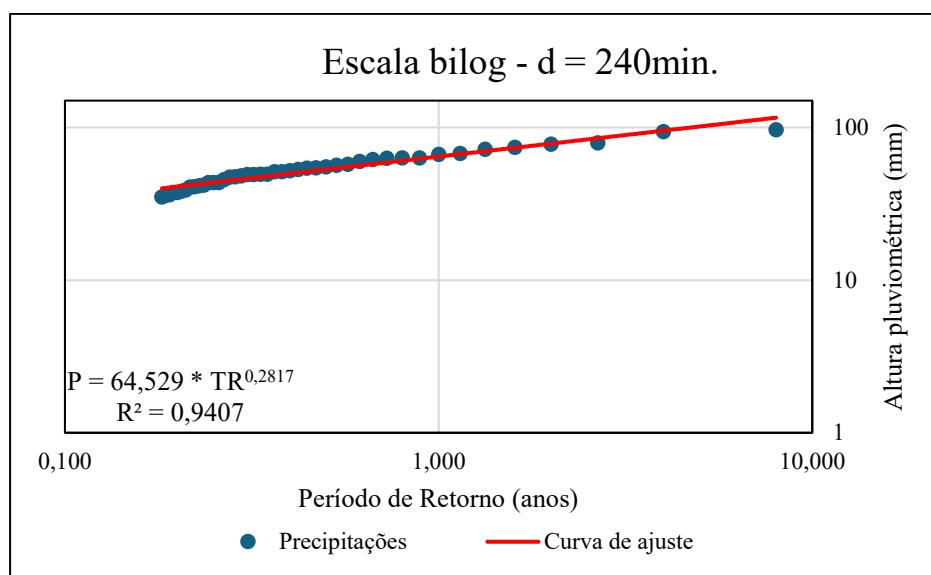
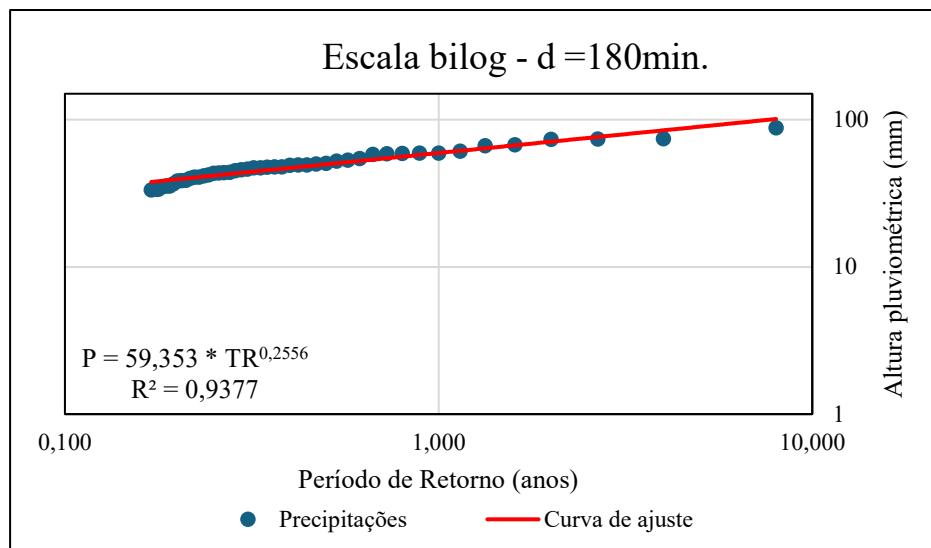
Ano	Data	Duração (min)	Pmin (mm)	P (mm)
2024	03/04/2024	180	32,9	49
2024	13/04/2024	180	32,9	47
2024	22/04/2024	180	32,9	45,8
2018	27/01/2018	240	34,9	41,4
2018	28/02/2018	240	34,9	94
2018	29/03/2018	240	34,9	96,6
2018	10/04/2018	240	34,9	39
2018	12/04/2018	240	34,9	43,6
2018	03/12/2018	240	34,9	51,4
2019	07/02/2019	240	34,9	47,2
2020	13/02/2020	240	34,9	49,2
2020	18/03/2020	240	34,9	37,4
2020	19/03/2020	240	34,9	49,2
2020	19/03/2020	240	34,9	38,2
2020	21/04/2020	240	34,9	45,4
2020	04/11/2020	240	34,9	62,8
2021	09/02/2021	240	34,9	54,4
2021	15/02/2021	240	34,9	63,2
2021	26/02/2021	240	34,9	56,4
2021	17/03/2021	240	34,9	43,6
2021	27/03/2021	240	34,9	41,8
2021	31/03/2021	240	34,9	35,8
2021	29/12/2021	240	34,9	54,2
2021	30/12/2021	240	34,9	59,8
2021	31/12/2021	240	34,9	48,2
2022	01/01/2022	240	34,9	74
2022	05/03/2022	240	34,9	63
2022	07/03/2022	240	34,9	53
2022	08/11/2022	240	34,9	40,8
2022	29/11/2022	240	34,9	43,6
2022	22/12/2022	240	34,9	55,2
2022	24/12/2022	240	34,9	66,6
2023	19/02/2023	240	34,9	37,4
2023	12/03/2023	240	34,9	51,4
2023	25/03/2023	240	34,9	67,6
2023	01/04/2023	240	34,9	79,4
2023	17/04/2023	240	34,9	61,6
2024	03/01/2024	240	34,9	77,8
2024	13/01/2024	240	34,9	35
2024	18/02/2024	240	34,9	57,4
2024	21/02/2024	240	34,9	72

Ano	Data	Duração (min)	Pmin (mm)	P (mm)
2024	03/03/2024	240	34,9	36,2
2024	22/03/2024	240	34,9	49,4
2024	30/03/2024	240	34,9	40,6
2024	03/04/2024	240	34,9	52
2024	13/04/2024	240	34,9	47,6
2024	22/04/2024	240	34,9	49,4
2018	19/01/2018	480	40,2	41
2018	28/02/2018	480	40,2	95,4
2018	10/04/2018	480	40,2	42
2019	07/02/2019	480	40,2	55
2020	19/03/2020	480	40,2	48,4
2020	21/04/2020	480	40,2	50,2
2021	15/02/2021	480	40,2	74,2
2021	26/02/2021	480	40,2	58
2021	30/12/2021	480	40,2	66
2022	15/01/2022	480	40,2	56
2022	05/02/2022	480	40,2	101,8
2022	05/03/2022	480	40,2	67,8
2022	07/03/2022	480	40,2	61,4
2022	30/03/2022	480	40,2	56,6
2022	22/12/2022	480	40,2	62,2
2022	24/12/2022	480	40,2	69
2023	01/04/2023	480	40,2	89,4
2024	03/01/2024	480	40,2	82
2024	15/02/2024	480	40,2	48,8
2024	18/02/2024	480	40,2	77,6
2024	21/02/2024	480	40,2	79,2
2024	03/03/2024	480	40,2	49,4
2024	22/04/2024	480	40,2	50,6

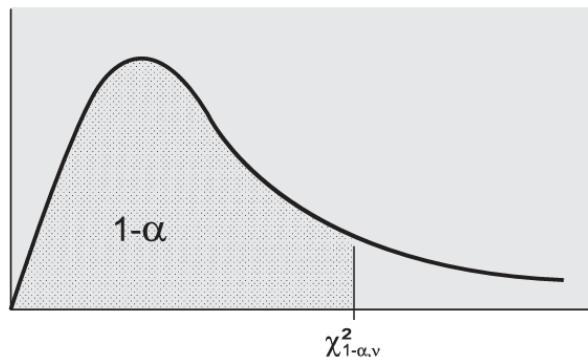
ANEXO II - Gráficos das precipitações máximas definidos por meio da metodologia CETESB (1986).







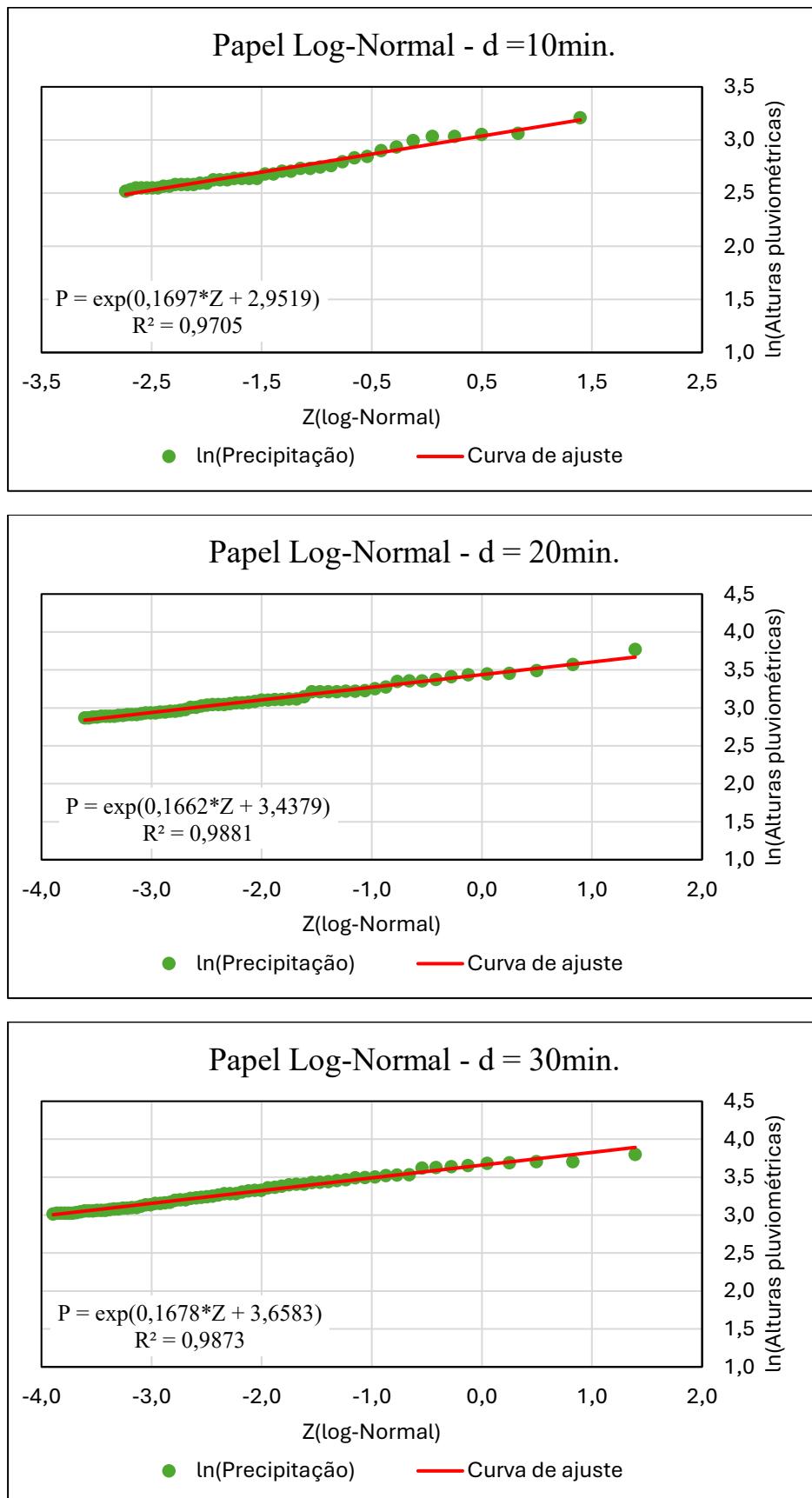
ANEXO III - Quantis $X_{1-\alpha,\eta}^2$ da distribuição do Qui-Quadrado, com v graus de liberdade.



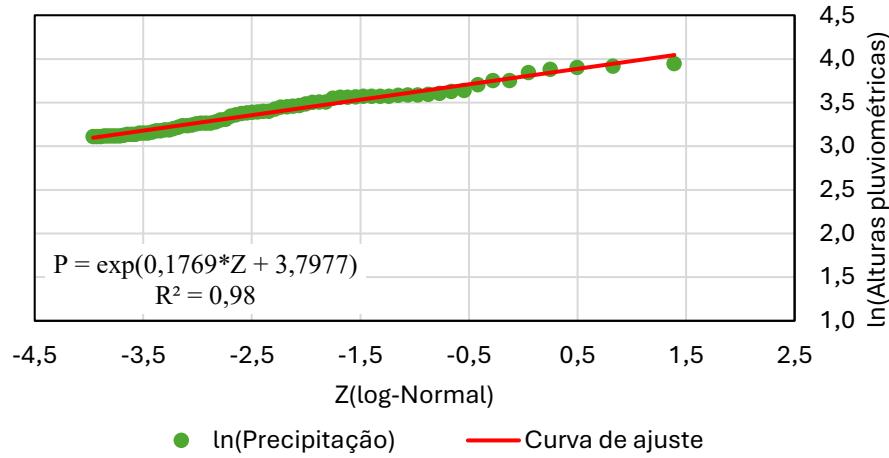
v	$\chi_{0,995,v}^2$	$\chi_{0,99,v}^2$	$\chi_{0,975,v}^2$	$\chi_{0,95,v}^2$	$\chi_{0,90,v}^2$	$\chi_{0,10,v}^2$	$\chi_{0,05,v}^2$	$\chi_{0,025,v}^2$	$\chi_{0,01,v}^2$	$\chi_{0,005,v}^2$
1	7,88	6,63	5,02	3,84	2,71	0,0158	0,0039	0,0010	0,0002	0,0000
2	10,6	9,21	7,38	5,99	4,61	0,211	0,103	0,0506	0,0201	0,0100
3	12,8	11,3	9,35	7,81	6,25	0,584	0,352	0,216	0,115	0,072
4	14,9	13,3	11,1	9,49	7,78	1,06	0,711	0,484	0,297	0,207
5	16,7	15,1	12,8	11,1	9,24	1,61	1,15	0,831	0,554	0,412
6	18,5	16,8	14,4	12,6	10,6	2,20	1,64	1,24	0,872	0,676
7	20,3	18,5	16,0	14,1	12,0	2,83	2,17	1,69	1,24	0,989
8	22,0	20,1	17,5	15,5	13,4	3,49	2,73	2,18	1,65	1,34
9	23,6	21,7	19,0	16,9	14,7	4,17	3,33	2,70	2,09	1,73
10	25,2	23,2	20,5	18,3	16,0	4,87	3,94	3,25	2,56	2,16
11	26,8	24,7	21,9	19,7	17,3	5,58	4,57	3,82	3,05	2,60
12	28,3	26,2	23,3	21,0	18,5	6,30	5,23	4,40	3,57	3,07
13	29,8	27,7	24,7	22,4	19,8	7,04	5,89	5,01	4,11	3,57
14	31,3	29,1	26,1	23,7	21,1	7,79	6,57	5,63	4,66	4,07
15	32,8	30,6	27,5	25,0	22,3	8,55	7,26	6,26	5,23	4,60
16	34,3	32,0	28,8	26,3	23,5	9,31	7,96	6,91	5,81	5,14
17	35,7	33,4	30,2	27,6	24,8	10,1	8,67	7,56	6,41	5,70
18	37,2	34,8	31,5	28,9	26,0	10,9	9,39	8,23	7,01	6,26
19	38,6	36,2	32,9	30,1	27,2	11,7	10,1	8,91	7,63	6,84
20	40,0	37,6	34,2	31,4	28,4	12,4	10,9	9,59	8,26	7,43
21	41,4	38,9	35,5	32,7	29,6	13,2	11,6	10,3	8,90	8,03
22	42,8	40,3	36,8	33,9	30,8	14,0	12,3	11,0	9,54	8,64
23	44,2	41,6	38,1	35,2	32,0	14,8	13,1	11,7	10,2	9,26
24	45,6	43,0	39,4	36,4	33,2	15,7	13,8	12,4	10,9	9,89
25	46,9	44,3	40,6	37,7	34,4	16,5	14,6	13,1	11,5	10,5
26	48,3	45,6	41,9	38,9	35,6	17,3	15,4	13,8	12,2	11,2
27	49,6	47,0	43,2	40,1	36,7	18,1	16,2	14,6	12,9	11,8
28	51,0	48,3	44,5	41,3	37,9	18,9	16,9	15,3	13,6	12,5
29	52,3	49,6	45,7	42,6	39,1	19,8	17,7	16,0	14,3	13,1
30	53,7	50,9	47,0	43,8	40,3	20,6	18,5	16,8	15,0	13,8
40	66,8	63,7	59,3	55,8	51,8	29,1	26,5	24,4	22,2	20,7
50	79,5	76,2	71,4	67,5	63,2	37,7	34,8	32,4	29,7	28,0
60	92,0	88,4	83,3	79,1	74,4	46,5	43,2	40,5	37,5	35,5
70	104,2	100,4	95,0	90,5	85,5	55,3	51,7	48,8	45,4	43,3
80	116,3	112,3	106,6	101,9	96,6	64,3	60,4	57,2	53,5	51,2
90	128,3	124,1	118,1	113,1	107,6	73,3	69,1	65,6	61,8	59,2
100	140,2	135,8	129,6	124,3	118,5	82,4	77,9	74,2	70,1	67,3

Fonte: Naghettini e Pinto (2007)

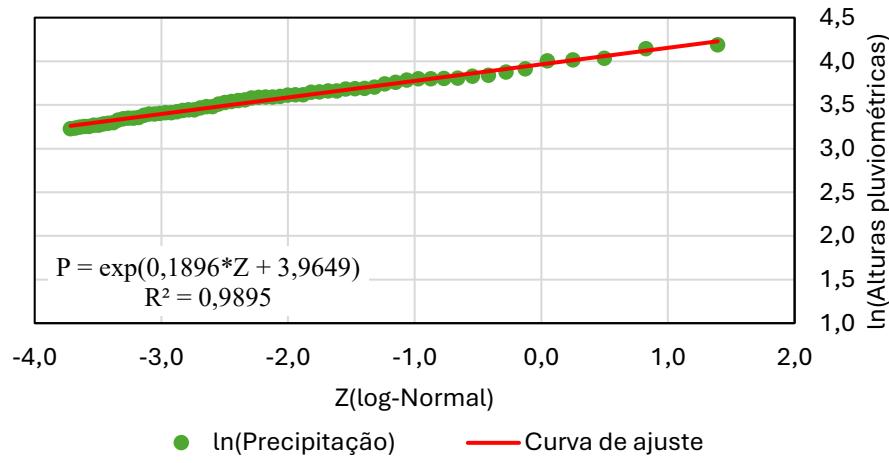
ANEXO IV - Gráficos das precipitações máximas definidos por meio da metodologia CPRM (2007).



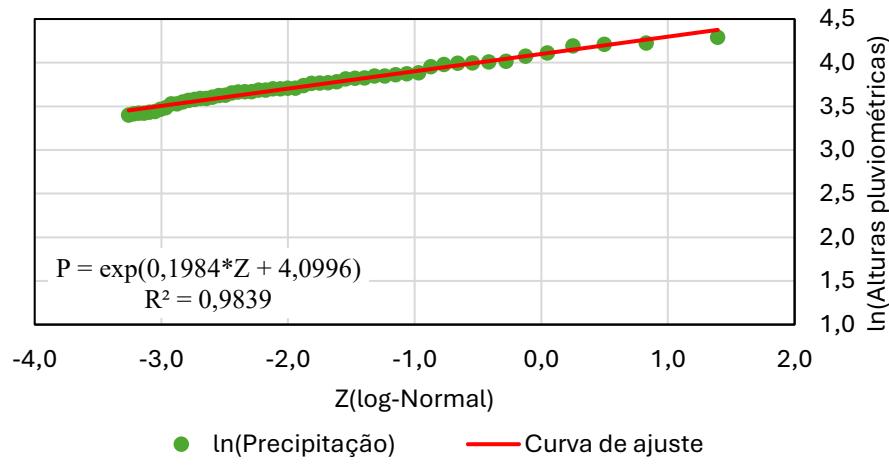
Papel Log-Normal - d = 40min.



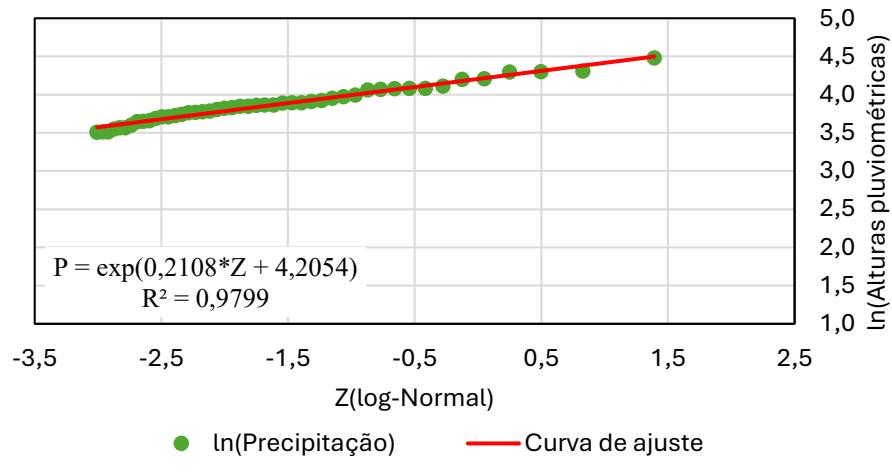
Papel Log-Normal - d = 60min.



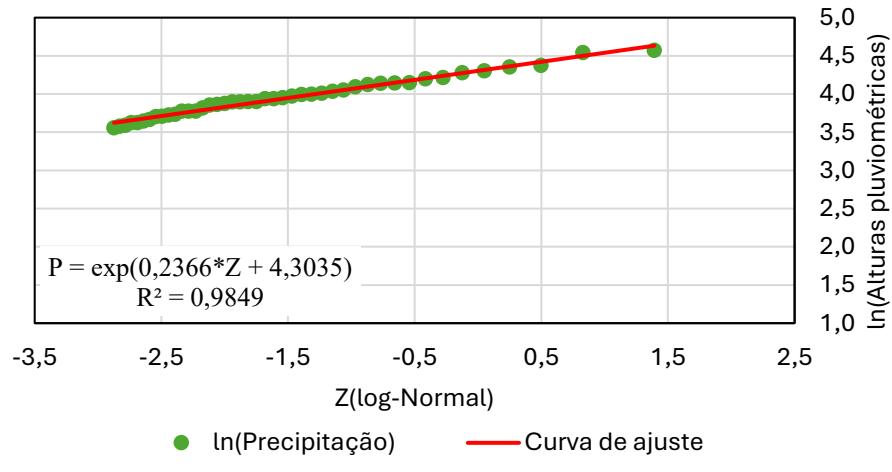
Papel Log-Normal - d = 120min.



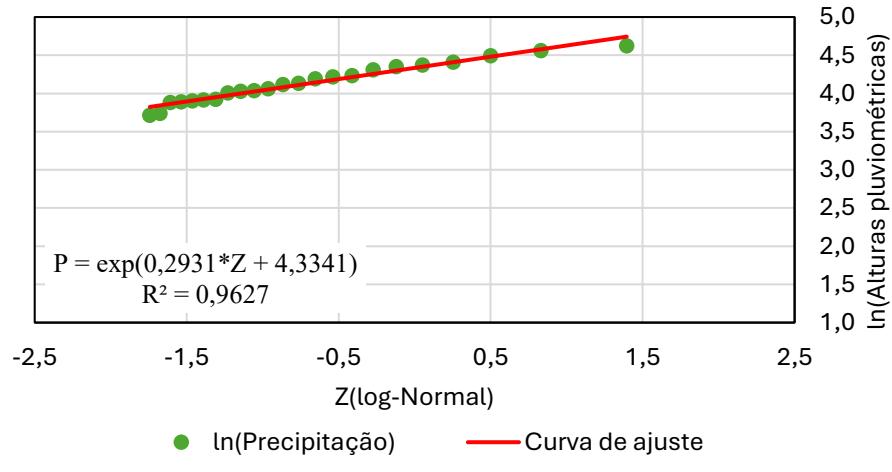
Papel Log-Normal - d = 180min.



Papel Log-Normal - d = 240min.



Papel Log-Normal - d = 480min.



ANEXO V - Intensidades calculadas para as equações obtidas pela metodologia CETESB (1986), CPRM (2007), e pelo Plano Diretor de Drenagem Urbana – PDDrU de Teresina para as durações de 10, 20, 30, 40, 60, 120, 180, 240 e 480 minutos e TR= 1, 12 e 25 anos.

Durações (min)	TR (anos)	Intensidades (mm/min)		
		CETESB	CPRM	PDDrU
10	1	5,868	6,559	2,132
20	1	4,636	5,178	1,576
30	1	3,859	4,308	1,271
40	1	3,321	3,705	1,077
60	1	2,619	2,919	0,838
120	1	1,647	1,833	0,528
180	1	1,225	1,362	0,398
240	1	0,985	1,094	0,324
480	1	0,572	0,634	0,196

Durações (min)	TR (anos)	Intensidades (mm/min)		
		CETESB	CPRM	PDDrU
10	12	10,786	8,993	3,318
20	12	8,523	7,100	2,452
30	12	7,094	5,906	1,979
40	12	6,105	5,080	1,675
60	12	4,814	4,002	1,304
120	12	3,028	2,513	0,822
180	12	2,252	1,867	0,619
240	12	1,811	1,500	0,505
480	12	1,051	0,869	0,305

Durações (min)	TR (anos)	Intensidades (mm/min)		
		CETESB	CPRM	PDDrU
10	25	12,911	9,872	3,781
20	25	10,202	7,793	2,794
30	25	8,492	6,483	2,255
40	25	7,308	5,576	1,909
60	25	5,762	4,393	1,486
120	25	3,625	2,759	0,936
180	25	2,696	2,050	0,706
240	25	2,168	1,647	0,575
480	25	1,259	0,954	0,348