



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DO ARAGUAIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

MATHEUS HENRIQUE DIAS SILVA

**DETERMINAÇÃO DA EQUAÇÃO IDF PARA MÁXIMAS
PRECIPITAÇÕES NA REGIÃO DOS MUNICÍPIOS DE BARRA DO
GARÇAS-MT, PONTAL DO ARAGUAIA-MT E ARAGARÇAS-GO**

BARRA DO GARÇAS

2022

MATHEUS HENRIQUE DIAS SILVA

**DETERMINAÇÃO DA EQUAÇÃO IDF PARA MÁXIMAS
PRECIPITAÇÕES NA REGIÃO DOS MUNICÍPIOS DE BARRA DO
GARÇAS-MT, PONTAL DO ARAGUAIA-MT E ARAGARÇAS-GO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à
Universidade Federal de Mato Grosso, como pré-
requisito para obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Civil.

Orientadora: Profa. MSc. Patrícia Cristina Steffen

BARRA DO GARÇAS

2022

Dados Internacionais de Catalogação na Fonte.

S586d Silva, Matheus Henrique Dias.
DETERMINAÇÃO DA EQUAÇÃO IDF PARA MÁXIMAS
PRECIPITAÇÕES NA REGIÃO DOS MUNICÍPIOS DE
BARRA DO GARÇAS-MT, PONTAL DO ARAGUAIA-MT E
ARAGARÇAS-GO / Matheus Henrique Dias Silva. -- 2022
78 f. : il. color. ; 30 cm.

Orientadora: Patricia Cristina Steffen.
TCC (graduação em Engenharia Civil) - Universidade
Federal de Mato Grosso, Instituto de Ciências Exatas e da
Terra, Barra do Garças, 2022.
Inclui bibliografia.

1. chuvas intensas. 2. desagregação de chuvas. 3.
distribuição de gumbel. 4. curva IDF. I. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a)
autor(a).

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte.



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO

Ofício nº 12/2022/CUA - ICET - CEG EM ENG. CIVIL/UFMT

**ATA DA SESSÃO PÚBLICA DE APRESENTAÇÃO E DEFESA DO
TRABALHO DE CURSO DO CURSO DE GRADUAÇÃO
EM ENGENHARIA CIVIL**

ALUNO(A): Matheus Henrique Dias Silva

Aos 04 dias do mês de fevereiro do ano de 2022, às 14 horas, em reunião virtual, foi realizada a sessão pública de apresentação e defesa do Trabalho de Curso do(a) acadêmico(a) Matheus Henrique Dias Silva. A banca foi composta pelos seguintes professores: Prof. Me. Patrícia Cristina Steffen (ICET/CUA) (orientadora), Prof. Me. Raul Tadeu Lobato Ferreira (ICET/CUA) (membro) e Prof. Cristopher Antonio Martins de Moura (ICET/CUA) (membro) sob a presidência do (a) primeiro (a). O Trabalho de Curso tem como título “DETERMINAÇÃO DA EQUAÇÃO IDF PARA MÁXIMAS PRECIPITAÇÕES NA REGIÃO DOS MUNICÍPIOS DE BARRA DO GARÇAS-MT, PONTAL DO ARAGUAIA-MT E ARAGARÇAS-GO”. Após explanação no prazo regulamentar o(a) aluno(a) foi interrogado(a) pelos componentes da banca. Terminada a etapa, os membros, de forma confidencial avaliaram o(a) aluno(a) e conferiram o(a) mesmo(a) o seguinte resultado APROVADO, proclamado pelo presidente da sessão. Dados por encerrados os trabalhos, lavrou-se a presente Ata, que será assinada pela banca e pelo(a) aluno(a). Os requisitos a serem observados estão registrados em folha anexa.

Barra do Garças, 04 de fevereiro de 2022.

ASSINATURAS:

Aluno(a):

(ASSINATURA ELETRÔNICA)

Matheus Henrique Dias Silva

Banca:

(ASSINATURA ELETRÔNICA)

Prof. Me. Patrícia Cristina Steffen (Orientador(a))

ICET/CUA/UFMT

(ASSINATURA ELETRÔNICA)

Prof. Me. Raul Tadeu Lobato Ferreira (Membro)

ICET/CUA/UFMT

(ASSINATURA ELETRÔNICA)

Prof. Christopher Antonio Martins de Moura (Membro)

ICET/CUA/UFMT



Documento assinado eletronicamente por **PATRICIA CRISTINA STEFFEN, Docente da Universidade Federal de Mato Grosso**, em 04/02/2022, às 15:15, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **RAUL TADEU LOBATO FERREIRA, Docente da Universidade Federal de Mato Grosso**, em 04/02/2022, às 15:16, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **CRISTOPHER ANTONIO MARTINS DE MOURA, Docente da Universidade Federal de Mato Grosso**, em 04/02/2022, às 15:40, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **MATHEUS HENRIQUE DIAS SILVA, Usuário Externo**, em 10/02/2022, às 09:30, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufmt.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **4333561** e o código CRC **FC3E7944**.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço a Deus por ter me guardado e me guiado até o momento, por ter me proporcionado condições físicas, emocionais, espirituais e financeiras para concluir este curso.

À minha família pelo apoio, em especial à minha mãe Néria, que batalhou muito para a minha formação como ser humano, moldando o meu caráter.

À Universidade Federal do Estado de Mato Grosso, todo o seu corpo docente, direção, administração, que me proporcionaram uma vivência espetacular.

À minha orientadora Patrícia, e a todos os professores que contribuíram para a minha formação.

Aos meus amigos Wgledson, Lucas Gustavo, Diego, Henrique, à minha amiga Mirela, e a todos aqueles que tornaram essa caminhada um pouco mais divertida, me incentivaram e apoiaram nos momentos difíceis.

RESUMO

O estudo de eventos hidrológicos se mostra de suma importância dentro da engenharia, principalmente no que se refere às obras hídricas, que necessitam de dados de intensidade de chuva para realizar os cálculos de vazão de projeto, empregados no dimensionamento hidráulico. A principal forma de se obter este parâmetro é por meio da equação Intensidade-Duração-Frequência, ou equação IDF. Para a obtenção da Equação IDF de três municípios limítrofes da região do Vale do Araguaia, dados de três estações pluviométricas foram tratados, obtendo-se uma série histórica com 51 anos de precipitações diárias disponíveis, para então utilizar a metodologia de desagregação de chuvas de 24h e chegar aos valores necessários à aplicação da distribuição de Gumbel, e, posteriormente, obter a equação IDF para o local de interesse. A equação se mostrou bem ajustada pelo coeficiente de Willmott, com valores superiores a 0,99, classificando o ajuste como ótimo.

Palavras-chave: chuvas intensas; desagregação de chuvas; Distribuição de Gumbel; curva IDF.

ABSTRACT

The study of hydrological events is of paramount importance within engineering, especially with regard to water constructions, which need rainfall intensity data to perform design flow calculations, used in hydraulic design. The main way to obtain this parameter is through the Intensity-Duration-Frequency equation, or IDF equation. To obtain the IDF Equation of three bordering cities in the region of Vale do Araguaia, data from three rainfall stations were treated, obtaining a historical series with 51 years of available daily rainfall, to then use the 24-hour rainfall disaggregation methodology to arrive at the values necessary for the application of the Gumbel distribution, and, later, to obtain the IDF equation for the place of interest. The equation was well adjusted by the Willmott coefficient, with values greater than 0.99, classifying the adjustment as optimal.

Keywords: intense rainfall; rainfall disaggregation; Gumbel distribution; IDF curve.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Representação descritiva da transformação da água no ciclo hidrológico.	20
Figura 2 - Representação simplificada do ciclo hidrológico.	22
Figura 3 - Tipos de chuva.	24
Figura 4 - Pluviômetro <i>Ville de Paris</i> (A) e Pluviômetro de Hemann (B).	26
Figura 5 - Esquemas de pluviômetros totalizadores com coletor trocável de 150cm ² e 750cm ² de área de captação.	26
Figura 6 - Parte de um Pluviograma.	27
Figura 7 - Esquema de captação um pluviógrafo de boia.	28
Figura 8 - Pluviógrafo de balança (A) e Pluviógrafo basculante (B).	29
Figura 9 - Estação Meteorológica Automatizada.	29
Figura 10 - Exemplos de distribuições de Gumbel para diferentes fatores de escala e posição.	33
Figura 11 - Diferença entre um diagrama de dupla massas sem inconsistências e um diagrama com mudança de tendência, respectivamente.	36
Figura 12 – Mapa de isozonas de comportamento de chuvas intensas proposto por Torrico (1974).	39
Figura 13 - Novo mapeamento de isozonas, proposto por Basso <i>et al.</i> (2016).	40
Figura 14 - Fluxograma de desenvolvimento da pesquisa.	42
Figura 15 - Localização das cidades de Barra do Garças-MT, Pontal do Araguaia-MT e Aragarças-MT.	43
Figura 16 – Estação 83368, do INMET, localizada em Aragarças - GO.	46

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Comparação entre a população urbana e rural do Brasil entre os anos de 1960 e 2010.	17
Gráfico 2 - Dados de precipitação total mensal para a cidade de Barra do Garças - MT no ano de 2014.	19
Gráfico 3 - Comparação entre a população rural e urbana dos municípios de Barra do Garças-MT, Aragarças-GO e Pontal do Araguaia-MT.....	44
Gráfico 4 - Dados referentes à máxima precipitação diária anual dos anos considerados aceitáveis da estação Peres (1551002).	52
Gráfico 5 - Dados referentes à máxima precipitação diária anual dos anos considerados aceitáveis da estação Barra do Garças (1552000).	52
Gráfico 6 - Dados referentes à máxima precipitação diária anual dos anos considerados aceitáveis da estação Aragarças (83368).	53
Gráfico 7 – Relação entre precipitações acumuladas, para os anos em que os dados foram considerados aceitáveis, entre as estações Peres e Barra do Garças.	54
Gráfico 8 - Relação entre precipitações acumuladas, para os anos em que os dados foram considerados aceitáveis, entre as estações Barra do Garças e Aragarças. ...	54
Gráfico 9 - Relação entre precipitações acumuladas, para os anos em que os dados foram considerados aceitáveis, entre as estações Peres e Aragarças.	54
Gráfico 10 - Relação entre as precipitações anuais acumuladas das estações Peres, Barra do Garças e Aragarças.....	55
Gráfico 11 - Precipitações acumuladas relacionando os anos das séries históricas e as respectivas estações escolhidas.	57
Gráfico 12 - Comparação entre a distribuição empírica de precipitação e a distribuição de Gumbel.....	59
Gráfico 13 - linearização da intensidade (i), duração (t) e parâmetro d para a série histórica de precipitação.....	62
Gráfico 14 - Linearização dos valores $\log Tr$ e $\log C$ para a obtenção dos parâmetros m e $\log k$	63
Gráfico 15 - Curva IDF para tempos de duração até 1440 minutos.	64
Gráfico 16 - Curva IDF para tempos de duração até 360 minutos.	65
Gráfico 17 - Curva IDF para tempos de duração até 60 minutos.	65

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Características dos principais tipos de chuvas.....	23
---	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Intensidades mínimas de chuva a serem consideradas como chuvas intensas no processamento de dados de precipitação para diferentes durações.	30
Tabela 2 - Classificação do coeficiente de desempenho de Willmott de acordo com a porcentagem obtida.....	34
Tabela 3 - Coeficientes de desagregação de chuvas de 24h proposto pela CETESB.	38
Tabela 4 - Características demográficas da região estudada.....	43
Tabela 5 - Estações pluviométricas localizadas na região de estudo pertencentes a rede hidrometeorológica nacional da agência nacional de águas (ANA) e ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).	45
Tabela 6 - Dados das séries históricas das estações analisadas.	46
Tabela 7 – Dias sem dados registrados da Estação automatizada A013, do INMET.	47
Tabela 8 - Estatística descritiva das precipitações máximas diárias anuais.	51
Tabela 9 - Estatística descritiva das precipitações acumuladas anuais.....	51
Tabela 10 - Escolha das estações de acordo com a consistência dos dados de precipitação.....	56
Tabela 11 - Precipitações máximas obtidas para os anos analisados.....	58
Tabela 12 - Valores de média, desvio padrão, e parâmetros da distribuição de Gumbel calculados a partir da série de dados obtidos na Tabela 11.....	58
Tabela 13 – Aplicação da distribuição de Gumbel na série de dados de precipitação máxima diária obtidos.	59
Tabela 14 - Desagregação das chuvas para precipitações máximas diárias em mm a partir dos dados obtidos na distribuição de Gumbel.....	60
Tabela 15 – Intensidade das chuvas, em mm/h, a partir da desagregação dos dados de precipitação obtidos na distribuição de Gumbel.....	61
Tabela 16 - Valores obtidos para os parâmetros e $\log C$, n e d necessários à definição da curva IDF.....	62
Tabela 17 - Valores de m e k obtidos após a linearização da Equação 08.	63
Tabela 18 - Parâmetros de ajuste para a Equação IDF.....	63

Tabela 19 - Valores dos índices de concordância, para cada tempo de retorno e duração analisado.	66
Tabela 20 - Valores globais das diferenças de intensidade (mm/h) entre as chuvas obtidas pela desagregação e as chuvas obtidas pela Equação IDF proposta.	67
Tabela 21 – Valores, em porcentagem, das diferenças entre as chuvas obtidas pela desagregação e as chuvas obtidas pela Equação IDF proposta.....	68
Tabela 22 - Análise da diferença entre parâmetros da equação IDF propostos no presente trabalho e os parâmetros propostos por Oliveira <i>et al.</i> (2011).....	69

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	15
1.1 OBJETIVOS.....	16
1.1.1 Objetivo geral.....	16
1.1.2 Objetivos específicos.....	16
1.2 JUSTIFICATIVA.....	16
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	20
2.1 O CICLO HIDROLÓGICO.....	20
2.1 PRECIPITAÇÃO.....	22
2.1.1 Tipos de chuva.....	22
2.1.2 Medida das precipitações.....	24
2.1.3 Métodos de medição das precipitações.....	25
2.1.4 Máximas precipitações.....	30
2.2 ESTATÍSTICA APLICADA À ANÁLISE DE CHUVAS.....	30
2.2.1 Distribuição de Gumbel.....	31
2.2.2 Testes de aderência.....	33
2.2.3 Análise de consistência.....	35
2.3 CURVAS IDF.....	36
2.3.1 Métodos de determinação das curvas IDF.....	37
2.3.1.1 Método da desagregação diária das chuvas.....	37
2.3.1.2 Método das isozonas.....	38
2.3.1.3 Outras metodologias.....	40
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	42
3.1 ÁREA DE ESTUDO.....	42
3.2 MÉTODOS.....	47
3.2.1 Processamento dos dados.....	47
3.2.2 Modelagem da precipitação.....	48
3.2.3 Obtenção dos parâmetros da equação IDF.....	49
4 DESCRIÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	51

4.1 ANÁLISE PRELIMINAR DOS DADOS	51
4.2 OBTENÇÃO DOS DADOS DE PRECIPITAÇÃO.....	56
4.3 DESAGREGAÇÃO DAS CHUVAS	60
4.4 OBTENÇÃO DOS PARÂMETROS DA EQUAÇÃO IDF	61
4.5 ELABORAÇÃO DAS CURVAS IDF	64
4.6 TESTE DE ADERÊNCIA DA EQUAÇÃO IDF PROPOSTA.....	66
4.7 COMPARAÇÃO ENTRE AS CHUVAS DESAGREGADAS E AS CHUVAS OBTIDAS PELA EQUAÇÃO IDF PROPOSTA.....	66
4.8 COMPARAÇÃO ENTRE A EQUAÇÃO IDF OBTIDA E A EQUAÇÃO DISPOSTA NA LITERATURA.....	69
5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	71
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	72
APÊNDICE A.....	77
APÊNDICE B.....	78

1. INTRODUÇÃO

Chuvas intensas, chuvas extremas ou precipitações máximas, definidas como a precipitação de uma grande lâmina d'água durante um pequeno intervalo de tempo, são uma importante variável climática, capaz de provocar prejuízos materiais, humanos e ambientais, devido ao grande escoamento superficial provocado, principalmente em zonas urbanas, onde a alta taxa de impermeabilização minimiza a infiltração no solo e favorece o escoamento superficial das águas (SILVA *et al.*, 2003; CAMPOS *et al.*, 2014).

O estudo hidrológico se mostra de grande importância para o entendimento dos fenômenos relacionados às chuvas. De modo geral, o papel de principal meio de entrada de água em um ciclo hidrológico é desempenhado pela precipitação. Diversos estudos buscam, por intermédio da análise dos dados históricos de precipitação, identificar sua distribuição, a fim de conhecer dados relacionados à regularidade temporal e espacial, buscando um melhor planejamento de possíveis futuras construções que dependam desses fatores para desempenharem sua função de forma eficaz (OLIVEIRA *et al.*, 2011).

Diversas áreas da engenharia requerem o uso de estruturas hidráulicas, que vão desde a captação de águas pluviais em uma residência e o seu destino, a drenagem urbana, a agricultura, o abastecimento de água, até os mais complexos projetos de hidrelétricas, sendo necessários para o dimensionamento dos elementos, dados pluviométricos da bacia hidrográfica da região em que o projeto será implantado (PINTO, 2013; OLIVEIRA, 2017; SABINO, 2018; BRAGA, 2018).

A equação Intensidade-Duração-Frequência, ou curva IDF, é atualmente a forma mais aceita para caracterizar a precipitação pluvial máxima, podendo ser obtida partindo do registro histórico dos dados pluviométricos históricos disponíveis, tendo em vista que, quanto maior o tempo representativo dos dados, mais precisa será a previsão de eventos mais intensos (SABINO, 2018; CARDOSO, 2021).

A determinação da relação IDF enfrenta grandes dificuldades, devido principalmente à escassez de registros pluviográficos, a pequena densidade da rede de pluviógrafos e do curto período de registro de dados disponível no Brasil (OLIVEIRA *et al.*, 2008).

A curva IDF tem por finalidade associar a intensidade da chuva com sua duração e frequência, sendo utilizada por projetistas hidráulicos para o

dimensionamento de estruturas sujeitas à interferência de chuvas intensas, de modo a garantir que a construção possa resistir adequadamente. O conhecimento das chuvas intensas e sua ligação com o ciclo hidrológico mostra-se de grande importância para estudos relacionados ao planejamento do meio ambiente, à geração de energia, à agricultura e às obras hidráulicas civis, como grandes estruturas de micro e macrodrenagem e saneamento básico (BACK *et al.*, 2012; SABINO, 2018).

Dado o exposto, o presente trabalho tem por objetivo determinar a equação Intensidade – Duração – Frequência para precipitações máximas na região dos municípios de Barra do Garças – MT, Pontal do Araguaia – MT e Aragarças – GO utilizando dados de série histórica disponíveis no Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos – SNIRH e no Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, utilizando para isso a metodologia proposta pela CETESB (1980).

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Definir a equação IDF para a região de Barra do Garças – MT, Pontal do Araguaia – MT e Aragarças – GO, com base nas informações hidrológicas disponíveis.

1.1.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos se subdividem em:

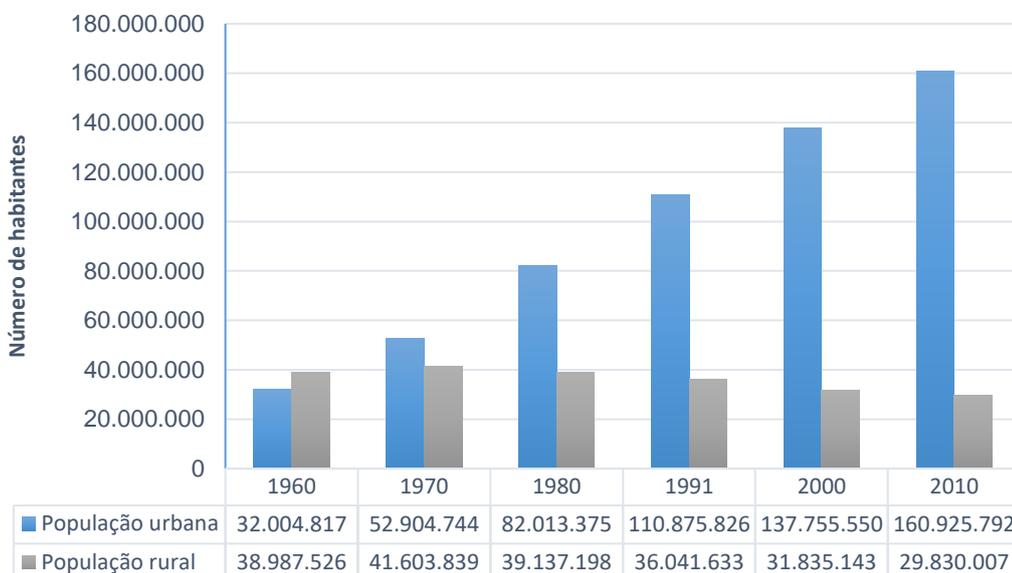
- Coletar e analisar os dados pluviométricos disponíveis;
- Determinar os parâmetros da equação IDF;
- Montar a curva IDF utilizando o método da desagregação de chuvas diárias.

1.2 JUSTIFICATIVA

Ao analisar os dados referentes à ocupação nas cidades, percebe-se que as últimas décadas, principalmente a partir da década de 1960, foram marcadas por um forte êxodo rural e grande crescimento urbano (CARDOSO, 2021). Segundo dados obtidos pelo IBGE (2010), a população urbana no Brasil representava 84,36% do total, somando mais de 160 milhões de pessoas. O Gráfico 1 apresenta a comparação entre

a população urbana e rural ao longo das últimas décadas, desde os anos de 1960 a 2010.

Gráfico 1 - Comparação entre a população urbana e rural do Brasil entre os anos de 1960 e 2010.



FONTE: O autor (2021), adaptado de IBGE (2010).

Ao observar o Gráfico 1, é possível evidenciar o grande crescimento populacional urbano em todo o país. Com o crescimento urbano e a massiva ocupação das cidades, é fácil notar que houve intensa mudança no uso e ocupação do solo, com a substituição da drenagem natural pela artificial, fenômeno causado pela impermeabilização das cidades. A deficiência de drenagem nas cidades acarretar a incidência de enchentes e inundações quando os sistemas que deveriam escoar as precipitações se tornam ineficazes, problema este causado por vários fatores, entre eles, os erros de projeto, a falta da manutenção e o crescimento de forma desordenada da cidade (TUCCI, 2005; GONÇALVES, 2011; CARDOSO, 2021).

Dado o exposto, Braga (2018) destaca que os erros ocorridos durante a concepção de obras hidráulicas de todos os tipos são, em sua maioria, devidos à inexistência de dados necessários ao correto dimensionamento do projeto. Quando não são conhecidas as equações de chuvas intensas da região de interesse, muitas vezes os projetistas buscam por soluções alternativas, como o uso de dados disponíveis de regiões próximas, que não refletem a realidade do local de projeto, e a determinação superficial das chuvas máximas ocorridas durante os últimos anos, que não refletirá o real comportamento das precipitações ao longo do tempo.

Os impactos causados pelas chuvas intensas, quando não são previstos corretamente, envolvem tanto riscos financeiros e econômicos, construindo-se estruturas superdimensionadas, como o risco de perdas humanas, dado o risco de fragilização e colapso das estruturas subdimensionadas (OLIVEIRA, 2017; BRAGA, 2018).

No Brasil, apesar de sua imensa extensão territorial, por muitos anos a população urbana permaneceu concentrada em grandes centros urbanos. Como resultado, os dados da rede pluviográfica disponíveis historicamente se concentram principalmente nas regiões Sul e Sudeste, havendo informações escassas para o restante da área do país, como é o caso dos estados do Mato Grosso e de Goiás. Esses estados, apesar de possuírem uma vasta extensão territorial e apresentarem um grande crescimento urbano, não possuem definições dos dados das chuvas, como a curva Intensidade-Duração-Frequência, principalmente em escala municipal (SABINO, 2018).

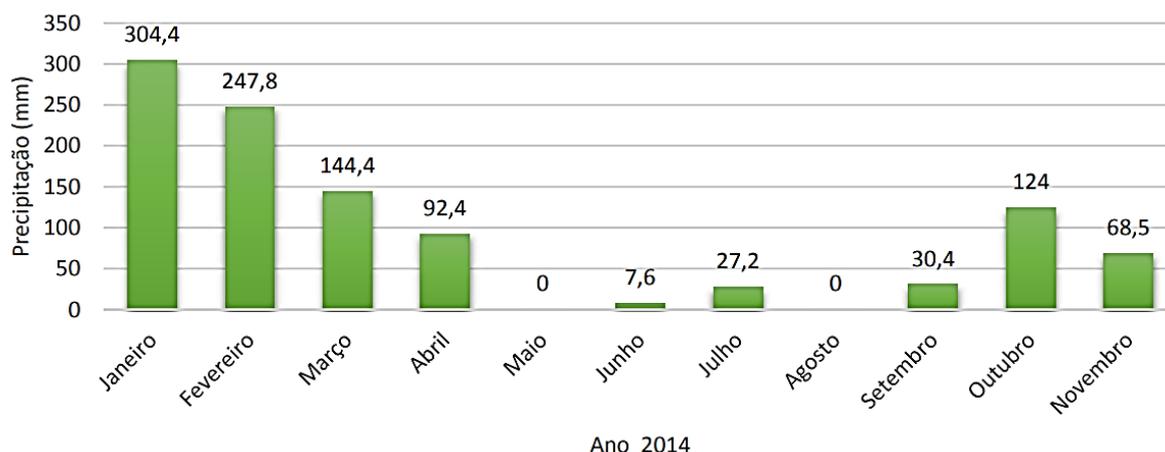
As curvas IDF são usadas para gerar as chamadas chuvas de projeto, que estimam a vazão do escoamento superficial em obras hidráulicas. Essas curvas são definidas em função dos dados pluviométricos já existentes da região, tornando-se importantes ferramentas para o dimensionamento de diversos tipos de estrutura, em função do tempo de retorno requerido. Esses dados, quando disponíveis e confiáveis, permitem a realização de projetos com maior segurança sendo capaz de evitar problemas futuros e até mesmo catástrofes, podendo gerar maior economia e conforto da obra (GOMES, 2011; BRAGA, 2018).

Uma importante área que depende de dados históricos de precipitação é a área de saneamento Básico. Entre as cidades estudadas, apenas os municípios de Barra do Garças – MT e Pontal do Araguaia – MT possuem o Plano Municipal de Saneamento básico - PMSB, definido pelo PMSB de Pontal do Araguaia-MT (2018) como “a ferramenta que possibilita a criação de mecanismos de gestão pública da infraestrutura do município”. Ambos os planos não possuem sua relação IDF característica, sendo utilizados para o dimensionamento das estruturas outros parâmetros genéricos.

O PMSB de Pontal do Araguaia – MT, por exemplo, cita a ausência de estações pluviométricas e pluviográficas registradas na Agência Nacional de Águas – ANA e no Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, sendo necessário a utilização de dados da cidade de Barra do Garças – MT quando é necessário obter dados de

precipitações. O PMSB de Barra do Garças – MT (2015), por outro lado, chega a citar dados relativos à precipitação, como pode ser visto no Gráfico 2.

Gráfico 2 - Dados de precipitação total mensal para a cidade de Barra do Garças - MT no ano de 2014.



FONTE: PMSB de Barra do Garças – MT (2015).

Como é possível observar no Gráfico 2, o PMSB de Barra do Garças – MT utiliza somente dados de um ano de referência, situação que não reflete a realidade dos dados históricos de precipitação da região, caso fosse feita uma análise mais detalhada.

Em relação às outras áreas da engenharia, os dados de precipitação mostram-se úteis quando se fala em instalações prediais. Em relação ao projeto de sistemas de captação de águas da chuva, como calhas e condutores pluviais, a NBR 10844 – Instalações de águas pluviais (ANBT, 1989) indica que as vazões de projeto para intensidades de chuvas para áreas maiores que 100 m² devem ser obtidas por dados relacionados a intensidade pluviométrica, duração da precipitação local, área de contribuição e tempo de retorno associado.

Desta forma, o presente estudo se mostra relevante devido à inexistência de dados característicos da região, sendo usados, em muitos casos, dados de outras regiões com características semelhantes, mas que não refletem a realidade da área de estudo. Oliveira (2017) cita que podem haver grandes variações em pequenas medidas de distância, na ordem de poucos quilômetros. A definição da curva IDF para a região dos municípios de estudo é um grande ganho para a localidade, por poder proporcionar, no futuro, a melhor previsão do comportamento das chuvas intensas na região.

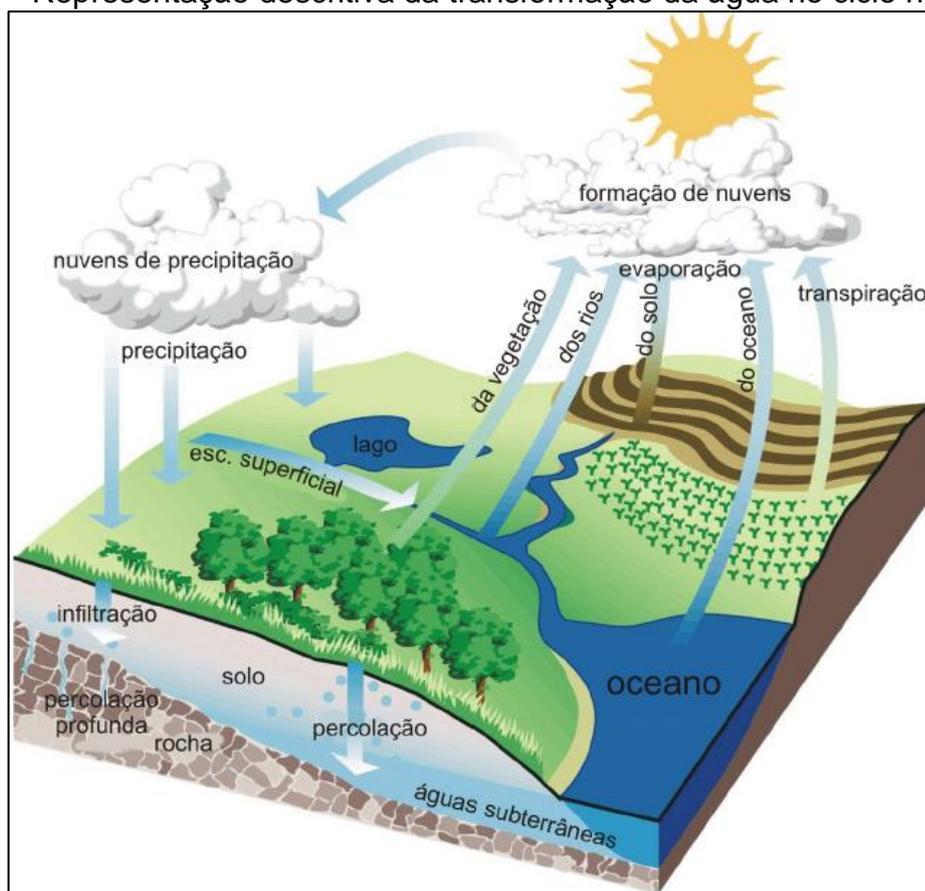
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 O CICLO HIDROLÓGICO

Toda a água contida no planeta é encontrada em um de seus três estados físicos: líquido, sólido ou gasoso. O fluido está presente em todas as partes do globo, desde a atmosfera, os oceanos, a superfície terrestre até o subsolo. O ciclo, de forma resumida, se inicia na atmosfera e obedece a seguinte regra: a água contida na atmosfera se precipita, esco superficialmente ou subterraneamente, e a água contida na superfície terrestre e nos oceanos se evapora, voltando ao início do ciclo (VILLELA E MATTOS, 1975; PINTO, 1976).

A Figura 1 ilustra o caminho típico da água no ciclo hidrológico.

Figura 1 - Representação descritiva da transformação da água no ciclo hidrológico.



FONTE: Adaptado de EPA (1998).

A movimentação da água no globo terrestre é conduzida principalmente pela energia solar, em conjunto com a ação da gravidade e a rotação da terra. Alguns

fatores influenciam nas diferentes formas de circulação da água no ciclo hidrológico, tais como a rotação e inclinação do eixo terrestre nas diferentes estações do ano, a diferença da energia solar atingida em diversas localidades, a variação do solo e vegetação em diferentes locais, a quantidade de água, de gás carbônico e de ozônio contida na atmosfera e a interação térmica entre os continentes e oceanos (SILVEIRA, 1993).

No ciclo hidrológico, a água contida na atmosfera sob forma de vapor encontra núcleos de condensação e formam-se micro gotículas de água em suspensão, e, ao atingirem dimensão suficiente, perdem sustentação e precipitam. A forma de precipitação mais comum é a chuva, porém quando o vapor de água se condensa e transforma-se em cristais de gelo, tem-se a precipitação em forma de neve ou granizo (PINTO, 1976)

A precipitação pode se evaporar totalmente ou parcialmente antes de atingir a superfície terrestre. A parcela de precipitação que não se evapora, pode atingir diretamente o solo, ou pode ficar retida na vegetação onde futuramente vai se evaporar, processo chamado de interceptação. Por ação do vento ou incapacidade dos vegetais em acumular água em sua superfície, uma fração da água interceptada pode cair sobre o solo (VILLELA E MATTOS, 1975; PINTO, 1976).

De todo o volume de água que atinge o solo, uma parte se infiltra, processo denominado infiltração. Toda a água infiltrada no subsolo se movimenta por percolação por meio dos vazios existentes, e uma parte alimenta as raízes dos vegetais, os quais a utilizam para a realização da fotossíntese, devolvendo-a em forma de vapor, processo denominado transpiração (SILVEIRA, 1993). Alguns estudos tratam a transpiração e a evaporação como um todo, no qual se refere o termo evapotranspiração.

Outra parte da água infiltrada no subsolo abastece camadas totalmente saturadas, conhecidas como lençóis freáticos. A medida em que vai saturando o limite de infiltração do solo, a parcela de água que não se infiltra, por ação da gravidade começa a escoar superficialmente, uma fração se evapora no escoamento, a parte que não se evapora vai preenchendo vazios no relevo e se infiltrando em zonas ainda não saturadas, até alcançar outros grandes volumes de água como por exemplo lagos e rios, e raramente escoam-se até os oceanos (PINTO, 1976; SILVEIRA, 1993).

O esquema simplificado do ciclo hidrológico e mostrado na Figura 2.

Figura 2 - Representação simplificada do ciclo hidrológico.



FONTE: adaptado de Miranda, Oliveira e Silva (2010).

Como se pôde observar na Figura 2, o ciclo hidrológico pode ser resumido a três etapas distintas, que ocorrem de forma cíclica e contínua. O ciclo é dado como um ciclo fechado apenas em nível global, pois a água não se perde para o espaço, e um ciclo aberto em nível local, pois a água evaporada em uma localidade não se precipitará, necessariamente, diretamente naquele mesmo local (SILVA, 2015).

2.1 PRECIPITAÇÃO

2.1.1 Tipos de chuva

A precipitação é definida por Sabino (2018) como “a água proveniente do vapor de água da atmosfera depositada na superfície terrestre em forma de chuva, granizo, neblina, neve, orvalho ou geada”. Sua origem está ligada à ascensão de massas de ar, que causa resfriamento do vapor de água na atmosfera, fazendo com que ela condense, formando pequenas gotas de água em suspensão sob a forma de nevoeiro ou de nuvens. Essas pequenas gotas em suspensão, ao encontrarem núcleos de condensação como gelo ou poeira, crescem até perderem sustentação e caem, dando origem à precipitação (HOLTZ, 1976; BRAGA, 2018).

A diferença das formas de precipitação se dá ao estado físico em que a água precipitada se encontra. Por causar escoamento superficial devido ao estado líquido da água, a chuva é a forma de precipitação de maior importância para a hidrologia. As principais características das chuvas são: o total precipitado, a sua duração, a sua frequência de ocorrência e a sua dimensão espacial (TUCCI & BERTONI, 1993).

Os tipos de chuva também estão associados ao fator responsável pela ascensão das massas de ar. De acordo com Back (2002), nas condições climáticas

do Brasil, somente as chuvas produzem impactos consideráveis em relação ao escoamento superficial. O Quadro 1 buscou reunir as características dos três tipos de chuvas mais comuns.

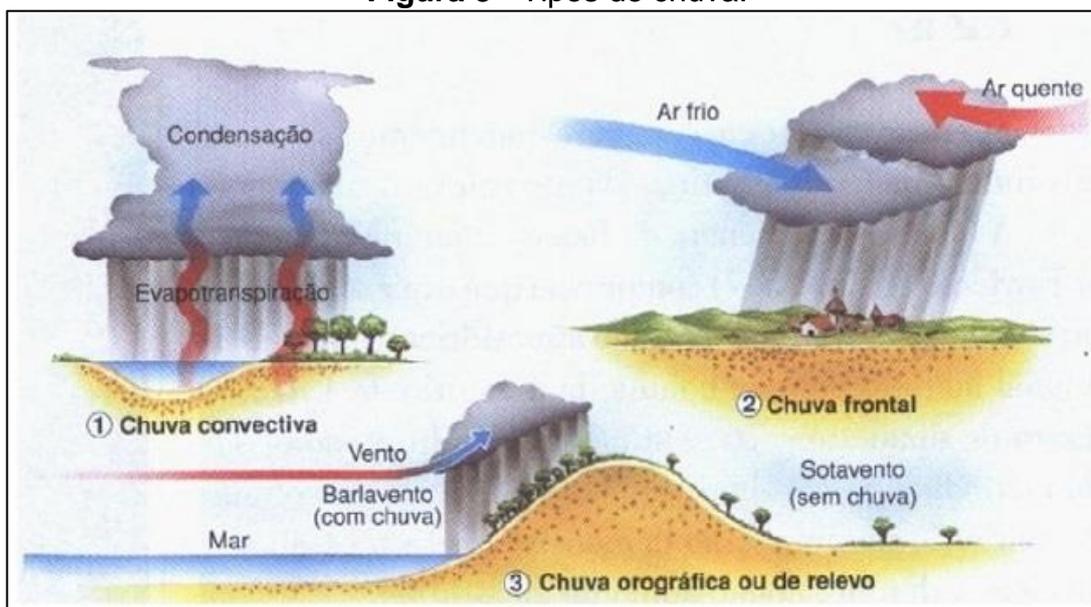
Quadro 1 - Características dos principais tipos de chuvas.

TIPO DE CHUVA	CARACTERÍSTICAS
Chuvas convectivas	<ul style="list-style-type: none"> • Apresentam curta duração e alta intensidade; • Ocupam pequenas áreas; • Rajadas de ventos, relâmpagos e raios; • Também são conhecidas como trovoadas ou tempestades; • Ocorrem com frequência em regiões equatoriais; • Provocadas devido ao aquecimento variado da superfície terrestre, que induz camadas de ar de densidades diferentes dispostas paralelamente na atmosfera, que se encontram em equilíbrio instável. Quebrado esse equilíbrio devido ao vento ou superaquecimento, a camada de ar menos densa se ascende bruscamente.
Chuvas ciclônicas	<ul style="list-style-type: none"> • Apresentam longa duração e intensidade de baixa a moderada; • Ocupam uma grande área; • Origina-se por toda a extensão da linha de descontinuidade de duas massas de ar de diferentes características; • As chuvas frontais se formam quando o ar quente ascende sobre o ar frio.
Chuvas orográficas	<ul style="list-style-type: none"> • Apresentam longa duração e baixa intensidade; • Cobrem pequenas áreas; • Ocorrem devido a ascensão mecânica das massas de ar quente e úmido, provocadas por condições naturais do relevo, como serras e montanhas. A corrente de ar, geralmente, soprando horizontalmente do oceano em direção ao continente, encontram barreiras de montanhas e se elevam.

FONTE: adaptado de Villela e Mattos, 1975; Holtz, 1976; Tucci e Bertoni, 1993.

Os tipos de chuva apresentados no Quadro 1 podem variar de acordo com a localidade, clima, época do ano, entre outras variáveis. Como se pôde observar também, o movimento vertical das massas de ar é o principal requisito para a formação das precipitações, mecanismo que pode ser visto também na Figura 3.

Figura 3 - Tipos de chuva.



FONTE: Forsdyke (1978).

A existência dos diferentes tipos de precipitações observados na Figura 3 e a distribuição variada dos corpos hídricos explica a distribuição e intensidade irregular das chuvas, tanto na escala temporal como na escala espacial. Apesar dessa variação, é possível determinar, para uma mesma localidade, o perfil das chuvas ao longo do tempo (BRAGA, 2018)

Segundo Holtz (1976), chuvas convectivas são de grande importância para pequenos projetos de engenharia como, por exemplo, obras de microdrenagem, devido à abrangência de pequenas bacias, e as chuvas orográficas e frontais interessam principalmente a grandes projetos como dimensionamento de barragens e reservatórios, controle de cheias, erosões hídricas e para a prática de navegação.

2.1.2 Medida das precipitações

De acordo com Tucci e Bertoni (1993), as precipitações são caracterizadas por quatro grandezas mensuráveis, sendo elas:

a. Altura pluviométrica: admite-se que a água precipitada irá cobrir uma área plana e impermeável, sem se evaporar ou escoar fora da região dessa área. A altura média da lâmina de água sobre a área impermeável dá-se o nome de altura pluviométrica. É representada pela letra (P) ou (r), expressas em milímetros (mm). A medida é realizada nas estações pluviométricas.

b. Duração: É a medida de tempo durante a ocorrência da chuva, expressa em hora (*h*) ou minutos (*min*), representada pela letra (*t*).

c. Intensidade: É definida pela relação altura pluviométrica/duração, representada pela letra (*i*), onde $i = P/t$. Geralmente é expressa em mm/h ou mm/min.

d. Tempo de retorno ou tempo de recorrência: Também denominado de frequência de ocorrência ou frequência de probabilidade, é o tempo médio anual no qual a probabilidade de ocorrência de chuva de determinada magnitude seja alcançada ou ultrapassada. É representado pela sigla (*Tr*) que corresponde ao inverso da probabilidade de ocorrência do evento.

Em uma análise hidrológica, é de extrema importância prever com base nos dados das series históricas, empregando técnicas de probabilidade, quais as máximas precipitações que podem ocorrer em uma localidade, estabelecida uma frequência (VILLELA & MATTOS, 1975).

2.1.3 Métodos de medição das precipitações

As medidas de precipitações são obtidas de forma pontual em estações pluviométricas ou pluviográficas, ou ainda de forma espacial, por intermédio de radares meteorológicos e satélites. A estações, que medem a altura da chuva com distribuição teoricamente homogênea e não sujeita à evaporação, podem ser convencionais, onde os aparelhos de medição são instalados a 1,5m de altura acima do nível do terreno, com a medição feita manualmente, ou automatizadas (GOMES, 2011; STEFFEN, 2018).

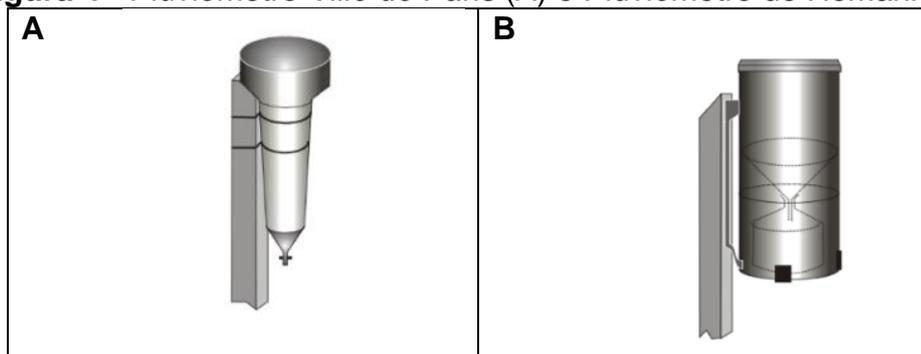
Os pluviômetros são os tipos de medidores mais utilizados, principalmente nos municípios, devido a sua facilidade de instalação e operação. Os pluviômetros são receptadores de precipitações diárias constituídos de um corpo cilíndrico com afunilamento denominado coletor. Possuem área de captação variando de 200cm² a 400 cm² conforme o modelo, e geralmente a sua borda tem formato circular para minimizar a interferência do vento (TUCCI, 2001; OLIVEIRA, 2017).

Os pluviômetros se classificam como pluviômetros ordinários ou pluviômetros totalizadores. Os pluviômetros ordinários possuem reservatório capaz de armazenar o total precipitado em 24 horas, e os pluviômetros totalizadores possuem um reservatório maior, capaz de armazenar o total precipitado em uma semana, um mês ou até em períodos maiores. Usualmente, os reservatórios dos pluviômetros

totalizadores são mantidos enterrados, e é introduzida uma pequena quantidade de óleo no reservatório, criando uma fina camada a fim de evitar a evaporação da água armazenada (VAREJÃO-SILVA, 2006; SABINO, 2018).

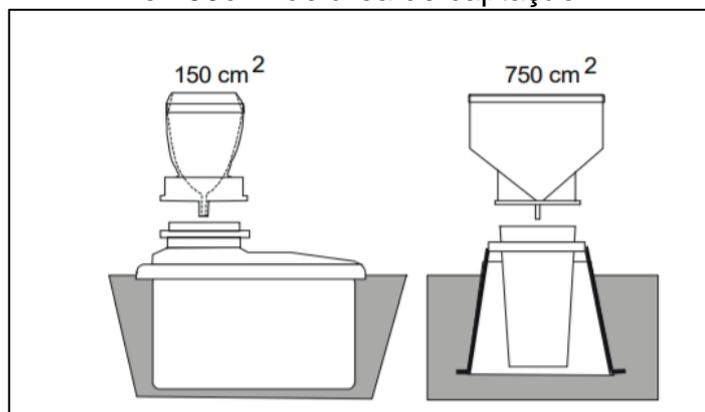
A Figura 4 e a Figura 5 mostram os tipos de pluviômetros utilizados em estações pluviométricas.

Figura 4 - Pluviômetro *Ville de Paris* (A) e Pluviômetro de Hemann (B).



FONTE: Varejão-Silva (2006).

Figura 5 - Esquemas de pluviômetros totalizadores com coletor trocável de 150cm² e 750cm² de área de captação.



FONTE: Varejão-Silva (2006).

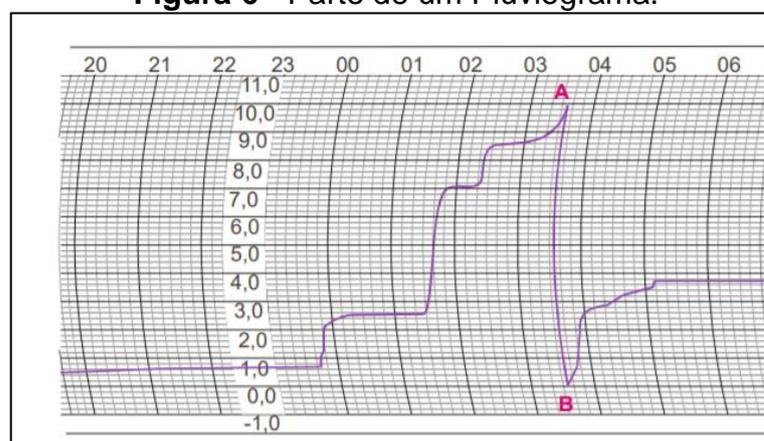
Gomes (2011) chega a citar que o *Ville de Paris*, apresentado na Figura 4a, é o tipo mais comum encontrado no Brasil. Os pluviômetros não registram nenhuma informação, exigindo que a leitura seja feita todos os dias por um operador, usualmente em intervalos de 24 horas. Normalmente, as leituras dos pluviômetros referem-se a um total precipitado das 7 horas do dia anterior até as 7 horas do dia em que foi aferida a leitura, e no final do mês, o operador envia as informações anotadas a agência responsável pela estação (HOLTZ, 1976; BRAGA, 2018).

A leitura do pluviômetro pode ser feita utilizando uma proveta graduada, régua ou uma balança de precisão, levando em consideração a área de captação do coletor. Provetas pluviométricas são provetas graduadas em escalas que já indicam o total precipitado em dado pluviômetro, em milímetros de precipitação. Cada proveta pluviométrica só pode ser utilizada para aferir a leitura de pluviômetros com a mesma área de captação do que a área em que foi considerada na demarcação de sua escala (VAREJÃO-SILVA, 2006).

Os pluviógrafos também possuem coletores e transferem a água precipitada para um reservatório dotado de um mecanismo que registra as informações denominado de unidade sensível (VAREJÃO-SILVA, 2006). De acordo com Gomes (2011), a principal diferença entre pluviômetros e pluviógrafos está no fato de que o pluviógrafo é capaz de registrar a quantidade e o tempo da precipitação, o que torna mais fácil o cálculo da intensidade da chuva. Em um papel especialmente graduado, denominado pluviograma, são registrados a altura pluviométrica e o tempo de duração da chuva, sendo fundamental para o estudo de chuvas de curta duração.

Um exemplo de pluviograma pode ser observado na Figura 6.

Figura 6 - Parte de um Pluviograma.

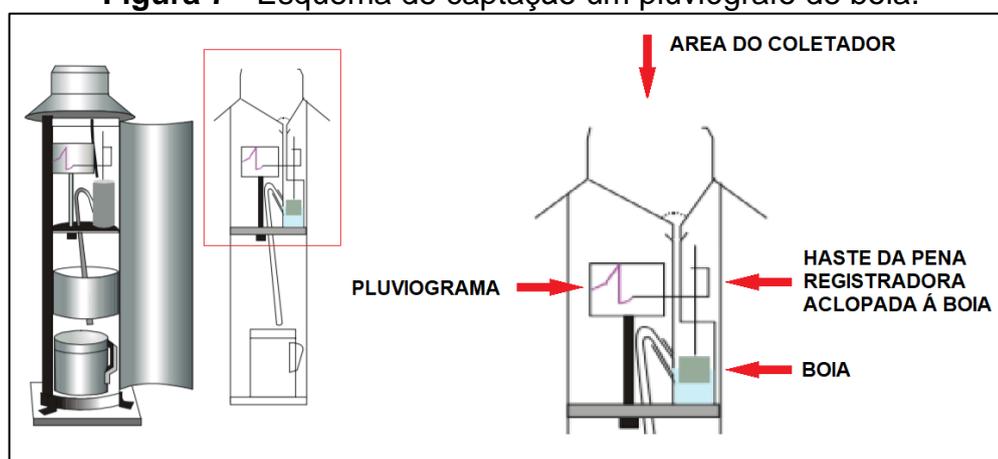


FONTE: Sabino (2018).

A Figura 6 exemplifica parte de um pluviograma, no qual a linha vertical entre os pontos A e B caracteriza uma sifonagem, os números da parte superior representam as horas do dia e os números da escala vertical enumeram o total precipitado em milímetros de lâmina de água. Após a obtenção dos dados, o operador da estação envia os pluviogramas obtidos nos pluviógrafos à agência responsável (HOLTZ, 1976).

Os tipos mais usuais de pluviógrafos são os pluviógrafos de boia, pluviógrafos de balança e pluviógrafos basculantes. Os pluviógrafos de boia possuem um reservatório cilíndrico onde é armazenado a água precipitada, dotado de uma boia e um sifão, no qual a boia movimenta para cima uma haste com todo o mecanismo onde é acoplado a pena registradora. Quando o reservatório enche, o sifão o esvazia, fazendo com que a boia se movimente para baixo e a pena registradora volte ao nível zero na escala marcada no pluviograma (VAREJÃO-SILVA, 2006). A Figura 7 exibe o pluviógrafo de boia.

Figura 7 - Esquema de captação um pluviógrafo de boia.



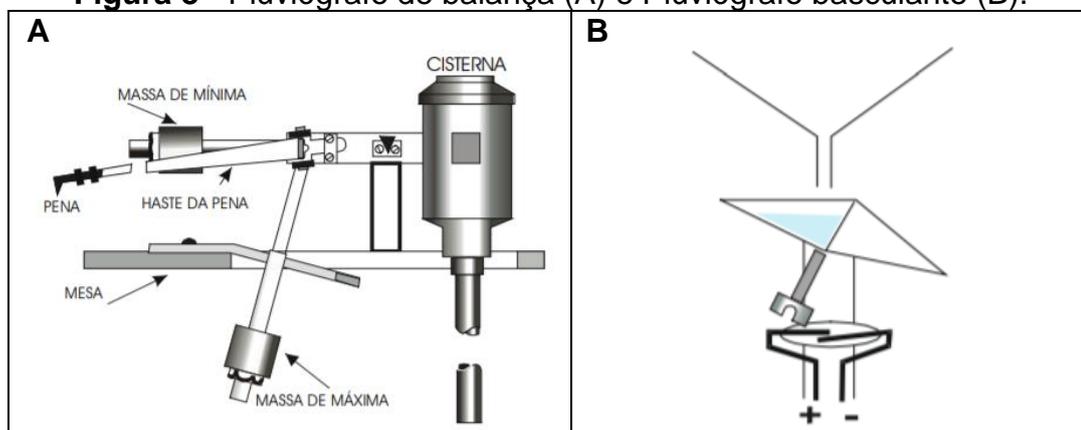
FONTE: adaptado de Varejão-Silva (2006).

A unidade sensível dos pluviógrafos de balança, observado na Figura 8a, constitui-se de uma balança auto equilibrada com dois braços dispostos continuamente separados por um eixo imaginário, no qual em um braço possui duas massas que delimitam o percurso da pena registradora e no outro braço possui um reservatório provido de um sifão. Ao receber a água do coletor, o reservatório sobrecarrega o braço no qual está acoplado, fazendo com que os braços se movam, conseqüentemente movendo a haste da pena registradora (SABINO, 2018).

Nos pluviógrafos basculantes, observado na Figura 8b, a água proveniente do coletor cai em um reservatório triangular, com uma repartição dividindo em dois lados simétricos em relação ao eixo transversal em que está apoiado. Somente um lado do reservatório recebe a água, quando atinge sua capacidade, o reservatório tomba para um lado e escoar a água acumulada, enquanto o outro lado recebe a água do coletor. Acumulando água em um lado de cada vez, o movimento de báscula do

reservatório aciona um interruptor magnético no qual comanda um circuito elétrico que movimenta a pena registradora (VAREJÃO-SILVA, 2006).

Figura 8 - Pluviógrafo de balança (A) e Pluviógrafo basculante (B).



FONTE: Varejão-Silva (2006).

Em relação às estações automatizadas, estas não necessitam de um operador, e são equipadas com aparelhos modernos que possuem sistemas eletrônicos. A captação dos dados é feita por um sistema de registrador de dados denominado *Datalogger*, que armazena os dados em sua memória interna e são posteriormente enviados via satélite para a agência responsável. O funcionamento dos aparelhos da estação e o processamento dos dados são realizados de modo totalmente informatizado (SABINO, 2018). A Figura 9 exibe uma estação automatizada.

Figura 9 - Estação Meteorológica Automatizada.



FONTE: CEMADEN (2017).

Como se pôde observar, são vários os modelos de pluviômetros e pluviógrafos que podem ser utilizados para medir as precipitações. A escolha dos modelos depende de vários parâmetros, como a uniformidade dos modelos, a finalidade dos levantamentos, a frequência de manutenção e a precisão das medições. Há ainda o fato de que, mesmo os pluviógrafos possibilitando as medições de dados mais precisos, a maior parte da rede de medições de chuvas do Brasil ainda é composta por pluviômetros, em razão de seu menor custo de aquisição (BRAGA, 2018).

2.1.4 Máximas precipitações

As máximas precipitações, também conhecidas como chuvas intensas, são aquelas que ostentam grandes lâminas precipitadas em pequenos intervalos de tempo, e constantemente provocam relevantes prejuízos humanos e materiais (SILVA *et al.*, 2003). Segundo Wilken (1978), considera-se um evento extremo toda precipitação cuja intensidade, conforme sua duração, ultrapasse os valores apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Intensidades mínimas de chuva a serem consideradas como chuvas intensas no processamento de dados de precipitação para diferentes durações.

DURAÇÃO (Minutos)	INTENSIDADE		DURAÇÃO (Minutos)	INTENSIDADE	
	mm/min	mm/h		mm/min	mm/h
5	2,00	120,00	60	0,42	25,00
10	1,20	72,00	90	0,31	18,70
15	1,00	60,00	120	0,25	15,00
20	0,85	51,00	180	0,18	11,00
30	0,67	40,00	240	0,15	8,70
45	0,51	30,60			

FONTE: Wilken (1978).

Na Tabela 1, é possível observar que, quanto menor a duração da chuva, maior é a intensidade a ser considerada como uma chuva intensa.

2.2 ESTATÍSTICA APLICADA À ANÁLISE DE CHUVAS

Influenciados por fatores aleatórios que não obedecem a uma regularidade, como as estações do ano e a divergência dos raios solares atingindo a superfície

terrestre em torno dos eixos polares, a maioria dos eventos hidrológicos acontece de forma incerta, gerenciada por leis de probabilidades (NAGHETTINI E PINTO, 2007).

O uso das leis probabilísticas torna-se possível uma vez que, mesmo que os componentes dos fenômenos hidrológicos sejam aleatórios, possuem, de certa forma, uma regularidade, tornada mais evidente à medida que se dispõe de mais dados históricos disponíveis para análise. Apesar de ser possível prever certos eventos, essa análise não é universal, tendo características próprias para cada localidade (FEITOSA JÚNIOR, 2018).

Ainda, em relação às variáveis aleatórias, Naghettini e Pinto (2007) conceituam o termo amostra, definido como um “conjunto de observações de uma certa variável hidrológica, tomadas em tempos e/ou locais diferentes”. As amostras, porém, não contêm todas as observações possíveis de uma variável, sendo limitada ao número de observações feitas. Para que uma amostra possa representar de forma confiável uma variável de uma localidade, deve passar, portanto, por tratamentos estatísticos a fim de encontrar relações que traduzam corretamente as situações reais.

2.2.1 Distribuição de Gumbel

A distribuição de Gumbel, ou distribuição assintótica de valores extremos do Tipo I, assume a forma de uma dupla exponencial e é conhecida como Fischer-Tippet tipo I (GOMES, 2011).

De acordo com Alves *et al.* (2013), a distribuição de Gumbel é a mais utilizada para ajustar dados referentes a eventos máximos, pois adequa-se bem às séries de precipitações máximas e os cálculos para estimativas de parâmetros são de fácil realização. A distribuição de Gumbel é atualmente muito utilizada nas análises de frequência para previsões de enchentes e de precipitações anuais máximas, possibilitando antecipar o comportamento das chuvas.

Ainda de acordo com Alves *et al.* (2013), o método discutido tem seus valores em função de dois parâmetros: escala e posição. O primeiro descreve a dispersão da distribuição, enquanto o segundo descreve a posição de determinada distribuição na direção do eixo horizontal. A Equação 01 descreve a obtenção dos dados necessários à análise de precipitações máximas:

$$x_i = \beta - \frac{1}{\alpha} \ln \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{Tr} \right) \right] \quad \text{Equação (01)}$$

Onde:

x_i = quantil de intensidade, em mm, para determinado tempo de retorno Tr , em anos;

α, β = parâmetros de posição e escala, respectivamente;

Tr = tempo de retorno (anos).

Os parâmetros α e β são obtidos, para se determinar a chuva de 1 dia, a partir das seguintes equações:

$$\alpha = 1,2825/S \quad \text{Equação (02)}$$

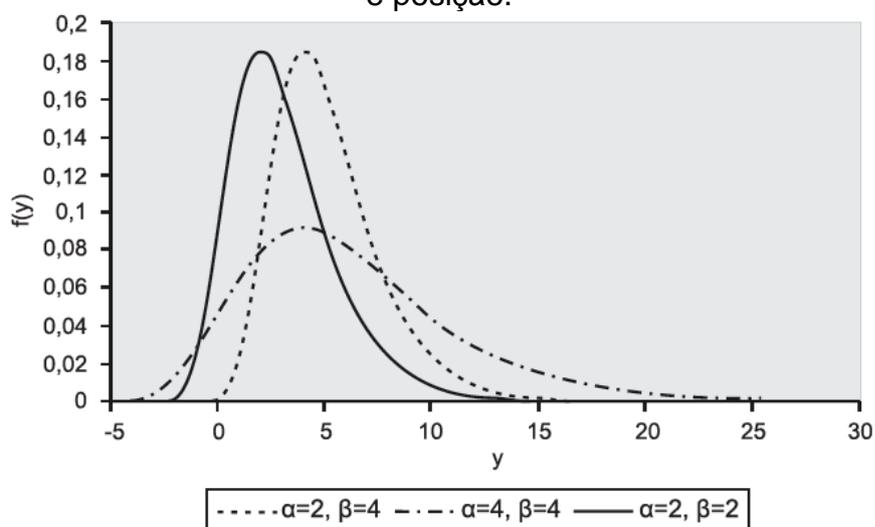
$$\beta = \bar{X} - 0,45.S \quad \text{Equação (03)}$$

Onde: S = desvio-padrão de X (mm);

\bar{X} = média das máximas precipitações anuais diárias (mm).

A assimetria, quando se fala da distribuição de Gumbel, está ligada ao grau de desvio ou afastamento da simetria. Assim, quando os valores de moda, mediana e média sobre um desvio para a direita, tem-se uma assimetria positiva (NAGHETTINI E PINTO, 2007). Um exemplo da distribuição assimétrica de Gumbel pode ser observado na Figura 10.

Figura 10 - Exemplos de distribuições de Gumbel para diferentes fatores de escala e posição.



FONTE: Naghettini e Pinto (2007).

Diante do exposto, a teoria dos valores extremos tem como objetivo analisar os eventos extremos dos quais se têm dados disponíveis para realizar uma previsão dos valores extremos futuros, que terá uma importante função no planejamento e elaboração de projetos na engenharia (FEITOSA JÚNIOR, 2018).

2.2.2 Testes de aderência

Os testes de aderência, também chamados de bondade do ajuste, são realizados objetivando-se verificar o ajuste correto dos dados amostrais à distribuição teórica de probabilidade. O teste é executado comparando-se frequências de amostras com as frequências probabilísticas do modelo utilizado, avaliando se a distância entre os dados obtidos é significativa. Em geral, quanto mais próximo de zero o resultado é, menor a quantidade de erros dos dados amostrais e mais precisa é a análise do método (ALVES *et al.*, 2013).

Como exemplo, é citado o teste de Kolmogorov-Smirnov, definido como um teste não paramétrico, que não necessita de parâmetros ou estimativas para o cálculo das estatísticas, sendo aplicável apenas para variáveis aleatórias e contínuas. A base do teste está na diferença máxima entre as funções de probabilidades acumuladas, empíricas e teóricas, relativas a variáveis contínuas aleatórias, sendo o referido teste

amplamente utilizado nas análises de chuvas intensas (GOMES, 2011; FEITOSA JÚNIOR, 2018).

Outro exemplo, muito utilizado para verificar o ajuste de equações de intensidades pluviométricas, é o índice de concordância desenvolvido por Willmott, em 1982. De acordo com Oliveira *et al.* (2011), o índice mede o grau em que, no caso de chuvas intensas, a precipitação estimada pela equação de chuvas intensas proposta para se determinar a intensidade das chuvas se aproxima da precipitação estimada pela aplicação do método de desagregação.

Oliveira *et al.* (2008) definem a equação de desempenho do índice de concordância como a especificada na Equação 04.

$$d = 100 \left[1 - \frac{\sum(e_i - o_i)^2}{\sum(|e_i - \bar{o}| + |o_i - \bar{o}|)^2} \right] \quad \text{Equação (04)}$$

Onde: d = índice de concordância, em porcentagem;

o_i , e_i = valores extremos observados e estimados, respectivamente;

\bar{o} = média dos valores extremos observados.

Oliveira *et al.* (2011) também classificam o índice de concordância de Willmott de acordo com sete categorias, elencadas na Tabela 2.

Tabela 2 - Classificação do coeficiente de desempenho de Willmott de acordo com a porcentagem obtida.

d (%)	Classificação
> 85	Ótimo
76 a 85	Muito bom
66 a 75	Bom
61 a 65	Mediano
51 a 60	Sofrível
41 a 50	Mau
≤ 40	Péssimo

FONTE: Oliveira *et al.* (2011).

De acordo com Oliveira *et al.* (2015) e a classificação apresentada na Tabela 2, o índice de concordância de Willmott varia de zero a um, sendo que zero, ou 0%, representa dados sem nenhuma concordância, enquanto o valor um, ou 100%, representa uma concordância perfeita.

2.2.3 Análise de consistência

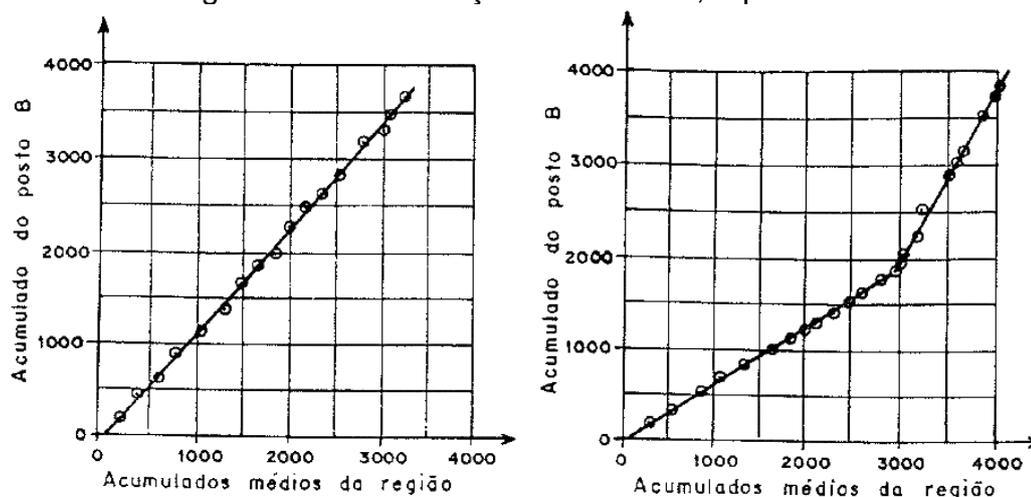
A verificação de consistência dos dados obtidos é realizada após o preenchimento das séries históricas, sendo feita para um conjunto de estações localizadas em uma área considerada climaticamente homogênea. Pode-se dizer ainda que a principal propriedade da consistência é que a precisão de uma estimativa aumenta à medida que o tamanho da amostra também aumenta (TUCCI, 2001; CARDOSO, 2021).

Para verificar a consistência das séries, o método mais utilizado é o da dupla massa, sendo este válido tanto para séries anuais como para séries mensais (TUCCI, 2001; SILVA JUNIOR & SANTANA, 2020).

A curva de dupla massa, de acordo com Naghettini e Pinto (2007), é muito utilizada na área da engenharia hidrológica, para detectar inconformidades na consistência de dados pluviométricos. Essa curva permite a comparação gráfica entre os valores acumulados das precipitações na estação analisada e os valores acumulados das precipitações regionais, que são estimadas como as médias aritméticas de várias estações próximas.

De acordo com Bertoni e Tucci (1993), a declividade da reta identifica se há ou não consistência, sendo que, quando a declividade é constante, infere-se que é concordância entre os dados analisados, e quando há mudanças de declividade, verifica-se a ocorrência de erros sistemáticos, mudança nas condições de observação ou a existência de uma causa física condicionante. A diferença entre as duas situações pode ser observada na Figura 11.

Figura 11 - Diferença entre um diagrama de dupla massas sem inconsistências e um diagrama com mudança de tendência, respectivamente.



FONTE: Tucci e Bertoni (1993).

Outro método que pode ser citado para a análise de consistência é o Método do Vetor Regional, no qual é chamado de vetor regional a série cronológica e sintética de índices pluviométricos provenientes da informação mais provável de estações que estão agrupadas regionalmente (GOMES, 2011).

2.3 CURVAS IDF

As curvas IDF são parâmetros que relacionam a intensidade, duração e frequência que caracterizam determinada precipitação. A primeira pesquisa relacionada ao tema foi desenvolvida em 1957 por Otto Pfafstetter, em seu estudo “Chuvas Intensas no Brasil”, na qual o engenheiro analisou dados de 98 estações pluviométricas e pluviográficas, fazendo a análise das equações de chuvas intensas para durações variando entre 5 minutos e 48 horas (GONÇALVES, 2011).

Para elaborar as curvas são necessários os dados históricos da região analisada. Freitas (2011) destaca que a falta de dados relativos à precipitação é a principal barreira que impede a estimativa correta das precipitações em diversas localidades, sendo necessário desenvolver métodos alternativos para a determinação dos dados a serem utilizados. Braga (2018) afirma que o modelo matemático mais utilizado atualmente se comporta conforme a Equação 05:

$$i = \frac{k(Tr)^m}{(t+d)^n} \quad \text{Equação (05)}$$

Onde: i = intensidade de precipitação média máxima, em mm/h;

t = duração da chuva, em minutos;

Tr = tempo de recorrência ou tempo de retorno, em anos;

k, d, m, n = parâmetros a serem determinados por ajuste aos dados observados.

O parâmetro d , definido por Wilken (1978) como uma constante de anamorfismo, dada em minutos, refere-se a uma correção do tempo de duração, sendo acrescentada ao tempo de duração t inserido para possibilitar o deslocamento do ponto a ser observado, de modo a diminuir os erros da equação da curva.

A determinação dos parâmetros necessários à determinação das curvas envolve uma criteriosa análise dos dados pluviométricos e pluviográficos disponíveis, a fim de encontrar os coeficientes que melhor descrevem a situação da região, evitando a acumulação de erros que poderiam levar à inutilização da equação (OLIVEIRA, 2017).

2.3.1 Métodos de determinação das curvas IDF

2.3.1.1 Método da desagregação diária das chuvas

Esse método foi desenvolvido pela CETESB (1979), que observou a dificuldade de obtenção dos dados de precipitação. Como a maioria das estações dispõe apenas de pluviômetros, que medem a precipitação somente em intervalos muito espaçados de tempo, geralmente de 12h ou de 24h, torna-se necessário adaptar esses dados, utilizando-se coeficientes de desagregação para se encontrar as chuvas máximas em intervalos menores de tempo (PINTO, 2013; FREITAS, 2016).

Os coeficientes de desagregação definidos pela CETESB (1979) são observados na Tabela 3.

Tabela 3 - Coeficientes de desagregação de chuvas de 24h proposto pela CETESB.

RELAÇÃO	COEFICIENTES	RELAÇÃO	COEFICIENTES
5min/30min	0,34	1h/24h	0,42
10min/30min	0,54	6h/24h	0,72
15min/30min	0,70	8h/24h	0,78
20min/30min	0,81	10h/24h	0,82
25min/30min	0,91	12h/24h	0,85
30min/1h	0,74	24h/1dia	1,14

FONTE: CETESB (1979).

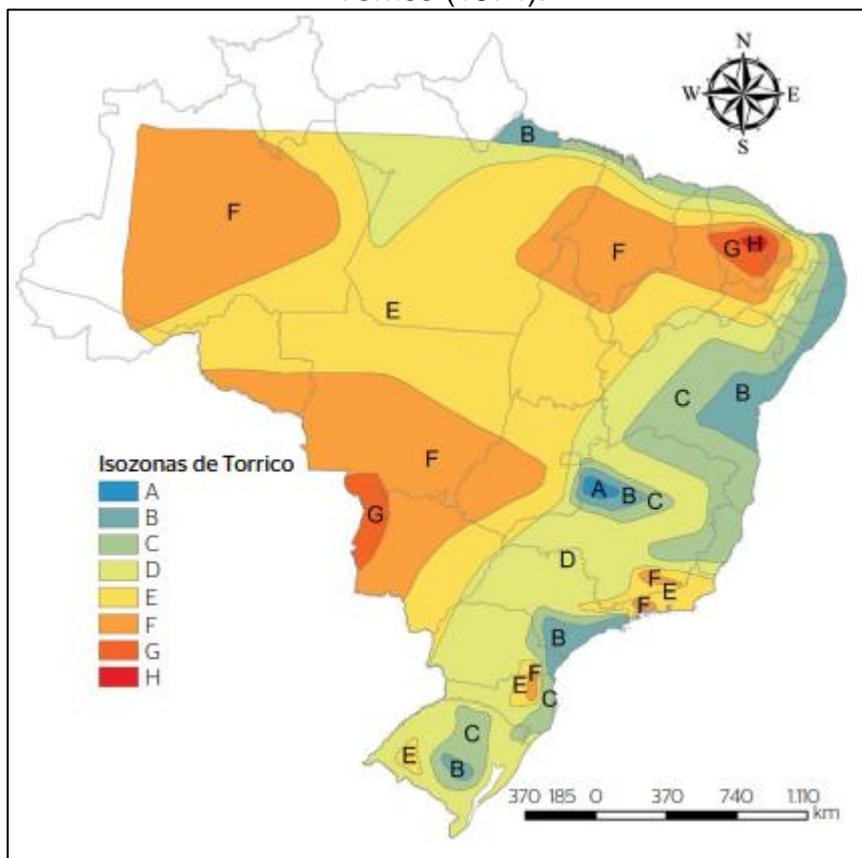
Os coeficientes apresentados na Tabela 3 possibilitam analisar as precipitações máximas de um dia para intervalos de menor duração, possibilitando seu uso posterior para a determinação dos dados estatísticos necessários para definir alguns parâmetros relacionados à intensidade, frequência ou duração das chuvas (OLIVEIRA, 2017).

A desagregação das chuvas intensas é realizada em duas etapas distintas, onde primeiramente as chuvas 1 dia, medidas pelos pluviômetros, são transformadas por meio de uma função linear, e, em seguida, desagrega-se as precipitações de intervalos de 24 horas em alturas pluviométricas de menor duração. Essas informações necessárias às duas etapas de desagregação dependem dos dados disponíveis da região (PINTO, 2013).

2.3.1.2 Método das isozonas

Gonçalves (2011) caracteriza o método das isozonas como aquele que utiliza dados referentes a chuvas diárias para encontrar áreas geográficas com valores de altura de chuva x duração semelhantes, dividindo o Brasil em oito zonas homólogas. Na Figura 12 é possível observar a divisão de isozonas proposta por Torrico (1974).

Figura 12 – Mapa de isozonas de comportamento de chuvas intensas proposto por Torrico (1974).

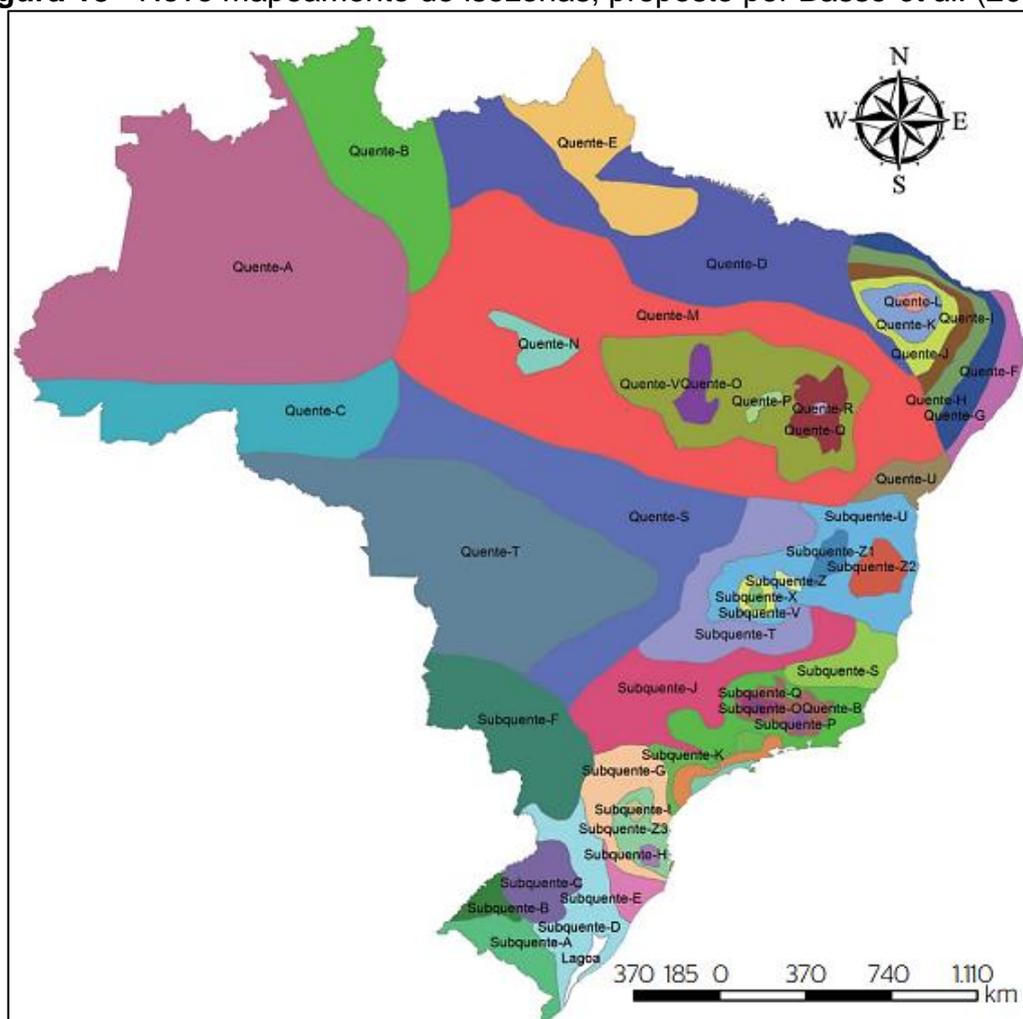


FONTE: Basso et al. (2016) adaptado de Torrico (1974).

Na Figura 12, é possível notar as 8 isozonas classificadas de A a H; as letras A, B e C representam baixos coeficientes de intensidade, enquanto que as letras F, G e H correspondem às zonas com coeficientes mais elevados (GONÇALVES, 2011).

Apesar da pesquisa de Torrico (1974) ser um dos primeiros levantamentos do tipo, atualmente existe uma maior quantidade de dados para se realizar uma análise mais precisa das isozonas. Basso et al. (2016) propuseram em seu estudo a atualização das isozonas, com um novo mapeamento apresentado na Figura 13.

Figura 13 - Novo mapeamento de isozonas, proposto por Basso *et al.* (2016).



FONTE: Basso *et. al* (2016).

Comparando os dois mapas apresentados, é possível notar que a nova classificação proposta por Basso *et al.* (2016), ao mesmo tempo que incrementa várias novas isozonas, mantém em vários lugares a mesma classificação. A região onde são localizados os municípios de Barra do Garças – MT, Pontal do Araguaia – MT e Aragarças – GO, por exemplo, antes classificadas por Torrico (1974) na isozona F, agora pertence à isozona Quente-T.

2.3.1.3 Outras metodologias

A metodologia desenvolvida por Bell (1969) associa, para um padrão de 60 minutos de duração (t) e um tempo de retorno (T_r) de dois anos, a altura pluviométrica de determinada chuva intensa, estabelecendo assim relações empíricas de chuvas

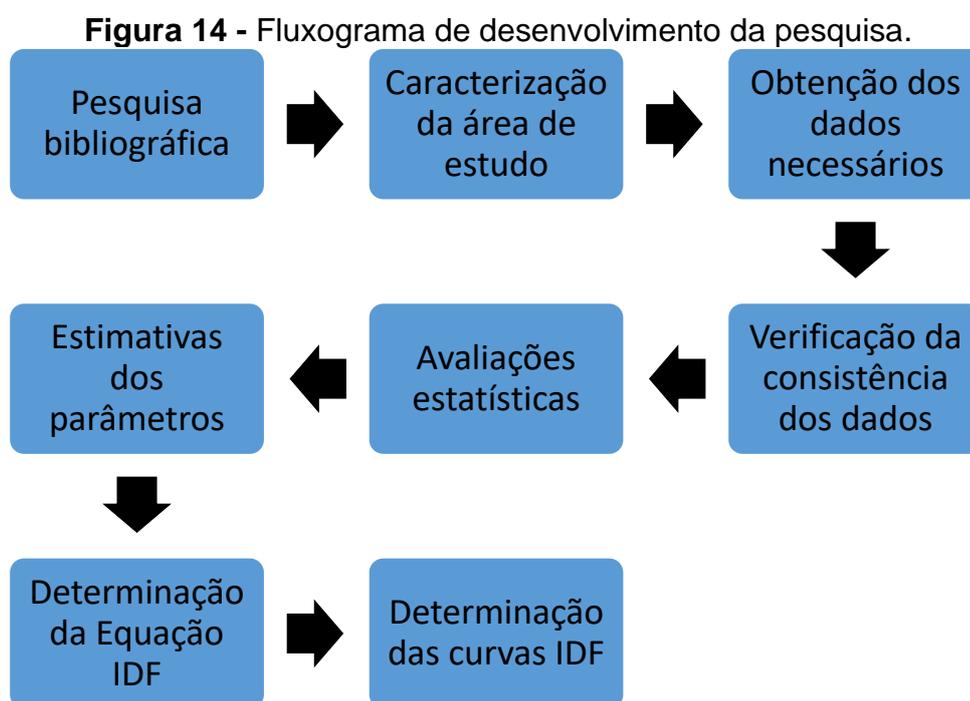
com diferentes durações. A metodologia é limitada, porém, à sua generalidade, visto que o método foi desenvolvido por meio de dados de chuvas intensas de diversos países ao redor do mundo, não possuindo assim uma maneira de incorporar as especificidades de cada região. Alguns trabalhos foram desenvolvidos no Brasil a fim de vencer a barreira da generalização imposta pelo método de Bell, podendo-se destacar o trabalho de Righetto (1998), que, empregando dados de diversas estações pluviográfica espalhadas pelo país, ajustou os coeficientes do modelo citado, obtendo no fim uma equação final geral adaptada para a realidade do país (GONÇALVES, 2011; OLIVEIRA *et al.*, 2011; BRAGA, 2018)

Atualmente, a tecnologia possibilita utilizar outras formas de obter dados precisos de precipitação. Gonçalves (2011) propôs, em seu estudo, a utilização de dados de precipitações disponibilizados por satélites, que possuem precisão bem maior que os dados obtidos por pluviômetros e pluviógrafos, na ordem de poucas horas e até poucos minutos. Tal método é, porém, limitado por vários fatores, tanto temporais quanto físicos.

Braga (2018) desenvolve, em seu trabalho, a determinação de equações de chuvas intensas de forma regionalizada. Esse método é definido pelo autor como uma teoria que aproxima o comportamento do sistema onde relações entre funções analíticas ou numéricas não existem. O método consiste na definição das equações de chuvas intensas agrupando dados e fazendo uma análise iterativa de indicadores e variáveis explicativas pré-definidas.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

A elaboração do presente estudo envolveu a análise de dados relativos às informações hidrológicas disponíveis para a área de estudo definida, a fim de obter os dados necessários à elaboração de curvas IDF, bem como expor a sua importância para a área de hidrologia do local de estudo. As fases de elaboração do trabalho estão apresentadas na Figura 14.



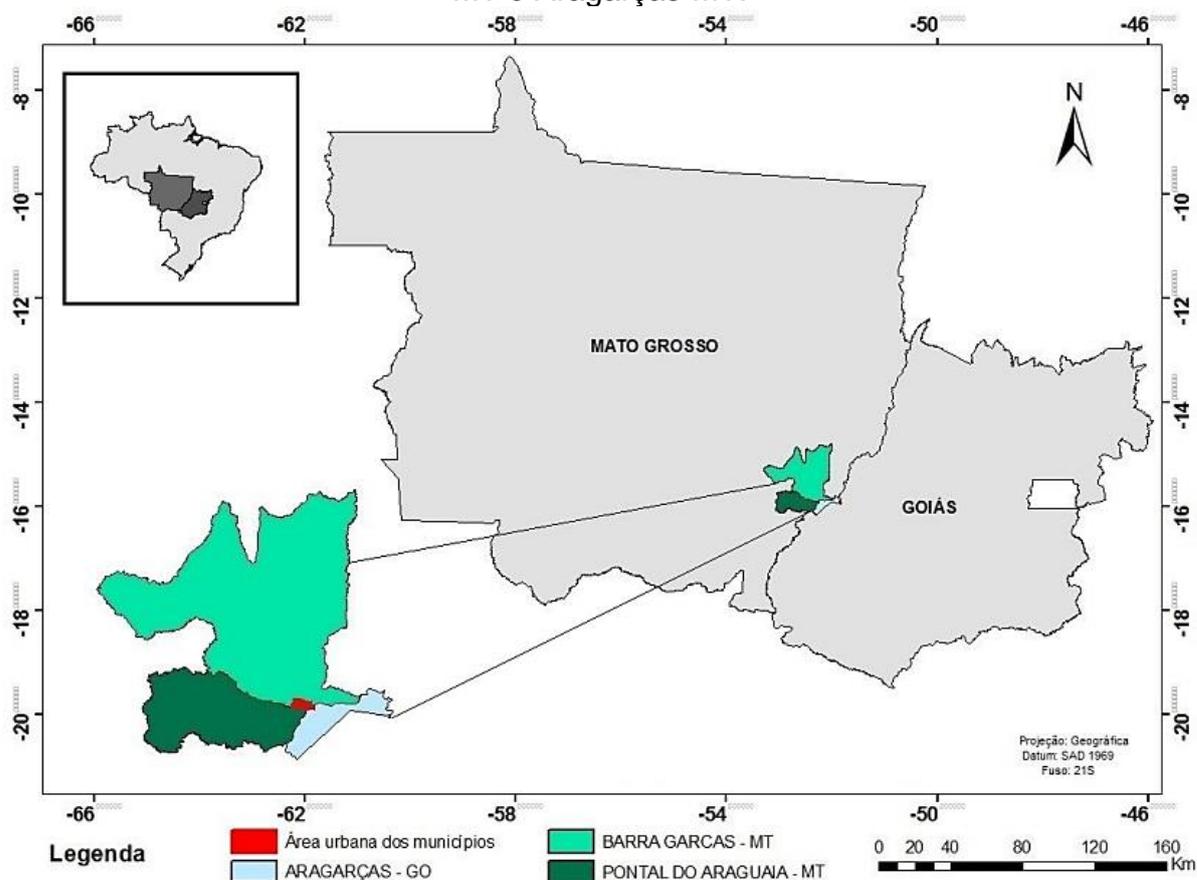
FONTE: O autor (2021).

3.1 ÁREA DE ESTUDO

Barra do garças – MT, Pontal do Araguaia – MT e Aragarças – GO são cidades conurbadas localizadas ao sul da região do vale do Araguaia. As três cidades estão localizadas em zona de clima tropical, especificamente na zona tropical Brasil central, onde as temperaturas médias são acima de 18°C durante todos os meses do ano. O bioma da região é predominantemente o cerrado. O clima da região é semiúmido, cerca de quatro a cinco meses do ano sem ocorrência de chuvas (IBGE, 2002).

Na Figura 15, é possível observar as cidades objeto da pesquisa.

Figura 15 - Localização das cidades de Barra do Garças-MT, Pontal do Araguaia-MT e Aragarças-MT.



FONTE: Rezende (2015).

De acordo com Rezende (2015), a cidade de Barra do Garças – MT é o centro urbano mais relevante do nordeste de Mato Grosso, possuindo grande relevância econômica e também devido a sua localização geográfica. A Tabela 4 mostra os dados relacionando a população, densidade demográfica e área territorial dos municípios.

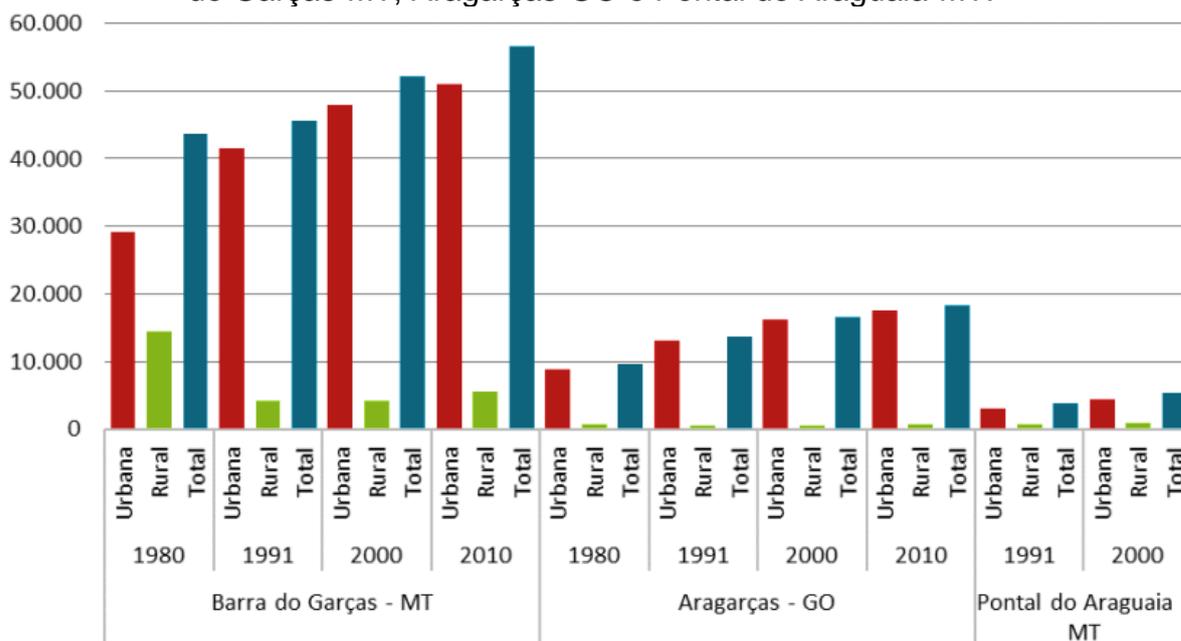
Tabela 4 - Características demográficas da região estudada.

CIDADE	POPULAÇÃO (hab.)	DENSIDADE DEMOGRÁFICA (hab./Km ²)	ÁREA DA UNIDADE TERRITORIAL (Km ²)
Barra do Garças - MT	56.560	6,23	8.713,673
Pontal do Araguaia - MT	5.395	1,97	2.742,482
Aragarças - GO	18.305	27,61	664,530
Total	80.800	-	12.120,685

FONTE: IBGE (2010).

É possível observar, na Tabela 4, que o município de Barra do Garças – MT é o que possui a maior população e extensão territorial. O referido município é caracterizado pelo elevado êxodo rural nas décadas de 1980 e 1990, como observado no Gráfico 3.

Gráfico 3 - Comparação entre a população rural e urbana dos municípios de Barra do Garças-MT, Aragarças-GO e Pontal do Araguaia-MT.



FONTE: Rezende (2015).

Apesar de, juntos, os municípios possuírem mais de 12 mil quilômetros quadrados e cerca de 80 mil habitantes, os dados provenientes de estações pluviométricas são escassos, de modo que as cidades de Barra do Garças – MT e Aragarças – GO possuem em seu território estações pluviométricas registradas na ANA e no INMET, mas a cidade de Pontal do Araguaia-MT fica dependente de outros dados de regiões próximas.

A Tabela 5 mostra as estações e suas respectivas localizações nas áreas dos municípios objeto do estudo.

Tabela 5 - Estações pluviométricas localizadas na região de estudo pertencentes a rede hidrometeorológica nacional da agência nacional de águas (ANA) e ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

NOME	ENTIDADE	CÓDIGO	LOCALIDADE	LATITUDE	LONGITUDE	ALTITUDE
PERES	ANA	1551002	Aragarças-GO	15° 53' 23" S	51° 51' 10" W	292m
BARRA DO GARÇAS	ANA	1552000	Aragarças-GO	15° 53' 29" S	52° 13' 40" W	290m
TORIQUEJE	ANA	1552002	Barra do Garças-MT	15° 15' 01" S	53° 03' 19" W	438m
ARAGARÇAS	ANA	1552003	Aragarças-GO	15° 54' 06" S	52° 14' 41" W	347m
PINDAÍBA	ANA	1552006	Barra do Garças-MT	15° 02' 08" S	52° 14' 15" W	291m
ARAGARÇAS	INMET	83368	Aragarças – GO	15° 54' 09" S	52° 13' 14" W	327m

FONTE: Portal HidroWeb (2021) e INMET (2021).

Para analisar quais dados poderiam ser utilizados na realização do trabalho, optou-se por adotar o critério de escolha descrito por Feitosa Junior (2018) e Freitas (2016) para a filtragem de dados, no qual os autores usam como critério de descarte os anos que apresentam muitas falhas ou ausência de mais de 3 meses de dados pluviométricos. Para se adotar um parâmetro mais cauteloso, optou-se por não utilizar anos das séries históricas que apresentavam mais de 2 meses contínuos ou 30 dias intercalados de falhas.

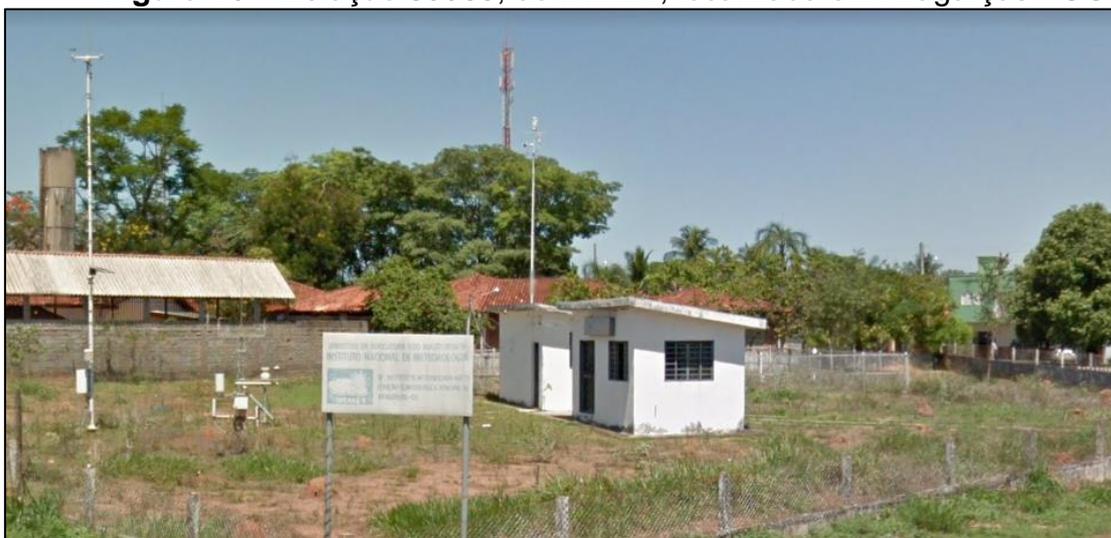
As estações analisadas estão dispostas na Tabela 6, contendo o código de identificação ANA ou INMET, tamanho da série histórica e as séries de anos que foram considerados completos juntamente com a quantidade de anos disponíveis de acordo com o critério de aceitação, e a média anual de precipitação dos anos considerados completos de acordo com o critério de aceitabilidade, respectivamente. Uma análise das séries dos dados relativos a cada ano disponível está relacionada no Apêndice A.

Tabela 6 - Dados das séries históricas das estações analisadas.

CÓDIGO	NOME	PERÍODO DA SÉRIE HISTÓRICA	SÉRIE DE ANOS CONSIDERADOS COMPLETOS	QUANTIDADE DE ANOS DISPONÍVEL
1551002	PERES	01/11/1971 - 01/12/2006	1972-1979; 1981-1990; 1992-2006.	33
1552000	BARRA DO GARÇAS	01/01/1969 - 01/12/1994	1969-1982; 1984-1988; 1990; 1992-1994.	23
1552002	TORIQUEJE	01/03/1971 - 01/12/1994	-	-
1552003	ARAGARÇAS	Não possui dados consistidos	-	-
1552006	PINDAÍBA	01/01/1985 - 01/12/2006	-	-
83368	ARAGARÇAS	18/07/1970 – 16/10/2021	1971-1974; 1980-1992; 1995-2000; 2002-2019.	41

FONTE: O autor (2021) adaptado de Hidroweb (2021) e INMET (2021).

Como se observa na Tabela 6, a série histórica da Estação 83368 é aquela que apresenta a maior quantidade de anos disponíveis, sendo, portanto, a selecionada para construir as séries anuais, sendo as outras estações utilizadas para preenchimento de falhas. A Estação Aragarças (83368) pode ser observada na Figura 16.

Figura 16 – Estação 83368, do INMET, localizada em Aragarças - GO.

FONTE: Google Maps (2011).

Também convém destacar que o posto do INMET em que se localiza a Estação Aragarças (83368) também possui uma estação automatizada, de código

A013. No entanto, optou-se por não analisar esta estação, pois, além da medição ter iniciado somente em 2007, os dados apresentavam muitas falhas, chegando a não registrar dados de precipitação por anos inteiros, como é possível observar na Tabela 7.

Tabela 7 – Dias sem dados registrados da Estação automatizada A013, do INMET.

ANO	DIAS SEM DADOS	ANO	DIAS SEM DADOS
2007	18	2015	365
2008	4	2016	230
2009	2	2017	0
2010	0	2018	44
2011	26	2019	0
2012	1	2020	25
2013	34	2021	287
2014	173		

FONTE: O autor (2021).

Portanto, procedeu-se à análise somente das estações convencionais, excluindo a Estação automatizada A013 por falta registro de dados.

3.2 MÉTODOS

3.2.1 Processamento dos dados

Os dados obtidos na Agência Nacional de Águas - ANA (2021), por meio do Portal *Hidroweb*, definido pela ANA (2021) como um “banco de dados que contém todas as informações coletadas pela Rede Hidrometeorológica Nacional (RHN)”, são disponibilizados em um software desenvolvido pela agência, onde é possível observar os dados de precipitações obtidos pelas estações referentes a valores diários, mensais e anuais. Já os dados obtidos por meio do INMET (2021), foram disponibilizados pela respectiva entidade, após solicitação eletrônica, no formato de uma planilha composta por duas colunas, sendo a primeira coluna a data de realização da medição do pluviômetro, e na segunda coluna a sua respectiva precipitação diária, em milímetros.

Posteriormente, foi feita a análise dos dados das estações selecionadas, por meio do Software *Excel*®. Com os dados de precipitações diárias disponíveis foi

possível analisar, para cada estação, as informações relativas à precipitação máxima anual diária, os dias em que as estações deixaram de registrar dados, as médias de precipitações anuais, e as chuvas anuais acumuladas.

Após a organização dos dados em tabelas, foram iniciadas as análises preliminares associadas ao tratamento dos dados. Foram obtidos, nessa fase, dados como os anos em que os dados das estações se mostraram aceitáveis pelos critérios propostos, as precipitações máximas anuais diárias para cada estação, a média das precipitações máximas anuais diárias, os dados relativos às chuvas acumuladas, e a homogeneidade das amostras obtidas.

Para a obtenção e análise dos parâmetros da distribuição Gumbel, foi empregado o software *Excel*® para realizar os cálculos e gerar as análises das distribuições de precipitação de acordo com os critérios de intervalo de duração e tempos de retorno escolhidos.

3.2.2 Modelagem da precipitação

Após obtidos os dados estatísticos das chuvas, procedeu-se à modelagem estocástica das precipitações utilizando a distribuição de Gumbel. Primeiramente, os dados obtidos que relacionam a precipitação máxima anual diária com seus respectivos anos são organizados em uma ordem decrescente, para possibilitar a análise das funções de probabilidade.

Um dos objetivos do trabalho é relacionar as precipitações com os referidos tempos de retorno, a fim de possibilitar as análises posteriores dos dados. Para este estudo, foram escolhidos aqueles mais usuais quando se fala em obras hídricas mais recorrentes de engenharia como obras de drenagem rodoviária, obras de saneamento básico e sistemas de drenagem de águas pluviais, sendo analisadas as intensidades máximas de precipitações para os intervalos de duração entre 5 e 1440 minutos, e tempos de retorno de 2, 5, 10, 15, 25, 50 e 100 anos (ALVES *et al.*, 2013; FREITAS, 2016; SILVA *et al.*, 2017).

Obtidos os dados relativos à média e ao desvio-padrão das precipitações máximas diárias, foi possível utilizar as equações 01, 02 e 03 para determinar o quantil relativo à chuva máxima de projeto para cada período de retorno a ser analisado.

Em posse dos dados pluviográficos analisados por meio da distribuição de Gumbel, relativos a cada período de retorno, finalmente é possível realizar a

desagregação das chuvas utilizando os coeficientes descritos pela CETESB (1979), descritos na Tabela 3.

3.2.3 Obtenção dos parâmetros da equação IDF

A determinação da Equação IDF, apresentada anteriormente na forma da Equação 05, possibilita determinar a intensidade da chuva, em mm/h, inserindo-se apenas os dados de duração da chuva e tempo de retorno. Para isso, é necessário determinar os parâmetros de ajuste dos dados observados previamente.

Após definidas anteriormente no trabalho as intensidades das chuvas relativas à cada duração (t) e tempo de retorno (Tr), é possível determinar os valores dos parâmetros k , d , m e n da equação. De acordo com Freitas (2016), Oliveira (2017) e Cardoso (2021), a equação IDF, por ser uma equação exponencial, possibilita a aplicação de propriedades para relacionar as equações potenciais com as equações logarítmicas. Para possibilitar a análise, estabeleceu-se uma variável C , que representa o denominador da Equação IDF, chegando-se à seguinte equação:

$$i = \frac{C}{(t+d)^n} \quad \text{Equação (06)}$$

Onde: $C = k.Tr^m$.

Aplicando-se as propriedades logarítmicas na equação 06, as seguintes relações são obtidas:

$$\log i = \log C - n.\log(t + d) \quad \text{Equação (07)}$$

$$\log C = \log k + m.\log Tr \quad \text{Equação (08)}$$

Ao observar a equação 07, é possível perceber que esta é uma reta linear do tipo $y = ax + b$ onde ainda não são conhecidos os coeficientes n e $\log C$, que representam, respectivamente, as constantes a e b da equação linear. O parâmetro d da equação 07, principal parâmetro que linearizará a reta, é definido por meio do método da tentativa e erro. Como os outros dados estão disponíveis, foi possível

aplicar a regressão linear, com o auxílio do software *Excel*®, para encontrar os valores de n e $\log C$.

Apesar de determinar a constante de anamorfismo d utilizando o software *Excel*® pelo método de tentativa e erro, as operações de tentativa e erro não foram feitas manualmente. Utilizou-se o comando *Solver* no *Excel*® para automatizar o processo e assim obter o valor de d que melhor se aproxima dos valores de intensidade encontrados pela distribuição de Gumbel, levando em consideração a linearização da reta, determinada pelo valor de R^2 que mais se aproxima de 1.

Após a determinação do valor de $\log C$, procedeu-se à determinação dos valores de m e $\log k$ da equação 08, aplicando-se novamente uma regressão linear para possibilitar a determinação dos valores. A plotagem dos gráficos permitiu determinar os parâmetros “ k ” e “ m ” necessários ao ajuste da curva IDF proposta.

Deste modo, a partir da determinação dos valores de todas as constantes necessárias, foram determinados os parâmetros da equação IDF obtida para os municípios de Barra do Garças – MT, Pontal do Araguaia – MT e Aragarças – GO.

4 DESCRIÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1 ANÁLISE PRELIMINAR DOS DADOS

Dentre as estações pluviométricas apresentadas na Tabela 5, foram selecionados os postos Barra do Garças (1552000), Peres (1551002) e Aragarças (83368) para análise e estudo, com base no tamanho das séries. Considerando os anos considerados completos pelo critério de aceitabilidade dos dados consistidos, foi elaborada a estatística descritiva das precipitações diárias e dos acumulados anuais, conforme Tabelas 8 e 9, respectivamente.

Tabela 8 - Estatística descritiva das precipitações máximas diárias anuais.

ESTAÇÃO	CÓDIGO	DESVIO-PADRÃO (mm)	MÉDIA (mm)	MÁXIMA (mm)
PERES	1551002	26,06	86,52	144,7
BARRA DO GARÇAS	1552000	35,06	96,52	180,3
ARAGARÇAS	83368	28,54	91,10	179,2

FONTE: O autor (2021).

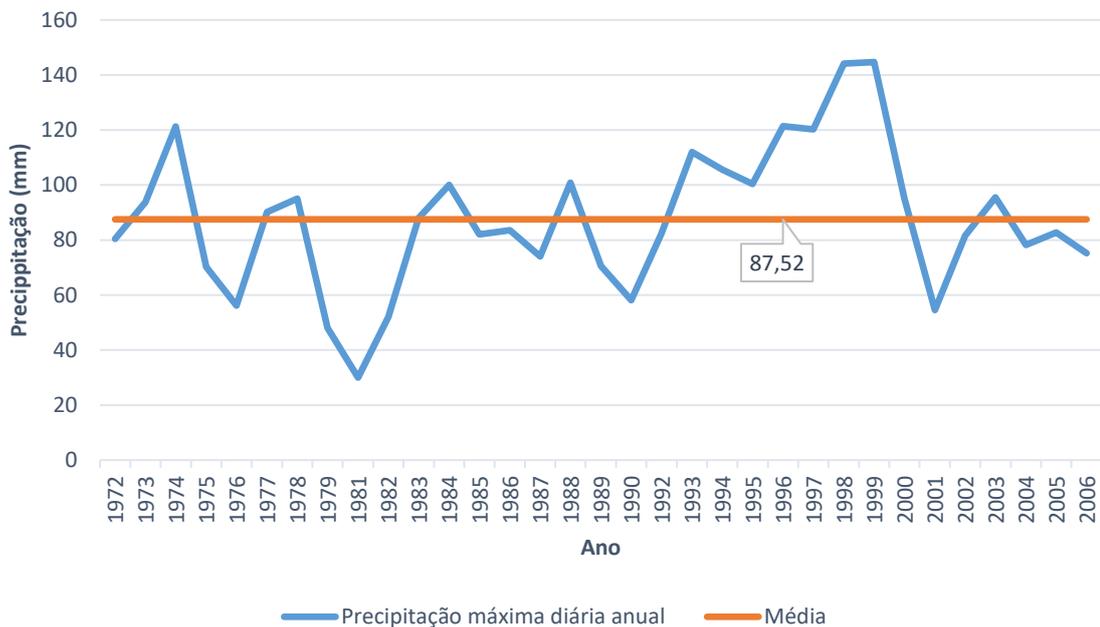
Tabela 9 - Estatística descritiva das precipitações acumuladas anuais.

ESTAÇÃO	CÓDIGO	TAMANHO DA AMOSTRA	MÉDIA (mm)	DESVIO- PADRÃO (mm)	MÁXIMA (mm)
PERES	1551002	33	1409,72	327,32	2284,9
BARRA DO GARÇAS	1552000	23	1573,80	276,33	2113,6
ARAGARÇAS	83368	41	1516,94	284,96	2445,3

FONTE: O autor (2021).

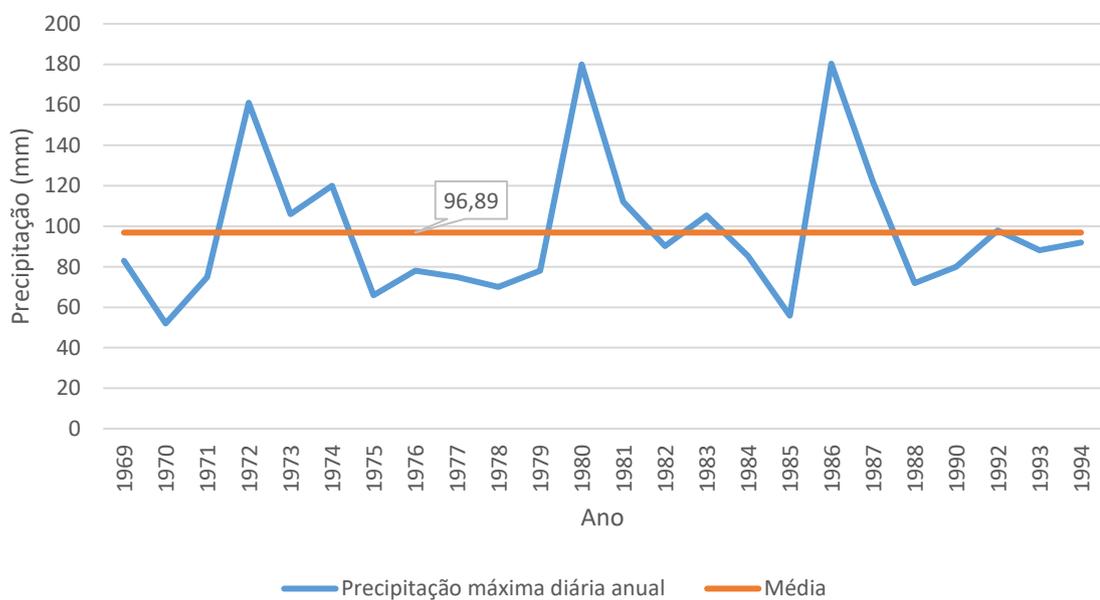
Observa-se nas Tabelas 8 e 9 que Barra do Garças (1552000) possui a menor série de dados, enquanto Aragarças (83368) apresenta a série de dados mais longa dentre as estações analisadas. As estatísticas isoladas de cada uma das estações podem ser observadas nos Gráficos 4, 5 e 6, respectivamente.

Gráfico 4 - Dados referentes à máxima precipitação diária anual dos anos considerados aceitáveis da estação Peres (1551002).



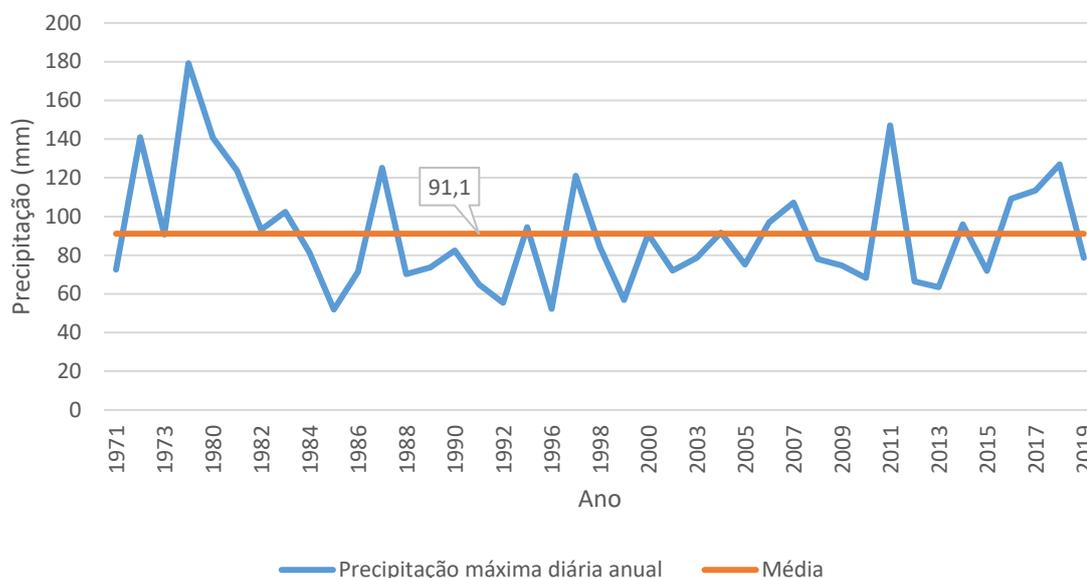
FONTE: O autor (2021).

Gráfico 5 - Dados referentes à máxima precipitação diária anual dos anos considerados aceitáveis da estação Barra do Garças (1552000).



FONTE: O autor (2021).

Gráfico 6 - Dados referentes à máxima precipitação diária anual dos anos considerados aceitáveis da estação Aragarças (83368).



FONTE: O autor (2021).

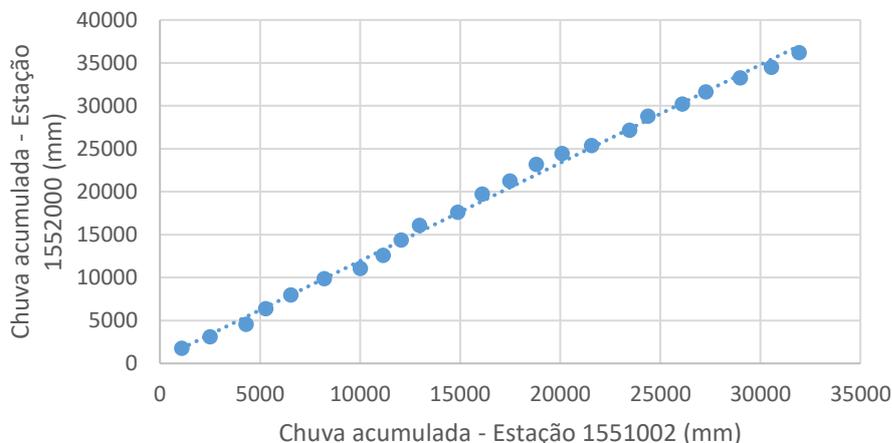
Conforme Naghettini e Pinto (2007), as tendências de “salto” das séries pluviométricas podem ser explicadas pelas variações naturais do clima, ou ainda, alterações causadas pela ação humana. Os autores ainda explicam que essa tendência de salto nas precipitações máximas diárias anuais, apesar de aparentemente aleatória, possui uma certa periodicidade ao longo do tempo.

Ainda, uma vez que a estação pluviométrica Barra do Garças (1552000) e a estação pluviométrica Aragarças (83368) estão localizadas a menos de 3 km de distância, em perímetro urbano, optou-se por utilizar os dados destes postos. A distância entre estas estações pode ser observada no Apêndice B.

No entanto, a fim de definir uma série de dados mais longa e cobrir os anos de falha, utilizou-se também a estação Peres, localizada a cerca de 44 km das estações localizadas no município de Aragarças – GO.

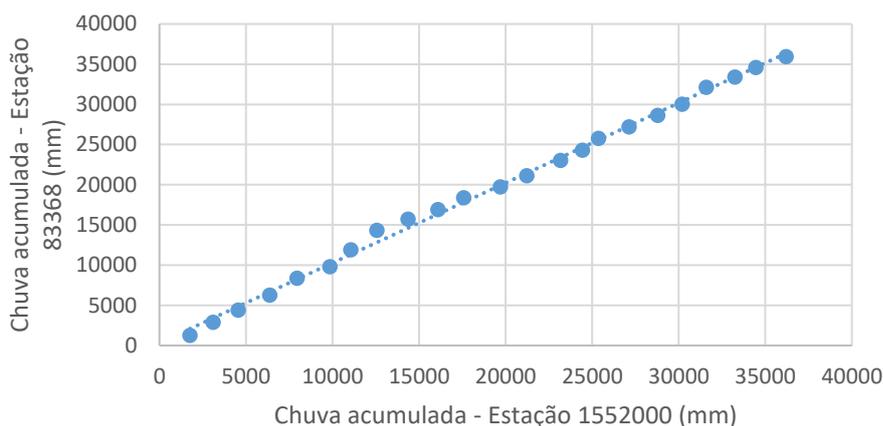
A análise de consistência das chuvas acumuladas, para os anos selecionados para a análise, entre as estações, é apresentada nos Gráficos 7, 8 e 9.

Gráfico 7 – Relação entre precipitações acumuladas, para os anos em que os dados foram considerados aceitáveis, entre as estações Peres e Barra do Garças.



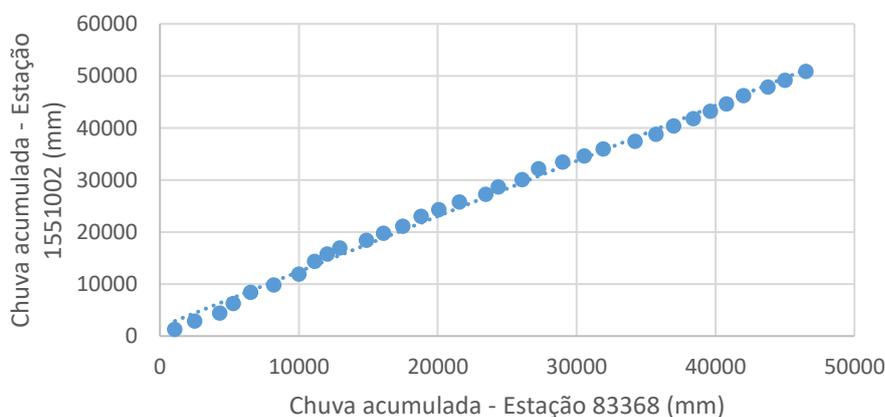
FONTE: O autor (2021).

Gráfico 8 - Relação entre precipitações acumuladas, para os anos em que os dados foram considerados aceitáveis, entre as estações Barra do Garças e Aragarças.



FONTE: O autor (2021).

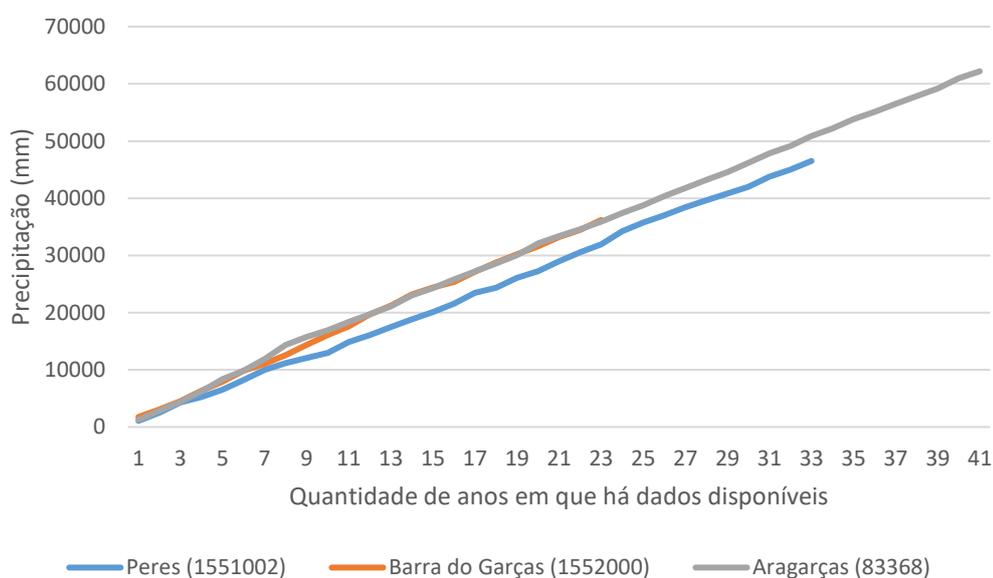
Gráfico 9 - Relação entre precipitações acumuladas, para os anos em que os dados foram considerados aceitáveis, entre as estações Peres e Aragarças.



FONTE: O autor (2021).

A partir dos Gráficos 7, 8 e 9, nota-se que há concomitância entre os dados das estações em relação às precipitações anuais acumuladas, e que as estações possuem uma correlação de chuvas acumuladas, como sugerem Collischonn e Dornelles (2015). Ao visualizar os gráficos gerados, entende-se que há uma tendência de os dados de precipitação se relacionarem de forma proporcional entre situações. Para analisar conjuntamente as estações a serem utilizadas para estender a série de dados de Aragarças (83368), as precipitações anuais acumuladas dos anos com dados considerados aceitáveis, para as combinações de estações, foram plotadas no Gráfico 10.

Gráfico 10 - Relação entre as precipitações anuais acumuladas das estações Peres, Barra do Garças e Aragarças.



FONTE: O autor (2021).

No Gráfico 10, é possível observar que as estações Barra do Garças (1552000) e Aragarças (83368), por estarem ambas localizadas em perímetro urbano e a uma distância próxima, apresentaram dados de acumulação muito semelhantes, de modo que as curvas que relacionam a precipitação acumulada chegam a se sobreporem em vários trechos. Por outro lado, a estação Peres (1551002), por estar localizada em um ponto mais distante fora da zona urbana, apresentou dados de acumulação de chuvas de menor valor, porém, pode-se observar que as três retas traçadas apresentam mesma inclinação, sugerindo, de acordo com Gomes (2011), a homogeneidade dos dados.

4.2 OBTENÇÃO DOS DADOS DE PRECIPITAÇÃO

Para a obtenção das precipitações diárias necessárias para iniciar as análises, foi escolhida como principal fonte de dados a estação Aragarças (83368), por ser aquela que apresenta registros de precipitação maiores do que 30 anos. Quanto maior o período de amostra, melhores tendem a ser as estimativas pluviométricas.

Primeiramente, a fim de cobrir as falhas da estação 83368, foram selecionados os dados das outras duas estações habilitadas para o estudo, estação Peres e estação Barra do Garças. De acordo com Freitas (2016), muito raramente os postos funcionam sem perdas de dados, não possuindo, muitas vezes, uma série de dados contínua o suficiente para que seja possível construir uma curva IDF utilizando dados somente de uma única estação.

Após constatada a homogeneidade dos dados no Gráfico 10, foram adotados, como critério de escolha para obtenção da série de anos, dados da estação 83368 e das outras estações que possuíssem sequência cronológica contínua, e que possuíssem a menor perda de dados possível. Portanto, após analisar a consistência das séries de dados apresentados no Apêndice A, a seguinte sequência, apresentada na Tabela 10, foi escolhida.

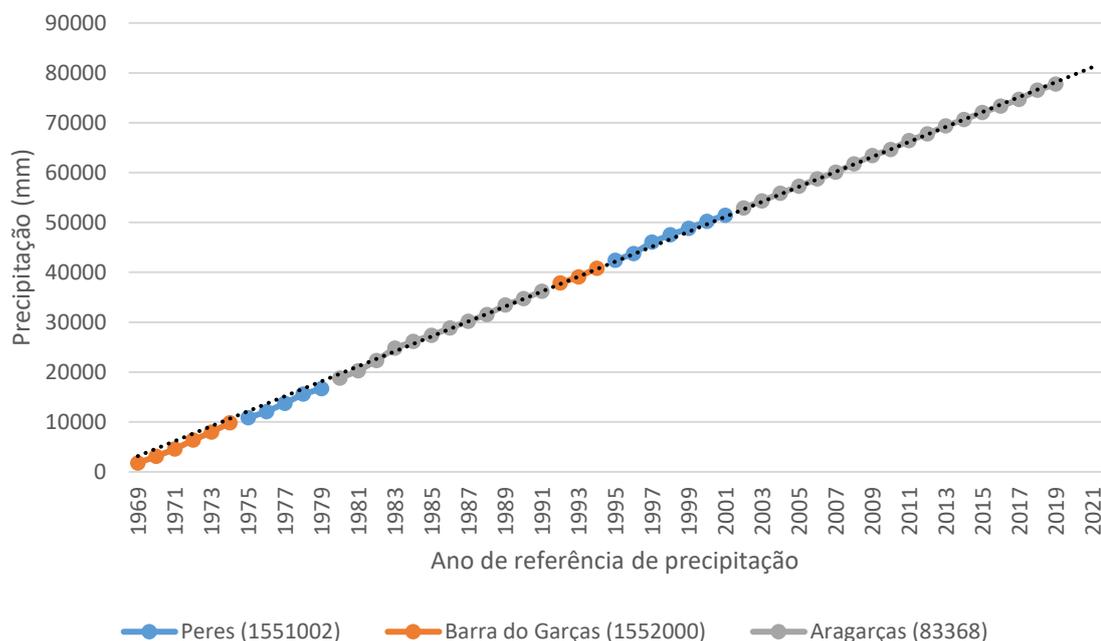
Tabela 10 - Escolha das estações de acordo com a consistência dos dados de precipitação.

ANOS	ESTAÇÃO ESCOLHIDA	NOME
1969-1974	1552000	Barra do Garças
1975-1979	1551002	Peres
1980-1991	83368	Aragarças
1992-1994	1552000	Barra do Garças
1995-2001	1551002	Peres
2002-2019	83368	Aragarças

FONTE: O autor (2021).

Para se confirmar a consistência dos dados, o Gráfico 11 foi elaborado a fim de relacionar as precipitações escolhidas para compor a série histórica, considerando as chuvas anuais acumuladas de cada ano relacionado a cada estação escolhida.

Gráfico 11 - Precipitações acumuladas relacionando os anos das séries históricas e as respectivas estações escolhidas.



FONTE: O autor (2021).

Observa-se, no Gráfico 11, que os dados acumulados utilizados possuem comportamento aproximadamente linear, comprovando a homogeneidade das estações. Com o preenchimento de falhas utilizando-se as três estações do estudo, obteve-se, por fim, uma série de 51 anos de informações para o estudo, entre os anos de 1969 e 2019. Após definidas as estações de referência para as séries históricas procedeu-se à análise de precipitações máximas de cada ano considerado.

Em um primeiro momento, foram analisados os dados pluviométricos anuais das estações estudadas, sendo que, para cada ano, foi escolhido o maior valor de precipitação diária observado. Com base nos dados obtidos, foi gerada a Tabela 11, descrevendo as precipitações máximas diárias anuais que serão usadas de referência para prosseguir a análise de dados.

Tabela 11 - Precipitações máximas obtidas para os anos analisados.

ANO	PRECIPITAÇÃO MÁXIMA (mm)	ANO	PRECIPITAÇÃO MÁXIMA (mm)
1969	83,0	1995	100,4
1970	52,0	1996	121,4
1971	75,0	1997	120,2
1972	161,0	1998	144,2
1973	106,0	1999	144,7
1974	120,0	2000	95,2
1975	70,2	2001	54,6
1976	56,2	2002	72,0
1977	90,2	2003	78,7
1978	95,0	2004	91,7
1979	48,0	2005	75,1
1980	140,6	2006	97,0
1981	123,6	2007	107,2
1982	93,2	2008	77,9
1983	102,4	2009	74,6
1984	81,4	2010	68,2
1985	51,9	2011	147,1
1986	71,4	2012	66,4
1987	125,2	2013	63,4
1988	70,2	2014	96,0
1989	73,7	2015	71,9
1990	82,4	2016	109,2
1991	65,0	2017	113,4
1992	98,0	2018	127,0
1993	88,2	2019	78,6
1994	92,0		

FONTE: O autor (2021).

Depois de obtidos os dados da Tabela 11, procedeu-se para a análise estatística das chuvas. Primeiramente, foram gerados os parâmetros de média das precipitações máximas diárias anuais (\bar{X}) e desvio padrão (S) das precipitações máximas diárias, a fim de possibilitar a análise pela distribuição de Gumbel a partir da Equação 01, por meio da determinação dos coeficientes de escala (α) e de posição (β). Os valores necessários para realizar a distribuição de Gumbel e os valores de precipitação obtidos para cada tempo de retorno analisado podem ser observados nas **Erro! Fonte de referência não encontrada.** e 13, respectivamente.

Tabela 12 - Valores de média, desvio padrão, e parâmetros da distribuição de Gumbel calculados a partir da série de dados obtidos na Tabela 11.

MÉDIA (\bar{X})	DESVIO PADRÃO (S)	ESCALA (α)	POSIÇÃO (β)
92,39	27,47	0,047	80,030

FONTE: O autor (2021).

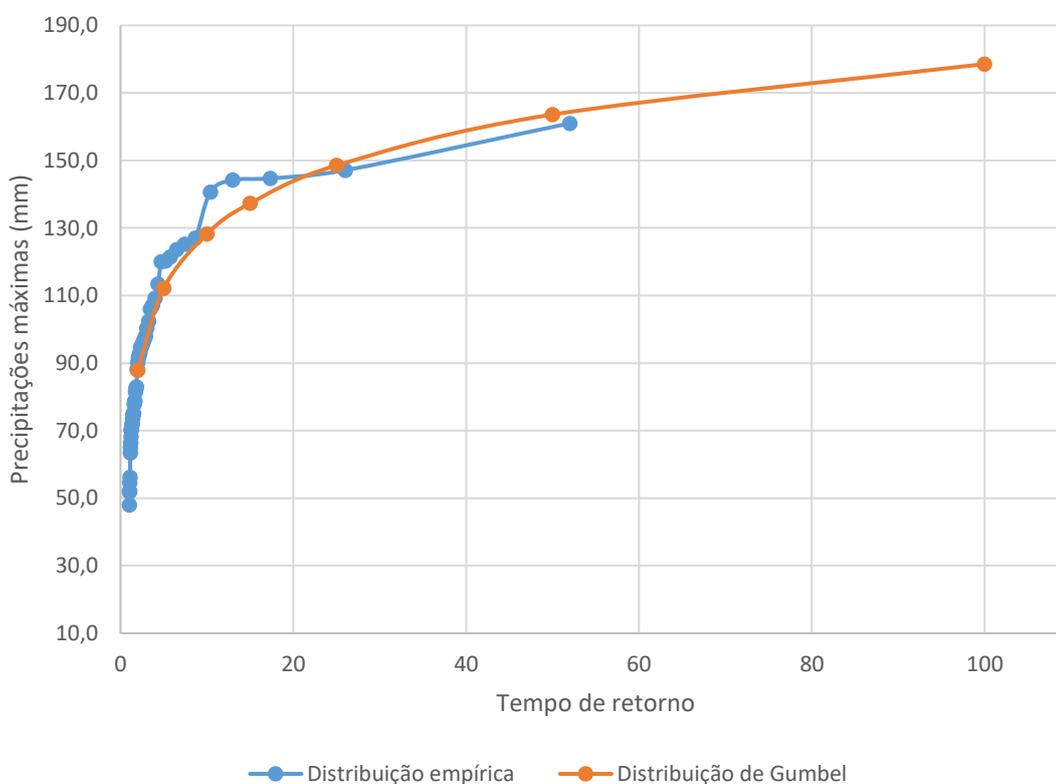
Tabela 13 – Aplicação da distribuição de Gumbel na série de dados de precipitação máxima diária obtidos.

TEMPO DE RETORNO	x_i
2	87,88
5	112,15
10	128,23
15	137,29
25	148,53
50	163,60
100	178,55

FONTE: O autor (2021).

Para uma melhor visualização da distribuição de Gumbel apresentada na Tabela 13, foi elaborado o Gráfico 12, no qual foram comparadas a frequência de Gumbel, calculada por meio da Equação 01, e a distribuição empírica de frequência ajustada pelo método de Kimball ($F = m/(n + 1)$, onde m é a ordem do evento e n é o número de dados), cujo tempo de retorno é definido pela equação $T = 1/F$.

Gráfico 12 - Comparação entre a distribuição empírica de precipitação e a distribuição de Gumbel.



FONTE: O autor (2021).

É possível observar, no Gráfico 12, que a distribuição de Gumbel possibilita um modelo de precipitação mais homogêneo que um modelo empírico, que exhibe, de acordo com Alves *et al.* (2013), resultados genéricos de frequência e tempo de retorno, possuindo uma boa distribuição para tempos de retorno menores. Assim, conclui-se que a curva gerada pela equação de Gumbel proporciona, portanto, um melhor ajuste aos dados, pois a distribuição empírica favorece apenas tempos de retorno menores que 5 anos.

4.3 DESAGREGAÇÃO DAS CHUVAS

Obtidos os dados de precipitação por meio da distribuição de Gumbel relativos a cada período de retorno analisado, procedeu-se à desagregação das chuvas, utilizando os coeficientes da Tabela 3. A Tabela 14 foi elaborada aplicando-se os coeficientes de desagregação para as durações das chuvas de 5, 10, 15, 20, 25, 30, 60, 360, 480, 600, 720 e 1440 minutos.

Tabela 14 - Desagregação das chuvas para precipitações máximas diárias em mm a partir dos dados obtidos na distribuição de Gumbel.

TEMPO DE DURAÇÃO (MIN)	TEMPO DE RETORNO (ANOS)						
	2	5	10	15	25	50	100
1440	100,18	127,86	146,18	156,51	169,33	186,50	203,55
720	85,16	108,68	124,25	133,04	143,93	158,53	173,02
600	82,15	104,84	119,87	128,34	138,85	152,93	166,91
480	78,14	99,73	114,02	122,08	132,08	145,47	158,77
360	72,13	92,06	105,25	112,69	121,92	134,28	146,56
60	42,08	53,70	61,39	65,74	71,12	78,33	85,49
30	31,14	39,74	45,43	48,64	52,63	57,96	63,26
25	28,33	36,16	41,34	44,27	47,89	52,75	57,57
20	25,22	32,19	36,80	39,40	42,63	46,95	51,24
15	21,80	27,82	31,80	34,05	36,84	40,58	44,28
10	16,81	21,46	24,53	26,27	28,42	31,30	34,16
5	10,59	13,51	15,45	16,54	17,89	19,71	21,51

FONTE: O autor (2021).

Baseada na Tabela 14, foi possível então determinar a intensidade das chuvas para cada duração e cada período de retorno, dessa vez em mm/h. Os dados foram mostrados na Tabela 15.

Tabela 15 – Intensidade das chuvas, em mm/h, a partir da desagregação dos dados de precipitação obtidos na distribuição de Gumbel.

TEMPO DE DURAÇÃO (H)	TEMPO DE RETORNO (ANOS)						
	2	5	10	15	25	50	100
24	4,17	5,33	6,09	6,52	7,06	7,77	8,48
12	7,10	9,06	10,35	11,09	11,99	13,21	14,42
10	8,21	10,48	11,99	12,83	13,88	15,29	16,69
8	9,77	12,47	14,25	15,26	16,51	18,18	19,85
6	12,02	15,34	17,54	18,78	20,32	22,38	24,43
1	42,08	53,70	61,39	65,74	71,12	78,33	85,49
0,50	62,27	79,48	90,86	97,29	105,25	115,93	126,53
0,42	68,00	86,79	99,22	106,24	114,94	126,59	138,17
0,33	75,66	96,56	110,40	118,21	127,88	140,85	153,73
0,25	87,18	111,27	127,21	136,21	147,36	162,30	177,14
0,17	100,88	128,75	147,20	157,61	170,51	187,81	204,97
0,08	127,04	162,13	185,36	198,47	214,72	236,50	258,11

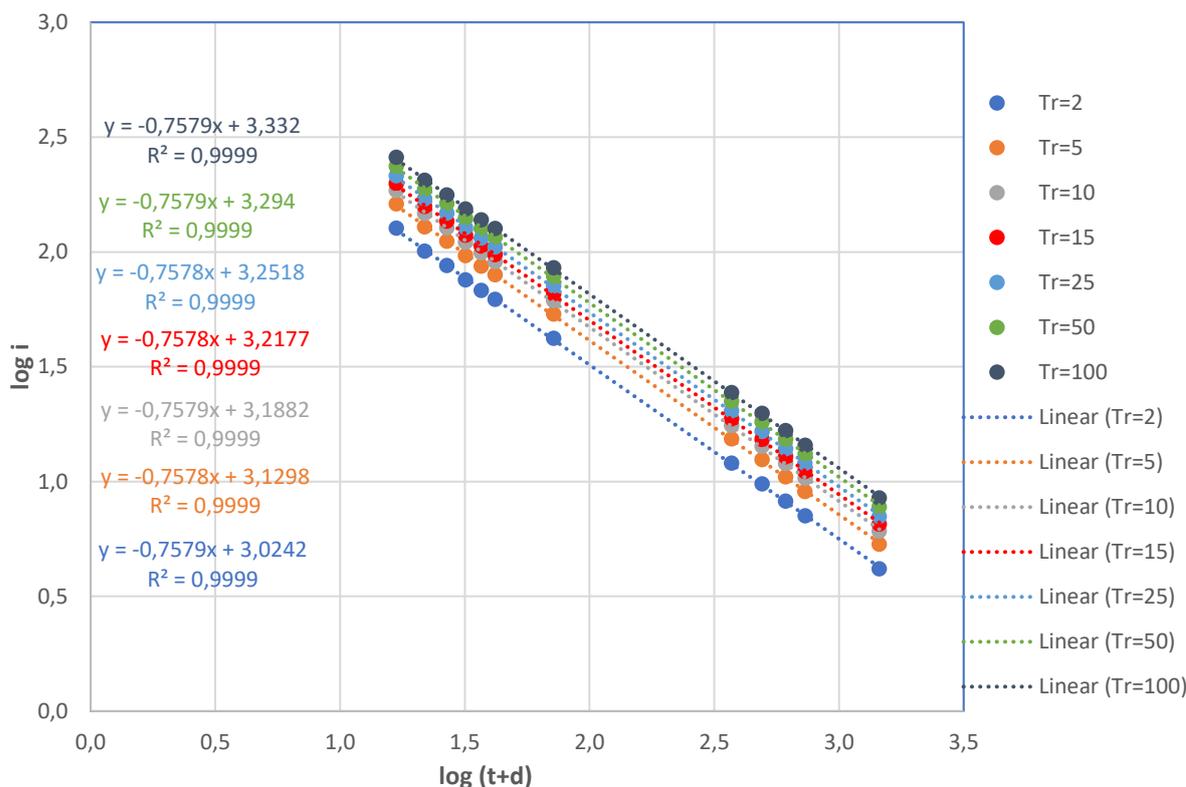
FONTE: O autor (2021).

Na Tabela 15 é possível observar as intensidades das precipitações de acordo com a duração e o tempo de retorno. Também é possível concluir que, quanto menor a duração e maior o tempo de retorno, maior será a precipitação máxima de projeto a ser adotada quando são utilizadas equações que dependem de precipitações ao longo dos anos.

4.4 OBTENÇÃO DOS PARÂMETROS DA EQUAÇÃO IDF

Após obtidos os dados de desagregação das chuvas, utilizou-se as intensidades de precipitação, em mm/h, da Tabela 15, para proceder à linearização dos valores para obter os parâmetros b , n e $\log C$ da Equação 07. Os resultados do Gráfico 13 mostram a linearização das equações, mostrando os parâmetros da reta para cada tempo de retorno.

Gráfico 13 - linearização da intensidade (i), duração (t) e parâmetro d para a série histórica de precipitação.



FONTE: O autor (2021).

Portanto, a partir do Gráfico 13, foi possível obter os valores de n e de $\log C$, conforme a Equação 07, sendo estes valores apresentados na Tabela 16.

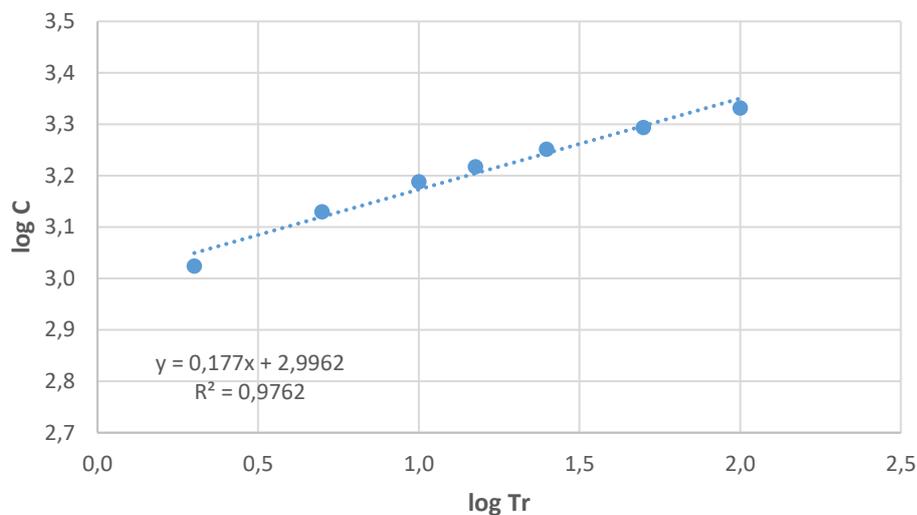
Tabela 16 - Valores obtidos para os parâmetros e $\log C$, n e d necessários à definição da curva IDF.

Tr	$\log C$	C	n	d
2	3,0242	1057,2991	0,7579	11,8248
5	3,1298	1348,3391	0,7578	11,8119
10	3,1882	1542,4595	0,7579	11,8212
15	3,2177	1650,7829	0,7578	11,8131
25	3,2518	1785,6514	0,7578	11,8120
50	3,2940	1967,6919	0,7579	11,8189
100	3,3320	2147,6027	0,7579	11,8208

FONTE: O autor (2021).

Determinado o valor de $\log C$, é possível aplicar a Equação 08 para encontrar os parâmetros m e $\log k$. O Gráfico 14 representa a linearização da equação 08 para os tempos de retorno estudados.

Gráfico 14 - Linearização dos valores $\log Tr$ e $\log C$ para a obtenção dos parâmetros m e $\log k$.



FONTE: O autor (2021).

A partir dos dados obtidos, foi montada a Tabela 17, em que são apresentados os valores de m e $\log k$ obtidos pela linearização apresentada no Gráfico 14.

Tabela 17 - Valores de m e k obtidos após a linearização da Equação 08.

m	$\log k$	k
0,1770	2,9962	991,2569

FONTE: O autor (2021).

Por fim, obtidos todos os parâmetros, é possível definir a Equação IDF para a região de estudo. Na Tabela 18 observa-se os parâmetros finais obtidos para a estação analisada, após o tratamento dos dados, sendo que os valores de n e d foram definidos, como proposto por Oliveira (2017), por meio da média aritmética dos valores encontrados na Tabela 15.

Tabela 18 - Parâmetros de ajuste para a Equação IDF.

PARÂMETRO	VALOR OBTIDO
k	991,2569
d	11,8175
m	0,1770
n	0,7579

FONTE: O autor (2021).

Dessa forma, a partir dos valores apresentados na Tabela 18, obteve-se a Equação IDF para a região das cidades de Barra do Garças – MT, Pontal do Araguaia – MT e Aragarças – GO, conforme pode ser visto nas Equação 09.

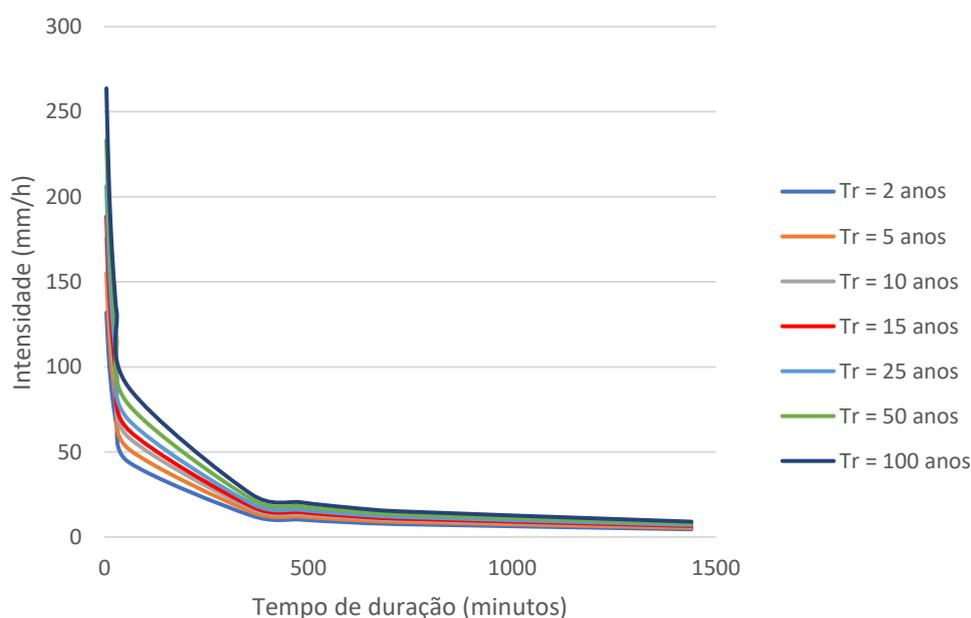
$$i = \frac{k.(Tr)^m}{(t+d)^n} \rightarrow i = \frac{991,2569.(Tr)^{0,1770}}{(t+11,8175)^{0,7579}} \quad \text{Equação (09)}$$

Assim sendo, para estimar a intensidade de uma chuva de projeto, em mm/h, é necessário somente inserir o tempo de duração da chuva (t), em minutos, e o seu respectivo tempo de retorno ou tempo de recorrência (Tr), em anos.

4.5 ELABORAÇÃO DAS CURVAS IDF

A forma mais comum de apresentação das curvas IDF é por meio de um gráfico relacionando as três variáveis: intensidade, duração e tempo de retorno, evidenciando o comportamento típico das curvas. O Gráfico 15 exibe a Curva IDF, para durações até 1440 minutos, elaborada a partir da Equação IDF encontrada na forma da Equação 09.

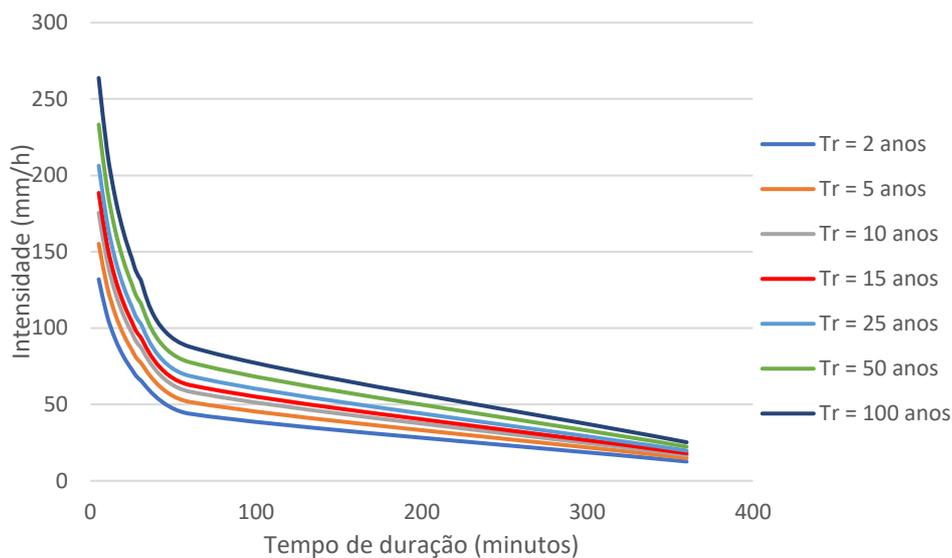
Gráfico 15 - Curva IDF para tempos de duração até 1440 minutos.



FONTE: O autor (2021).

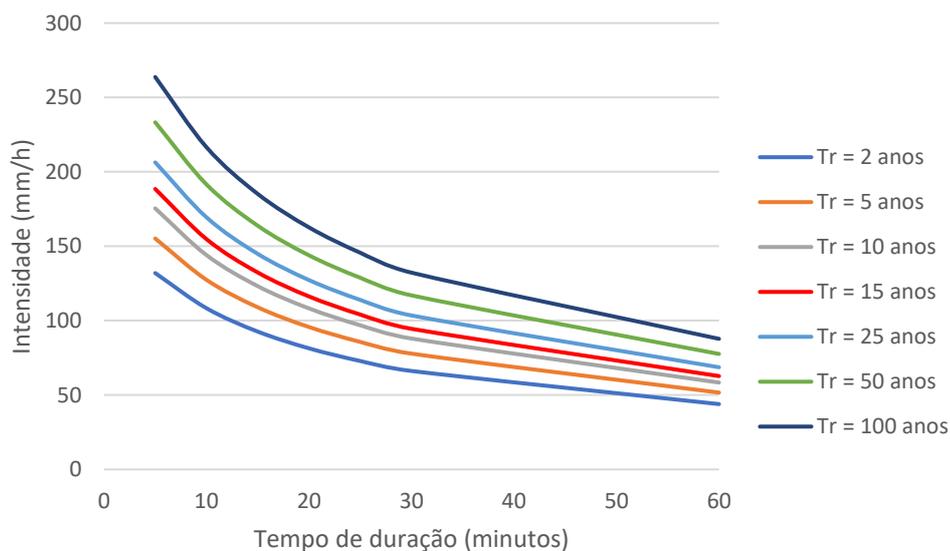
Como é possível observar no Gráfico 15, quando a curva IDF é feita para uma duração de 1440 minutos, a visualização torna-se difícil, pois as curvas tendem a se sobrepor em grandes escalas de tempo. Tendo isso em vista, os Gráficos 16 e 17 foram elaborados, desta vez com a duração máxima de 360 minutos e 60 minutos, respectivamente.

Gráfico 16 - Curva IDF para tempos de duração até 360 minutos.



FONTE: O autor (2021).

Gráfico 17 - Curva IDF para tempos de duração até 60 minutos.



FONTE: O autor (2021).

A partir do Gráfico 16 é possível perceber que as maiores variações de intensidade das precipitações ocorrem, aproximadamente, entre os tempos de 5 minutos e 60 minutos, enquanto, para tempos maiores, as variações de intensidade das chuvas tendem a ser menores.

4.6 TESTE DE ADERÊNCIA DA EQUAÇÃO IDF PROPOSTA

Para avaliar a validação da equação proposta, utilizou-se o índice de concordância proposto por Willmott para avaliar o ajustamento dos valores de precipitação obtidos a partir da Equação 09, para cada tempo de retorno.

Utilizando-se a Equação 04, onde os valores observados são aqueles obtidos pela desagregação de chuvas, dispostos na Tabela 15, e os valores estimados são aqueles calculados pela Equação 09, chegou-se à Tabela 19.

Tabela 19 - Valores dos índices de concordância, para cada tempo de retorno e duração analisado.

TEMPO DE RETORNO	\bar{o}	d (%)
2	50,37	99,08
5	64,28	99,80
10	73,49	99,64
15	78,69	99,70
25	85,13	99,85
50	93,76	99,94
100	102,33	99,51

FONTE: O autor (2021).

Assim sendo, de acordo com a classificação proposta pela Tabela 2, todos os índices calculados na Tabela 19 encontram-se na faixa denominada “ótimo”, evidenciando um bom ajuste da Equação IDF proposta para a região das cidades de Barra do Garças – MT, Pontal do Araguaia – MT e Aragarças – GO.

4.7 COMPARAÇÃO ENTRE AS CHUVAS DESAGREGADAS E AS CHUVAS OBTIDAS PELA EQUAÇÃO IDF PROPOSTA

Neste tópico, foram analisadas as diferenças entre as intensidades geradas entre a equação IDF, proposta na forma da Equação 09, e os dados observados na

desagregação das chuvas, discriminados na Tabela 15, para um mesmo período de retorno e a mesma duração, verificado o grau de magnitude destas diferenças.

Por meio da Tabela 20 é possível observar as diferenças, em valores reais, das intensidades das chuvas desagregadas apresentadas na forma da Tabela 15 e das intensidades calculadas a partir da Equação 09.

Tabela 20 - Valores globais das diferenças de intensidade (mm/h) entre as chuvas obtidas pela desagregação e as chuvas obtidas pela Equação IDF proposta.

TEMPO DE DURAÇÃO (MIN)	TEMPO DE RETORNO (ANOS)						
	2	5	10	15	25	50	100
1440	↑ 0,32	↓ -0,04	↓ -0,11	↓ -0,10	↓ -0,02	↑ 0,18	↑ 0,51
720	↑ 0,46	↓ -0,16	↓ -0,30	↓ -0,29	↓ -0,17	↑ 0,15	↑ 0,69
600	↑ 0,44	↓ -0,30	↓ -0,47	↓ -0,46	↓ -0,34	↑ 0,02	↑ 0,62
480	↑ 0,45	↓ -0,45	↓ -0,67	↓ -0,66	↓ -0,53	↓ -0,12	↑ 0,57
360	↑ 0,61	↓ -0,49	↓ -0,75	↓ -0,74	↓ -0,57	↓ -0,05	↑ 0,82
60	↑ 1,84	↓ -2,05	↓ -3,00	↓ -3,00	↓ -2,44	↓ -0,69	↑ 2,28
30	↑ 3,89	↓ -1,66	↓ -2,89	↓ -2,77	↓ -1,79	↑ 1,04	↑ 5,71
25	↑ 4,87	↓ -1,08	↓ -2,33	↓ -2,14	↓ -0,99	↑ 2,23	↑ 7,47
20	↑ 5,73	↓ -0,84	↓ -2,18	↓ -1,93	↓ -0,61	↑ 3,04	↑ 8,94
15	↑ 5,47	↓ -2,30	↓ -4,02	↓ -3,85	↓ -2,47	↑ 1,50	↑ 8,04
10	↑ 7,46	↓ -1,33	↓ -3,15	↓ -2,84	↓ -1,10	↑ 3,72	↑ 11,55
5	↑ 4,93	↓ -6,93	↓ -9,90	↓ -9,95	↓ -8,36	↓ -3,20	↑ 5,63

LEGENDA	
↑	- Valor superestimado
↓	- Valor subestimado

FONTE: O autor (2021).

Na Tabela 20 é possível observar que as maiores diferenças, em números absolutos, ocorrem para tempos de duração das chuvas menores ou iguais a 60 minutos. Esses erros podem indicar, por exemplo, que os coeficientes de desagregação de chuvas para pequenas durações propostos pela CETESB possam estar desatualizados, como também sugerido por Freitas (2016). A partir da Tabela 21, pode-se ver a diferença entre os valores obtidos pela desagregação e os valores estimados pela Equação IDF proposta, desta vez em de forma percentual.

Tabela 21 – Valores, em porcentagem, das diferenças entre as chuvas obtidas pela desagregação e as chuvas obtidas pela Equação IDF proposta.

TEMPO DE DURAÇÃO (MIN)	TEMPO DE RETORNO (ANOS)						
	2	5	10	15	25	50	100
1440	7,76%	-0,69%	-1,80%	-1,46%	-0,30%	2,33%	6,00%
720	6,54%	-1,82%	-2,92%	-2,58%	-1,43%	1,17%	4,80%
600	5,41%	-2,86%	-3,95%	-3,62%	-2,48%	0,10%	3,69%
480	4,61%	-3,60%	-4,68%	-4,35%	-3,22%	-0,67%	2,90%
360	5,06%	-3,18%	-4,27%	-3,94%	-2,80%	-0,23%	3,34%
60	4,37%	-3,82%	-4,89%	-4,56%	-3,44%	-0,89%	2,67%
30	6,25%	-2,09%	-3,18%	-2,85%	-1,70%	0,90%	4,52%
25	7,16%	-1,25%	-2,35%	-2,02%	-0,86%	1,76%	5,41%
20	7,58%	-0,87%	-1,97%	-1,63%	-0,47%	2,16%	5,82%
15	6,28%	-2,06%	-3,16%	-2,82%	-1,68%	0,92%	4,54%
10	7,39%	-1,04%	-2,14%	-1,80%	-0,65%	1,98%	5,64%
5	3,88%	-4,27%	-5,34%	-5,02%	-3,89%	-1,35%	2,18%

FONTE: O autor (2021).

Como é possível observar a partir das Tabelas 20 e 21, apesar de a maior variação absoluta ser de 11,55 mm/h, para duração de 5 minutos e tempo de retorno de 100 anos, este valor representa uma variação de 5,64% em relação ao valor obtido na desagregação, de acordo com a Tabela 21. Por outro lado, a maior variação em porcentagem obtida na Tabela 21, de 7,76%, referente à duração de 24 horas e tempo de retorno de 2 anos, representa uma variação de 0,32 mm/h em valores reais de intensidade.

A subestimação dos valores, observada principalmente para os tempos de retorno de 10, 15 e 25 anos, pode subdimensionar estruturas hidráulicas, causando-lhes falhas, a depender da magnitude do valor absoluto de variação. Os erros, porém, não impossibilitam o uso da equação IDF proposta, quando apresentando valores razoáveis, considerados, por Freitas (2016) aqueles inferiores a 10%.

A superestimação dos valores, observada principalmente para os tempos de retorno de 2 e de 100 anos, por outro lado, pode levar ao superdimensionamento das estruturas hidráulicas, podendo causar prejuízos, sobretudo de ordem financeira.

4.8 COMPARAÇÃO ENTRE A EQUAÇÃO IDF OBTIDA E A EQUAÇÃO DISPOSTA NA LITERATURA

As variações nos parâmetros das equações IDF dentro de uma mesma região podem ser dar em função da variabilidade dos eventos hidrológicos, do tamanho da amostra e de outras características que são consequências da urbanização, como a poluição e as mudanças climáticas, modificando as condições iniciais analisadas, prejudicando a comparação.

Oliveira *et al.* (2011) propôs, ao avaliar várias estações pluviométricas localizadas no Estado de Mato Grosso, equações IDF isoladas para a área de cada estação analisada. Uma das estações analisadas, a estação Barra do Garças (1552000), apresentou a seguinte equação IDF, proposta pelos autores:

$$i = \frac{1023,1751.(Tr)^{0,1124}}{(t+ 9,7853)^{0,7242}} \quad \text{Equação (10)}$$

Pode-se observar, ao comparar as Equações 09 e 10, que houve ligeira variação entre os parâmetros da equação. A análise nominal e percentual da diferença dos valores pode ser observada na Tabela 22.

Tabela 22 - Análise da diferença entre parâmetros da equação IDF propostos no presente trabalho e os parâmetros propostos por Oliveira *et al.* (2011)

PARÂMETRO	COEFICIENTE PROPOSTO NO TRABALHO	COEFICIENTE PROPOSTO POR OLIVEIRA <i>et al.</i> (2011)	DIFERENÇA NOMINAL	DIFERENÇA PERCENTUAL (%)
<i>k</i>	991,2569	1023,1751	31,9182	3,2200
<i>d</i>	11,8175	9,7853	2,0322	17,1965
<i>m</i>	0,177	0,1124	0,0646	36,4972
<i>n</i>	0,7579	0,7242	0,0337	4,4465

FONTE: O autor (2021).

Como se pôde observar na Tabela 22, na análise das variações entre os coeficientes, houve diferenças variando de 3,22% a 36,50%, o que pode ser justificado pela desigualdade de amostragem dos anos utilizados nos estudos.

O trabalho proposto por Oliveira *et al.* (2011), ao analisar somente a estação Barra do Garças (155200), que apresenta dados de medição de precipitação somente

entre os anos de 1969 a 1994, reduziu de forma significativa a amostra de estudo e gerando coeficientes diferentes do proposto no presente trabalho.

Ao utilizar o mesmo método para a proposição da nova equação IDF, utilizando uma base maior de dados ao se incorporar a Estação Aragarças (83368), do INMET, fica evidente que a diferença entre as equações se dá exclusivamente pela série de dados de precipitação adotada. Pode-se dizer, então, que a equação proposta no presente estudo é uma atualização da equação IDF da região.

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A análise dos dados pluviométricos disponibilizados pela Agência Nacional de Águas – ANA e o Instituto Nacional de Meteorologia – INMET possibilitou a obtenção de uma equação IDF regionalizada para as cidades de Barra do Garças – MT, Pontal do Araguaia – MT e Aragarças – GO, conforme o objetivo inicialmente proposto.

Para isso, a utilização do método da distribuição de Gumbel, junto ao método de desagregação de chuvas proposto pelo CETESB mostraram-se adequados para o tratamento dos dados pluviométricos obtidos das estações, alcançando índices de concordância dos valores superiores a 85%, valor classificado como “ótimo” pela metodologia proposta.

A comparação entre a equação IDF proposta e os dados obtidos pela desagregação de chuvas mostrou-se adequada, já que a diferença máxima observada, em porcentagem, foi de 7,76%. Essas diferenças, quando muito elevadas, podem superdimensionar ou subdimensionar significativamente uma estrutura, o que não é o caso, já que, em nenhum caso, chegou-se a diferenças maiores que 10%.

Portanto, ao se determinar os coeficientes da equação IDF e gerar as curvas IDF a partir da equação proposta, os objetivos específicos do presente trabalho foram alcançados, podendo contribuir, no futuro, com a comunidade técnica e pública, já que o estudo se mostrou adequado ao seu fim.

Como recomendações para estudos futuros, propõe-se que sejam comparadas a equação IDF proposta com outros métodos de determinação de chuvas intensas. Também se recomenda que os dados disponíveis sejam analisados por métodos mais recentes, além de realizar outras formas de validação, visando a manutenção da eficiência e o aperfeiçoamento da equação proposta.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA, 2021. **Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH)**. Disponível em: <<https://www.snirh.gov.br/hidroweb/apresentacao>>. Acesso em: 30 set. 2021.
- ALVES, A. V. P., SANTOS, G. B. d. S., FILHO, F. C. M. d. M. & SANCHES, L., 2013. **Análise dos métodos de estimativa para os parâmetros das distribuições de Gumbel e GEV em eventos de precipitações máximas na cidade de Cuiabá-MT**. REEC - Revista Eletrônica de Engenharia Civil, Volume 6, nº 1, pp. 32-43. Disponível em: <<https://www.revistas.ufg.br/index.php/reec/article/view/21635>>. Acesso em: 02 out. 2021.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 10.844: Instalações prediais de águas pluviais**. Rio de Janeiro: ABNT, 1989.
- BACK, Á. J., 2002. **Chuvas intensas e chuva de projeto de drenagem superficial no Estado de Santa Catarina**. Florianópolis, EPAGRI. Boletim Técnico nº 123. Disponível em: <<https://publicacoes.epagri.sc.gov.br/RAC/article/view/1140>>. Acesso em: 03 out. 2021.
- BACK, Á. J., OLIVEIRA, J. L. R. & HENN, A., 2012. **Relações entre precipitações intensas de diferentes durações para desagregação da chuva diária em Santa Catarina**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 16, n. 4, pp. 391–398. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/SmRcmccJSZnpGrvSbXqJwPt/?lang=pt>>. Acesso em: 03 out. 2021.
- BASSO, E., ALLASIA, D. G., TASSI, R. & PICKBRENNER, K., 2016. **Revisão das isozonas de chuvas intensas do Brasil**. Eng Sanit Ambient, V. 21, n.4. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/esa/a/gvTWtTJsRtbmy95cgLYcjC5y/abstract/?lang=pt>>. Acesso em: 02 out. 2021.
- BELL, F. C. **Generalized rainfall-duration-frequency relationships**. Journal of the Hydraulics Division, v. 95, p. 311–328, 1969.
- BRAGA, V. d. S., 2018. **Uso do método fuzzy c-means para o agrupamento de estações pluviométricas na regionalização de equações de chuvas intensas**. Curitiba (PR). Trabalho Final de Curso (Curso de Engenharia Civil) - Departamento de Hidráulica e Saneamento da Universidade Federal do Paraná.

CAMPOS, A. R. SANTOS, G. G.; SILVA, J. B. L.; IRENE FILHO, J.; LOURA, D. d. S., 2014. **Equações de intensidade-duração-frequência de chuvas para o estado do Piauí**. Revista Ciência Agronômica, v. 45, n. 3, pp. p. 488-498. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rca/a/gpg3YZG4dtWdj7XYRmC49CQ/?lang=pt>> Acesso em: 30 set. 2021.

CARDOSO, J. d. C., 2021. **Estudo Das Chuvas Intensas Na Região Metropolitana De Belo Horizonte Sob A Ótica Da Equação Intensidade-Duração-Frequência (IDF)**. Ouro Preto (MG). Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) - Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto. Disponível em: <<https://monografias.ufop.br/handle/35400000/3423>>. Acesso em: 09 out. 2021.

CEMADEN, 2017. **Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais**. Disponível em: <<http://www2.cemaden.gov.br/estacoes-hidrologicas/>>. Acesso em: 30 set. 2021.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO - CETESB. **Drenagem urbana: Manual de projeto**. 3. ed. São Paulo, 1986.

EPA, 1998. **Stream Corridor Restoration – principles, processes and practices**. EUA: Environmental Protection Agency.

FEITOSA JUNIOR, Jamilton Gonçalves. **Estimativa da precipitação máxima diária anual e equação de chuvas intensas para seis municípios da região sul do Brasil**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Toledo, 2018. Disponível em: <<http://repositorio.utfpr.edu.br:8080/jspui/handle/1/25301>>. Acesso em: 12 out. 2021.

FORSDYKE, A. G., 1978. **Previsão do tempo e clima**. São Paulo : Melhoramentos/Edusp.

FREITAS, E. d. S., 2016. **Determinação e comparação de curvas IDF com dados pluviográficos e pluviométricos na bacia hidrográfica experimental do riacho Guaraira- PB**. João Pessoa. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) - Centro De Tecnologia - CT, Departamento De Engenharia Civil E Ambiental, Universidade Federal Da Paraíba.

GOMES, A. O., 2011. **Modelagem estatística da precipitação: estudo de caso bacia do rio Taquarizinho / MS**. Dissertação (Mestrado em Tecnologias Ambientais) - Centro de Ciências Exatas e Tecnologia, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. 63 p. Disponível em: <<https://repositorio.ufms.br/handle/123456789/2185>>. Acesso em: 12 set. 2021.

- GONÇALVES, L. S., 2011. **Relações intensidade-duração-frequência com base em estimativas de precipitações por satélite**. Porto Alegre. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) - Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Disponível em: <<https://lume.ufrgs.br/handle/10183/49152>>. Acesso em: 05 set. 2021.
- GOOGLE. **Google Maps**. Califórnia, 2011. Disponível em: <<https://goo.gl/maps/VoThpjYbPuTqjmwr8>>. Acesso em: 12 out. 2021.
- HOLTZ, A. C. T., 1976. **Precipitação**. Em: **Hidrologia Básica**. São Paulo: Edgard Blucher, pp. 7-34.
- IBGE, 2002. **Mapa de clima do Brasil**. Disponível em: <https://atlasescolar.ibge.gov.br/images/atlas/mapas_brasil/brasil_clima.pdf>. Acesso em: 15 set. 2021.
- IBGE, 2010. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Disponível em: <www.ibge.gov.br>. Acesso em 15 set. 2021.
- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA - INMET. Ministério da Agricultura, pecuária e abastecimento. Disponível em: <<https://portal.inmet.gov.br>>. Acesso em: 12 set. 2021.
- MIRANDA, R. A. C. d., OLIVEIRA, M. V. S. d. & SILVA, D. F. d., 2010. **Ciclo hidrológico planetário: abordagens e Conceitos**. GEO UERJ v.1, n.21, pp. 109-119. Disponível em: <<https://www.e-publicacoes.uerj.br/index.php/geouerj/article/view/1461>>. Acesso em: 16 set. 2021.
- NAGHETTINI, M. & PINTO, E. J. d. A., 2007. **Hidrologia Estatística**. Belo Horizonte: CPRM. Disponível em: <<https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/454>>. Acesso em: 28 set. 2021.
- OLIVEIRA, J. P. B. d., CECÍLIO, R. A., PRUSKI, F. F. & ZANETTI, S. S., 2015. **Espacialização da erosividade das chuvas no Brasil a partir de séries sintéticas de precipitação**. Agrária - Revista Brasileira de Ciências Agrárias, vol. 10, n. 4, pp. 558-563. Disponível em: <http://www.agraria.pro.br/ojs-2.4.6/index.php?journal=agraria&page=article&op=view&path%5B%5D=agraria_v10i4a4998>. Acesso em: 01 set. 2021.
- OLIVEIRA, L. F. C. d., ANTONINI, J. C. d. A., FIORESE, A. P. & SILVA, M. A. S. d., 2008. **Métodos de estimativa de precipitação máxima para o Estado de Goiás**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.12, n. 6, pp. 620–625. Disponível em:

<<https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/Y6w5P8JL9RShqcwNcXDyqrG/?lang=pt>>. Acesso em: 04 out. 2021.

OLIVEIRA, L. F. C. d., VIOLA, M. R., PEREIRA, S. & MORAIS, N. R. d., 2011. **Modelos de predição de chuvas intensas para o estado do Mato Grosso, Brasil.** *Ambi-Agua*, Taubaté, v. 6, n. 3,, pp. p. 274-290.

OLIVEIRA, R. S., 2017. **Determinação da equação de chuvas intensas para o município de Toledo/PR.** Toledo (PR). Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Disponível em <<https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/15676>>. Acesso em: 08 set. 2021.

PINTO, E. J. d. A., 2013. **Atlas pluviométrico do Brasil: Metodologia para definição das equações Intensidade-Duração-Frequência do Projeto Atlas Pluviométrico.** Belo Horizonte. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – CPRM. Disponível em: <<https://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/handle/doc/11560>>. Acesso em: 02 out. 2021.

PINTO, N., 1976. **Ciclo hidrológico. Em: Hidrologia Básica.** São Paulo: Edgard Blucher, pp. 1-6.

REZENDE, G. B. d. M., 2015. **As cidades e as águas: uma abordagem metodológica das vulnerabilidades.** Tese (Doutorado em Recursos Naturais – PPGRN) - Centro de Tecnologia e Recursos Naturais –CTRN, Universidade Federal de Campina Grande/PB. Rondonópolis. Disponível em: <<http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/handle/riufcg/16901>>. Acesso em: 24 set. 2021.

RIGHETTO, A. M., 1998. **Hidrologia e Recursos Hídricos.** São Carlos: EDU SP.

SABINO, M., 2018. **Intensidade-Duração-Frequencia de Precipitação Máxima em Mato Grosso.** Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Física Ambiental, UFMT. pp. 13-24. Disponível em: <<https://pgfa.ufmt.br/index.php/br/utilidades/dissertacoes>>. Acesso em: 26 set. 2021.

SANTANA, N. F. J. d. & JUNIOR, M. A. B. d. S., 2020. **Desenvolvimento de Curvas Intensidade-Duração-Frequência para Dois Municípios do Sertão de Pernambuco.** *Revista Científica ANAP Brasil*, v. 13, n. 30.

SILVA, D. D. d.; PEREIRA, S. B; PRUSKI, F. F.; GOMES FILHO, F. F.; LANA, A. M. Q.; BAENA, L. G. N., 2003. **Equações De Intensidade-Duração-Freqüência da precipitação pluvial para o estado de Tocantins.** *Engenharia na agricultura*, Viçosa, v.11 n.1-4, pp. 7-14.

- SILVA, L. P. d., 2015. **Hidrologia: engenharia e meio ambiente**. 1º Ed. ed. Rio de Janeiro: Elsevier editora Ltda.
- SILVEIRA, A. L. L. d., 1993. **Ciclo hidrológico e bacia hidrográfica**. Em: **Hidrologia Ciência e Aplicação**. Porto Alegre: UFRGS, pp. 35-40.
- STEFFEN, A. P., 2018. **Estimativa e mapeamento da chuva de projeto para instalações prediais na região oeste do Paraná**. Toledo-PR 68 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Disponível em: <<http://repositorio.utfpr.edu.br:8080/jspui/handle/1/15696>>.
- TORICCO, J. J. T., 1974. **Práticas hidrológicas**. Rio de Janeiro: Transcon.
- TUCCI, C. E. M., 2001. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2. ed. ed. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- TUCCI, C. E. M., 2005. **Modelos Hidrológicos**. 2º ed. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS.
- TUCCI, C. E. M. & BERTONI, J. C., 1993. **Precipitação**. Em: **Hidrologia Ciência e Aplicação**. Porto Alegre: UFRGS, pp. 177-231.
- VAREJÃO-SILVA, M. A., 2006. **Nuvens e Meteoros**. Em: **Meteorologia e Climatologia**. Recife: Versão Digital 2, pp. 352-360.
- VILLELA, S. M. & MATTOS, A., 1975. **Precipitação**. Em: **Hidrologia Aplicada**. São Paulo: Mcgraw hill do Brasil, pp. 41-61.
- WILKEN, P. S., 1978. **Engenharia de Drenagem Superficial**. São Paulo: CETESB.

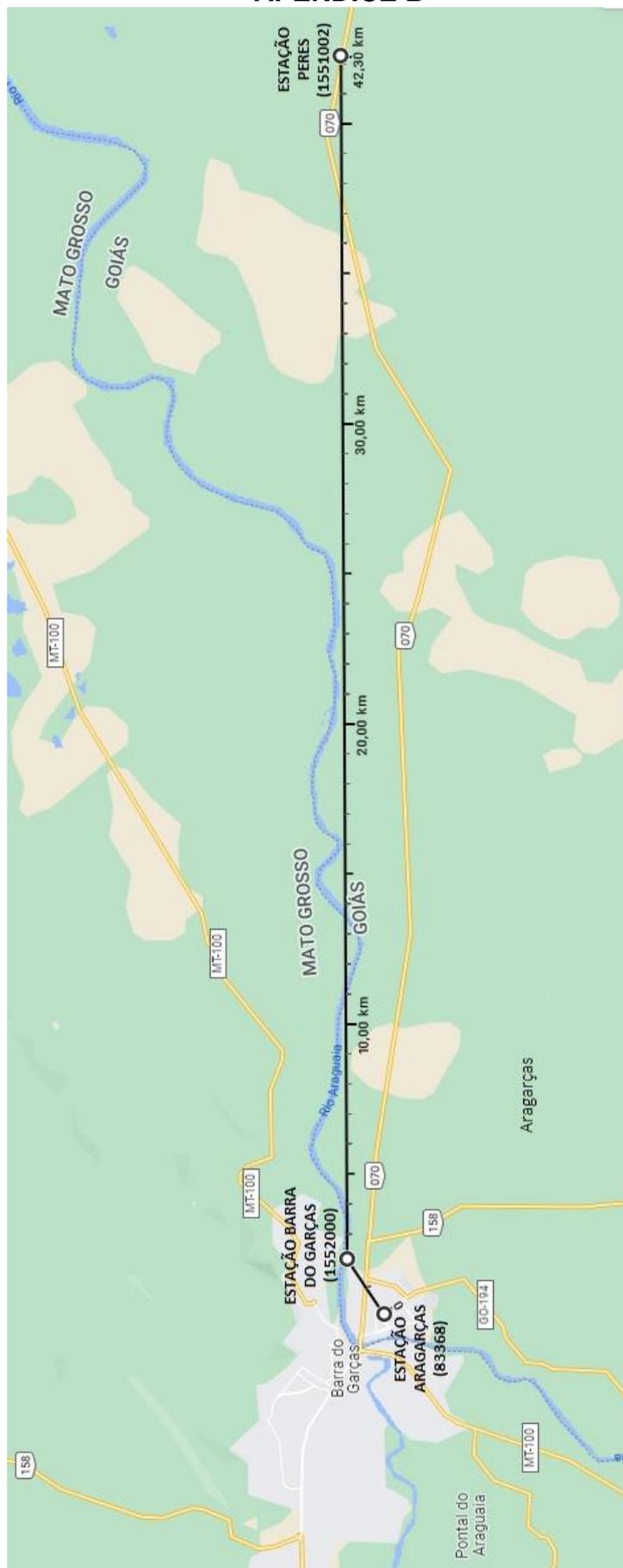
APÊDINCE A

ANÁLISE DOS DADOS DAS ESTAÇÕES							
Ano	ESTAÇÃO			Ano	ESTAÇÃO		
	155200	1551002	83368		155200	1551002	83368
1969	✓	-	-	1996	-	✓	!
1970	✓	-	✗	1997	-	✓	!
1971	✓	✗	!	1998	-	✓	✓
1972	✓	✓	!	1999	-	✓	✓
1973	✓	✓	!	2000	-	✓	✓
1974	✓	✓	!	2001	-	✓	✗
1975	!	✓	✗	2002	-	✓	✓
1976	✓	!	✗	2003	-	✓	!
1977	✓	✓	✗	2004	-	✓	✓
1978	✓	✓	✗	2005	-	✓	✓
1979	✓	✓	✗	2006	-	✓	✓
1980	!	✗	✓	2007	-	-	✓
1981	✓	✓	✓	2008	-	-	✓
1982	!	✓	✓	2009	-	-	✓
1983	✗	✓	✓	2010	-	-	✓
1984	✓	✓	✓	2011	-	-	✓
1985	✓	✓	✓	2012	-	-	✓
1986	!	✓	!	2013	-	-	✓
1987	✓	✓	!	2014	-	-	✓
1988	✓	✓	✓	2015	-	-	!
1989	✗	✓	✓	2016	-	-	✓
1990	!	!	!	2017	-	-	✓
1991	✗	✗	!	2018	-	-	✓
1992	!	✓	!	2019	-	-	!
1993	✓	✓	✗	2020	-	-	✗
1994	✓	✓	✗	2021	-	-	✗
1995	-	✓	!				

LEGENDA

✓	- o ano possui todos os dados
!	- o ano possui uma perda de dados que não é significativa
✗	- o ano possui perdas de dados significativas
-	- o ano não possui registros

APÊNDICE B



Dados do mapa ©2022 Google 2 km