



INSTITUTO FEDERAL
GOIÁS
Câmpus Anápolis

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS
CÂMPUS ANÁPOLIS

TRABALHO DE CONCLUSÃO DO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DA
MOBILIDADE

DETERMINAÇÃO DA CURVA DE INTENSIDADE, DURAÇÃO E FREQUÊNCIA
DE PRECIPITAÇÃO DO MUNICÍPIO DE VIANÓPOLIS – GOIÁS UTILIZANDO O
SOFTWARE GAM-IDF

VERÔNICA YASMIM RADEL

ORIENTADOR: Prof. Me. Frederico de Souza Aleixo
COORIENTADORA: Profa. Ma. Fabiana Pimenta de Souza

ANÁPOLIS
2023

VERÔNICA YASMIM RADEL

**DETERMINAÇÃO DA CURVA DE INTENSIDADE, DURAÇÃO E FREQUÊNCIA
DE PRECIPITAÇÃO DO MUNICÍPIO DE VIANÓPOLIS – GOIÁS UTILIZANDO O
SOFTWARE GAM-IDF**

Trabalho de Conclusão do Curso II de Engenharia Civil da
Mobilidade do Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia de Goiás – Campus Anápolis, como requisito
final para conclusão de curso.

Orientador: Prof. Me. Frederico de Souza Aleixo

Coorientadora: Profa. Ma. Fabiana Pimenta de Souza

ANÁPOLIS

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Radel, Verônica Yasmim

R126d Determinação da curva de intensidade, duração e frequência de precipitação do município de Vianópolis – Goiás utilizando o software GAM-IDF. / Verônica Yasmim Radel. – Anápolis: IFG, 2023.
37 f. il. color.

Orientador: Prof. Me. Frederico de Souza Aleixo.

Trabalho de Conclusão de Curso – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás: Campus Anápolis – Bacharelado em Engenharia Civil da Mobilidade, 2023.

1. Chuvas intensas. 2. Vianópolis, GO. 3. intensidade. 4. duração. 5. frequência. 6. GAM-IDF.

I. Aleixo, Frederico de Souza (orient.).

II. Souza, Fabiana Pimenta de (coorient.).

III. Título.

CDD 620



INSTITUTO FEDERAL
Goiás

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS
CÂMPUS ANÁPOLIS

ATA Nº 18/2023.1

**ATA DA SESSÃO PÚBLICA DE APRESENTAÇÃO E DEFESA DO
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

No 28º dia do mês de junho do ano de dois mil e vinte e três, às 14:00 horas, na Sala T-604 do IFG Campus Anápolis, foi realizada a sessão pública de apresentação e defesa do Trabalho de Conclusão de Curso da Graduanda **Verônica Yasmim Radel** (matrícula 20191060130104) do curso de Engenharia Civil da Mobilidade. A banca foi composta pelos seguintes membros: Frederico de Souza Aleixo, Fabiana Pimenta de Souza, Christiane Rosa de Paiva e Clodoveu Reis Pereira, sob a presidência do primeiro. O trabalho de conclusão de curso tem como título “**DETERMINAÇÃO DA CURVA DE INTENSIDADE, DURAÇÃO E FREQUÊNCIA DE PRECIPITAÇÃO DO MUNICÍPIO DE VIANÓPOLIS, GOIÁS, UTILIZANDO O SOFTWARE GAM-IDF**”, da área de HIDROLOGIA APLICADA, sob orientação do Prof. Frederico de Souza Aleixo e co-orientação da Profa. Fabiana Pimenta de Souza. Após a apresentação, tendo sido o autor arguido pela Banca Examinadora, a nota obtida foi 97,0 (Noventa e sete) e o Trabalho de Conclusão de Curso foi considerado (X) aprovado () aprovado com correções () reprovado pela banca examinadora.

Encerra-se a presente sessão às 15 horas e 15 minutos. Eu, Prof. Frederico de Souza Aleixo, dato e assino a presente ata que segue assinada por todos os membros da Banca e pelo graduando.

Prof. Frederico de Souza Aleixo

(Assinado eletronicamente)

Prof. Fabiana Pimenta de Souza

(Assinado eletronicamente)

Profa. Christiane Rosa de Paiva

(Assinado eletronicamente)

Prof. Clodoveu Reis Pereira

Verônica Yasmim Radel
(Graduanda)

Documento assinado eletronicamente por:

- **Fabiana Pimenta de Souza**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 28/06/2023 15:16:44.
- **Christiane Rosa de Paiva**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 28/06/2023 15:15:46.
- **Frederico de Souza Aleixo**, COORDENADOR(A) DE CURSO - FUC1 - ANA-CCBECM, em 28/06/2023 15:14:20.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 28/06/2023. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifg.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 424899

Código de Autenticação: 3f6f3dfd15



Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
Avenida Pedro Ludovico, s/ nº, Reny Cury, ANÁPOLIS / GO, CEP 75131-457
(62) 3703-3375 (ramal: 3375)



INSTITUTO FEDERAL
Goiás

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
SISTEMA INTEGRADO DE BIBLIOTECAS

TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAÇÃO NO REPOSITÓRIO DIGITAL DO IFG - ReDi IFG

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Digital (ReDi IFG), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IFG.

Identificação da Produção Técnico-Científica

- | | |
|--|---|
| ☐ Tese | ☐ Artigo Científico |
| ☐ Dissertação | ☐ Capítulo de Livro |
| ☐ Monografia – Especialização | ☐ Livro |
| ☒ TCC - Graduação | ☐ Trabalho Apresentado em Evento |
| ☐ Produto Técnico e Educacional - Tipo: _____ | |

Nome Completo do Autor: Verônica Yasmim Radel

Matrícula: 20191060130104

Título do Trabalho: Determinação da curva de intensidade, duração e frequência de precipitação do município de Vianópolis – Goiás utilizando o software GAM-IDF

Autorização - Marque uma das opções

1. (X) Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso aberto);
2. () Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG somente após a data ____/____/____ (Embargo);
3. () Não autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso restrito).

Ao indicar a opção **2 ou 3**, marque a justificativa:

- () O documento está sujeito a registro de patente.
() O documento pode vir a ser publicado como livro, capítulo de livro ou artigo.
() Outra justificativa: _____

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O/A referido/a autor/a declara que:

- i. o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- ii. obteve autorização de quaisquer materiais incluídos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- iii. cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás.

Anápolis - GO, 28/06/2023.

Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

“O que prevemos raramente acontece; o que menos esperamos geralmente acontece.”

(Benjamin Disraeli)

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar meus sinceros agradecimentos a todas as pessoas que contribuíram para a conclusão deste trabalho acadêmico e, especialmente a Deus, por me guiar, me proteger e me dar forças dia após dia.

Em primeiro lugar, sou grata aos meus pais e irmãos, por sempre proporcionarem o melhor para mim, e acreditarem nos meus sonhos tanto quanto eu. Aos familiares e amigos que me apoiaram durante toda a jornada acadêmica. Seu encorajamento, suporte emocional e palavras de conforto foram essenciais para enfrentar os desafios e superar os obstáculos ao longo do caminho. Agradeço também ao meu companheiro de vida, por acreditar em mim e se fazer sempre presente.

Aos meus orientadores, professor Frederico e Fabiana. Obrigada pela sua orientação, entusiasmo e apoio ao longo deste processo. Sua experiência, dedicação e paciência foram fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho.

Não posso deixar de mencionar todos os professores, colegas de curso (em especial, minha dupla) e demais profissionais que contribuíram de alguma forma para o meu crescimento acadêmico e intelectual ao longo desses anos. Seus ensinamentos ajudaram a moldar a profissional na qual estou me tornando.

Expresso minha gratidão a todos aqueles que, direta ou indiretamente, contribuíram para o sucesso deste trabalho.

Meu sincero obrigado.

RESUMO

A precipitação é considerada como uma das variáveis meteorológicas mais importantes durante o estudo climático de uma região, e o conhecimento das precipitações máximas é de extrema importância para o dimensionamento de obras hidráulicas, controle de inundações e erosões. O estudo das chuvas máximas pode ser feito através das relações intensidade, duração e frequência. Este trabalho visa determinar a relação IDF para o município de Vianópolis – GO, através do software GAM-IDF, como forma de proporcionar maior segurança para o dimensionamento de obras futuras. Para este estudo, foi utilizado séries históricas de dados pluviométricos de 40 anos, compreendidos entre 1973 a 2012. O ajuste dos dados foi feito através da distribuição estatística de Gumbel, considerando os períodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos. O ajuste da distribuição de probabilidade foi verificado através do teste de Anderson-Darling com nível de significância de 5%. O GAM-IDF realizou o ajuste dos parâmetros ($a = 748,546$; $b = 0,168$; $c = 9,214$ e $d = 0,706$) da equação, e avaliou este ajuste através do coeficiente de Nash-Sutcliffe com resultado de 0,9969. Portanto, este trabalho contribuiu para a determinação da equação de precipitações intensas, permitindo seu uso para o dimensionamento de projetos hidráulicos do município.

Palavras-chave: Intensidade-duração-frequência. Chuvas intensas. GAM-IDF.

ABSTRACT

Precipitation is considered to be one of the most important meteorological variables during the climatic study of a region, and the knowledge of maximum precipitation is of extreme importance for the design of hydraulic works, flood and erosion control. The study of maximum rainfall can be done through the intensity, duration and frequency relationships. This work aims to determine the IDF relationship for the city of Vianópolis - GO, through the GAM-IDF software, as a way to provide greater security for the design of future works. For this study, historical rainfall data spanning 40 years, from 1973 to 2012, were used. The adjustment of the data was done through the Gumbel statistical distribution, considering return periods of 2, 5, 10, 20, 50 and 100 years. The goodness of fit of the probability distribution was verified using the Anderson-Darling test with a significance level of 5%. The GAM-IDF software adjusted the parameters ($a = 748,546$; $b = 0,168$; $c = 9,214$; and $d = 0,706$) of the equation and evaluated this fit using the Nash-Sutcliffe coefficient, resulting in 0,9969. Therefore, this study contributed to the determination of the equation for intense precipitation, allowing its use for the design of hydraulic projects in the municipality.

Keywords: Intensity-duration-frequency. Intense rainfall. GAM-IDF.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA	Agência Nacional de Águas
CETESB	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
DAEE	Departamento de Águas e Energia Elétrica
FDP	Função Densidade de Probabilidade
GAM-IDF	<i>Genetic Algorithm Methodology for IDF</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDF	Intensidade, Duração e Frequência
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
NA	Não Aplicável
NS	Coeficiente de eficiência de Nash-Sutcliffe
SI	Sistema Internacional de Unidades
TR	Tempo de Retorno

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Estações Meteorológicas no Brasil (2021)	15
Figura 2 -	Curvas IDF do Município de Ipameri – GO (1977 a 2016)	16
Figura 3 -	Fluxograma Metodológico	21
Figura 4 -	Localização do município de Vianópolis – GO	22
Figura 5 -	Campo de inserção do arquivo de entrada	23
Figura 6 -	Configuração do limiar de falhas.....	24
Figura 7 -	Configuração da função densidade de probabilidade – FDP.....	24
Figura 8 -	Configuração do tempo de retorno – TR.....	25
Figura 9 -	Configuração das constantes de desagregação.....	26
Figura 10 -	Curvas IDF do Município de Vianópolis – GO	29

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Coeficientes para desagregação de chuvas diárias	18
Tabela 2 -	Limites mínimos de precipitação de chuvas intensas	19
Tabela 3 -	Precipitação máxima diária anual de 1973 a 2012, Vianópolis - GO.....	27
Tabela 4 -	Ranking dos melhores ajustes de FDP	28
Tabela 5 -	Ranking dos ajustes de NS	30

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 -	Intensidade de precipitação	15
Equação 2 -	Frequência ou probabilidade de precipitação	16
Equação 3 -	Tempo de retorno	16
Equação 4 -	Equação IDF genérica	17
Equação 5 -	Função de Densidade de Probabilidade de Gumbel.....	27
Equação 6 -	Função de Densidade de Probabilidade de Gumbel Ajustada	28
Equação 7 -	Equação IDF para o município de Vianópolis – GO	29

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
1.1. OBJETIVO GERAL	13
1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	13
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	14
2.1. PRECIPITAÇÃO E SUAS FORMAS DE MEDIÇÃO.....	14
2.2. CURVAS IDF	15
2.3. ANÁLISE DE FREQUÊNCIAS.....	17
2.3.1. DESAGREGAÇÃO DE PRECIPITAÇÕES DIÁRIAS	18
2.4. CHUVAS MÁXIMAS E MÍNIMAS.....	19
2.4.1. IMPORTÂNCIA	19
2.5. FUNÇÃO DE DENSIDADE DE PROBABILIDADE – FDP	20
3. METODOLOGIA	21
3.1. ÁREA DE ESTUDO.....	22
3.2. DESENVOLVIMENTO ATRAVÉS DO SOFTWARE GAM-IDF	23
3.2.1. CONFIGURAÇÃO DOS DADOS DE ENTRADA.....	23
3.3. PROCESSAMENTO DOS DADOS	27
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	28
4.1. FUNÇÃO DENSIDADE DE PROBABILIDADE: GUMBEL.....	28
4.1.1. COMPARAÇÃO ENTRE FUNÇÕES DENSIDADE DE PROBABILIDADE ...	28
4.2. PARÂMETROS DA EQUAÇÃO IDF	29
4.2.1. COMPARAÇÃO ENTRE EQUAÇÕES IDF	30
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	31
REFERÊNCIAS.....	32
APÊNDICE A – RELATÓRIO DO GAM-IDF	36

1. INTRODUÇÃO

A precipitação é uma das variáveis meteorológicas mais significativas durante o estudo climático de uma região, isto devido às consequências que o excesso desta pode causar, especialmente durante as tempestades intensas (SILVA *et al.*, 2003). De acordo com Shahidian *et al.* (2017) e Farias *et al.* (2013), as chuvas intensas são representadas por aquelas com grande precipitação em um curto espaço de tempo, e costumam gerar prejuízos socioeconômicos, ambientais e riscos à vida humana.

O conhecimento a respeito das características de chuvas intensas (duração, intensidade e frequência) é de extrema importância para o dimensionamento correto de obras hidráulicas, como por exemplo, bueiros, galerias de águas pluviais, vertedouros, além de análise da vulnerabilidade de solos à erosão e controle de inundações (JÚNIOR *et al.*, 1999; SHAHIDIAN *et al.*, 2017). Em obras rurais, esse tipo de informação é utilizado para planejar o terraceamento agrícola, implantar barragens que atenuem as cheias e para o dimensionamento da drenagem em estradas (MESQUITA *et al.*, 2009).

Com o intuito de amenizar a crescente frequência de inundações no Brasil e no mundo, devido às mudanças climáticas e ações antrópicas, as obras hidráulicas devem ser projetadas e dimensionadas com base nos dados de vazão máxima decorrente de precipitação máxima para o local em questão (ARAGÃO *et al.*, 2012). De acordo com Tucci (2001), as vazões máximas devem representar os piores cenários que podem vir a ocorrer devido a um determinado risco e, podem ser estimadas com base em séries históricas ou com base na precipitação (Método Racional).

Pereira *et al.* (2007) ressalta que, os dados de chuvas disponíveis para análise apresentam limitações, devido à baixa densidade da rede pluviográfica e à escassa disponibilidade de observações, fatores estes, que dificultam a obtenção de equações intensidade-duração-frequência. Devido à amplitude da rede de estações e dados pluviométricos encontradas no Brasil, foram desenvolvidos métodos para obtenção de dados de chuvas com menores durações, a partir de chuvas diárias medidas em pluviômetros, a fim de utilizar as distribuições probabilísticas para obter inferências estatísticas (SILVA, 2016).

Considerando o carência de equações de chuva para o estado de Goiás e a importância que estas representam para o dimensionamento de obras hidráulicas, propõe-se através deste trabalho, determinar a relação IDF para a cidade de Vianópolis – GO, a fim de proporcionar maior segurança, qualidade e precisão durante o dimensionamento de obras futuras.

1.1. OBJETIVO GERAL

Determinar os parâmetros da equação de Intensidade-Duração-Frequência (“a”, “b”, “c” e “d”) para o município de Vianópolis, Goiás, Brasil, tendo por base os dados pluviométricos de um intervalo de 40 anos (01/03/1973 a 31/12/2012), coletados através da Estação Meteorológica de número 1648002, e disponibilizados através do Portal HidroWeb.

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estabelecer a relação entre intensidade e duração da precipitação através das curvas IDF;
- Realizar a comparação entre as equações IDF quando utilizadas diferentes distribuições de probabilidade;
- Realizar o teste da eficiência da equação IDF.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. PRECIPITAÇÃO E SUAS FORMAS DE MEDIÇÃO

Conforme Pinto *et al.* (1976), entende-se por precipitação, toda água proveniente do meio atmosférico que atinge a superfície terrestre, seja por meio de chuva, neblina, granizo, geada, orvalho ou neve.

De acordo com o Sistema Internacional de Unidades - SI, a unidade de medida utilizada para quantificar a precipitação é o milímetro (mm), que corresponde à altura da lâmina de água medida em uma superfície de 1 metro quadrado (m^2). Logo, uma pluviosidade de 1 milímetro equivale a 1 litro de água por metro quadrado (SHAHIDIAN *et al.*, 2017).

As medições de chuva são feitas através de aparelhos bem simples, entretanto, a aquisição de dados de boa qualidade é bastante difícil, devido à não constância das chuvas ao longo do tempo e devido à variação no espaço e à variação anual (TUCCI, 2001). As chuvas podem ser medidas de forma pontual, através de pluviômetros e pluviógrafos, e espacialmente através de radares.

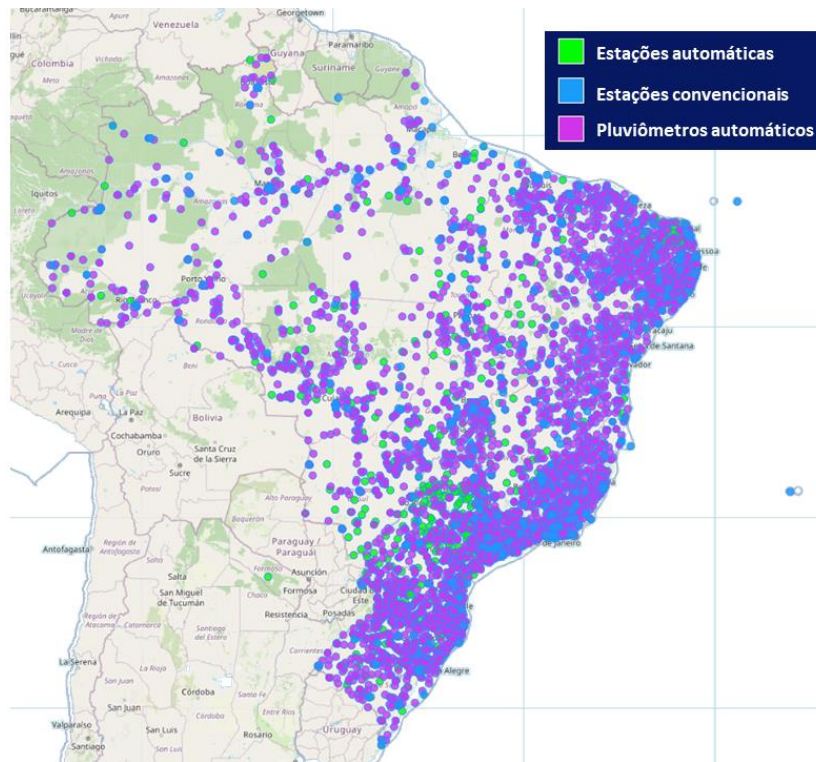
O pluviômetro trata-se de um aparelho mais comum, que mede a precipitação total acumulada em um dado período de tempo. Geralmente, são bastante utilizados para totalizar precipitações diárias e, este necessita de um operador para realizar as medições diariamente, sempre no mesmo horário (TUCCI, 2001).

Os pluviógrafos são aparelhos mais precisos e fornecem de forma automática a quantidade de precipitação ao longo do tempo. São indispensáveis para a análise de chuvas de curta duração (PINTO *et al.*, 1976). A Agência Nacional de Águas – ANA (2014), dispõe sobre as orientações a respeito da instalação de estações hidrométricas e elaboração de relatórios.

Todas as formas de medição podem estar sujeitas a erros. Para isso deve ser feita uma análise antes da utilização dos dados coletados, que consiste na detecção de erros, preenchimento de falhas e verificação da homogeneidade dos dados (PINTO *et al.*, 1976; TUCCI, 2001).

No Brasil, o Instituto Nacional de Meteorologia – INMET (2021), consta com uma rede de mais de 750 estações meteorológicas, automáticas e convencionais, cobrindo todo o território nacional (Figura 1).

Figura 1 – Estações Meteorológicas no Brasil (2021)



Fonte: INMET (2021).

Vale ressaltar que as estações convencionais possuem aparelhos mecânicos de baixo custo e que geram dados confiáveis, enquanto as estações automáticas possuem aparelhos mais modernos, geralmente com sensores eletrônicos bastante confiáveis e que necessitam de calibração e manutenção especializada (DHN, 2015). As estações automáticas registram os dados a cada hora, já as convencionais, três vezes ao dia.

2.2. CURVAS IDF

A precipitação é caracterizada por três grandezas: intensidade, duração e frequência (PEREIRA *et al.*, 2007). De acordo com Tucci (2001), intensidade (i) é a distribuição média do volume de precipitação (mm) por unidade de tempo (h). Pode ser expressa em mm/h, mm/min ou mm/s (Eq. 1).

$$i = \frac{\text{Precipitação}}{\text{Tempo}} \quad (1)$$

Duração (t) é o intervalo de tempo em que ocorre uma precipitação. Expressa em minuto, hora, dia, mês ou ano.

Frequência ou probabilidade ($F = P$), é a probabilidade de acontecer um evento igual ou maior ao analisado (Eq. 2). Expressa em porcentagem (%).

$$F = P = \frac{m}{N+1} \quad (2)$$

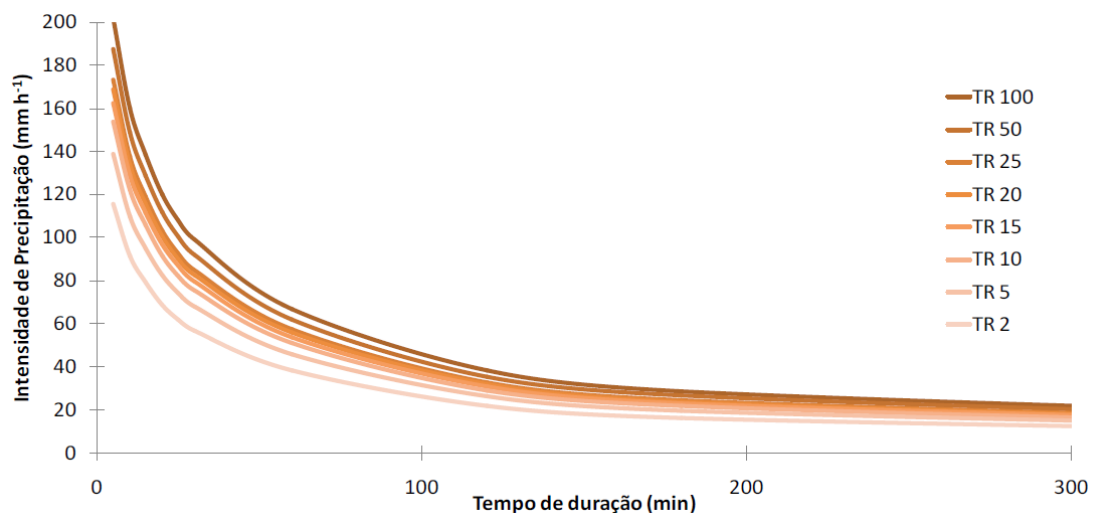
onde m é a ordem e N é o número de dados/anos.

Tempo de retorno (T) representa o intervalo de anos em que um evento é igualado ou superado (Eq. 3). Expresso em anos.

$$Tr = \frac{1}{P} \quad (3)$$

O método da curva de intensidade, duração e frequência (IDF) é utilizado para encontrar uma máxima intensidade de precipitação, que corresponde a um determinado tempo de retorno e duração (NETO; SARMENTO, 2020). As relações IDF devem ser feitas a partir de dados de chuvas de intervalos de tempo suficientemente grandes, e estas, resultarão em um conjunto de curvas IDF, onde cada curva representa um tempo de retorno ou frequência (CASTRO; SILVA; SILVEIRA, 2011) (Figura 2).

Figura 2 – Curvas IDF do Município de Ipameri – GO (1977 a 2016)



Fonte: Pereira et. al (2017).

A partir da curva IDF, é possível chegar à uma equação IDF, também chamada de equação de chuvas intensas (Eq. 4), na qual os critérios utilizados são obtidos de análise e

processamento de dados de pluviógrafos ou pluviômetros (PEREIRA; DUARTE; SARMENTO, 2017).

$$i = \frac{a \cdot T_r^b}{(t+c)^d} \quad (4)$$

Onde:

i = intensidade (mm/h);

Tr = tempo de retorno (anos);

t = duração da chuva (minutos);

a, b, c, d = parâmetros que devem ser determinados para cada local.

Segundo Tucci (2001), a partir da comparação entre duração e intensidade de precipitação, é possível analisar que estas duas variáveis são inversamente proporcionais, ou seja, com o aumento da medida de uma variável a outra diminui na mesma proporção. Portanto, quanto mais intensa for uma chuva, menor será a duração da mesma.

No Brasil, Pfafstetter (1982) realizou um importante trabalho ao determinar a relação intensidade, duração e frequência de precipitações para 98 postos pluviográficos, que resultou em equações que são utilizadas até os dias atuais para o dimensionamento de obras hidráulicas.

Para determinar a relação entre as variáveis da curva IDF (intensidade, duração e frequência), deve ser utilizado séries de dados de precipitações intensas de um longo intervalo de tempo, de forma que represente bem os extremos do evento local (TUCCI, 2001).

O Brasil carece de séries de dados pluviográficos longas e de qualidade suficiente para realizar os estudos de determinação das relações IDF (DAEE/CETESB, 1980). Portanto, este trabalho será desenvolvido com séries de dados pluviométricos.

Ainda de acordo com Tucci (2001), para analisar estatisticamente a estrutura hidrológica das séries de chuvas, há a possibilidade de seguir dois caminhos, cuja escolha depende do tamanho de série disponível e do objetivo do estudo: séries anuais e séries parciais.

2.3. ANÁLISE DE FREQUÊNCIAS

Nas análises de frequência dos dados de chuvas, podem ser utilizados dois tipos de séries: parciais e anuais.

As séries parciais são utilizadas quando há um pequeno intervalo de anos disponíveis, geralmente menor que 12 anos, e são utilizados tempos de retorno menores que 5 anos. Pelo método das séries anuais é feita a seleção das maiores precipitações de uma determinada duração e ajusta-se uma distribuição de extremos que melhor represente os valores (TUCCI, 2001).

E segundo a DAEE/CETESB (1980), as séries parciais oferecem melhores resultados para períodos de retorno inferiores a 10 anos, enquanto, para tempos de retorno superiores, ambas séries oferecem resultados consistentes.

2.3.1. DESAGREGAÇÃO DE PRECIPITAÇÕES DIÁRIAS

A desagregação de precipitações diárias consiste em transformar chuvas diárias em chuvas de menores durações, através de coeficientes de desagregação. Processo realizado devido à pouca disponibilidade de dados pluviográficos (FREITAS, 2016).

Os coeficientes de desagregação (Tabela 1) desenvolvidos pela DAEE/CETESB (1980), possuem valores médios para o Brasil e são bastante utilizados para a desagregação de precipitação diária, devido à fácil aplicação e simplicidade.

Tabela 1 – Coeficientes para desagregação de chuvas diárias

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

Fonte: DAEE/CETESB (1980).

Os valores da Tabela 1 são considerados relações médias bastante representativas para as chuvas máximas e, abrangem tempos de retorno de 2 a 100 anos (DAEE/CETESB, 1980).

2.4. CHUVAS MÁXIMAS E MÍNIMAS

Segundo Tucci (2001), as chuvas máximas, também chamadas de chuvas intensas, correspondem a uma ocorrência extrema, com duração, distribuição espacial e temporal crítica para uma determinada área ou bacia hidrográfica.

De acordo com Pfafstetter (1982), para considerarmos uma chuva como intensa, esta deve apresentar para qualquer duração, uma precipitação maior que os limites estabelecida na Tabela 2.

Tabela 2 – Limites mínimos de precipitação de chuvas intensas

Duração (min)	Precipitação (mm)	Duração (h)	Precipitação (mm)
5	5	4	35
15	15	8	40
30	20	14	47
60	25	24	55
120	30	48	70

Fonte: Pfafstetter (1957).

Villela & Mattos (1975) ressalta que, além do conhecimento das precipitações máximas observadas em séries históricas, também é importante conhecer e prever, quais as precipitações máximas que podem acontecer em determinado local, com uma certa frequência.

2.4.1. IMPORTÂNCIA

O estudo das chuvas máximas de curta duração se torna relevante para o dimensionamento de obras hidráulicas (como por exemplo, vertedouros, canais, pontes, barragens, galerias pluviais), controle de erosões, controle de inundações em áreas urbanas e rurais (mapa da curva dos 100 anos), além de, ser uma das formas utilizadas para se chegar à vazão de enchente de uma bacia (MARTINEZ JÚNIOR; MAGNI, 1999).

Tucci (2001) diz também que a frequência na qual as chuvas intensas ocorrem é bastante importante para estimar vazões extremas para cursos de água nos quais não há medidores de vazão.

Já as chuvas mínimas são importantes para a identificação dos períodos de estiagens, e assim, conseguir quantificar a necessidade de irrigação de plantações e abastecimento de água, tanto industrial quanto doméstico (VILLELA & MATTOS, 1975).

2.5. FUNÇÃO DE DENSIDADE DE PROBABILIDADE – FDP

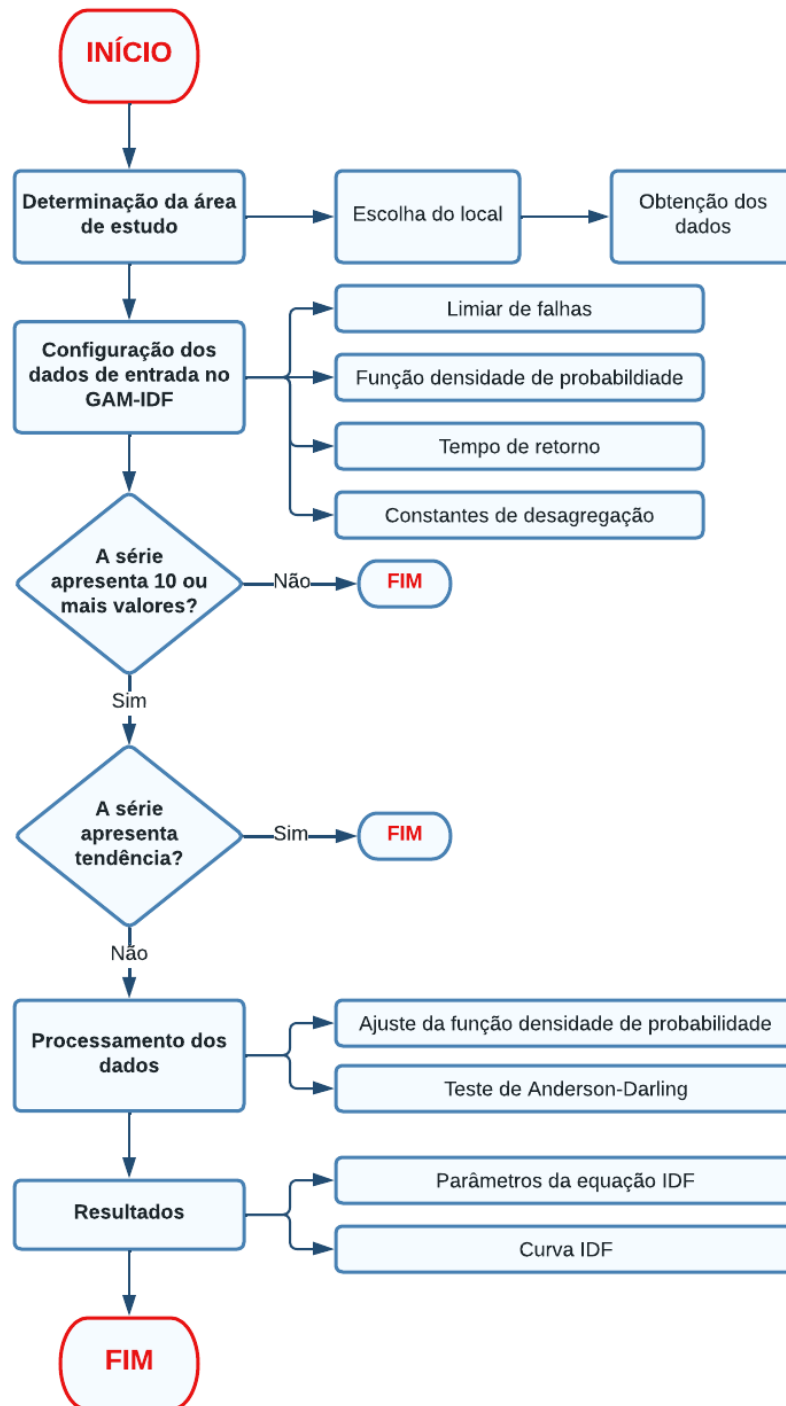
De acordo com Houhgtalen *et al.* (2012), dentre as diversas distribuições de probabilidades disponíveis, as mais utilizadas em Hidrologia são as distribuições de Gumbel, normal, log-normal e log-Pearson do tipo III.

A distribuição de probabilidade de Gumbel, também conhecida como distribuição de valores extremos Tipo I, é amplamente utilizada para modelar eventos extremos, como os máximos e mínimos de uma variável. Essa distribuição é frequentemente aplicada e recomendada em estudos hidrológicos para analisar eventos de precipitação máxima em uma determinada região (TUCCI, 2001; CHOW 1988).

3. METODOLOGIA

A Figura 3, retrata a metodologia utilizada para o desenvolvimento deste trabalho, contemplando todas as etapas necessárias e algumas verificações.

Figura 3 – Fluxograma Metodológico



Fonte: Autor.

3.1. ÁREA DE ESTUDO

O estudo foi desenvolvido para a cidade de Vianópolis – GO (Figura 4), que está localizada na região Centro-Oeste, à aproximadamente 93 quilômetros da capital Goiânia. O município possui cerca de 14 mil habitantes e território de 954,115 km² (IBGE, 2021). Situada na região da estrada de ferro, tem uma economia praticamente baseada na produção de soja e produtos agrícolas.

Figura 4 – Localização do município de Vianópolis - GO



Fonte: ABREU (2006).

Vianópolis está situada em uma região de planalto, com altitude média de 992 metros e caracterizada pela vegetação de cerrado. Possui clima tropical e a temperatura média ao longo do ano varia entre 14 °C e 30 °C. A precipitação média mensal varia de 7 mm durante a época seca até cerca de 300 mm na época chuvosa (CLIMATEMPO, 2022). Se encontra na bacia hidrográfica do Rio Paraná, na sub-bacia do Rio Paranaíba.

Para este estudo, foi utilizado a série histórica de dados de precipitação obtida da Estação Meteorológica de número 1648002, cuja responsabilidade e operação é da empresa Furnas. Os dados foram obtidos através do Portal HidroWeb, da Agência Nacional de Águas – ANA.

A estação está localizada nas coordenadas (-16.7478, -48.5264), à altitude de 1003 metros. A série considerada abrange um intervalo de 40 anos, compreendido entre 01/03/1973 a 31/12/2012, e apresenta dados consistentes e de alta qualidade. De acordo com a Agência Nacional de Águas – ANA, a estação continua em operação até os dias atuais.

3.2. DESENVOLVIMENTO ATRAVÉS DO SOFTWARE GAM-IDF

A determinação dos parâmetros da equação IDF foi realizada através do software *Genetic Algorithm Methodology for IDF* (GAM-IDF). Esta ferramenta web foi desenvolvida por membros do Grupo de Pesquisa em Hidrologia e Modelagem Hidrológica em Bacias Hidrográficas da Universidade Federal de Pelotas (UFPel), e emprega um algoritmo genético para ajuste de equações Intensidade-Duração-Frequência (IDF) a partir de dados diários de chuva e da técnica de desagregação da chuva diária.

3.2.1. CONFIGURAÇÃO DOS DADOS DE ENTRADA

Foi utilizado um arquivo modelo padrão HidroWeb – Sistema de Informações Hidrológicas, da Agência Nacional de Águas (ANA), em formato “.csv”, o qual foi importado para o GAM-IDF no campo mostrado na Figura 5, sem a necessidade de tratamento prévio dos dados.

Figura 5 – Campo de inserção do arquivo de entrada

The image shows a screenshot of the GAM-IDF software interface. On the left, a vertical sidebar contains various configuration options. A red dashed box highlights the 'Arquivo de entrada' (Input file) section at the top of this sidebar. This section includes a button labeled 'Abrir' (Open) and a text input field containing the filename 'chuvas_C_01648C'. A red arrow points from this highlighted section to a larger, detailed view of the same section on the right. This detailed view shows the 'Arquivo de entrada' header, the 'Abrir' button, and the text field with the filename 'chuvas_C_01648C'.

Fonte: Autor – Recorte do software GAM-IDF (2023).

O limiar de falhas, que diz respeito à quantidade permitida de lacunas diárias em cada ano, recomendado pelos desenvolvedores do software é de 31 dias. Entretanto, devido à consistência e qualidade da série de dados utilizados, optou-se por utilizar apenas anos completos, ou seja, com nenhuma falha no decorrer de cada ano (Figura 6).

Figura 6 – Configuração do limiar de falhas

The image shows a software interface for configuring the 'Limiar de falhas (dias)' (Failure threshold in days). The main window has a dark theme with white text. The 'Limiar de falhas (dias)' section is highlighted with a red dashed box. Below it, the 'Função densidade de probabilidade (FDP)' section is visible, with 'Escolher FDP' selected. A red arrow points from the 'Limiar de falhas (dias)' input field to a larger, detailed view of the same field on the right, which also shows the value 0.

Fonte: Autor – Recorte do software GAM-IDF (2023).

Para a Função Densidade de Probabilidade – FDP (Figura 7), foi escolhida a distribuição de probabilidade de Gumbel, também chamada de Distribuição de Valores Extremos Tipo I, por ser uma função bastante aplicada em estudos hidrológicos para análise de eventos de precipitação máxima, e também, por ser altamente recomendada pelos autores da área de Hidrologia.

Figura 7 – Configuração da função densidade de probabilidade – FDP

The image shows a software interface for configuring the 'Função densidade de probabilidade (FDP)' (Probability Density Function). The main window has a dark theme with white text. The 'Função densidade de probabilidade (FDP)' section is highlighted with a red dashed box. Below it, the 'Distribuições de Probabilidade' (Probability Distributions) list is visible, with 'Gumbel' selected. A red arrow points from the 'Função densidade de probabilidade (FDP)' section to a larger, detailed view of the 'Distribuições de Probabilidade' list on the right, where 'Gumbel' is selected.

Fonte: Autor – Recorte do software GAM-IDF (2023).

O tempo de retorno – TR, foi configurado como “Padrão” (Figura 8), que consiste nos tempos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos, pois estes são valores comumente utilizados no dimensionamento de microdrenagem, drenagem urbana (bueiros, galerias), reservatórios de água, projetos de infraestrutura, projetos de proteção contra inundações, entre outros. É possível também, inserir tempos de retorno distintos do padrão.

Figura 8 – Configuração do tempo de retorno – TR

Arquivo de entrada

Abrir chuvas_C_01648C

Limiar de falhas (dias)

0

Função densidade de probabilidade (FDP)

☐ Melhor ajuste

☒ Escolher FDP

Selecionar

Tempo de retorno

☒ Padrão

☐ Outros

Entrar tempo de retorno

Constantes de desagregação

☒ CETESB

☐ Outros

Entrar constantes

Tempo de retorno

☒ Padrão

☐ Outros

Entrar tempo de retorno

Fonte: Autor – Recorte do software GAM-IDF (2023).

Para as constantes de desagregação (Figura 9), foram utilizados os coeficientes de desagregação da CETESB (1980), indicados na Tabela 1. Ao aplicar os coeficientes de desagregação, é possível obter estimativas de chuvas intensas em períodos menores. As alturas pluviométricas desagregadas, associadas a diferentes TRs e durações, são convertidas em intensidade de chuva (mm/h).

Figura 9 – Configuração das constantes de desagregação



Fonte: Autor – Recorte do software GAM-IDF (2023).

Após determinar as configurações iniciais, o GAM-IDF realiza duas verificações. Primeiro, referente a quantidade de dados que a série apresenta, e segundo, se a série apresenta tendência ou não.

O GAM-IDF só realiza os cálculos se a série de dados utilizáveis apresentar 10 ou mais valores. Caso não apresente, o software não realiza os cálculos, e outra série de dados deverá ser utilizada.

Para determinar se a série apresenta ou não tendência, a ferramenta aplica o teste de Mann-Kendall (MANN, 1945; KENDALL, 1975) ao nível de significância de 5%, caso a série apresente tendência, não poderá ser utilizada para a realização dos cálculos. O teste de Mann-Kendall é um teste estatístico não paramétrico utilizado para detectar tendências em uma série temporal univariada. Ele é amplamente aplicado em várias áreas, incluindo hidrologia, climatologia e análise de dados ambientais.

Depois de realizar as verificações, o GAM-IDF realiza a análise dos dados automaticamente, destacando os valores de precipitação máxima diária anual para cada ano. Com base na série histórica de dados do estudo e no número de falhas considerado, foi possível chegar à uma série utilizável de 34 anos. A Tabela 3, apresenta os valores de precipitação máxima diária anual para a série histórica, onde os anos não considerados, estão classificados como NA (Não Aplicável).

Tabela 03 – Precipitação máxima diária anual de 1973 a 2012, Vianópolis - GO

Ano	PMDA	Ano	PMDA	Ano	PMDA	Ano	PMDA
1973	NA	1983	80,4	1993	82,1	2003	55,3
1974	127	1984	50	1994	114,3	2004	158,7
1975	91	1985	82,8	1995	62,3	2005	154,7
1976	100	1986	51,4	1996	75,5	2006	107,3
1977	60	1987	93	1997	91,3	2007	87,5
1978	108	1988	NA	1998	76,5	2008	82,1
1979	64,4	1989	100	1999	NA	2009	72,9
1980	90,6	1990	NA	2000	56,5	2010	84,5
1981	106,8	1991	NA	2001	85,2	2011	85,7
1982	96,2	1992	NA	2002	51,4	2012	75,7

Fonte: Autor (2023).

Retiradas as falhas (NA), a ferramenta realiza o processamento dos dados, realizando os cálculos necessários para a obtenção dos parâmetros da equação IDF (APÊNDICE A).

3.3. PROCESSAMENTO DOS DADOS

Para o ajuste dos dados à função densidade de probabilidade de Gumbel, a partir da técnica dos momentos-L, o GAM-IDF utiliza a Equação 5, de Hosking (2019):

$$F = e^{\left\{-e^{\left[\frac{-(x-\xi)}{\alpha}\right]}\right\}} \quad (5)$$

Onde:

ξ = parâmetro de localização (desloca a distribuição horizontalmente);

α = parâmetro de escala (controla a dispersão da distribuição).

Para avaliar o ajuste dos dados à FDP, o GAM-IDF realiza o teste de Anderson-Darling ao nível de significância de 5%. O teste de Anderson-Darling é um teste estatístico utilizado para verificar a aderência de uma amostra de dados a uma distribuição de probabilidade teórica específica. Ele é amplamente utilizado para testar a hipótese nula de que os dados são provenientes de uma distribuição teórica específica. Em tese, se o p-valor for menor que o valor crítico (nível de significância determinado de 0,05), rejeita-se a hipótese nula, indicando que há evidências suficientes para concluir que os dados não seguem a distribuição teórica especificada. O p-valor varia de 0 a 1, onde um p-valor maior sugere uma forte evidência de que a hipótese nula não pode ser rejeitada.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. FUNÇÃO DENSIDADE DE PROBABILIDADE: GUMBEL

A partir do ajuste da função aos dados, foi obtido os seguintes valores para os parâmetros da FDP: $\xi = 75,2818$ e $\alpha = 20,4591$ (Eq. 6).

$$F = e^{\left\{-e^{\left[\frac{-(x-75,2818)}{20,4591}\right]}\right\}} \quad (6)$$

Realizado o teste de Anderson-Darling ao nível de significância de 5%, foi encontrado um p-valor de 0,83. Como o p-valor é maior que o valor crítico de 0,05, não se pode rejeitar a hipótese nula, isso significa que, os dados se ajustam à distribuição teórica de Gumbel.

4.1.1. COMPARAÇÃO ENTRE FUNÇÕES DENSIDADE DE PROBABILIDADE

A Tabela 4, representa uma comparação entre as funções densidade de probabilidade disponíveis no GAM-IDF, que podem ser ajustadas à série de dados.

Tabela 4 – Ranking dos melhores ajustes de FDP

FDP	Estatística	P-valor	Status
Logística Generalizada	0,308	0,9316	FDP se ajusta
Generalizada de Valores Extremos	0,3831	0,8644	FDP se ajusta
Normal Generalizada	0,3832	0,8643	FDP se ajusta
Lognormal 3P	0,3832	0,8643	FDP se ajusta
Gamma	0,3832	0,8595	FDP se ajusta
Pearson Tipo III	0,4025	0,8453	FDP se ajusta
Gumbel	0,4177	0,8300	FDP se ajusta
Weibull	0,4434	0,8037	FDP se ajusta
Exponencial	Inf	0	FDP não se ajusta
Pareto Generalizada	Inf	0	FDP não se ajusta

Fonte: Autor (2023).

A partir deste ranking apresentado, é possível perceber que a distribuição escolhida não é a distribuição que mais se ajusta à série de dados. E esta escolha é justificada devido à recomendação apresentada em diversos livros de Hidrologia, e por ser uma das distribuições mais utilizadas para o ajuste de precipitações máximas.

O p-valor pode assumir valores de 0 a 1, sendo que 1 representa um ajuste perfeito da FDP à série de dados. Para a distribuição de Gumbel, o p-valor é maior do que o valor crítico, e a FDP se ajusta aos dados, podendo ser utilizada para os cálculos dos parâmetros da equação IDF.

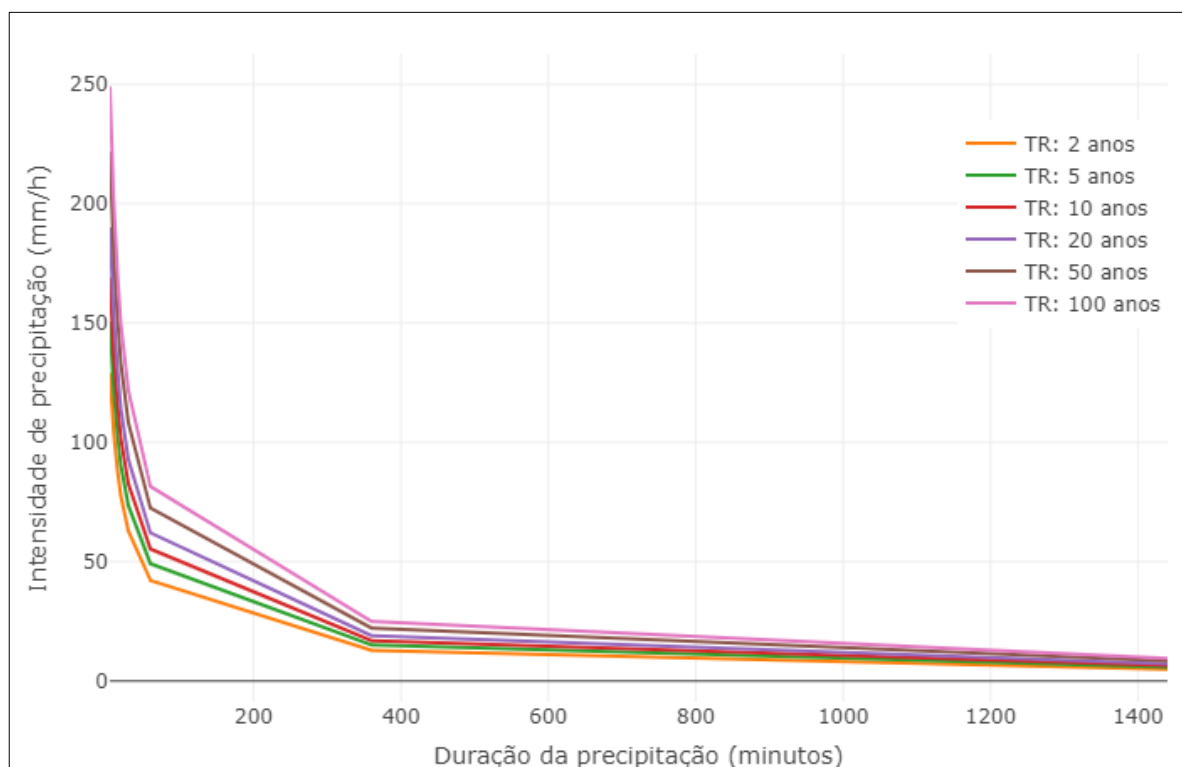
4.2. PARÂMETROS DA EQUAÇÃO IDF

O resultado deste estudo de precipitação máxima para a cidade de Vianópolis – GO, são os parâmetros da equação IDF encontrados: $a = 748,546$; $b = 0,168$; $c = 9,214$ e $d = 0,706$, resultando na Equação 7.

$$i = \frac{748,546 \cdot Tr^{0,168}}{(t+9,214)^{0,706}} \quad (7)$$

Na Figura 10 é apresentado o conjunto de curvas IDF da cidade de Vianópolis, evidenciando o comportamento típico das curvas.

Figura 10 – Curvas IDF para a cidade de Vianópolis – GO



Fonte: Autor – Recorte do software GAM-IDF (2023).

Cada curva do gráfico representa os valores de intensidade de precipitação em função do tempo, para diferentes tempos de retorno para o município de Vianópolis – GO. É possível perceber que chuvas com menor duração, apresentam uma alta intensidade de precipitação e, estas chuvas, geralmente são as responsáveis por inundações e sobrecarregamento do sistema de drenagem.

4.2.1. COMPARAÇÃO ENTRE EQUAÇÕES IDF

O método utilizado pelo GAM-IDF para avaliar a qualidade do ajuste da equação IDF é o teste de Nash-Sutcliffe (1970), também conhecido como coeficiente de eficiência de Nash-Sutcliffe. Este método é comumente aplicado em estudos hidrológicos, hidroclimáticos e em outras áreas relacionadas à modelagem de processos naturais.

O coeficiente de eficiência de Nash-Sutcliffe (NS) varia de $-\infty$ a 1, sendo que um valor mais próximo de 1 indica um ajuste melhor do modelo em relação aos dados observados. Para a equação IDF calculada neste trabalho, o coeficiente NS foi de 0,9969, e representa um ajuste quase perfeito do modelo em relação aos dados observados.

Para fins de comparação, a Tabela 5 apresenta os valores de NS da equação IDF, quando utilizadas as demais distribuições de probabilidade.

Tabela 5 – Ranking dos ajustes de NS

FDP	NS
Logística Generalizada	0,9987
Gumbel	0,9969
Exponencial	0,9966
Normal Generalizada	0,9964
Lognormal 3P	0,9964
Generalizada de Valores Extremos	0,9963
Pearson Tipo III	0,9957
Gamma	0,9955
Weibull	0,9946
Pareto Generalizada	0,9878

Fonte: Autor.

O NS da equação IDF utilizando a distribuição estatística de Gumbel, ocupa o segundo melhor ajuste quando comparado com as demais, ficando atrás apenas da Logística Generalizada, que ocupou o primeiro lugar também no teste de Anderson-Darling. Entretanto, apresenta um excelente ajuste, e pode ser utilizada sem receios para a previsão de eventos de precipitação.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para a realização deste trabalho utilizou-se o software *Genetic Algorithm Methodology for IDF* (GAM-IDF), ferramenta esta que já foi bastante utilizada no Brasil e em outros países ao redor do mundo, e obteve-se os parâmetros da equação de chuvas intensas para o município de Vianópolis – GO, tendo como resultado $a = 748,546$; $b = 0,168$; $c = 9,214$ e $d = 0,706$. A equação IDF determinada através deste trabalho poderá e deverá contribuir para o dimensionamento de projetos hidráulicos no município de Vianópolis – GO.

A metodologia utilizada neste estudo para determinar as relações de intensidade, duração e frequência de precipitação para o município de Vianópolis obteve resultados satisfatórios, podendo ser aplicada na determinação das relações IDF para outras regiões que não dispõem de pluviógrafos, mas possuam pluviômetros.

Por fim, os objetivos deste trabalho foram atingidos, tendo como resultado uma equação de chuva para uma cidade que não dispunha de uma e, todo o passo a passo para que futuros profissionais atualizem a mesma, ou até mesmo calculem equações IDF para regiões que não possuem.

REFERÊNCIAS

ABREU, Raphael Lorenzeto de. **Município de Vianópolis, Goiás**. 2006. Disponível em: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Goias_Municip_Vianopolis.svg>. Acesso em: 21 mai. 2023.

ANA, Agência Nacional de Águas – Brasil. **Orientações para elaboração do relatório de instalação de estações hidrométricas**. Superintendência de Gestão da Rede Hidrometeorológica. -Brasília: ANA, SGH, 2014.

ARAGÃO, R. D. et al. **Chuvas intensas para o estado de Sergipe com base em dados desagregados de chuva diária**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande - PB, v. 17, n. 3, p. 243-252, mar./2012.

CASTRO, A. L. P. de; SILVA, C. N. P.; SILVEIRA, A. **Curvas Intensidade-Duração-Frequência das precipitações extremas para o município de Cuiabá (MT)**. Ambiência-Revista do Setor de Ciências Agrárias e Ambientais, v.7, n.2, p.305-315, 2011.

CHOI, Y. H.; CHOI, J. D. **Design Frequency Decision For Hydraulic Structures Due To Heavy Storm**. In: Hydrologic Modeling: Proceedings of the International Conference on Water, Environment, Ecology, Socio-economics, and Health Engineering, 1999, Seoul National University, Seoul, Korea. Proceedings... Seoul, Korea: Water Resources Publication, 1999. p. 247.

CHOW, V. T., MAIDMENT, D. R., & MAYS, L. W. **Applied Hydrology**. 1988.

CLIMATEMPO. **Climatologia em Vianópolis, BR**. Disponível em: <<https://www.climatempo.com.br/climatologia/1030/vianopolis-go>>. Acesso em: 21 mai. 2023.

DAEE/CETESB, Departamento de Águas e Energia Elétrica e Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Drenagem Urbana: Manual de Projeto**. 2 ed. São Paulo, 1980.

DHN – Diretoria de Hidrografia e Navegação. **Manual do Observador Meteorológico**. 3. ed. Niterói - RJ: 2015. p. 1-164.

FARIAS, J. A. M.; SILVA, J. F. R. e.; COELHO, L. da S. **Determinação de equação IDF, utilizando regressão linear em base logarítmica**. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 20, 2013, Bento Gonçalves. Anais... Rio Grande do Sul: ABRH, 2013. p.2.

FREITAS, Emerson da Silva. **Determinação e comparação de curvas IDF com dados pluviográficos e pluviométricos na bacia hidrográfica experimental do riacho Guaraíra – PB**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Centro de Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa. p. 61. 2016.

GAM-IDF. **Genetic Algorithm Methodology for IDF**. Versão 1.0 (Beta). Pelotas: Grupo de Pesquisa em Hidrologia e Modelagem Hidrológica em Bacias Hidrográficas / UFPel, 2020. Disponível em: <<https://gphidro.shinyapps.io/gam-idf/>>. Acesso em: 05 abr. 2023.

HOSKING, J. R. M.; WALLIS, J. R. **Package ‘lmom’: L-Moments**. 2019.

HOUHGTALEN, Robert J., et al. **Engenharia Hidráulica**. Tradução: Luciana Teixeira. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2012.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Panorama do município de Anápolis**. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/go/anapolis/panorama>>. Acesso em: 18 nov. 2022.

INMET - INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Mapa de Estações**. Disponível em: <https://mapas.inmet.gov.br/>. Acesso em: 29 nov. 2022.

JÚNIOR, F. M.; MAGNI, N. L. G. **Equação de Chuvas Intensas do Estado de São Paulo**. Departamento de Águas e Energia Elétrica, São Paulo, 1999, p. 1.

KENDALL, M. G. **Rank Correlation Methods**. Fourth ed. Charles Griffin, London, 1975.

LANNA, A. E. **Elementos de estatística e probabilidades**. In: TUCCI, C. E. M. (Org.). Hidrologia: ciência e aplicação. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS: ABRH, 2001. ed 2. p.79-176.

MANN, H. B. **Non-parametric test against trend**. Econometrica, v. 13, p. 245–259, 1945.

MARTINEZ JÚNIOR, F. M.; MAGNI, N. L.G. **Equações de chuvas intensas do estado de São Paulo**. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1999. 125 p.

MESQUITA, Wilson Oliveira; GRIEBELER, Nori Paulo; OLIVEIRA, L. F. C. D.

Precipitações Máximas Diárias Esperadas para as Regiões Central e Sudeste de Goiás.

Pesquisa Agropecuária Tropical: subtítulo da revista, Goiânia - GO, v. 39, n. 2, p. 73-81, jun./2009.

MOSTER, C. et al. **Determinação do ano hidrológico visando a quantificação do balanço hídrico em microbacias experimentais.** IPEF: Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais, São Paulo, v. 1, n. 197, p. 1-6, jun./2003.

NASH, J. E.; SUTCLIFFE, J. V. **River flow forecasting through conceptual models I: a discussion of principles.** Journal of Hydrology, v. 10, n.3, pp. 282- 298, 1970.

NETO, E. P. S; SARMENTO, A. P.. **Curvas de Duração-Intensidade-Frequência: um mapeamento sistemático.** RBES: Revista Brasileira de Engenharia e Sustentabilidade, Pelotas - RS, v. 8, n. 1, p. 45-53, jul./2020.

PEREIRA, Daniela Carneiro; DUARTE, Letícia Rodrigues; SARMENTO, Antover Panazzolo. **Determinação da Curva de Intensidade, Duração e Frequência do Município de Ipameri - Goiás.** REEC: Revista Eletrônica de Engenharia Civil, v. 13, n. 2, p. 233-246, dez./2017.

PEREIRA, S. B.; FIETZ, C. R.; PEIXOTO, P. P. P.; ALVES SOBRINHO, T.; SANTOS, F. M. **Equação de intensidade, duração e frequência da precipitação para a região de Dourados, MS.** Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2007. 18p.

PFAFSTETTER, Otto. **Chuvas intensas no Brasil: relação entre precipitação, duração e frequência de chuvas registradas com pluviógrafos em 98 postos meteorológicos.** 2. ed. Rio de Janeiro: Departamento Nacional de Obras de Saneamento, 1982. 426 p.

PINTO, N. L. de S.; HOLTZ, A. C. T.; MARTINS, J. A.; GOMIDE, F. L. S. **Hidrologia Básica.** 1 ed. Paraná: Editora Blucher, 1976. 304p.

SHAHIDIAN, Shakib; GUIMARÃES, Rita Cabral; RODRIGUES, Carlos Miranda; **Hidrologia Agrícola.** 2. ed. Portugal: Escola de Ciências e Tecnologia da Universidade de Évora / ICAAM, Instituto de Ciências Agrárias e Mediterrânicas, 2017. p. 1-292.

SILVA, Camila Bittencourt. **Relação Intensidade-Duração-Frequência de Chuvas Extremas na Região Nordeste do Brasil**. Orientador: Prof. Dr. Luiz Fernando Coutinho de Oliveira. 2016. 110 f. Dissertação (Mestrado Profissional) - Programa de Pós Graduação em Tecnologias e Inovações Ambientais, Universidade Federal de Lavras, Lavras – MG, 2016.

SILVA, D. D. D. et al. **Equações de intensidade-duração-frequência da precipitação pluvial para o estado de Tocantins**. Revista Engenharia na Agricultura, Viçosa, v. 11, N. 1-4, p. 7-14, jan./2003.

TUCCI, C. E. M; **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. 2. ed. Porto Alegre: Universidade UFRGS, 2001. p. 1-943.

VILLELA, S. M. & MATTOS, A. **Hidrologia Aplicada**. Editora Mc Graw Hill, 1975. São Paulo. 245p.

APÊNDICE A – RELATÓRIO DO GAM-IDF



Relatório | chuvas_C_01648002.csv

Resumo dos Resultados

Teste de Mann-Kendall ao nível de significância de 5%	Não há tendência
Função densidade de probabilidade (FDP)	Gumbel
Parâmetros da FDP	ξ : 75.2818, α : 20.4591
Teste de Anderson Darling ao nível de significância de 5%	Estatística: 0.4177 p-valor: 0.83 Resultado do teste: FDP se ajusta
Parâmetros da IDF	a: 748.546, b: 0.168, c: 9.214, d: 0.706
Nash e Sutcliffe (NS)	0.9969
RMSE (mm/h)	3.5641

Função Densidade de Probabilidade - FDP

$$F = e^{\left[-e^{\left\{\frac{-(x-75.2818)}{20.4591}\right\}}\right]}$$

Modelo Matemático IDF

$$I = \frac{748.546 \cdot TR^{0.168}}{(9.214 + t)^{0.706}}$$

Curvas IDF

