



UFOP



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO

Universidade Federal de Ouro Preto

Escola de Minas – Departamento de Engenharia Urbana

Curso de Graduação em Engenharia Urbana



ESCOLA DE MINAS

JÚLIA ALMEIDA PINHO

**EQUAÇÃO DE CHUVAS INTENSAS COMO FERRAMENTA
DE PLANEJAMENTO E GESTÃO DA DRENAGEM PARA O
MUNICÍPIO DE IPATINGA - MG**

Ouro Preto, MG

2025

Equação de chuvas intensas como ferramenta de planejamento e gestão da drenagem para o município de Ipatinga – MG.

Júlia Almeida Pinho

Projeto Final de Curso apresentado como parte dos requisitos para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Urbana na Universidade Federal de Ouro Preto.

Data da aprovação: 02/04/2025

Áreas de concentração: Saneamento e Recursos Hídricos e Planejamento Urbano

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Aline de Araújo Nunes

Ouro Preto, MG

2025

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

P654e Pinho, Julia Almeida.

Equação de chuvas intensas como ferramenta de planejamento e gestão da drenagem para o município de Ipatinga - MG. [manuscrito] / Julia Almeida Pinho. - 2025.

72 f.: il.: color., gráf., tab., mapa.

Orientadora: Profa. Dra. Aline de Araújo Nunes.
Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Graduação em Engenharia Urbana .

1. Planejamento Urbano. 2. Chuvas - Frequência da intensidade. 3. Drenagem do Solo. 4. Drenagem - Planejamento. I. Nunes, Aline de Araújo. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU 62:711.4

Bibliotecário(a) Responsável: Soraya Fernanda Ferreira e Souza - SIAPE: 1.763.787



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
REITORIA
ESCOLA DE MINAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA URBANA



FOLHA DE APROVAÇÃO

Júlia Almeida Pinho

Equação de chuvas intensas como ferramenta de planejamento e gestão da drenagem para o município de Ipatinga - MG

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Urbana da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Engenheira Urbana

Aprovada em 02 de abril de 2025

Membros da banca

Doutora Aline de Araújo Nunes - Orientadora (Universidade Federal de Ouro Preto)
Doutora Ana Letícia Pilz de Castro - (Universidade Federal de Ouro Preto)
Doutora Maria Luíza Teófilo Gandini - (Universidade Federal de Ouro Preto)

Aline de Araújo Nunes, orientadora do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 10/04/2025



Documento assinado eletronicamente por **Aline de Araújo Nunes, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 10/04/2025, às 18:41, 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.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0894377** e o código CRC **2219ACEA**.

Dedico esse trabalho à minha família:

“Vencer sem vocês é como triunfar sem glória,

levantar troféu sem vitória.”

Filipe C. M. S. Faria, (2024).

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por toda paciência, perseverança e maturidade que Ele me permitiu adquirir. Aos meus pais, Joelson e Denise, por todo amor e dedicação imensurável e todo o apoio ao longo desses anos, permitindo que eu pudesse realizar mais um dos meus sonhos. Essa conquista também é de vocês. Aos meus irmãos, Gabriel e Laura, que com todo carinho sempre me incentivaram a ser exemplo. As minhas avós, padrinhos e madrinhas, por me encorajarem a ser melhor. A minha família de Belo Horizonte, pela ajuda nos momentos difíceis. Isso também foi por vocês!

Agradeço aos grandes amigos que Ouro Preto me deu, por tornarem a jornada mais leve e prazerosa, jamais me esquecerei de vocês. A República Vesúvio, meu eterno lar, pelo aconchego, carinho e cuidado ao longo dos anos. Não me vejo em Ouro Preto sem vocês. As amigas de Ipatinga, que em nenhum momento me deixaram desanimar e se fizeram presentes em todos os momentos.

Agradeço também à minha orientadora, Aline Nunes, por ter me auxiliado em todo o processo e fomentado, desde o início da graduação, o amor pela drenagem urbana. A UFOP pelo ensino público, gratuito e de qualidade. A Fundação Gorceix pelos cursos que contribuíram para a minha formação profissional. Viva a Escola de Minas!

A Secretaria de Obras e Urbanismo da Prefeitura Municipal de Ouro Preto, que me permitiu viver coisas incríveis no âmbito profissional e cultivar em mim um olhar crítico e benevolente em situações adversas. Ao Abílio e Carlos, por acreditarem em mim. Vocês moldaram a profissional que me tornei.

Por fim, termino mais essa etapa da minha vida com a sensação de dever cumprido e gratidão por tudo que vivi e pelos frutos que colherei da dedicação ao longo desses anos.

RESUMO

A falta de um planejamento urbano eficiente e o crescimento desordenado das cidades têm gerado, a cada dia, situações complexas e de difícil resolução, sendo a cidade de Ipatinga (MG) um exemplo disso. Nesse contexto, um sistema de drenagem urbana adequado é essencial para garantir a qualidade de vida da população, minimizando os impactos de inundações e alagamentos. Para o dimensionamento adequado desses sistemas, é crucial a previsão da intensidade crítica de precipitação na região, a qual pode ser mensurada por meio da equação de Intensidade-Duração-Frequência (IDF). Considerando que Ipatinga ainda não possui uma equação IDF oficial definida, o presente estudo propõe a elaboração dessa equação para o município. Para tal, foi realizada, primeiramente, uma análise estatística de tendência a fim de apontar eventuais alterações nos padrões de chuva da região. Na sequência, para a estimativa dos quantis de intensidade de chuva foram realizados testes de aderência, sendo selecionada a distribuição GEV (Generalized Extreme Value). Por fim, uma vez estimadas as intensidades de chuva para diferentes durações e tempos de retorno, foi realizada uma análise comparativa com outros estudos que fornecem intensidades pluviométricas para cidades vizinhas, como Timóteo, Periquito, a região do Médio Piracicaba e o software Plúvio 2.1 para Ipatinga, a fim de identificar os valores mais adequados e coerentes para o município. Com a equação e seus parâmetros $a=7066,429$; $b=0,1083$; $c=48$ e $d=1,008$ estabelecidos, verificou-se que, para cada tempo de retorno e duração considerados (10 minutos, 60 minutos e 24 horas), diferentes regiões comparadas apresentaram ajustes mais próximos, evidenciando a necessidade de determinar parâmetros específicos para o município em questão. Esse entendimento reforça a importância de desenvolver diretrizes que visem a melhoria da drenagem urbana na cidade, como a implementação do Plano Diretor de Drenagem Urbana e a atualização do Plano Municipal de Saneamento Básico, com o objetivo de assegurar um dimensionamento eficiente dos sistemas de micro e macrodrenagem, promovendo o bem-estar da população.

Palavras-chaves: Equação IDF. Planejamento Urbano. Crescimento Desordenado. Chuvas Intensas.

ABSTRACT

The lack of efficient urban planning and the disorganized growth of cities have led to complex situations that are difficult to resolve, and the city of Ipatinga (MG) is a case in point. In this context, an adequate urban drainage system is essential to guarantee the population's quality of life, minimizing the impacts of flooding. In order to properly size these systems, it is crucial to predict the critical intensity of precipitation in the region, which can be measured using the Intensity-Duration-Frequency (IDF) equation. Considering that Ipatinga does not yet have an official IDF equation defined, this study proposes the development of such an equation for the municipality. To this end, a statistical trend analysis was first carried out in order to identify any changes in the region's rainfall patterns. Next, adherence tests were carried out to estimate rainfall intensity quantiles, and the GEV (Generalized Extreme Value) distribution was selected. Finally, once the rainfall intensities had been estimated for different durations and return times, a comparative analysis was carried out with other studies that provide rainfall intensities for neighboring cities, such as Timóteo, Periquito, the Médio Piracicaba region and the Plúvio 2.1 software for Ipatinga, in order to identify the most appropriate and coherent values for the municipality. With the equation and its parameters $a=7066.429$; $b=0.1083$; $c=48$ and $d=1.008$ established, it was found that for each return time and duration considered (10 minutes, 60 minutes and 24 hours), different regions compared showed closer fits, highlighting the need to determine specific parameters for the municipality in question. This understanding reinforces the importance of developing guidelines aimed at improving urban drainage in the city, such as implementing the Urban Drainage Master Plan and updating the Municipal Basic Sanitation Plan, with the aim of ensuring efficient sizing of micro and macro-drainage systems, promoting the well-being of the population.

Keywords: Equation IDF. Urban Planning. Disorderly Growth. Heavy Rains.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Chuva forte causa alagamento em Ipatinga	16
Figura 2 – Análise da diferença da vazão de pico em uma bacia hidrográfica natural e uma bacia urbanizada	22
Figura 3 – Diferença entre enchentes, inundações e alagamentos	24
Figura 4 – Modelo de Pluviômetro Automático.	27
Figura 5 – Etapas metodológicas do estudo.....	34
Figura 6 – Localização do município de Ipatinga	35
Figura 7 – Região Metropolitana do Vale do Aço e o colar metropolitano.	36
Figura 8 – Principais rios na zona urbana de Ipatinga.....	37
Figura 9 – Urbanização intensa na região central de Ipatinga.....	38
Figura 10 – Rua São José no bairro Bom Jardim em Ipatinga, após a enchente de 1979	39
Figura 11 – Localização das estações pluviométricas de Ipatinga	41
Figura 12 – Parâmetros da equação IDF desenvolvidos pelo software Plúvio 2.1 para Ipatinga	46

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Dados das estações pluviométricas de Ipatinga, MG	41
Tabela 2 – Valores calculados de intensidade de precipitação	48
Tabela 3 – Ranking das distribuições	50
Tabela 4 – Parâmetros obtidos da distribuição GEV	51
Tabela 5 – Quantis – distribuição GEV	52
Tabela 6 – Log dos quantis – distribuição GEV	52
Tabela 7 – Logaritmo da soma do parâmetro c à sua duração.....	53
Tabela 8 – Parâmetros para o cálculo da IDF.....	54
Tabela 9 – Parâmetros individuais da IDF para Ipatinga, MG	55
Tabela 10 – Intensidades (mm/h) calculadas para Ipatinga a partir da IDF proposta	56

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Análise de tendência das intensidades máximas de chuva para Ipatinga	49
Gráfico 2 – Linearização, intensidade (i), duração (T) e parâmetro “c”	53
Gráfico 3 – Linearização dos parâmetros logarítmicos de A e T.....	55
Gráfico 4 – Análise visual das intensidades para 10 minutos de duração	57
Gráfico 5 – Análise visual das intensidades para 60 minutos de duração	57
Gráfico 6 – Análise visual das intensidades para 24 horas de duração	58

LISTA DE SIGLAS

ALEA – Análise de frequência Local de Eventos Anuais

ANA – Agência Nacional de Águas

CEMADEN – Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais

CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais

EHR – Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos

IDF – Intensidade, Duração e Frequência

IGAM-MG – Instituto Mineiro de Gestão das Águas

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change

GEV – Valor Extremo Generalizado

GPRH – Grupo de Pesquisa de Recursos Hídricos

ONU – Organização das Nações Unidas

PDDrU – Plano Diretor de Drenagem Urbana

PMSB – Plano Municipal de Saneamento Básico

RMVA – Região Metropolitana do Vale do Aço

SBHSF – Simpósio da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco

SGB – Serviço Geológico do Brasil

SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento

UFMG – Universidade Federal de Minas Gerais

UFOP – Universidade Federal de Ouro Preto

UFV – Universidade Federal de Viçosa

UPGRH – Unidades de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	JUSTIFICATIVA	16
3	OBJETIVO	18
3.1	Objetivo Geral.....	18
3.2	Objetivos Específicos.....	18
4	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
4.1	A urbanização e o crescimento desordenado das cidades.....	19
4.2	Impactos da urbanização na drenagem urbana.....	21
4.3	Precipitação e monitoramento	25
4.4	Chuvas intensas	28
4.5	Alterações climáticas	30
4.6	Testes estatísticos e análise de séries temporais.....	31
5	METODOLOGIA	34
5.1	Caracterização da área de estudo.....	34
5.1.1	Cheias urbanas	39
5.2	Obtenção de dados pluviométricos e análise preliminar.....	40
5.3	Análise de estacionariedade.....	42
5.4	Proposta de desenvolvimento da equação IDF para Ipatinga	43
5.5	Utilização da equação de Intensidade-Duração-Frequência para o planejamento urbano e comparação com referências regionais.....	45
6	RESULTADOS	48

6.1	Obtenção e análise dos dados pluviométricos obtidos para Ipatinga ..	48
6.2	Análise de estacionariedade	48
6.3	Proposta de desenvolvimento da equação IDF para Ipatinga	50
6.4	Análise comparativa da equação IDF proposta	56
6.5	Discussão da aplicação da IDF como ferramenta para o Plano Diretor de Drenagem Urbana (PDDrU).....	60
7	CONCLUSÕES.....	62
	REFERÊNCIAS	63

1 INTRODUÇÃO

A crescente urbanização ao longo dos anos vem promovendo cidades cada vez mais populosas. A busca por melhores condições de vida, facilidade de locomoção, maiores oportunidades e disponibilidade de acesso a infraestruturas e direitos essenciais à vida é um atrativo que faz com que as pessoas almejem cada vez mais estarem próximas dos centros urbanos.

No entanto, o crescimento populacional brasileiro nas *urbes* se dá de forma desorganizada e na grande maioria das vezes sem um planejamento urbano adequado que suporte tal avanço. Sem a orientação de locais passíveis de ocupação, a população acaba se aproximando de regiões ribeirinhas, encostas e demais áreas susceptíveis a desastres.

Em concordância com a urbanização, as alterações climáticas têm se intensificado no decorrer dos anos, acelerando os eventos climáticos extremos. Tais eventos, como as precipitações intensas, desencadeiam situações de risco para os moradores de áreas marginalizadas, principalmente em regiões próximas aos rios.

Nesse sentido, a recorrente ocorrência de eventos de alagamentos, enchentes e inundações pode estar em algumas vezes associada a falhas nos sistemas de drenagem, mas na maioria delas associa-se às ocupações ribeirinhas e à alta impermeabilização do solo (Farias; Mendonça, 2022). A redução de áreas verdes nas cidades provoca mudanças significativas no ciclo hidrológico urbano, afetando tanto a quantidade quanto a qualidade da água.

A equação IDF (Intensidade-Duração-Frequência) é uma ferramenta crucial no dimensionamento de sistemas de drenagem urbana, pois fornece informações sobre a relação entre a intensidade da precipitação, a duração do evento e sua frequência de ocorrência. A equação IDF é usada para prever a intensidade da chuva em função do tempo de duração e da probabilidade de repetição, permitindo que engenheiros e planejadores projetem sistemas de drenagem capazes de lidar com eventos de chuva de diferentes magnitudes e frequências (Fernandes *et al.*, 2017).

À luz do exposto, o município de Ipatinga (MG) teve um processo de urbanização muito acelerado, o que colaborou para altas taxas de impermeabilização do solo e,

apesar de ser uma cidade inicialmente planejada, este planejamento não conseguiu acompanhar o seu desenvolvimento. Assim, existem muitas ocupações irregulares no entorno dos rios, que cooperam para o estrangulamento do mesmo. Além do mais, a cidade não possui uma equação IDF estabelecida com dados recentes, o que dificulta o processo de definição e dimensionamento dos sistemas de drenagem. Portanto, o presente estudo busca desenvolver uma equação Intensidade-Duração-Frequência para o município, como ferramenta de planejamento e gestão da drenagem.

2 JUSTIFICATIVA

As cidades brasileiras vêm sofrendo recorrentemente com alagamentos e inundações, e o município de Ipatinga não é isento desses eventos. Localizado no Vale do Rio Doce, no interior de Minas Gerais, o município tem enfrentado inundações nos períodos chuvosos, que estão provavelmente relacionadas às alterações climáticas e intensa urbanização.

As chuvas ocorridas entre dezembro e fevereiro nos anos de 2012, 2017, 2020 e 2021 provocaram grandes alagamentos em diversos bairros da cidade, acarretando prejuízos aos moradores (G1, 2012; G1, 2017; Jornal Diário do Aço, 2020; G1, 2021). No verão de 2023/2024, chuvas intensas com média estimada de 52 mm e duração de duas horas ocasionaram enchentes que impossibilitaram o acesso de moradores e causaram danos materiais por toda a cidade (Jornal Diário do Aço, 2023). Já em janeiro de 2025 foi registrada uma chuva de 80 milímetros em uma hora, ocasionando em deslizamentos em diversos pontos da cidade e 9 mortes no município devido à tempestade (G1, 2025). Um exemplo dessas diversas situações de alagamentos no município é apresentado na Figura 1.



Figura 1 – Chuva forte causa alagamento em Ipatinga.

Fonte: G1, 2017.

Devido às chuvas extremas que vêm ocorrendo de forma mais frequente do que o previsto, o sistema de drenagem existente se torna mais vulnerável na sua função de coleta do excesso de águas pluviais. Mesmo com novos investimentos e manutenções periódicas nos aparelhos existentes, é essencial que haja estudos, acompanhamentos e atualizações de dados pluviométricos, a fim de garantir a segurança e o bem-estar da população.

Embora Ipatinga seja uma cidade planejada desde a sua construção, seu desenvolvimento se deu de forma muito rápida e de uma maneira que o planejamento urbano não conseguiu acompanhar. Uma das consequências dessa urbanização precoce é a verticalização da cidade, que sofre com a impossibilidade de se expandir mais horizontalmente devido aos seus limites territoriais. No entanto, a verticalização sem um planejamento e readequação da drenagem só contribuiu para sobrecarregar todo o sistema.

Ainda, considerando a escassez de informações acerca da drenagem urbana no Plano Diretor e no Plano Municipal de Saneamento Básico e a falta de um Plano Diretor de Drenagem Urbana, a determinação de uma equação IDF para o município com dados atualizados pode nortear o desenvolvimento dos sistemas de drenagem, essencialmente nos locais apontados pelo Plano Municipal de Saneamento Básico como defasados e ineficientes para a coleta das águas pluviais.

3 OBJETIVO

3.1 Objetivo Geral

O objetivo principal do presente estudo é definir os parâmetros da equação Intensidade-Duração-Frequência (IDF) para a cidade de Ipatinga - MG, através dos dados pluviométricos, visando nortear o dimensionamento da micro e macrodrenagem no âmbito municipal.

3.2 Objetivos Específicos

- Propor uma equação IDF (Intensidade-Duração-Frequência) atualizada, conforme os parâmetros estudados;
- Comparar a equação proposta com os parâmetros estabelecidos pelo software Plúvio 2.1 do GPRH – UFV e outros trabalhos similares de regiões próximas ao município de Ipatinga; e
- Avaliar as normativas municipais no que tange à drenagem urbana.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 A urbanização e o crescimento desordenado das cidades

Em meados de 1930, início da Revolução Industrial no Brasil, o processo de urbanização das cidades foi intensificado pelo êxodo rural, onde a população rural migrou para a zona urbana em busca de melhores condições de trabalho e renda. A migração contribuiu para acelerar o processo de urbanização que vinha ocorrendo de forma lenta, provocando o crescimento desordenado das cidades. No livro “O processo de urbanização no Brasil”, Schiffer (1999) destaca:

“O país, se não está inteiramente urbanizado, tem seguramente caráter preponderantemente urbano. As condições de produção nas áreas urbanas - nas cidades - são agora as da virtual totalidade da economia, e as condições de vida nas aglomerações urbanas são as da maioria da população. Acima de tudo, as aglomerações urbanas constituem a base e o palco das transformações futuras da sociedade e também de sua economia.” (Schiffer, 1999).

A partir do crescimento das cidades e desenvolvimento das máquinas e indústrias, a população nos centros urbanos ampliou-se de forma extraordinária (Scopel, 2018). Como Júnior e Santos (2014) destacam, o crescimento de forma desordenada se deu principalmente devido ao excesso de habitantes, falta de infraestrutura e investimento, especulação imobiliária e aumento de desemprego e da criminalidade. Dessa forma, as cidades tendem a transformar seus espaços por conta do aumento inesperado da população em determinada região, acarretando diversos problemas, dentre eles, a segregação social e problemas ambientais.

Os países desenvolvidos possuem problemas ambientais relacionados à industrialização e tecnologia, enquanto nos países em subdesenvolvimento os problemas ambientais estão mais ligados ao crescimento populacional intenso e desorganizado, ocasionando também a marginalização da população que passa a ter condições de vida desumanas, salienta Paulo (2018).

A expansão populacional desordenada provoca uma diminuição drástica nos espaços disponíveis para ocupação urbana, acarretando a invasão de áreas pouco antropizadas e com escassez de infraestrutura. Desse modo, nota-se ocupações em

áreas de preservação ambiental e entorno dos rios cada vez mais frequentes no processo de urbanização. Zdanowicz (2022) trata as ocupações irregulares como a busca da população de acesso à cidade e ao que ela pode proporcionar, como acesso a emprego e renda e serviços básicos essenciais à vida humana.

Os assentamentos precários que se originam devido ao aumento desproporcional das cidades, acabam por se desenvolver em locais de risco disponíveis para ocupação, sejam eles em encostas, áreas de rastejo, próximas a leitos de rios e áreas suscetíveis a inundação. Assim, o crescimento urbano desordenado muitas vezes ocorre devido ao mau ou não planejamento urbano, promovendo consequências como surgimento de favelas e ocupações em encostas e margens de rios (Aguilar, 2013). Além disso, sobressaem adversidades comuns às periferias de grandes cidades, como a escassez de infraestrutura elétrica, saneamento básico, vias pavimentadas, transporte público e fonte de renda e trabalho. Este conjunto prejudica amplamente o desenvolvimento da cidade de maneira positiva.

Segundo Scopel (2018), o planejamento urbano é fundamentalmente uma maneira de se pensar a cidade buscando melhorar a qualidade dos seus espaços. No entanto, o termo é muito mais amplo do que apenas refletir a cidade locando seus equipamentos públicos e propriedades particulares, sendo essencial prever o uso e ocupação do solo e a distribuição destes usos, tendo como objetivo principal a sociedade dentro do meio urbano.

Já Pedroso *et al.* (2011), define o planejamento urbano como o Plano Diretor da cidade, no qual as diretrizes orientam pela busca na melhoria da qualidade de vida dos seus habitantes através da criação, ampliação e desenvolvimento da área urbana. Em vista disso, o planejamento não pode ser compreendido apenas como um produto final que se deseja alcançar, mas um processo contínuo que visa solucionar os obstáculos atuais e prever os desafios futuros, almejando eliminá-los ou ao menos amenizá-los. Em razão disso, a revisão e atualização de Planos Diretores é fundamental para entender os dilemas atuais da cidade e da população que nela reside.

Uma vez que não é possível prever com precisão o sentido no qual uma cidade irá se desenvolver, tanto em extensão territorial quanto economicamente, entende-se

que o planejamento se torna indispensável para garantir uma infraestrutura urbana básica e adequada para a população. É fundamental ter um olhar criterioso visando proporcionar vias estruturalmente bem consolidadas que suportem o tráfego previsto e que contribuam para a mobilidade da população, regularização de terrenos que não façam parte dos setores de risco de deslizamento e/ou movimentos de massa, saneamento básico, incluindo coleta de resíduos sólidos, abastecimento de água potável, coleta e tratamento de esgoto e drenagem urbana e proximidade com equipamentos públicos que atendam aos bairros de modo eficiente.

Ainda buscando entender como a cidade se comporta a partir do aumento populacional, especialmente em períodos curtos de tempo, Paulo (2018) atrela a mudança da cidade como codependente da mudança da sociedade, onde a urbe se adequa às necessidades da população e se transforma a partir disso, transformando-os em um conjunto.

Dessa maneira, entende-se que a ocupação nas cidades de forma desordenada acaba por intensificar as situações de desastres urbanos, sobretudo as enchentes e inundações, que são acentuadas devido ao processo de urbanização e impermeabilização do solo.

4.2 Impactos da urbanização na drenagem urbana

De acordo com Miguez (2015), às atividades humanas interferem diretamente nos padrões de uso e ocupação do solo, sendo a urbanização uma das ações antrópicas que mais contribui para os impactos ambientais, justamente pela mudança das características primárias do uso do solo.

A deficiência de planejamento urbano nas cidades acarreta diversos problemas para a população devido aos impactos causados pela urbanização. Dentre tais problemas, os que mais têm afetado a população brasileira nas últimas décadas são as inundações, enchentes e alagamentos urbanos, que ocorrem essencialmente em consequência do aumento da impermeabilização do solo, remoção da vegetação original, ocupação em áreas ribeirinhas e canalização dos córregos e rios.

Nas áreas urbanizadas há uma menor taxa de infiltração de água no solo e aumento do escoamento superficial. Segundo Teixeira e Araújo (2023), o escoamento

rápido das precipitações promove uma falsa ideia de ótima drenagem, enquanto a verdadeira ótima drenagem seria drenar o escoamento sem causar prejuízos no local e/ou a jusante.

Nesse sentido, o processo de urbanização aumenta a velocidade de escoamento superficial, promovendo também um aumento no pico de vazão, uma vez que deixa de ocorrer uma retenção natural da precipitação pela vegetação que foi substituída por materiais impermeáveis, como pode ser visto na Figura 2.

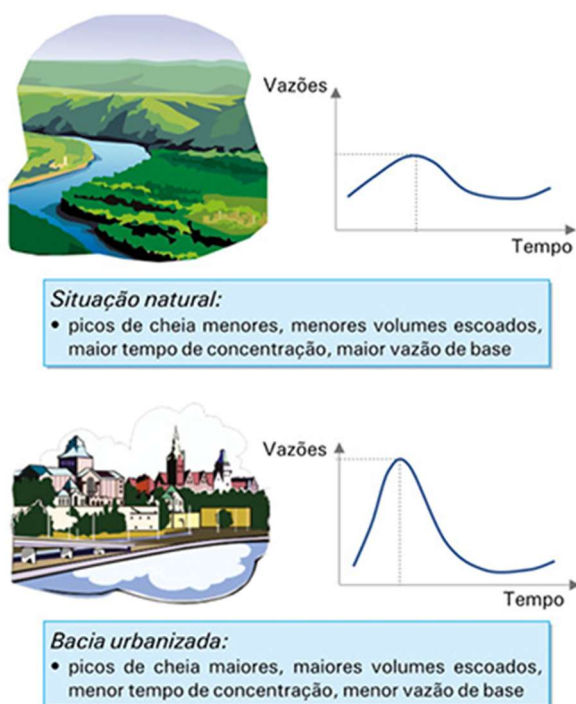


Figura 2 - Análise da diferença da vazão de pico em uma bacia hidrográfica natural e uma bacia urbanizada.

Fonte: Miguez, 2015.

A Lei Federal nº 14.026 de 2020 (Brasil, 2020) considera como serviços públicos de drenagem e manejo das águas pluviais urbanas aqueles que contemplam uma ou mais das seguintes atividades:

- Infraestrutura e instalações operacionais de drenagem de águas pluviais;
- Transporte, detenção ou retenção de águas pluviais urbanas para amortecimento de vazões de cheias;
- Tratamento e disposição final de águas pluviais drenadas; e
- Limpeza e fiscalização preventiva das redes de drenagem.

Entende-se por sistemas de drenagem urbana as estruturas e instalações destinadas ao transporte, retenção, tratamento e/ou disposição final das águas pluviais, podendo ser classificados entre microdrenagem e macrodrenagem (Almeida, 2020). Um sistema de microdrenagem é responsável por coletar as águas pluviais através de sarjetas, bocas de lobo, redes e pequenas galerias, enquanto a macrodrenagem além de englobar tais sistemas, também se amplia com o acréscimo de grandes galerias e bueiros e outros equipamentos de grande porte até os corpos receptores.

Neste ponto ressalta-se que independentemente da existência de um sistema de drenagem urbana, seja de micro ou macrodrenagem, o escoamento das águas pluviais ocorrerá de qualquer forma, ou seja, a drenagem natural dar-se-á mesmo que a urbe não esteja planejada para a situação (Tucci, 2012). Entende-se também que a água procura o caminho mais fácil para percorrer e a urbanização e impermeabilização do solo contribuem para o aumento do escoamento em um curto espaço de tempo.

Outro ponto a ser destacado, é que mesmo que o sistema de drenagem exista, ele só deverá ser solicitado em períodos de precipitação, isto é, sem a ocorrência de chuvas a rede de drenagem, por exemplo, deve estar seca e em condições de captar e receber a vazão dimensionada a qualquer momento (Carvalho e Silva, 2006). Ainda segundo Carvalho e Silva (2006), os estudos climatológicos desenvolvidos para épocas de chuva e de seca garantem que os responsáveis pela manutenção e conservação dos sistemas de drenagem se programem para garantir o pleno funcionamento dos aparelhos antes dos períodos chuvosos.

Quando o sistema não está preparado para receber a precipitação ou é inexistente, o evento pode se tornar uma enchente, alagamento ou inundação urbana. A diferença entre tais fenômenos é a gravidade em que eles ocorrem, no entanto, em todos os casos é possível que aconteçam prejuízos severos à população, essencialmente quando há ocupação do leito menor e/ou maior dos rios. Dessa maneira, variando conforme a área analisada, é possível ocorrer uma inundação e um alagamento dentro de um mesmo território por exemplo, porém em diferentes cotas e sistemas de drenagem distintos, como demonstra a Figura 3.



Figura 3 - Diferença entre enchentes, inundações e alagamentos.

Fonte: Guimarães, 2020.

Tucci (2008) destaca que as inundações urbanas ocorrem a partir de dois processos, sejam eles isolados ou combinados, que são as inundações em áreas ribeirinhas e as inundações em virtude da urbanização. As inundações em áreas ribeirinhas ocorrem devido à ocupação irregular no leito de inundação dos rios, como é possível visualizar na Figura 3. Já as inundações devido à urbanização acontecem devido à impermeabilização do solo, como tratado anteriormente.

As principais falhas que podem surgir com as enchentes e inundações devido ao mau dimensionamento dos sistemas de drenagem, ocupações irregulares e/ou intensa urbanização, englobam as perdas materiais e imateriais, interrupção de atividades econômicas e interdição de vias, contaminação de pessoas com doenças de veiculação hídrica, contaminação e deterioração da qualidade da água, e surgimento de processos erosivos e escorregamento de encostas (Almeida, 2020).

Rodrigues *et al.* (2022) descreve como a drenagem urbana está atrelada às questões ambientais, onde as redes de esgoto também precisam se adequar a estratégias de paisagem urbana estruturadas, buscando reduzir os índices poluidores das sub-bacias. Isso ocorre em consequência de ligações irregulares das redes de esgoto nas redes de drenagem, acarretando em uma disposição final inadequada com potencial poluidor de rios e córregos. Além dos prejuízos ambientais que a utilização

do sistema misto de água e esgoto traz, há uma preocupação crucial em relação à saúde pública.

O escoamento superficial decorrente da precipitação acaba por lavar as vias, telhados, calhas e demais superfícies (Almeida, 2020), transportando detritos para dentro dos sistemas de drenagem e conseqüentemente para os corpos hídricos. Ainda segundo Almeida (2020), desgastes na pavimentação, resíduos sólidos, poeira, dejetos de animais, erosões do solo e folhas e galhos de árvores contribuem para a contaminação e alteração da qualidade da água precipitada, podendo ser remediados a partir da frequência da limpeza urbana e da intensidade da precipitação.

Portanto, analisando as conseqüências da urbanização sem o devido planejamento e adequação da drenagem urbana, verifica-se a importância da utilização de instrumentos de gestão urbana que auxiliem e orientem a população e os órgãos responsáveis, visando evitar sobrecarregar os sistemas de drenagem existentes. Em contraponto, os efeitos das mudanças climáticas que vem ocorrendo ao longo dos anos colaboram para precipitações inesperadas e em volumes superiores aos estimados, aumentando o escoamento superficial e agravando as inundações.

4.3 Precipitação e monitoramento

Existem no planeta Terra variações de precipitação a depender do local analisado, podendo tais locais experimentar desastres como enchentes, inundações ou até mesmo longos períodos de seca, conforme destaca Stein (2021). Dentre os fatores agravantes desses desastres, podemos destacar a queima de combustíveis fósseis, o desmatamento e a intensa urbanização.

Stein (2021) ainda define a precipitação como a água proveniente do vapor de água da atmosfera que chega à superfície terrestre, podendo ser em forma de chuvas, neve, saraiva, granizo, orvalho e/ou geada. Já Cech (2013) destaca que quando a umidade da água na atmosfera se torna superior ao que as nuvens podem suportar, formam-se pequenas moléculas de água que, em condições propícias, quando associadas umas às outras originam gotículas que desencadeiam o processo de precipitação.

As precipitações, comumente denominadas como chuvas, podem variar de acordo com sua intensidade e seus tipos, sendo classificadas como fraca, moderada e forte e frontais, convectivas e orográficas. As chuvas fracas têm um volume aproximado de 2,5mm/h com gotas isoladas e alto número de gotículas com diâmetro próximo de 0,5mm, já as chuvas moderadas possuem um volume variável entre 2,5mm/h e 7,5mm/h e dificuldade em se observar as gotas de forma isolada, sendo mais fácil identificar a chuva pelas poças d'água formadas, enquanto as chuvas fortes apresentam volumes superiores a 7,5mm/h, formando aparência de lençóis e dificultando a visibilidade (Stein, 2021). No que diz respeito aos tipos, Miguez (2018) estabelece as seguintes definições:

- Chuvas frontais: causadas pelo encontro de uma massa de ar fria com uma massa de ar quente e úmida, normalmente sendo chuvas de longa duração e extensão e média intensidade.
- Chuvas convectivas: conhecidas como chuvas de verão, são causadas devido a uma intensa evapotranspiração de superfícies úmidas e aquecidas e através do rápido resfriamento do ar quente, provocando chuvas intensas. Comumente são de curta duração em pequenas áreas.
- Chuvas orográficas: são provocadas quando a massa de ar úmida encontra uma barreira topográfica, podendo durar períodos maiores com baixa intensidade.

O processo de monitoramento da precipitação é essencial para entender a quantidade de água disponível para manutenção da vida humana e do meio (Cech, 2013). Para mensurar os volumes de precipitação são utilizados métodos pontuais, os quais englobam os pluviômetros e pluviógrafos (Mol, 2005).

Tanto os pluviômetros quanto os pluviógrafos são instrumentos de mensuração direta, ou seja, a quantidade de volume de precipitação coletada será lida. Dessa forma, temos que a principal diferença entre esses aparelhos é que o pluviômetro requer leituras manuais dentro de intervalos de tempo pré-estabelecidos, enquanto o pluviógrafo é um aparelho que registra automaticamente os dados coletados. Além disso, o pluviógrafo também é capaz de mensurar e identificar a intensidade e duração das chuvas, conforme descreve Silva *et al.* (2019).

Conhecer a precipitação é fundamental para compreender acerca das alterações climáticas, eventos extremos e interações de ecossistemas, assim como melhorar o manejo dos recursos hídricos (Silva *et al.* 2019). Atualmente, instituições como ANA (Agência Nacional de Águas), SNIS (Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento) e CEMADEN (Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais) dispõem de dados pluviométricos para diferentes localidades no Brasil, o que contribui fortemente para o entendimento dos índices pluviométricos.

O CEMADEN possui um projeto em vigor desde 2014, no qual seu principal objetivo é aumentar e complementar a rede de monitoramento pluviométrico no Brasil (CEMADEN, 2015). Através dos pluviômetros, é concebível a mensuração tanto da quantidade como da intensidade das chuvas, a fim de prever eventos extremos e auxiliar na análise de cenários de riscos. Na Figura 4 é possível observar um modelo de pluviômetro automático do CEMADEN.



Figura 4 - Modelo de Pluviômetro Automático.

Fonte: CEMADEN.

Desse modo, conforme Pereira *et al.* (2020) discorrem, o monitoramento dos índices pluviométricos se torna indispensável ao tratar do planejamento urbano e prevenção de desastres e estimativas de áreas de inundações e alagamentos. A partir do conhecimento das precipitações e de como sua intensificação vem ocorrendo com o passar dos anos e dos efeitos desencadeados pelas mudanças climáticas, é possível amenizar seus impactos na drenagem urbana.

4.4 Chuvas intensas

Tanto o excesso quanto a escassez de chuvas podem contribuir para um desequilíbrio no sistema climático, ocasionando em danos humanos e materiais (Petrucci e Oliveira, 2019). Por definição, as chuvas intensas ou precipitações máximas são eventos chuvosos onde a intensidade da precipitação ultrapassa um valor de referência mínimo (Barbosa Junior, 2022).

Segundo Petrucci e Oliveira (2019), o entendimento acerca das precipitações máximas e chuvas intensas é dependente das variáveis de intensidade (I), duração (D) e frequência (F) em que tais eventos ocorrem, promovendo a necessidade de planejamento na área de recursos hídricos, assim como projetos correlatos e soluções que busquem minimizar tais impactos a fim de impedir grandes desastres urbanos.

Garcez e Alvarez (1988) estabelecem a intensidade de uma chuva como a velocidade de precipitação, tradicionalmente medida em mm/h ou mm/min, ou seja, volume precipitado sobre tempo de duração. Definem também a duração como o intervalo de tempo entre o início e o final do período precipitado, e a frequência através do número de ocorrências de uma determinada precipitação, no decorrer de um período previamente estabelecido (Garcez e Alvarez, 1988).

O conhecimento acerca dessa variação das precipitações, segundo Cardoso *et al.* (1998), é fundamental para subsidiar os estudos hidrológicos que norteiam o planejamento dos recursos hídricos assim como o planejamento urbano. Já de acordo com Rodrigues (2020), a importância do estudo das chuvas intensas e definição das equações IDF acontece principalmente para balizar o planejamento e concepção de obras de drenagem urbana.

A construção da curva IDF (intensidade-duração-frequência) ocorre por meio da análise das chuvas intensas durante um período estabelecido, suficientemente longo, e que consiga representar as precipitações extremas do local (Barbosa Junior, 2022). Vale ressaltar também que cada local possui uma curva característica distinta (Almeida, 2020).

A implementação da equação IDF originou-se a partir da necessidade de se mensurar as chuvas intensas e a sua variabilidade no tempo, sendo utilizadas essencialmente em projetos de drenagem (Rodrigues, 2020).

Barbosa Junior (2022) retrata que para a construção das curvas IDF é necessário ajustar uma distribuição probabilística para o período de duração determinado, podendo também ser representada pela Equação 1.

$$i = \frac{a * Tr^b}{(c + T_D)^d} \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

i = intensidade da chuva, geralmente expressa em mm/h;

Tr = período de retorno, expresso em anos;

T_D = tempo de duração da precipitação, expresso em minutos; e

a, b, c, d = parâmetros de ajuste determinados para cada local.

Tendo conhecimento que a medição da precipitação pode ocorrer comumente por um pluviômetro ou pluviógrafo, Barbosa Junior (2022) destaca que o menor limite a ser utilizado para coleta dos dados de precipitação é fixado em 5 minutos, visto que um intervalo menor de leitura não possui precisão adequada para a magnitude das precipitações. Assim, caracterizar as chuvas intensas de um local ao longo do tempo é de interesse de toda uma população (Hernandez, 2008) haja vista as consequências hidrológicas que a urbanização pode causar na drenagem urbana.

O crescimento significativo da intensidade das chuvas nos últimos anos pode ser compreendido, além dos fatores destacados anteriormente atrelados à urbanização, por meio das alterações climáticas. Sabendo que as mudanças climáticas vêm acontecendo de forma acelerada essencialmente em virtude das intervenções antrópicas no meio ambiente, se torna compreensível o argumento de que a partir da

intensa urbanização nas cidades houve a intensificação das alterações no clima, o que contribuiu de forma direta para o aumento das chuvas extremas.

4.5 Alterações climáticas

“O clima sempre mudou. Se lembrarmos que a pouco mais de dez mil anos passávamos por uma longa era do gelo, e que hoje o planeta encontra-se com temperaturas amigáveis, podemos provar tal afirmação.”, descreve Castelhana (2020) ao tratar sobre as alterações do clima. A ONU Brasil define as alterações climáticas como as transformações de clima e temperatura que ocorrem a longo prazo, fugindo dos padrões climáticos convencionais. Ao distanciar-se dos padrões clássicos, têm-se as mudanças não naturais, ou seja, que ocorrem devido às interferências do ser humano no meio.

As atividades humanas, especialmente a queima de combustíveis fósseis, contribuem para aumentar a quantidade de dióxido de carbono na atmosfera e alterar o balanço energético. Ao tratar de balanço de energia, trata-se, portanto, da quantidade total de energia que entra no sistema terrestre subtraída da quantidade total que sai desse mesmo sistema, sendo assim possível obter a quantidade de energia que é absorvida pela superfície terrestre (Goulart, 2023).

Vale lembrar que a quantidade de energia absorvida depende também dos materiais e suas respectivas cores, como por exemplo o asfalto, que aumenta a quantidade de absorção de radiação solar nas urbes (Castelhana, 2020). Com isso, quanto mais urbanizada a área, menor é a absorção de calor e, por consequência, há a criação de ondas de calor causando um aumento na sensação térmica.

Uma das principais consequências das alterações climáticas é a intensificação dos fluxos que constituem o ciclo hidrológico, segundo Duarte (2007). O aumento na temperatura do planeta ocasiona uma maior evaporação e concentração de vapor de água na atmosfera, o que aumenta também o potencial de precipitação (Duarte, 2007). Os eventos extremos, como secas, enchentes e tempestades estão diretamente relacionados às alterações climáticas que causam diversas perdas econômicas e de vidas (Blank, 2015).

A ONU Brasil trata os efeitos do aumento da temperatura no mundo como consequências da perturbação do equilíbrio da natureza, representando riscos a todos os seres vivos. Dentre os principais danos que as mudanças climáticas podem causar, as tempestades cada vez mais severas têm se tornado também cada vez mais frequentes (ONU).

Magno (2024) ressalta que o aumento da temperatura dos oceanos também influencia a frequência e a intensidade das tempestades tropicais, onde ciclones, furacões e tufões se nutrem da água quente na superfície do mar e muitas vezes, esses eventos arrasam grandes comunidades, resultando em fatalidades e perdas financeiras.

O Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (2024) destacou que as chuvas ocorridas no sul do Brasil no primeiro semestre de 2024, provocando inundações e deslizamentos, se tornaram duas vezes mais prováveis devido às alterações climáticas. Recorda-se também, que com o passar dos anos os eventos extremos de chuvas e secas têm sido cada vez mais recorrentes e mais intensos (IPCC, 2023).

Segundo o IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2023), a influência humana vem aumentando desde 1950 a probabilidade de ocorrência de eventos extremos, capazes de gerar impactos à saúde, ecossistemas, infraestruturas e meios de subsistência. Dessa forma, a intensificação da urbanização e desenvolvimento dos países contribuiu para acelerar as mudanças climáticas, muito em função do uso inadequado do solo urbano (Souza, Maitelli, 2005).

Ainda segundo o IPCC (2023), é indispensável políticas globais que possam minimizar os efeitos das mudanças climáticas, buscando entender e atuar enfrentando as alterações de curto, médio e longo prazo. Além disso, criar políticas públicas contribui também para realocação da população em situação de risco e vulnerabilidade diante dos desastres decorrentes das alterações climáticas.

4.6 Testes estatísticos e análise de séries temporais

A relevância de um evento pode ser definida como a sua frequência sendo inversamente proporcional a sua intensidade, ou seja, quanto mais extremo o evento menor a sua probabilidade de ocorrência (Nunes, 2018). Naghettini e Pinto (2007)

ressaltam que a intensidade com que esses fenômenos acontecem representam uma variabilidade ao longo do tempo em virtude das variações dos climas global e regional, assim como as particularidades dos aspectos meteorológicos, geomorfológicos, uso do solo e outros.

Nesse aspecto, entende-se que os fenômenos hidrológicos estão associados às distribuições de probabilidade que analisam a variabilidade espaço-temporal de variáveis aleatórias, como a quantidade e qualidade da água precipitada (Naghettini, Pinto, 2007).

A fim de identificar tendências em séries temporais, Naghettini e Pinto (2007) trazem uma divisão entre os testes estatísticos paramétricos e não paramétricos. Segundo Nunes (2018), os testes paramétricos possuem dados de séries temporais que seguem uma distribuição e são capazes de quantificar as mudanças nas séries, enquanto os testes não paramétricos são livres de distribuições e também são capazes de identificar as mudanças nas séries, mas incapazes de quantificar tal mudança.

A variável comumente relacionada à vazão, intensidade e precipitação máxima, é do tipo aleatória e é modelada por meio de distribuições com características assimétricas e ilimitadas no seu bordo superior (Rodrigues, 2020). Ainda segundo Rodrigues (2020) alguns autores estabelecem as modelagens estatísticas mais usuais, sendo elas a distribuição de Gumbel, GEV e Log-normal.

No entanto, devido às características hidrológicas das variáveis e o tamanho das amostras, Naghettini e Pinto (2007) destacam que na premissa das hipóteses de aleatoriedade, independência, homogeneidade e estacionariedade, devem ser empregados apenas os testes não paramétricos.

A estacionariedade trata da invariância das amostras com relação ao período de sua ocorrência, desde que excluídas as flutuações aleatórias encontradas (Naghettini, Pinto, 2007). Já Barbosa Filho (2023) define a estacionariedade como o comportamento dos valores estatísticos de uma série temporal ao longo do tempo, sendo uma série considerada estacionária quando tais valores não sofrem alterações com o decorrer do tempo. Santos *et al.* (2016) ressalta que a não estacionariedade

das séries históricas pode estar relacionada a fatores como o uso do solo, mudanças climáticas, remoção de cobertura vegetal e alterações no regime pluviométrico.

A não estacionariedade pode incluir tendências, saltos e ciclos no decorrer do tempo, sendo os saltos relacionados a bruscas mudanças em uma bacia, por exemplo, e os ciclos relacionados a flutuações climáticas de difícil percepção (Naghettini, Pinto, 2007).

A análise confiável de tendências e a comprovação de alterações climáticas para o planejamento urbano exige séries temporais mais robustas, principalmente quando os problemas de drenagem se tornam mais complexos e frequentes nas cidades (Nunes, 2018). Dessa maneira, Nunes (2018) descreve que é fundamental realizar tais análises de forma abrangente e integrada, que levem em consideração as relações entre o meio físico e as intervenções humanas, nas quais a drenagem urbana deve englobar um conjunto de medidas que visem à mitigação dos riscos e prejuízos decorrentes de inundações e enchentes.

5 METODOLOGIA

Tendo em vista os objetivos do presente estudo, na Figura 5 são apresentadas as etapas metodológicas realizadas durante o trabalho.

ETAPAS METODOLÓGICAS



Figura 5 - Etapas metodológicas do estudo.

Fonte: A autora, 2024.

5.1 Caracterização da área de estudo

Localizada no leste de Minas Gerais (Figura 6) e na mesorregião do Vale do Rio Doce, a cidade de Ipatinga está a aproximadamente 215 km da capital Belo Horizonte (ENGEORPS, 2015). Conta com aproximadamente 227.731 habitantes, segundo o censo de 2022, e extensão territorial de 164,88 km² (IBGE Cidades, 2023).

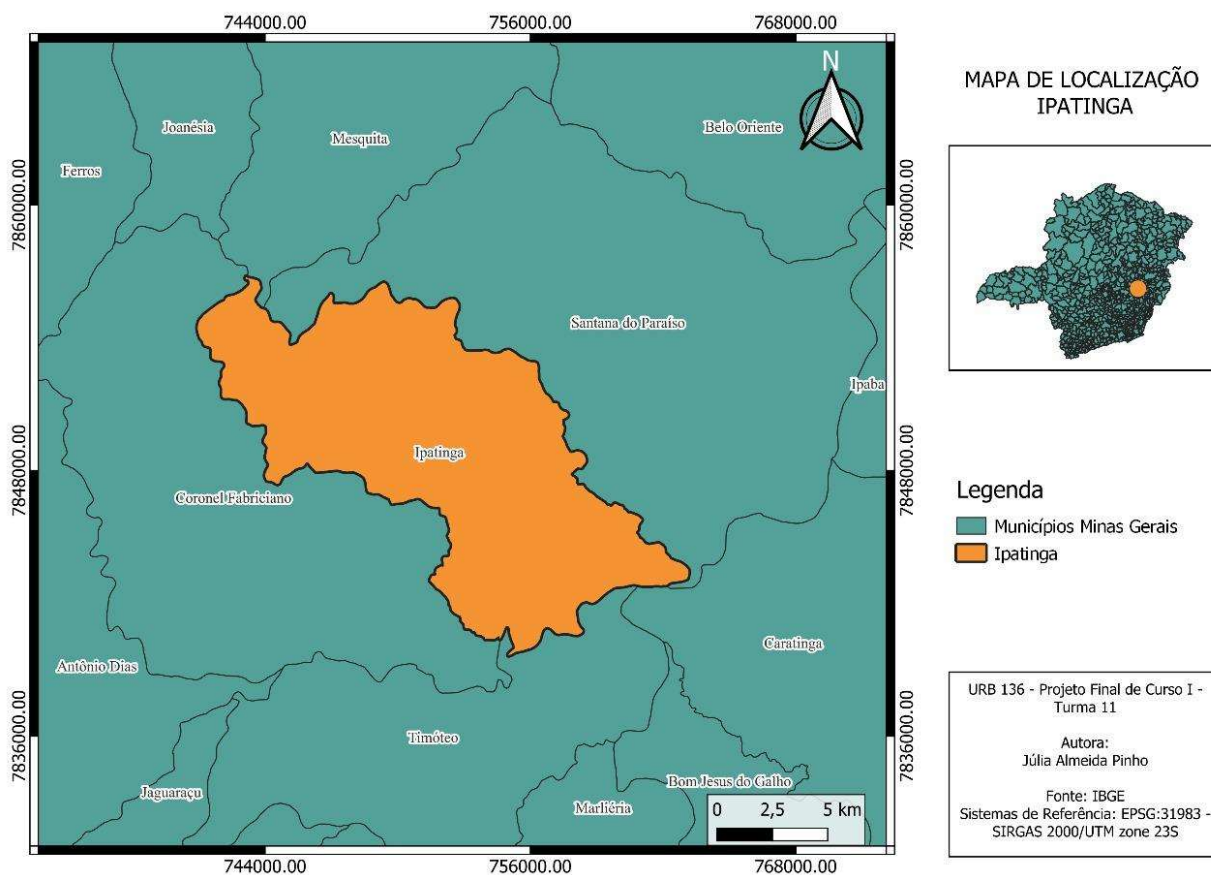


Figura 6 - Localização do município de Ipatinga.

Fonte: A autora, 2024.

É também um dos municípios que compõem a Região Metropolitana do Vale do Aço (RMVA), composta por 4 principais cidades (Ipatinga, Coronel Fabriciano, Timóteo e Santana do Paraíso), além de 22 outros municípios que integram o colar metropolitano, conforme demonstra a Figura 7 (Câmara Municipal de Ipatinga, 2018).

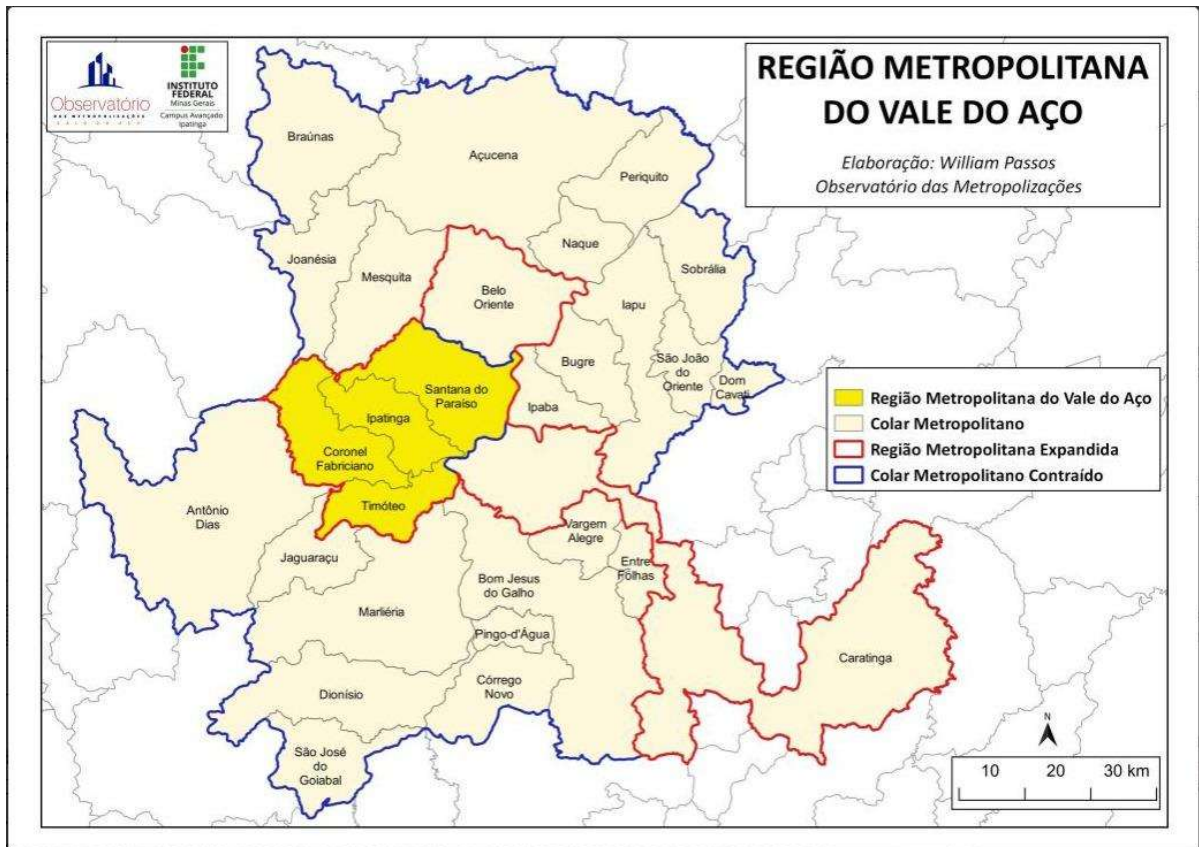


Figura 7 - Região Metropolitana do Vale do Aço e o colar metropolitano.

Fonte: Observatório das Metropolizações e Instituto Federal de Minas Gerais, 2021.

O clima do município é tropical, podendo se enquadrar em tropical de altitude nos pontos mais altos (Câmara Municipal de Ipatinga, 2018). Sua precipitação média anual é de 1.254,9 mm, sendo o mês de julho o mais seco e o mês de dezembro o mais chuvoso (Câmara Municipal de Ipatinga, 2018). Ainda a respeito do clima, Brandt (2005) descreve:

“O clima da região de Ipatinga é quente e úmido, com temperaturas bastante elevadas no verão, devido à intensa radiação solar incidente, e elevado grau de umidade do ar. Há duas estações bem definidas: uma chuvosa, que ocorre de outubro a abril, com níveis elevados de precipitação e altas temperaturas; e uma estação seca, no período de maio a setembro, quando há menor nebulosidade, associada à frequente ocorrência de frentes frias que contribuem para a redução da temperatura.” (Brandt, 2005).

Segundo a Organização das Nações Unidas (ONU), a cidade apresenta dez vezes mais área verde do que o recomendado para a qualidade de vida da população, sendo sua vegetação nativa pertencente ao domínio florestal da Mata Atlântica.

O desenvolvimento urbano de Ipatinga teve seu início a partir da construção da estação ferroviária no km 475 da BR-381, abaixo do rio Piracicaba e às margens do ribeirão Ipanema, que são os dois principais rios da região (Silva, 2020). Mesmo a região de Ipatinga estando nos limites do rio Doce e do rio Piracicaba, sua principal fonte de abastecimento de água ocorre por meio do aquífero de características cenozoicas que ocupa cerca de 13,9% do município (Oliveira, 2018). É possível observar a proximidade com os principais rios da região na Figura 8.

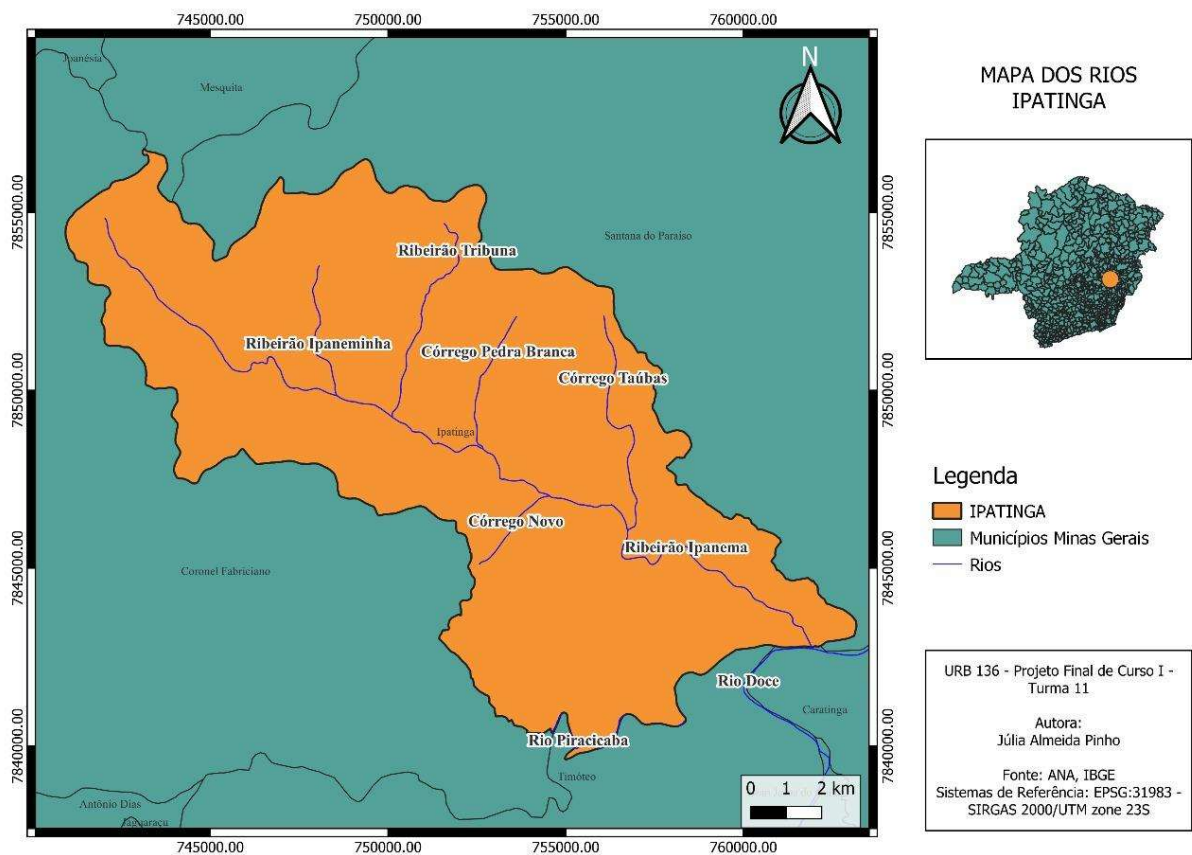


Figura 8 - Principais rios na zona urbana de Ipatinga.

Fonte: A autora, 2024.

O município de estudo pertence à bacia hidrográfica do Rio Piracicaba, caracterizado pela sigla DO2 da UPGRH (Unidades de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos), localizado na região do baixo Piracicaba onde 88% do seu

território é limitado pela bacia do ribeirão Ipanema, que cruza toda a cidade (Engecorps, 2015).

Além de tudo, a geomorfologia foi propensa à urbanização devido a sua extensa área de planícies, essencialmente na proximidade dos cursos d'água por conta da disposição mais aplainada (Silva, 2020).

Devido a vinda da siderúrgica Usiminas, a cidade de Ipatinga teve seu desenvolvimento iniciado. Apesar da existência do plano urbanístico criado anteriormente, o município se expandiu além do limite projetual em virtude da imigração ocorrida pela influência industrial, como descreve Dias (2011). Em consequência dessa urbanização mais acentuada do que o previsto, o município ipatinguense teve sua extensão territorial extremamente adensada (Figura 9) com o passar dos anos, o que promoveu uma série de problemas, essencialmente as situações de alagamentos e inundações.

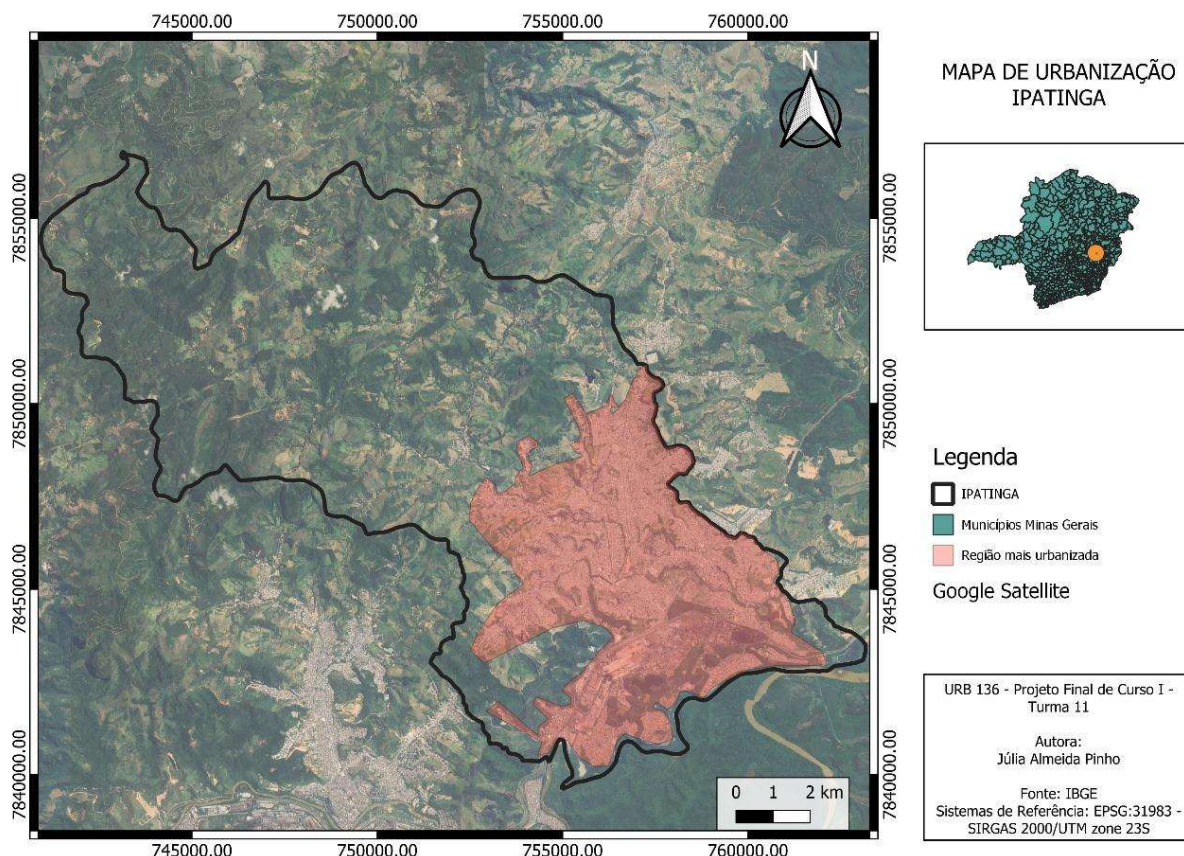


Figura 9 - Urbanização intensa na região central de Ipatinga.

Fonte: A autora, 2024.

5.1.1 Cheias urbanas

É conhecido que a incidência dos eventos de cheias está cada vez maior por consequência, muitas vezes, do processo de urbanização. Campana (1995) descreve que a urbanização de uma bacia ocorre principalmente por conta do processo de impermeabilização da sua superfície, por meio da pavimentação das vias e calçadas, espaços de estacionamentos, construção de edificações, entre outros.

Outras alterações como a presença de aterros, escavação, compactação, mistura de materiais de diferentes granulometrias, estrangulamento do leito dos rios, represamento e/ou remanso (Campana, 1995) também contribuem para aumentar o nível das enchentes e inundações, devido à dificuldade de infiltração da água.

Ipatinga, cidade expressivamente urbanizada, sofre com eventos de cheias desde sua origem. A enchente de 1979 (Figura 10) ficou marcada como a pior enchente da região do Vale do Aço, com mais de 40 dias de chuva intensa e estimativa de 100 mortes (Silva, 2023). Os verões de 2012, 2017, 2020, 2021 e 2025 também tiveram altas precipitações acarretando pontos de alagamentos em toda a cidade, culminando em perdas materiais e em alguns casos, de vidas.



Figura 10 - Rua São José no bairro Bom Jardim em Ipatinga, após a enchente de 1979.

Fonte: Câmara Municipal de Ipatinga, 2019.

Com o aumento da ocorrência desses eventos nos últimos anos, é essencial a busca pela minimização de alagamentos e inundações, a partir de medidas preventivas e estruturais adequadas para os períodos de cheias. Além de investigar e entender como as mudanças climáticas vêm afetando os eventos de precipitação intensa, a proposição da equação IDF baseada nas precipitações máximas dos últimos anos, pode contribuir para mitigar esse tipo de desastre urbano na cidade de Ipatinga.

5.2 Obtenção de dados pluviométricos e análise preliminar

Para a realização da pesquisa em que esse estudo se apoia, foram utilizados dados pluviométricos obtidos por meio do CEMADEN. O CEMADEN, em parceria com outras instituições, busca complementar e consolidar a rede de dados disponíveis por meio de instrumentos meteorológicos, hidrológicos e geotécnicos (CEMADEN, 2017).

A utilização da base do CEMADEN está pautada na escassez de dados do município em outras fontes, como o INMET (Instituto Nacional de Meteorologia), ANA - Hidroweb (Agência Nacional de Águas) e IGAM-MG (Instituto Mineiro de Gestão das Águas).

Dessa maneira, conforme observado na Tabela 1 e na Figura 11, percebe-se que Ipatinga dispõe de 5 estações pluviométricas distribuídas no território. É possível destacar também que todas as estações presentes no município são estações telemétricas, ou seja, enviam informações em tempo real para o sistema acerca do volume de chuva em determinada região. Ainda na Tabela 1, é possível reconhecer o período de obtenção de dados pluviométricos de acordo com a estação, visto que os dados coletados possuem falhas que podem comprometer a análise.

Tabela 1 - Dados das estações pluviométricas de Ipatinga, MG.

ESTAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS – Ipatinga, MG					
NOME:	CÓDIGO:	LOCALIZAÇÃO:	PERÍODO DE DADOS:	FONTE:	TIPO:
BETHÂNIA	313130704A	-19.436, -42.553	Jan/2015 a Jan/2021; Set/2021 a Fev/2025.	CEMADEN	TELEMÉTRICA
BOM JARDIM	313130702A	-19.476, -42.580	Jan/2015 a Fev/2025.	CEMADEN	TELEMÉTRICA
BOM RETIRO	313130705A	-19.508, -42.554	Jan/2015 a Jul/2023.	CEMADEN	TELEMÉTRICA
CANAÃ	313130701A	-19.455, -42.552	Jan/2015 a Out/2018; Jun/2020 a Mar/2025.	CEMADEN	TELEMÉTRICA
LIMOEIRO	313130703A	-19.450, -42.591	Jan/2015 a Mar/2021; Set/2021 a Mar/2025.	CEMADEN	TELEMÉTRICA

Fonte: Adaptado CEMADEN, 2024.

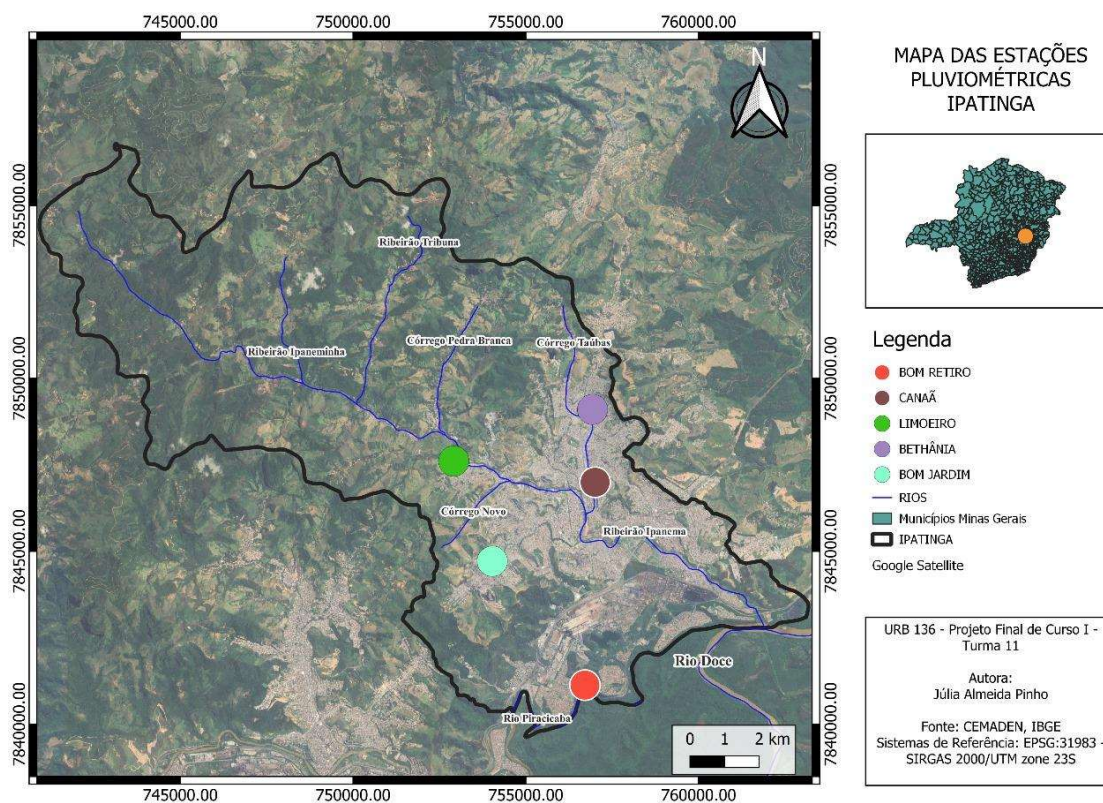


Figura 11 - Localização das estações pluviométricas de Ipatinga.

Fonte: A autora, 2024.

Após uma avaliação dos dados disponíveis e uma breve comparação entre a confiabilidade dos dados de uma estação para a outra, sendo essa confiabilidade estabelecida a partir da percepção da inexistência e/ou baixa frequência de dados faltantes, essencialmente nos períodos chuvosos, a estação Bom Jardim se mostrou a com maior número de registros no período de janeiro de 2015 a abril de 2024. No entanto, observou-se que em todas as cinco estações há falhas de dados em algum período, podendo ser mais curto, como apenas alguns dias ou horas, ou mais longos, acarretando meses com dados falhos, a depender da estação. Por esse motivo, na análise preliminar de consistência dos dados não foi descartada nenhuma estação, visto que há possibilidade de triangulação de dados para trazer mais confiabilidade à estação escolhida e ao estudo.

Num segundo momento, foi determinado que para os períodos de maior precipitação (entre outubro e março), a estação Bom Jardim apresentou poucas falhas, sendo que tais falhas se repetiam também nas demais estações para os mesmos dias e durações, e por este motivo, foi definido que a estação citada apresentou maior confiabilidade quando comparada às demais estações do município.

A partir da análise de consistência dos registros pluviométricos obtidos, foram selecionadas as máximas alturas de chuva por ano hidrológico que correspondem às durações de 10 min, 20 min, 30 min, 40 min, 50min, 1h, 2h, 3h, 4h, 8h, 14h e 24h. Na sequência, foram determinadas as máximas intensidades de chuva correspondentes às durações supracitadas.

5.3 Análise de estacionariedade

A identificação da estacionariedade das séries históricas de intensidades máximas de chuva é essencial para a formulação de uma equação IDF para Ipatinga, pois mudanças nos dados podem comprometer a validade dos parâmetros estatísticos tradicionalmente adotados.

Um dos testes de tendência que pode ser adotado para verificar a estacionariedade dos dados é o de Mann-Kendall, que identifica tendências ao longo do tempo e obtém resultados estatísticos ao comparar grandezas de duas observações em sequência de uma série (Silva e Detzel, 2021). Complementarmente,

o SGB (Serviço Geológico do Brasil, 2013) traz nos atlas pluviométricos a utilização do teste não-paramétrico de Spearman para a verificação da estacionariedade dos dados.

Entretanto, a aplicação dos testes mencionados tornou-se inviável para Ipatinga devido à limitação das séries históricas, que abrangem apenas nove anos de dados, enquanto os testes requerem um mínimo de dez. Assim, será necessária uma abordagem alternativa para avaliar a estacionariedade, como a análise visual dos dados, destacando uma possível tendência linear.

A análise visual pode ser realizada através da plotagem de um gráfico com os valores das intensidades de chuvas máximas e, em seguida, o traçado de linhas de tendência correspondentes a cada período analisado. Dessa maneira, é feita uma comparação visual entre as linhas plotadas, que buscam identificar se para cada período tais linhas seguem a mesma orientação. Em caso positivo, é admissível estabelecer que os dados seguem uma tendência linear.

Assim como Medeiros *et al.*, (2020), o presente estudo também possui uma série histórica de dados pequena, sendo fundamental posteriormente a obtenção de séries maiores da região de interesse, a fim de revisar e representar as condições das chuvas intensas de forma a contribuir para a minimização dos erros.

5.4 Proposta de desenvolvimento da equação IDF para Ipatinga

Nesta etapa foram ajustados os parâmetros da equação IDF para Ipatinga. Para estabelecer tais parâmetros, inicialmente foi considerada a distribuição estatística em que os dados melhor se ajustavam. Assim como Pereira (2023), foi utilizado o teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov, buscando identificar quais distribuições estatísticas apresenta os dados de intensidade de chuvas extremas melhor ajustados. O teste de Kolmogorov-Smirnov é baseado na função de distribuição empírica dos dados, sendo possível medir a distância máxima entre os resultados de uma distribuição a ser testada e os valores associados a uma distribuição hipoteticamente verdadeira (Araújo *et al.*, 2007). Dentre as diversas distribuições disponíveis para a realização do teste, destacam-se:

1. Exponencial;
2. Gama;
3. Valores Extremos Generalizado (GEV);
4. Gumbel;
5. Lognormal tipo II;
6. Lognormal tipo III;
7. Pearson tipo III.

Os procedimentos supracitados foram realizados com o auxílio do software ALEA (Análise de frequência Local de Eventos Anuais), disponibilizado gratuitamente pelo Departamento de Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos da UFMG. Utiliza-se dos métodos dos momentos, da máxima verossimilhança e momentos L para estimar os parâmetros das principais distribuições de probabilidade usadas na análise de frequência de eventos hidrológicos máximos anuais (EHR, 2012).

Na sequência, ao fazer a simplificação da Equação 1 proposta por Barbosa Junior (2022), obtém-se:

$$i = K * \frac{a * T_R^b}{(c + T_D)^d} \rightarrow \frac{A}{(c + T_D)^d} \quad \text{Equação 2}$$

Dessa maneira, é possível compreender que o parâmetro A é uma simplificação do numerador da Equação 1.

Em continuidade, ao considerar a aplicação de logaritmo em ambos os lados da Equação 2, encontra-se a Equação 3:

$$i = \frac{A}{(c + T_D)^d} \rightarrow \log i = \log A - n * \log (c + T_D) \quad \text{Equação 3}$$

As variáveis “d” e “log A” são obtidas após a consideração da Equação 3 como linear, havendo a necessidade de executar gráficos de dispersão dos logaritmos de intensidade e duração (Pereira, 2023).

Por fim, percebendo que os dados disponíveis para Ipatinga se adequam à determinada distribuição (GEV ou outra), foi fundamental seguir os passos propostos neste item, a fim de encontrar os parâmetros apropriados para a equação IDF da região.

5.5 Utilização da equação de Intensidade-Duração-Frequência para o planejamento urbano e comparação com referências regionais

As mudanças climáticas impactam a intensidade e a periodicidade das chuvas globalmente, influenciando o planejamento urbano, mesmo em cidades planejadas como Ipatinga. O aumento das precipitações máximas em curtos períodos exige a adaptação dos sistemas de drenagem, frequentemente sobrecarregados. Para garantir essa adaptação de forma eficaz e contínua, são essenciais estudos voltados à drenagem urbana, como Planos Diretores de Drenagem e Planos Municipais de Saneamento Básico. No entanto, em Ipatinga, a escassez de informações sobre o tema resulta em abordagens superficiais no atual Plano Diretor (2014) e no Plano Municipal de Saneamento Básico (2016), evidenciadas, por exemplo, pela ausência de uma equação IDF oficial para a cidade.

Considerando que a equação de Intensidade-Duração-Frequência (IDF) é essencial para o dimensionamento dos sistemas de drenagem e que Ipatinga ainda não possui uma equação IDF definida, este estudo propõe sua formulação e comparação com diferentes referências. Foram analisadas a triangulação gerada pelo software Plúvio 2.1 (com base em dados regionais), a equação da região do Médio Piracicaba (Guimarães et al., 2019) e as equações dos municípios de Periquito e Timóteo (CPRM, 2014). O objetivo dessas comparações é identificar a referência mais coerente para subsidiar a elaboração de planos mais eficazes e adequados à realidade local, considerando a representatividade dos coeficientes e a similaridade do regime pluviométrico de Ipatinga com seu entorno.

Assim, apresenta-se na Figura 12 os parâmetros da equação IDF definida pelo Plúvio 2.1. Ressalta-se que, neste caso, os valores de “ K ”, “ a ”, “ b ” e “ c ” representam respectivamente nesse estudo os parâmetros “ a ”, “ b ”, “ c ” e “ d ”. Já nas Equações 4, 5 e 6 estão expressas as IDF’s das regiões no entorno da cidade de Ipatinga.

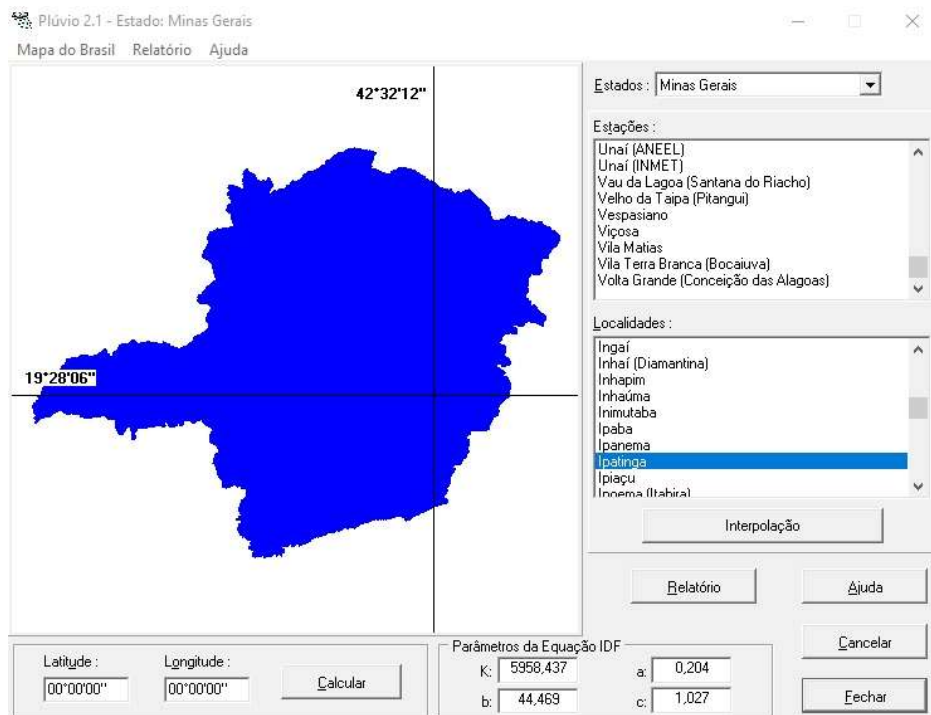


Figura 12 – Parâmetros da IDF disponibilizados pelo software Plúvio 2.1 para Ipatinga.

Fonte – Plúvio 2.1 – GPRH – UFV, 2025.

A equação para o município de Timóteo foi definida pelo CPRM (2014) e pode ser definida como:

$$i = \frac{4390,4 * T^{0,2298}}{(t+35,1)^{0,9718}} \text{ mm/h} \quad \text{Equação 4}$$

Onde:

$$a = 4390,4; b = 0,2298; c = 35,1; d = 0,9718.$$

Já para o município de Periquito, a equação IDF também foi definida pelo CPRM (2014) e pode ser descrita abaixo:

$$P(\text{mm}) = \left[\frac{842,329 * T^{0,209}}{(t+11,609)^{0,709}} \right] * \frac{t}{60} \quad \text{Equação 5}$$

Onde:

$$a = 842,329; b = 0,209; c = 11,609; d = 0,709.$$

Para a região do Médio Piracicaba estabelecida por Guimarães *et al.* (2019), a IDF pode ser descrita como:

$$i = \frac{718,884 * T^{0,1296}}{(t+3)^{0,7008}} \text{ mm/h} \quad \text{Equação 6}$$

Onde:

$$a = 718,884; b = 0,1296; c = 3; d = 0,7008.$$

A partir da obtenção dos parâmetros supracitados, foram calculadas as intensidades para diferentes tempos de duração e de retorno, a fim de compará-las com as intensidades calculadas pela equação proposta neste estudo. Para otimizar a análise comparativa, adotou-se os tempos de duração de 10 minutos, 60 minutos e 1440 minutos (24 horas), dada a intenção de coletar informações sobre chuvas de curta, média e longa duração. Além disso, os tempos de retorno adotados foram de 5, 10, 25, 50 e 100 anos, sendo estes os anos comumente utilizados para os estudos destacados.

6 RESULTADOS

6.1 Obtenção e análise dos dados pluviométricos obtidos para Ipatinga

De acordo com a metodologia proposta, a primeira análise concentrou-se nos dados pluviométricos disponíveis no município, identificando a estação telemétrica Bom Jardim como a mais adequada para o estudo, devido à ausência de falhas significativas nos dados durante o período chuvoso, que é o intervalo de maior relevância para a pesquisa.

Dessa maneira, a identificação das intensidades máximas foi realizada pela avaliação de cada ano hidrológico, resultando nos valores expressos na Tabela 2.

Tabela 2 – Valores calculados de intensidade de precipitação.

Intensidade (mm/h)	Durações											
	10m	20m	30m	40m	50m	1h	2h	3h	4h	8h	14h	24h
Ano Hidrológico												
15/16	94,80	92,40	76,80	69,30	60,96	57,20	34,80	30,53	25,75	13,33	7,63	4,45
16/17	110,40	91,20	89,20	87,90	77,04	65,40	33,70	22,53	17,55	12,40	8,13	4,81
17/18	118,80	99,60	95,20	90,90	88,80	84,60	55,30	37,80	29,65	14,95	8,56	4,99
18/19	116,40	96,00	88,00	73,50	77,28	66,60	48,70	39,47	30,05	15,03	8,59	5,01
19/20	158,40	132,60	120,80	109,80	101,04	91,00	56,40	39,73	31,20	16,45	9,50	6,97
20/21	148,80	123,60	102,40	83,40	71,52	62,60	37,80	26,87	21,75	10,93	6,24	3,96
21/22	105,60	70,20	56,80	44,40	36,96	31,60	23,20	17,93	17,10	13,10	9,00	5,66
22/23	115,20	114,60	99,60	91,20	86,88	80,80	53,00	36,87	27,65	13,85	7,94	5,61
23/24	110,40	91,20	82,80	74,40	64,56	55,40	36,60	27,33	21,15	10,69	6,46	3,78

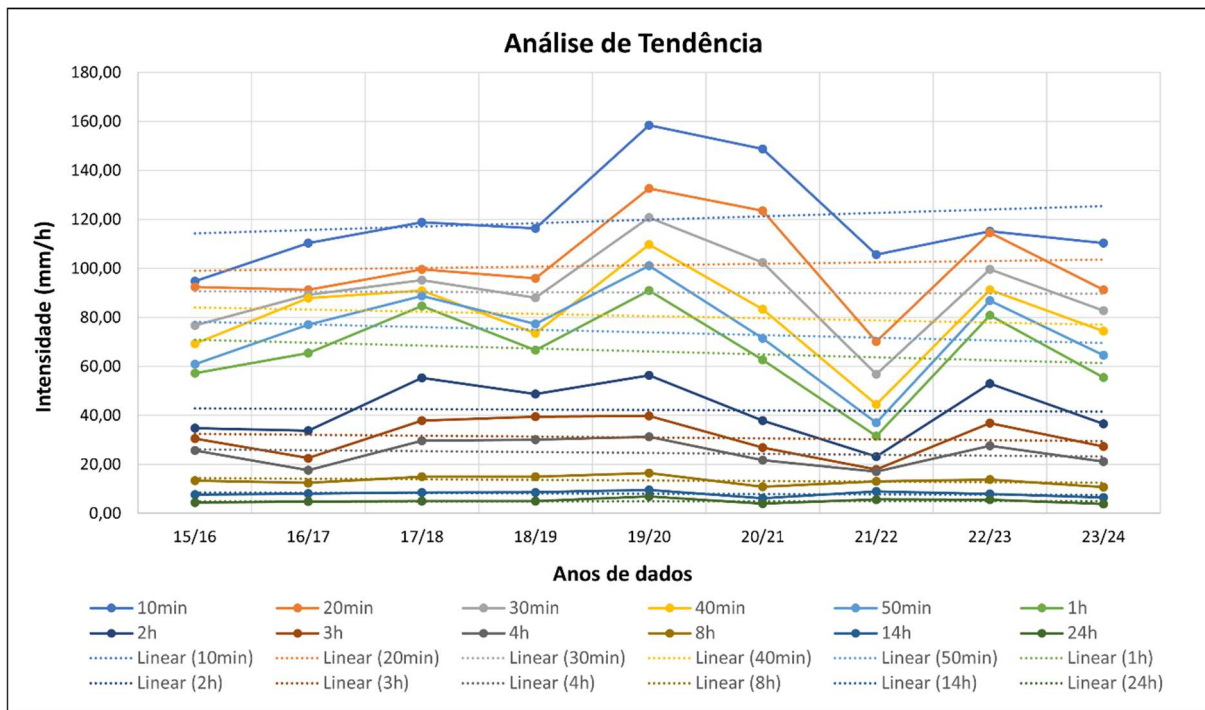
Fonte – A autora, 2025.

6.2 Análise de estacionariedade

Com base na revisão da literatura, a análise da estacionariedade dos dados idealmente seria realizada por meio dos testes estatísticos mencionados. No entanto, conforme descrito na metodologia, a aplicação desses testes foi inviabilizada pela limitação do tamanho da amostra. Diante disso, considerando a importância de avaliar a tendência dos dados para a definição dos parâmetros da equação IDF, foi conduzida

uma análise visual das intensidades registradas na Tabela 2, conforme ilustrado no Gráfico 1.

Gráfico 1 – Análise de tendência das intensidades máximas de chuva para Ipatinga.



Fonte – A autora, 2025.

A análise dos dados revela oscilações nas intensidades, porém sem uma tendência claramente identificável. No entanto, essa ausência de tendência se refere apenas ao período analisado, não excluindo a possibilidade de variações nas precipitações máximas anuais em escalas temporais mais amplas. A série histórica considerada é recente e limitada, o que restringe inferências sobre padrões de longo prazo.

As linhas de tendência linear apresentaram inclinações mínimas e orientações distintas, indicando a ausência de uma tendência significativa e caracterizando os dados como, visualmente, estacionários. Dessa forma, a equação IDF foi desenvolvida assumindo a estacionariedade da série, ou seja, considerando que o padrão das intensidades máximas de chuva se mantém constante ao longo do tempo.

6.3 Proposta de desenvolvimento da equação IDF para Ipatinga

Admitindo os dados como estacionários e a partir da análise de frequência para cada distribuição disponível, foi possível obter os parâmetros de p-valor e do teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov. Para a classificação das distribuições foi adotado o critério de analisar o maior p-valor como o primeiro colocado buscando entender a qualidade dos ajustes para cada distribuição. Dessa maneira, tem-se a classificação conforme a Tabela 3.

Tabela 3 – Ranking das distribuições.

DISTRIBUIÇÕES	10min			20min			30min		
	p-valor	Estatística de Teste	Ranking	p-valor	Estatística de Teste	Ranking	p-valor	Estatística de Teste	Ranking
Exponencial	0,7282	0,2185	4	0,3107	0,2911	7	0,5204	0,2581	5
Gamma	0,4305	0,2767	7	0,7629	0,2118	1	0,9829	0,1467	1
GEV	0,8983	0,1814	1	0,6772	0,2282	5	0,9607	0,1600	3
Gumbel	0,6748	0,2287	5	0,6220	0,2386	6	0,8686	0,1890	4
Lognormal 2P	0,4828	0,2657	6	0,7223	0,2196	2	0,9609	0,1599	2
DISTRIBUIÇÕES	40min			50min			1h		
	p-valor	Estatística de Teste	Ranking	p-valor	Estatística de Teste	Ranking	p-valor	Estatística de Teste	Ranking
Exponencial	0,4986	0,2624	5	0,5299	0,2562	5	0,4418	0,2742	5
Gamma	0,9103	0,1780	1	0,9688	0,1559	2	0,8507	0,1933	2
GEV	0,7772	0,2089	4	0,9747	0,1525	1	0,8835	0,1853	1
Gumbel	0,8436	0,1949	3	0,8753	0,1874	4	0,7842	0,2075	4
Lognormal 2P	0,8853	0,1849	2	0,9364	0,1697	3	0,8104	0,2021	3
DISTRIBUIÇÕES	2h			3h			4h		
	p-valor	Estatística de Teste	Ranking	p-valor	Estatística de Teste	Ranking	p-valor	Estatística de Teste	Ranking
Exponencial	0,7396	0,2163	5	0,5768	0,2471	5	0,5878	0,2450	5
Gamma	0,8920	0,1831	1	0,6948	0,2249	2	0,9107	0,1779	3
GEV	0,8153	0,2011	4	0,9446	0,1667	1	0,9736	0,1531	1
Gumbel	0,8514	0,1931	3	0,6482	0,2336	4	0,8336	0,1971	4
Lognormal 2P	0,8880	0,1842	2	0,6923	0,2253	3	0,9211	0,1748	2
DISTRIBUIÇÕES	8h			14h			24h		
	p-valor	Estatística de Teste	Ranking	p-valor	Estatística de Teste	Ranking	p-valor	Estatística de Teste	Ranking
Exponencial	0,5901	0,2446	5	0,3912	0,2855	5	0,7141	0,2212	5
Gamma	0,9972	0,1267	2	0,9425	0,1675	2	0,9830	0,1466	3
GEV	0,9998	0,1095	1	0,9940	0,1339	1	0,9903	0,1393	2
Gumbel	0,9247	0,1736	4	0,7509	0,2141	4	0,9817	0,1476	4
Lognormal 2P	0,9937	0,1344	3	0,9255	0,1734	3	0,9944	0,1334	1

Fonte – A autora, 2025.

Ao observar a Tabela 3 percebe-se que a distribuição que melhor se ajustou aos dados foi a distribuição GEV, seguida da distribuição Gamma, tendo a distribuição

GEV obtido os melhores ajustes para as durações de 10min, 50min, 1h, 3h, 4h, 8h e 14h.

Após a análise das distribuições, as mesmas foram classificadas em função do grau de aderência. Usando como exemplo a distribuição GEV (comumente utilizada neste tipo de análise), esta pode ser descrita pela seguinte equação:

$$x(T_r) = \beta + \frac{\alpha}{K} * \{1 - [\ln(1 - \frac{1}{T_R})]\}^K \quad \text{Equação 7}$$

Sendo:

$x(T_r)$ = quantil da intensidade para determinado tempo de retorno;

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

T_R = o tempo de retorno, em anos.

Em seguida, definido que a distribuição a ser utilizada é a GEV, devido à melhor aderência aos dados, foram definidos os parâmetros de forma (α), escala (β) e posição (κ), demonstrados na Tabela 4.

Tabela 4 – Parâmetros obtidos da distribuição GEV.

	Forma (α)	Escala (β)	Posição (κ)
10 min	12,980	109,100	-0,204
20 min	17,080	92,530	0,071
30 min	19,130	84,520	0,375
40 min	20,100	75,970	0,501
50 min	21,130	69,550	0,543
1h	19,630	60,840	0,422
2h	12,430	38,260	0,344
3h	9,211	29,200	0,561
4h	6,167	23,110	0,457
8h	2,033	12,710	0,296
14h	1,263	7,762	0,568
24h	0,842	4,568	0,034

Fonte – A autora, 2025.

Posteriormente, os quantis de intensidade (Tabela 5) foram calculados utilizando a Equação 7, que define os quantis para determinado tempo de retorno (T_R) e em seguida também foram calculados os logaritmos dos quantis (Tabela 6), visto que a equação IDF é baseada na transformação logarítmica de algumas das variáveis.

Tabela 5 – Quantis - distribuição GEV.

QUANTIS

Tempo de Retorno (anos)					
Duração (min)	5	10	25	50	100
10	131,876	146,170	167,659	186,512	208,102
20	116,832	128,053	141,402	150,740	159,559
30	106,466	113,596	120,160	123,724	126,445
40	97,166	103,096	108,010	110,409	112,086
50	91,230	96,997	101,611	103,787	105,262
60	82,656	89,361	95,295	98,393	100,680
120	52,825	57,732	62,369	64,954	66,969
180	38,541	40,973	42,890	43,779	44,376
240	29,805	31,779	33,476	34,336	34,956
480	15,172	16,050	16,913	17,414	17,818
840	9,037	9,366	9,624	9,743	9,823
1440	5,799	6,392	7,120	7,645	8,154

Fonte – A autora, 2025.

Tabela 6 – Log dos Quantis - distribuição GEV.

LOG DOS QUANTIS

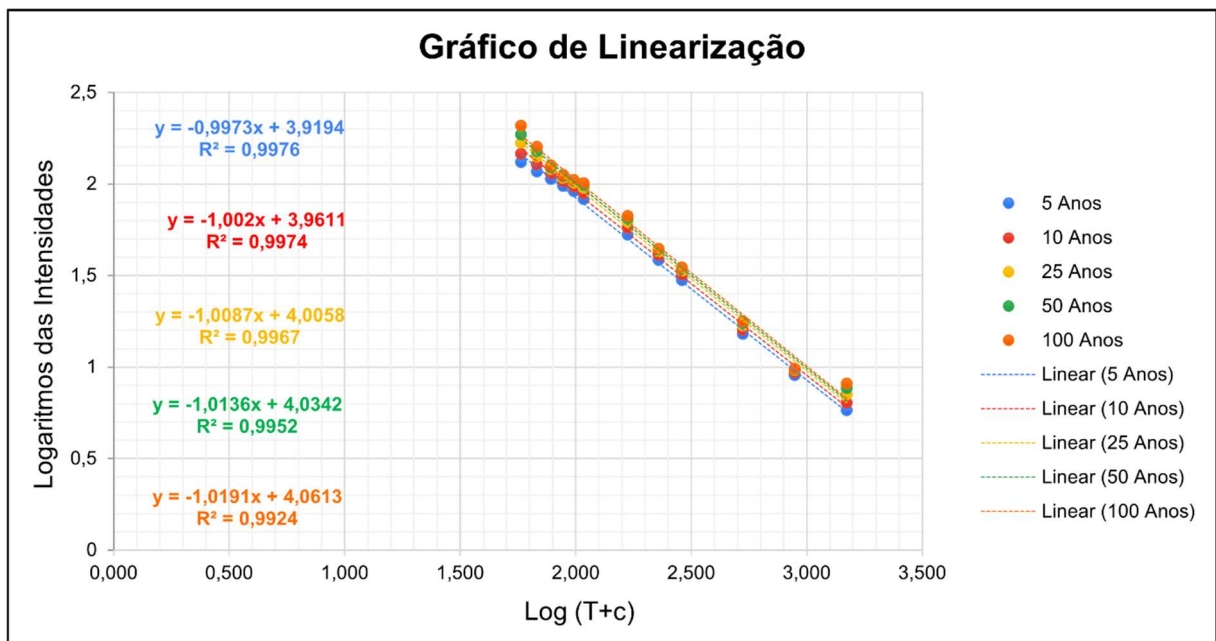
Tempo de Retorno (anos)					
Duração (min)	5	10	25	50	100
10	2,120	2,165	2,224	2,271	2,318
20	2,068	2,107	2,150	2,178	2,203
30	2,027	2,055	2,080	2,092	2,102
40	1,988	2,013	2,033	2,043	2,050
50	1,960	1,987	2,007	2,016	2,022
60	1,917	1,951	1,979	1,993	2,003
120	1,723	1,761	1,795	1,813	1,826

180	1,586	1,612	1,632	1,641	1,647
240	1,474	1,502	1,525	1,536	1,544
480	1,181	1,205	1,228	1,241	1,251
840	0,956	0,972	0,983	0,989	0,992
1440	0,763	0,806	0,852	0,883	0,911

Fonte – A autora, 2025.

Neste momento, os parâmetros “c”, “d” e “Log A”, conforme descritos na Equação 4 foram obtidos através da Linearização demonstrada no Gráfico 2.

Gráfico 2 – Linearização, intensidade (i), duração (T) e parâmetro “c”.



Fonte – A autora, 2025.

Visando aprimorar a linearização das retas, buscando um valor de R² mais próximo de 1, o coeficiente "c" foi ajustado por meio do método de tentativa e erro. O valor otimizado para os tempos de retorno estabelecidos foi de 48 (Tabela 7).

Tabela 7 – Logaritmo da soma do parâmetro c à sua duração.

Parâmetros		
T (min)	c	Log (T + c)
10	48	1,763
20	48	1,833
30	48	1,892

40	48	1,944
50	48	1,991
60	48	2,033
120	48	2,225
180	48	2,358
240	48	2,459
480	48	2,723
840	48	2,948
1440	48	3,173

Fonte – A autora, 2025.

A partir das equações de reta apresentadas no Gráfico 2 é possível obter os valores de *Log A* e do parâmetro “*d*”, sendo a constante de cada equação o valor de *Log A* e o coeficiente que multiplica *x* o valor de “*d*”. Dessa maneira, os valores foram compilados conforme demonstra a Tabela 8.

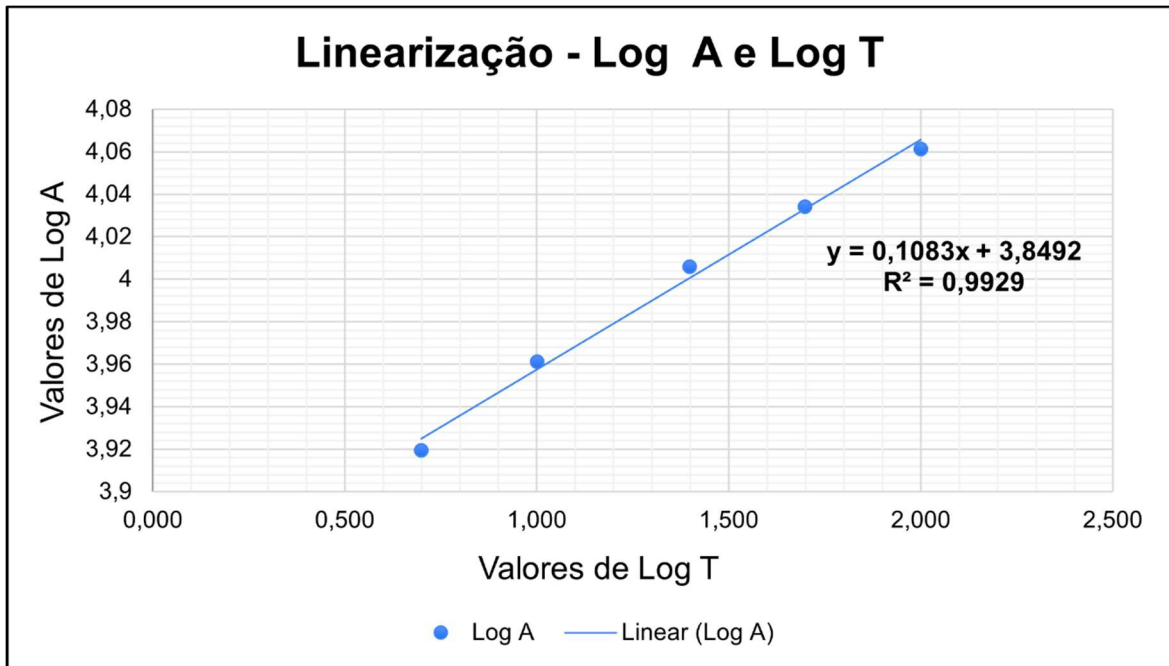
Tabela 8 – Parâmetros para o cálculo da IDF.

T	Log T	Log A	A	d
5	0,699	3,9194	8306,15	0,9973
10	1,000	3,9611	9143,24	1,0020
25	1,398	4,0058	10134,45	1,0087
50	1,699	4,0342	10819,32	1,0136
100	2,000	4,0613	11515,96	1,0191

Fonte – A autora, 2025.

Em sequência, o Gráfico 3 foi ajustado e plotado com as variáveis *Log A* e *Log T* fornecidas pela Tabela 12 nos eixos *y* e *x*, respectivamente. Tal gráfico representa a linearização que determina os parâmetros “*a*” e “*b*” que são necessários para garantir a individualização da equação IDF para a cidade de estudo.

Gráfico 3 – Linearização dos parâmetros logarítmicos de A e T.



Fonte – A autora, 2025.

A partir do Gráfico 3 foi possível estabelecer os valores de *Log a* e “*b*”, onde o parâmetro “*a*” foi obtido através da conversão logarítmica. Neste momento, com todos os parâmetros essenciais para a confecção da equação IDF, como demonstra a Tabela 9, a mesma foi ajustada sendo orientada pelos valores obtidos (Equação 8).

Tabela 9 – Parâmetros individuais da IDF para Ipatinga, MG.

Log a	a	b	c	d
3,8492	7066,429	0,1083	48	1,008

Fonte – A autora, 2025.

$$i = \frac{a \cdot T^b}{(c+t)^d} = \frac{7066,429 \cdot T^{0,1083}}{(48+t)^{1,008}} \quad \text{Equação 8}$$

Com a equação definida foi possível calcular as intensidades de chuva conforme o tempo de duração e o tempo de retorno desejados, apresentados na Tabela 10.

Tabela 10 – Intensidades (mm/h) calculadas para Ipatinga a partir da IDF proposta.

Tempo de Retorno (anos)

Duração (min)	5	10	25	50	100
10	140,319	151,258	167,038	180,060	194,096
20	119,539	128,847	142,289	153,381	165,339
30	104,088	112,203	123,908	133,568	143,981
40	92,170	99,355	109,720	118,274	127,494
50	82,692	89,139	98,438	106,112	114,384
60	74,976	80,821	89,253	96,211	103,711
120	48,026	51,770	57,171	61,628	66,432
180	35,300	38,051	42,021	45,297	48,828
240	27,892	30,067	33,204	35,792	38,582
480	15,139	16,319	18,022	19,427	20,941
840	8,964	9,662	10,670	11,502	12,399
1440	5,327	5,742	6,341	6,836	7,368

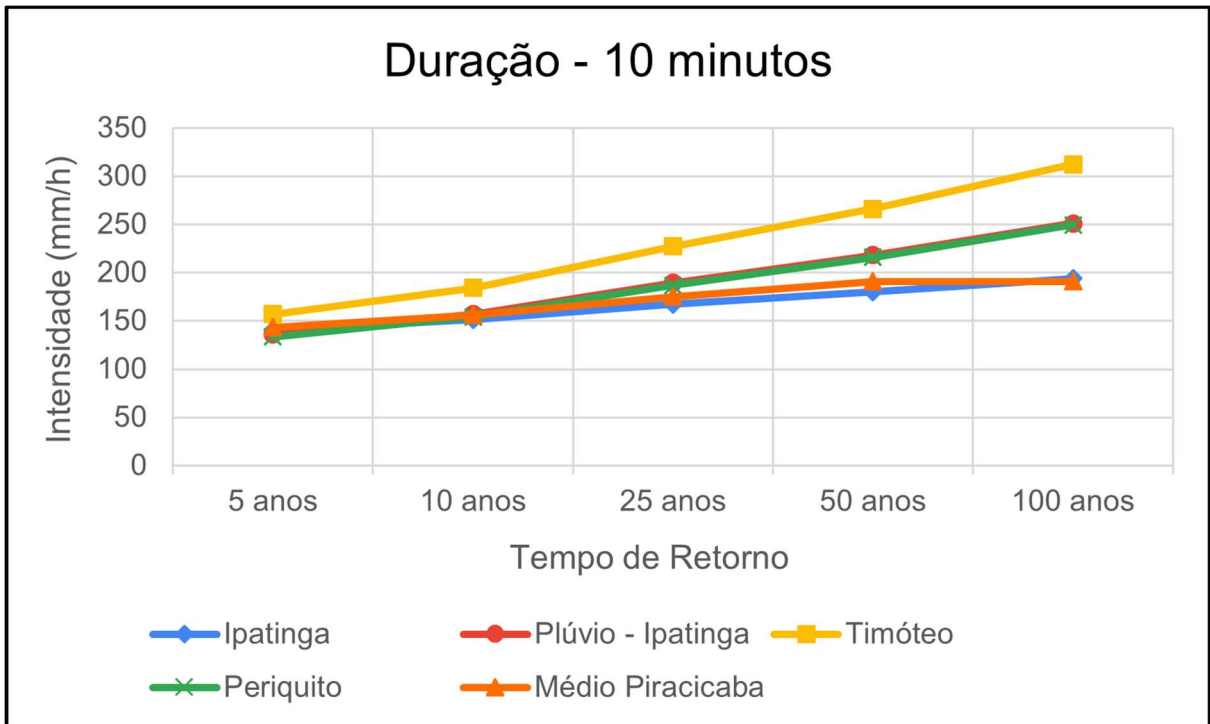
Fonte – A autora, 2025.

6.4 Análise comparativa da equação IDF proposta

Para aprimorar a dinâmica das análises comparativas, foram elaborados gráficos (Gráficos 4, 5 e 6) com os valores de intensidade obtidos neste estudo, permitindo a comparação com os resultados das localidades próximas, conforme descrito no item 5.5.

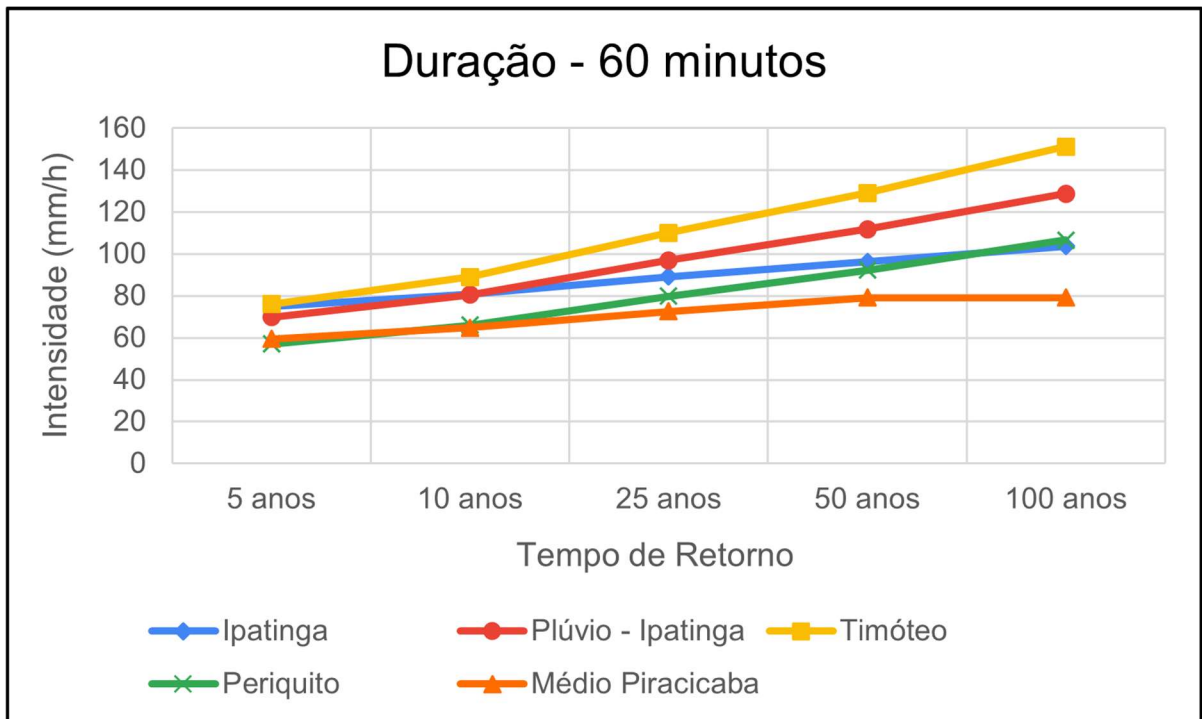
A análise comparativa das intensidades pluviométricas revelou variações expressivas entre as localidades estudadas em relação a Ipatinga, dependendo do tempo de duração e do tempo de retorno da precipitação. Para a duração de 10 minutos e tempo de retorno de 5 anos, as intensidades estimadas para o Médio Piracicaba e Plúvio – Ipatinga apresentaram as menores diferenças, variando entre 2% e 3%, enquanto a maior discrepância foi observada para as intensidades de Timóteo, com valores entre 11% e 60% superiores, apresentando crescimento gradual conforme o aumento do tempo de retorno.

Gráfico 4 – Intensidades de chuva para 10 minutos de duração.



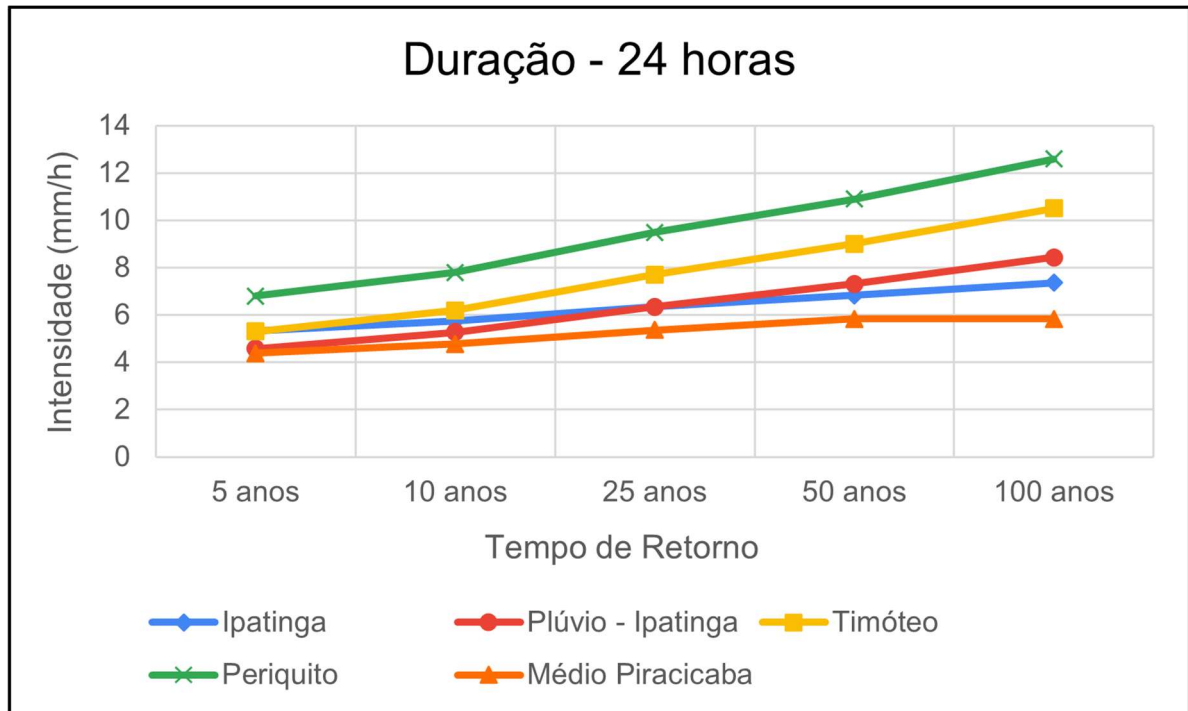
Fonte – A autora, 2025.

Gráfico 5 – Intensidades de chuva para 60 minutos de duração.



Fonte – A autora, 2025.

Gráfico 6 – Intensidades de chuva para 24 horas de duração.



Fonte – A autora, 2025.

Para uma duração de 60 minutos, as intensidades de Timóteo e Plúvio – Ipatinga mostraram as menores diferenças em relação a Ipatinga para um tempo de retorno de 5 anos, com variações de 1% e 7%, respectivamente. No entanto, à medida que o tempo de retorno aumenta, as intensidades de Timóteo passam a apresentar discrepâncias significativas, alcançando 10% para 10 anos e 25% para 50 anos. Já a região do Médio Piracicaba permaneceu com as intensidades inferiores em todos os tempos de retorno, com diferenças variando entre 18% e 24%.

Na análise das precipitações com duração de 24 horas, as intensidades de Timóteo apresentaram a menor diferença para 5 anos de tempo de retorno, com apenas +0,5% em relação a Ipatinga. Para 10 anos, a estimativa do Plúvio – Ipatinga apresentou -8% de diferença, enquanto a intensidade de chuva de Timóteo passou a apresentar até +7%. Nos tempos de retorno de 25, 50 e 100 anos, Plúvio – Ipatinga foi a localidade com maior aproximação, com diferenças de até 14%, enquanto Periquito demonstrou as maiores discrepâncias, com valores entre 27,5% e 71% superiores a Ipatinga.

De modo geral, as localidades comparadas apresentaram aproximações pontuais com a equação IDF proposta para Ipatinga, sendo que Timóteo se destacou como a mais discrepante a partir de 10 anos de tempo de retorno, com variações entre 21% e 60%. Periquito demonstrou a maior instabilidade, com as intensidades inferiores em algumas durações, como 60 minutos (-24%), e superiores em outras, como 24 horas (+71%). A região do Médio Piracicaba apresentou melhor ajuste em alguns momentos, possivelmente devido à sua metodologia, que abrangeu dados de 17 estações pluviométricas distribuídas em nove cidades, incluindo Ipatinga. No entanto, manteve-se inferior na maioria dos casos, sugerindo que os municípios vizinhos podem apresentar precipitações menores quando comparados a Ipatinga.

O Plúvio – Ipatinga demonstrou constância nas aproximações até tempos de retorno de 25 anos, porém, para 50 e 100 anos, apresentou aumentos de até 29% para todas as durações analisadas. Esse comportamento pode estar relacionado à metodologia do software, que adota interpolação de dados regionais na ausência de parâmetros específicos para a cidade.

Assim, a definição de uma equação IDF específica para Ipatinga se mostra essencial para garantir maior confiabilidade no dimensionamento dos sistemas de drenagem. Conforme a Instrução Técnica de Belo Horizonte (2022), um tempo de retorno de 10 anos e duração de chuva de 10 minutos são recomendados para projetos de microdrenagem urbana, parâmetros que devem ser ajustados de acordo com as particularidades locais. Para essas condições, Timóteo foi a única localidade que não apresentou boa correspondência com a equação proposta, enquanto as demais variaram entre 2% e 3% superiores. No entanto, para outros tempos de duração e de retorno, todas as localidades comparadas apresentaram variações superiores e inferiores em relação a Ipatinga.

Por fim, destaca-se que o aumento das intensidades observadas no Plúvio – Ipatinga para tempos de retorno elevados, como 50 e 100 anos, podem impactar diretamente o dimensionamento de estruturas de macrodrenagem. Este fato demonstra também que por mais que as regiões comparadas estejam geograficamente próximas do município de estudo, isso não significa que seja possível adotar as respectivas equações IDF para Ipatinga, visto que são cidades

distintas, com características diferentes, principalmente no aspecto hidrológico, e a adoção de outras IDF's poderia estar embutindo erros no dimensionamento da drenagem urbana. Outro ponto de destaque é a respeito dos tempos de retorno. Dado que a série histórica disponível para Ipatinga possui apenas 9 anos de dados, a análise comparativa acaba se tornando mais restrita para tempos de retorno maiores.

6.5 Discussão da aplicação da IDF como ferramenta para o Plano Diretor de Drenagem Urbana (PDDrU)

A ausência de uma equação Intensidade-Duração-Frequência (IDF) específica para Ipatinga compromete a precisão no dimensionamento dos sistemas de micro e macrodrenagem, resultando em impactos negativos na gestão da drenagem urbana. A definição dessa equação é fundamental para subsidiar a elaboração de um Plano Diretor de Drenagem Urbana (PDDrU), instrumento essencial para a gestão eficiente dos recursos hídricos em áreas urbanas. No entanto, o município de Ipatinga não dispõe desse plano, o que reforça a necessidade de medidas estruturadas para o planejamento da drenagem.

Conforme Tucci (1997), um PDDrU orienta a distribuição da água no tempo e no espaço, considerando a ocupação e a expansão urbana. Além disso, busca minimizar riscos de inundações, disciplinar a ocupação de áreas suscetíveis e estabelecer diretrizes para mitigar impactos de eventos extremos. Para ser efetivo, esse plano deve estar alinhado ao Plano Diretor Municipal, garantindo uma abordagem integrada para o desenvolvimento sustentável da cidade.

Atualmente, a última atualização do Plano Diretor de Ipatinga ocorreu em 2014, enquanto o Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB) foi revisado em 2016. Ambos apresentam lacunas em relação à drenagem urbana, evidenciando a necessidade de revisão e aprimoramento. O Plano Diretor contempla diretrizes para disciplinar a ocupação de áreas preserváveis e de risco, proteger nascentes, integrar projetos de drenagem ao planejamento urbano, implementar medidas não estruturais para controle de enchentes e manter cadastros atualizados das redes de drenagem. No entanto, o PMSB trata de forma genérica os serviços de drenagem e manejo de águas pluviais, sem detalhar diretrizes específicas para sua implementação.

A comparação com municípios que possuem um PDDrU demonstra a relevância desse instrumento na gestão da drenagem urbana. Belo Horizonte, por exemplo, conta com um plano que estabelece diretrizes para o controle de enchentes, regulamenta o uso do solo em áreas suscetíveis a inundações e define parâmetros técnicos para projetos de drenagem, incluindo o uso de equações IDF específicas (PBH, 2022). Da mesma forma, Curitiba adota um modelo de planejamento baseado na integração entre drenagem urbana e infraestrutura verde, promovendo soluções sustentáveis para o manejo das águas pluviais (IPPUC, 2021).

Diante disso, torna-se imprescindível a atualização do PMSB de Ipatinga para incluir diretrizes mais detalhadas sobre drenagem e a elaboração de um PDDrU que contemple medidas como o controle e a orientação de cursos d'água, a mitigação de impactos a jusante e a implementação de estratégias de controle para toda a bacia hidrográfica (FUNASA, 2016).

A definição de uma equação IDF específica para Ipatinga é um elemento essencial nesse contexto, pois permite maior precisão na previsão de cheias e no planejamento da infraestrutura de drenagem. Além disso, sua aplicação contribui para a gestão integrada das águas pluviais, auxiliando na definição de áreas de retenção e infiltração e na preservação dos corpos hídricos, promovendo uma abordagem sustentável e resiliente para a drenagem urbana do município.

7 CONCLUSÕES

O crescimento desordenado das cidades brasileiras tem intensificado os desafios da drenagem urbana, sobretudo devido ao aumento da impermeabilização do solo, que acelera o escoamento superficial e compromete a eficiência dos sistemas de drenagem existentes. Em Ipatinga, a ausência de um Plano Diretor de Drenagem Urbana (PDDrU) e a defasagem do Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB), cuja última atualização ocorreu em 2016, evidenciam a necessidade de instrumentos normativos e técnicos mais robustos para a gestão das águas pluviais.

Neste contexto, o presente estudo teve como objetivo a proposição de uma equação Intensidade-Duração-Frequência (IDF) específica para o município, a partir da análise dos dados de precipitação máxima registrados na região. Os resultados obtidos demonstram a viabilidade da equação proposta, contribuindo para embasar futuras iniciativas voltadas à elaboração do PDDrU e ao aprimoramento das estratégias de drenagem urbana. Além disso, a comparação com equações IDF dos estudos destacados para durações curtas (10 minutos), médias (60 minutos) e longas (24 horas), permitiram avaliar a variabilidade dos parâmetros hidrológicos, reforçando a importância da calibração com base em dados locais para garantir maior precisão nos projetos de infraestrutura urbana, dado que houveram grandes variações (-24% a +71%) das intensidades quando confrontados com os municípios de referência.

Embora a equação IDF proposta represente um avanço para a hidrologia urbana de Ipatinga, recomenda-se a ampliação da série histórica de chuvas, com pelo menos 10 anos de dados, para consolidar a tendência de variabilidade ao longo dos anos. Estudos futuros devem considerar a influência das mudanças climáticas sobre os padrões de precipitação, uma vez que alterações no regime hidrológico podem impactar diretamente o dimensionamento e a eficiência dos sistemas de drenagem.

Por fim, a implementação do PDDrU e a atualização do PMSB são medidas fundamentais para aprimorar a gestão da drenagem urbana no município. A adoção de diretrizes técnicas baseadas em dados hidrológicos consistentes permitirá um planejamento mais eficiente, mitigando os impactos de alagamentos e inundações e promovendo maior segurança hídrica e urbana para a população.

REFERÊNCIAS

AGUIAR, C. M. P., (2013). **Analisar o crescimento desordenado das cidades e identificar os problemas/alterações decorrentes do processo de expansão na região administrativa de Águas Claras.** 31 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Geografia) - Universidade de Brasília. Distrito Federal.

ALMEIDA, J. C. B., (2020). **Drenagem urbana.** Curitiba: Editora Contentus.

ARAÚJO, L. E.; SOUSA, F. A. S.; RIBEIRO, M. A. F. M.; SANTOS, A. S.; MEDEIROS, P. C., (2007). Análise estatística de chuvas intensas na bacia hidrográfica do rio Paraíba. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.3, n.22.

BARBOSA FILHO, L. H. B., (2023). **Estacionariedade de Séries Temporais, o que é isso?**. Artigo Análise Macro. Disponível em: <https://analisemacro.com.br/data-science/python/estacionariedade_series_temporais/>. Acesso em: 07 de set. de 2024.

BARBOSA JUNIOR, A. R., (2022). **Elementos de hidrologia aplicada.** 1ª ed. São Paulo: Editora Blucher, 2022. 430 p.

BARBOSA JUNIOR, R. F.; SANTOS, M. J. D., (2014). A urbanização das cidades. **III Congresso Internacional de Ciência, Tecnologia e Desenvolvimento. Universidade de Taubaté.**

BLANK, D. M. P., (2015). **O contexto das mudanças climáticas e as suas vítimas.** Editora Mercator, Fortaleza, v.14, n. 2, p. 157-172.

BRANDT MEIO AMBIENTE. **Usiminas. Estudo de Impacto Ambiental – EIA.** Belo Horizonte. set, (2005). apud SANTI, Auxiliadora Maria Moura. Análise dos impactos ambientais negativos do uso de áreas do cinturão verde da USIMINAS para expansão urbana em Ipatinga. Parecer técnico. Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Departamento de Engenharia Civil. Ouro Preto, nov.

BRASIL. **Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020.** Atualiza o marco legal do saneamento básico e altera a Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000, para atribuir à Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) competência para editar

normas de referência sobre o serviço de saneamento...Secretaria Geral: Subchefia de assuntos jurídicos.

CÂMARA MUNICIPAL DE IPATINGA, (2018). **Ipatinga**. Disponível em: <<https://www.camaraipatinga.mg.gov.br/ipatinga>>. Acesso em: 04 de set. de 2024.

CÂMARA MUNICIPAL DE IPATINGA, (2024). **Ipatinga**. Disponível em: <<https://www.camaraipatinga.mg.gov.br/ipatinga>>. Acesso em: 08 de set. de 2024.

CAMPANA, N. A., (1995). **Impacto da Urbanização nas Cheias Urbanas**. Tese de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. Porto Alegre, RS.

CARDOSO, C. O.; ULLMANN, M. N.; BERTOL, I., (1998). **Análise de chuvas intensas a partir da desagregação das chuvas diárias de Lages e de Campos Novos (SC)**. R. Bras. Ci. Solo, 22:131-140.

CARVALHO, D. F.; SILVA, L. D. B. (2006). **Hidrologia - escoamento Superficial**. Cap. 7. p. 95-115.

CASTELHANO, F. J., (2020). **Clima Urbano**. 1ª ed. Curitiba: Editora Contentus. 65 p.

CECH, T. V., (2013). **Recursos Hídricos: história, desenvolvimento, política e gestão**. 3ª ed. Rio de Janeiro: Editora LTC.

CEMADEN, (2015). **Centro Nacional de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais - Pluviômetros Automáticos**. Disponível em: <<http://www2.cemaden.gov.br/pluviometros-automtico/>>. Acesso em: 06. ago. 2024.

CPRM - Serviço Geológico do Brasil. **Atlas Pluviométrico do Brasil**. 2013.

CPRM - Serviço Geológico do Brasil. **Atlas Pluviométrico do Brasil - Periquito**. 2014.

CPRM - Serviço Geológico do Brasil. **Atlas Pluviométrico do Brasil - Timóteo**. 2014.

DIAS, F. C., (2011). **O tratamento dos espaços livres em uma cidade média planejada: o caso de Ipatinga/MG**. Dissertação de Mestrado. Belo Horizonte, MG.

DUARTE, A. A. L. S., (2007). Impacto das alterações climáticas na gestão da água. **Revista Águas e Resíduos**. ISSN 0873-1713. Série III: 2. p. 58-73.

EHR – Departamento de Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos, (2012). **ALEA: Análise de frequência Local de Eventos Anuais**.

FARIAS, A.; MENDONÇA, F., (2022). Riscos socioambientais de inundação urbana sob a perspectiva do Sistema Ambiental Urbano. **Revista Sociedade e Natureza**. Uberlândia, MG.

FENDRICH, R., (1999). **Importância das equações de chuvas intensas na drenagem urbana**. XIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos.

FERNANDES, A. M. O.; FILGUEIRA, H. J. A.; SILVA, T. C., (2017). **Construção de novas curvas Intensidade-Duração-Frequência (IDF) para a cidade de João Pessoa, PB**. XXII SBRH – Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos.

FUNASA – Fundação Nacional de Saúde, (2016). Plano Municipal de Saneamento Básico. **Drenagem e Manejo das Águas Pluviais Urbanas**. Cadernos Temáticos de Saneamento Básico.

G1, Vales de Minas Gerais, (2012). **Chuva forte causa alagamento no bairro Cariru, em Ipatinga, MG**. 2012. Disponível em: <<https://g1.globo.com/mg/vales-mg/noticia/2012/11/chuva-forte-causa-alagamento-no-bairro-cariru-em-ipatinga-mg.html>>. Acesso em: 18 de ago. de 2024.

G1, Vales de Minas Gerais, (2017). **Chuva forte causa alagamentos em vários bairros de Ipatinga, no Vale do Aço**. 2017. Disponível em: <<https://g1.globo.com/mg/vales-mg/noticia/chuva-forte-causa-alagamentos-em-varios-bairros-de-ipatinga-no-vale-do-aco.ghtml>>. Acesso em: 18 de ago. de 2024.

G1, Vales de Minas Gerais, (2021). **Chuva de cerca de 86mm causa estragos em vários bairros de Ipatinga**. 2021. Disponível em: <<https://g1.globo.com/mg/vales-mg/noticia/2021/02/16/chuva-de-cerca-de-86-mm-causa-estragos-em-varios-bairros-de-ipatinga.ghtml>>. Acesso em: 18 de ago. de 2024.

G1, Vales de Minas Gerais, (2025). **Deslizamentos de terra por temporal causam mortes em Ipatinga e região.** 2025. Disponível em: <<https://g1.globo.com/mg/vales-mg/noticia/2025/01/12/deslizamentos-de-terra-causados-por-temporal-deixam-pessoas-mortas-em-ipatinga.ghtml>>. Acesso em: 10 de mar. de 2025.

GARCEZ, L. N.; ALVAREZ, G. A., (1988). **Hidrologia.** 2ª ed. São Paulo: Editora Blucher.

GOULART, A. A., (2023). **Introdução a climatologia: conceitos, pesquisas e ensino.** 2ª ed. Curitiba, PR: Editora Intersaberes.

GOVERNO FEDERAL, BRASIL - Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, (2024). **Mudança climática dobrou a possibilidade de ocorrência de chuvas extremas no Sul do Brasil.** 2024. Disponível em: <<https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/noticias/2024/06/mudanca-climatica-dobrou-a-probabilidade-de-ocorrencia-de-chuvas-extremas-no-sul-do-brasil>>. Acesso em: 15 de ago. de 2024.

GPRH – Grupo de Pesquisa de Recursos Hídricos, (2008). **Modelo Físico-Matemático para o controle da erosão hídrica nas condições edafoclimáticas brasileiras.** Universidade Federal de Viçosa – Centro de Ciências Agrárias – Departamento de Engenharia Agrícola.

GUIMARÃES, R. S.; FONSECA, T. B.; LIMA, F. N.; PINTO, R., (2019). Determinação da equação de intensidade-duração-frequência (IDF) das chuvas na região do médio Piracicaba/MG. **I Simpósio da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco.**

GUIMARÃES, M., (2020). **Drenagem e Manejo de Águas Pluviais.** Tecnologias Sociais de Saneamento Rural.

HERNANDEZ, V., (2008). **Regionalização de Parâmetros de Escala em Chuvas Intensas.** Revista Brasileira de Recursos Hídricos.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2023. **Parâmetros**. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/mg/ipatinga.html>>. Acesso em: 04 de set. de 2024.

IBGE Cidades, (2023). **Panorama Ipatinga**. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/ipatinga/panorama>>. Acesso em: 04 de set. de 2024.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change, (2023). **Mudanças Climáticas 2023: Relatório de Síntese**. Contribuição dos Grupos de Trabalho I, II e III para o Sexto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas [Core Writing Team, H. Lee e J. Romero]. IPCC, Genebra, Suíça, 184 pp.

IPPUC – Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba, (2021). Plano Diretor. **Instrumentos Urbanísticos**. Curitiba, PR.

JORNAL DIÁRIO DO AÇO, (2020). **Chuva intensa provoca pontos de alagamentos em Ipatinga**. 2020. Disponível em: <<https://www.diariodoaco.com.br/noticia/0076585-chuva-intensa-provoca-pontos-de-alagamento-em-ipatinga>>. Acesso em: 18 de ago. de 2024.

JORNAL DIÁRIO DO AÇO, (2023). **Mais um dia de caos: Chuva de 52mm alaga avenidas e ruas de Ipatinga**. 2023. Disponível em: <<https://www.diariodoaco.com.br/noticia/0112428-mais-um-dia-de-caos-chuva-de-52mm-alaga-avenidas-e-ruas-de-ipatinga>>. Acesso em: 18 de ago. de 2024.

Lei nº 3.350, de 12 de junho de 2014. “Institui o Plano Diretor do Município de Ipatinga e dá outras providências.” Leis Municipais, Prefeitura Municipal de Ipatinga.

Lei nº 3626, de 26 de julho de 2016. “Institui o Plano Municipal de Saneamento Básico – PMSB do município de Ipatinga e dá outras providências”. Leis Municipais, Prefeitura Municipal de Ipatinga.

MAGNO, C., (2024). **Impactos das mudanças climáticas estão cada vez mais frequentes**. Agência Brasil - RBANACOP.

MEDEIROS, A. T.; THOMAS, L. A.; DORNELLES, F.; GOLDENFUM, J. A., (2020). **Relação entre precipitações intensas de diferentes durações ocorridas nos municípios de Porto Alegre – RS, Florianópolis – SC e Curitiba – PR.** XIII Encontro Nacional de Águas Urbanas.

MIGUEZ, M. G., (2015). **Drenagem urbana: do projeto tradicional à sustentabilidade.** 1ª ed. Rio de Janeiro: Editora Elsevier.

MIGUEZ, M. G., (2018). **Gestão de Riscos e Desastres Hidrológicos.** 1ª ed. Rio de Janeiro: Editora Elsevier.

MOL, J. M. D., (2005). **Estimativa de Precipitação por meio de Sensoriamento Remoto.** Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos. Universidade de Brasília. Brasília.

NUNES, A. A., (2018). **Tendências em eventos extremos de precipitação na região metropolitana de Belo Horizonte: detecção, impactos e adaptabilidade.** Tese de Doutorado - Escola de Engenharia da UFMG - Belo Horizonte, MG.

OBSERVATÓRIO DAS METROPOLIZAÇÕES, Vale do Aço; INSTITUTO FEDERAL DE MINAS GERAIS - IFMG Ipatinga, (2021). **Cartografia da Metropolição do Vale do Aço.** Ipatinga, MG.

OLIVEIRA, D. A., (2018). **Estudo Hidrogeológico do Aquífero do Bairro Amaro Lanari, em Ipatinga - MG.** Ouro Preto, MG.

ONU - **Organização das Nações Unidas. Brasil.** Página inicial. Disponível em: <<https://brasil.un.org/pt-br>>. Acesso em: 29 de jul. de 2024.

PAULO, R. F., (2018). **Crescimento Urbano Desordenado: o papel do Estado e da sociedade diante dos impactos socioambientais.** Porto Alegre, RS: Editora Fi.

PEDROSO, D. C.; MIGUEL, R. A. D.; HOFFMANN, R. C., (2011). A importância do planejamento urbano e da gestão ambiental para o crescimento ordenado das cidades. **Revista de Engenharia e Tecnologia.** p. 70-81.

PEREIRA, J. A., (2023). **Análise de chuvas intensas para o município de Juiz de Fora, MG.** Ouro Preto, MG.

PEREIRA, M. A. F.; BARBIEIRO, B. L.; QUEVEDO, D. M., (2020). Importância do monitoramento e disponibilização de dados hidrológicos para a gestão integrada dos recursos hídricos. **Revista Sociedade e Natureza.**

PETRUCCI, E.; OLIVEIRA, L. A., (2019). Relações entre intensidade, duração e frequência das precipitações máximas de 24 horas e equação de chuvas intensas para a cidade de Uberlândia-MG. **Revista Brasileira de Climatologia.** Vol. 25.

PINTO, E. J. A., (2013). **Atlas Pluviométrico do Brasil. Metodologia para definição das Equações de Intensidade-Duração-Frequência do Projeto Atlas Pluviométrico.** Belo Horizonte, MG.

PBH – PREFEITURA DE BELO HORIZONTE. Instrução Técnica para Elaboração de Estudos e Projetos de Drenagem, (2022). **Intensidade, Duração e Frequência (IDF) para a Região Metropolitana de Belo Horizonte – RMBH.** Apêndice 1.

RODRIGUES, G. S. A., (2020). **Invariância de escala temporal em equações de Intensidade-Duração-Frequência (IDF) da região metropolitana de Belo Horizonte.** Escola de Engenharia da UFMG, Belo Horizonte, MG.

RODRIGUES, N. M.; RODRIGUES, C. E. F.; RODRIGUES, C. R., (2022). A falta de drenagem urbana nas cidades brasileiras. **Revista Research, Society and Development,** v.11, n.6.

PLÚVIO 2.1 – **GPRH: Grupo de Pesquisa em Recursos Hídricos.** Universidade Federal de Viçosa.

SANTOS, C. A.; LIMA, A. M. M.; FARIAS, M. H. C. S.; AIRES, U. R. V.; SERRÃO, E. A. O., (2016). **Análise estatística da não estacionariedade de séries temporais de vazão máxima anual diária na bacia hidrográfica do Rio Pardo.** Holos. Ano 32. Vol. 7.

SCHIFFER, S. T. R.; DEÀK, C., (1999). **O processo de urbanização no Brasil.** 1ªed. São Paulo. Editora da Universidade de São Paulo, 2004. p. 9–11.

SCOPEL, V. G., (2018). **Planejamento Urbano**. Porto Alegre, RS: Editora SAGAH Educação S.A.

SILVA, F., (2023). **Tragédia: A inesquecível enchente de 1979 no Vale do Aço**. Rádio e Portal VOX. Disponível em: <<https://vox97.com.br/noticia/1682/tragedia-a-inesquecivel-enchente-de-1979-no-vale-do-aco#:~:text=A%20enchente%20de%2079%20foi,daquele%20ano%20durou%20dois%20meses.>>. Acesso em: 08 de set. de 2024.

SILVA, L. A.; GERVILLA, E.; RANDOW, R. C. S. V., (2019). **Importância e confiabilidade de pluviômetros artesanais na medição da precipitação: métodos e aplicações**. São José dos Campos, SP.

SILVA, M. R., (2020). **Da vila operária à região metropolitana: uma análise sobre Ipatinga (MG)**. Dissertação de Mestrado. Uberlândia, MG.

SILVA, N. R.; DETZEL, D. H. M., (2021). Modificações do teste de Mann-Kendall: A importância das premissas de testes estatísticos. **XXIV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Associação Brasileira de Recursos Hídricos**.

SOUZA, S. C.; MAITELLI, G. T., (2005). **Mudanças Climáticas na Interface Superfície Urbanizada Atmosfera**. Universidade de São Paulo.

STEIN, R. T., (2021). **Hidrologia e Drenagem**. 1ºed. Porto Alegre, RS: Editora SAGAH Educação S.A.

TEIXEIRA, N. N.; ARAÚJO, A. V. S., (2023). Gestão municipal de drenagem e manejo de águas pluviais: avaliação dos impactos decorrentes da urbanização na Cidade Nova, Ilhéus-BA. **Revista de Gestão e Secretariado**. São Paulo, SP, Brasil. v. 14, n.6, p. 9968-9997.

TUCCI, C. E. M., (2008). **Águas urbanas: Estudos Avançados**. São Paulo, Brasil, v.22, n.63, p.97-112.

TUCCI, C. E. M., (2012). **Gestão da Drenagem Urbana**. Comissão Econômica para a América Latina e o Caribe. CEPAL II. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. IPEA III. 50 p.

TUCCI, C. E. M., (1997). **Plano Diretor de Drenagem Urbana: Princípios e Concepção**. Instituto de Pesquisas Hidráulicas – UFRGS. Porto Alegre. RS.

ZDANOWICZ, E., (2022). **Processo de ocupação em áreas urbanas ribeirinhas: O caso do bairro Arquipélago no Município de Porto Alegre**. Trabalho de Graduação Individual em Geografia. Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo.