



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIAS E TECNOLOGIA (DETEC)
CENTRO MULTIDISCIPLINAR DE PAU DOS FERROS (CMPF)
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

MICHAELLY FERNANDES DE LIRA

**MÉTODOS DOS QUANTIS E EQUAÇÃO DE INTENSIDADE, DURAÇÃO E
FREQUÊNCIA (IDF) PARA O MUNICÍPIO DE PAU DOS FERROS/RN**

PAU DOS FERROS/RN

2023

MICHAELLY FERNANDES DE LIRA

**MÉTODOS DOS QUANTIS E EQUAÇÃO DE INTENSIDADE, DURAÇÃO E
FREQUÊNCIA (IDF) PARA O MUNICÍPIO DE PAU DOS FERROS/RN**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Federal Rural do Semi-Árido -
UFERSA, Campus Pau dos Ferros, em cumprimento
com as exigências legais como requisito para à
obtenção do título de Bacharela em Engenharia
Civil.

Orientador: Prof. Dr. Wesley de Oliveira Santos

PAU DOS FERROS/RN

2023

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

L768m Lira, Michaelly Fernandes de.
Métodos dos quantis e equação de intensidade,
duração e frequência (IDF) para o município de Pau
dos Ferros/RN. / Michaelly Fernandes de Lira. -
2023.
44 f. : il.

Orientador: Wesley de Oliveira Santos.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia Civil,
2023.

1. eventos extremos. 2. classificação
quantílica. 3. distribuição de probabilidade. 4.
equação de chuvas intensas. 5. drenagem. I.
Santos, Wesley de Oliveira, orient. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade
com AACR2 e os dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Biblioteca Campus Pau dos Ferros
Bibliotecária: Erlanda Maria Lopes da Silva
CRB: 15/966

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

MICHAELLY FERNANDES DE LIRA

**MÉTODOS DOS QUANTIS E EQUAÇÃO DE INTENSIDADE,
DURAÇÃO E FREQUÊNCIA (IDF) PARA O MUNICÍPIO DE PAU DOS
FERROS/RN**

Trabalho de conclusão de curso,
apresentado a Universidade Federal Rural
Do Semi-Árido – UFERSA, Campus Pau
dos Ferros, em cumprimento com as
exigências legais como requisito para à
obtenção do título de Bacharela em
Engenharia Civil.

Pau dos Ferros, 12 de Maio de 2023.

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
 WESLEY DE OLIVEIRA SANTOS
Data: 13/05/2023 22:04:24-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Wesley de Oliveira Santos – Orientador
Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA/CE

Documento assinado digitalmente
 BARBARA BARBOSA TSUYUGUCHI
Data: 20/05/2023 15:40:30-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dra. Barbara Barbosa Tsuyuguchi.– 1º Membro
Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA/CMPF

Documento assinado digitalmente
 MARILIA CAVALCANTI SANTIAGO
Data: 23/05/2023 10:20:00-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Me. Marília Cavalcanti Santiago – 2º Membro
Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA/CMPF

AGRADECIMENTOS

Agradeço imensamente a Deus, por se fazer presente em minha vida, me protegendo e dando a força de vontade e saúde necessária para os desafios de cada dia, além de me conduzir para cada dia ser melhor que ontem.

Aos meus pais, Manoel Tavares de Lira e Marinêz Fernandes Vieira Lira, por todo empenho para oferecer educação ao longo de toda minha vida e confiança no meu potencial.

Aos meus irmãos Wagner Fernandes de Lira e Mikaelle Fernandes de Lira, por me incentivarem e acreditarem que essa etapa será vencida com muita dedicação e compromisso.

A toda minha família pelo apoio, carinho e admiração demonstrados.

Ao meu namorado, Alisson Gadelha de Medeiros, que se fez presente ao longo de quase toda essa caminhada, me apoiando e me incentivando através de seu exemplo.

Ao meu orientador Prof. Dr. Wesley de Oliveira Santos, pela disponibilidade, dedicação, paciência e compromisso para com este trabalho.

A todos os professores do curso de Engenharia Civil do Campus Pau dos Ferros, pelo aprendizado e dedicação ao ensinar ao longo de toda a graduação.

Aos meus amigos e colegas, em especial Kércia Nogueira, Gleycimara Torres, Francisco Gleison, Karina Estrela, Breno Carlos, José Gildemberg, entre outros que puderam compartilhar momentos e conhecimentos no decorrer do curso.

"Não podemos prever o futuro, mas podemos criá-lo".

(Paul Pilzer)

RESUMO

A obtenção do quantitativo de precipitações pluviométricas de uma série histórica local é de grande importância para o estudo climatológico regional, uma vez que, atrelados a métodos estatísticos, fornecem informações bastante relevantes para o desenvolvimento de uma sociedade. Nesse sentido, este trabalho aborda a aplicação do método dos quantis para classificação das precipitações, além de utilizar a distribuição de Gumbel para obtenção das frequências estimadas para cada duração, e então, mediante esses dados, ajustar uma equação que represente as relações IDF (intensidade, duração e frequência) a fim de estimar a vazão de projeto para um caso hipotético no município de Pau dos Ferros, interior do Rio Grande do Norte. Desse modo, analisando uma série de dados de 30 anos (1992 a 2021), foram encontrados os valores 212,60 mm e 1235,00 mm sendo os quantitativos extremos de precipitações máximas anuais, além de que, a equivalência da quantidade de anos foi classificada como “muito chuvoso” e “pouco chuvoso”, o que leva a induzir que a escassez de água nos períodos de seca não se deve apenas pela falta de chuva, mas também, possivelmente, por ineficiência no planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos. Para tanto, a curva IDF teve um ótimo ajuste de parâmetros, apresentando (R^2) de 0,992, (K) 706,009, (a) 0,179, (b) 9,778, (c médio) de 0,741 e EPE 0,111, evidenciando uma boa precisão dos dados estatísticos. O conhecimento do comportamento pluviométrico auxilia no planejamento urbano, gerenciamento de sistemas hídricos, bem como no âmbito socioeconômico da região.

Palavras-chave: eventos extremos; classificação quantílica; distribuição de probabilidade; equação de chuvas intensas; drenagem.

ABSTRACT

Obtaining the amount of rainfall of a local historical series is of great importance for the regional climatological study, since, coupled with statistical methods, they provide very relevant information for the development of a society. In this sense, this work addresses the application of the quantile method for the classification of precipitation, in addition to using the Gumbel distribution to obtain the estimated frequencies for each duration, and then, through these data, adjust an equation that represents the relations IDF (intensity, duration and frequency) in order to estimate the design flow for a hypothetical case in the municipality of Pau dos Ferros, interior of Rio Grande do Norte. Thus, analyzing a 30-year data series (1992 to 2021), the values 212.60 mm and 1235.00 mm were found to be the extreme amounts of maximum annual precipitation, in addition to which, the equivalence of the amount of years was classified as "very rainy" and "little rainy", which leads to induce that the shortage of water in dry periods is not only due to lack of rain, but also possibly due to inefficiency in planning and management of water resources. For this, the IDF curve had a great adjustment of parameters, presenting (R^2) of 0.992, (K) 706.009, (a) 0.179, (b) 9.778, (c mean) of 0.741 and EPE 0.111, evidencing a good precision of the statistical data. The knowledge of rainfall behavior assists in urban planning, management of water systems, as well as in the socioeconomic sphere of the region.

Palavras-chave: eventos extremos; classificação quantílica; distribuição de probabilidade; equação de chuvas intensas; drenagem.

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Relação da quantidade de anos e suas classificações com base no método quantis.	35
Gráfico 2: Relação Intensidade-Duração-Frequência de chuva.	39

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Ciclo hidrológico.	16
Figura 2: Pluviômetro.....	19
Figura 3: Pluviógrafo.....	20
Figura 4: Localização de Pau dos Ferros no Rio Grande do Norte.	23
Figura 5: Fluxograma de orientação metodológica.	24
Figura 6: Classificação das precipitações anuais da série histórica em estudo.	28
Figura 7: Fluxograma das etapas para obtenção dos quantis e sua classificação.	29
Figura 8: Parâmetros de classificação do método quantis.....	29
Figura 9: Valores ordenados para aplicação do método quantis em Pau dos Ferros.	33
Figura 10: Classificação dos intervalos de precipitação média dos quantis.....	34
Figura 11: Rua Dom Pedro II na cidade de Pau dos Ferros alagada em 2008.	37
Figura 12: Rua Dom Pedro II na cidade de Pau dos Ferros alagada em 2008.	37
Figura 13: Valores de intensidade pluviométrica máxima (mm/h) para diferentes períodos de retorno, conforme a distribuição de probabilidade de Gumbel.	38
Figura 14: Valores de intensidade pluviométrica máxima (mm/h) para diferentes períodos de retorno, conforme a equação de intensidade, duração e frequência de chuva (IDF).....	38
Figura 15: Parâmetros da equação IDF.	39
Figura 16: Parâmetros utilizados e resultados estimados das vazões de projeto pelo método racional para a Biblioteca da UFERSA de Pau dos Ferros.....	40

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Dados pluviométricos da série histórica de 1992 a 2021 de Pau dos Ferros/RN. ...	25
Tabela 2: Coeficientes de desagregação para diferentes durações de chuva.	26
Tabela 3: Dados da série histórica ordenados em ordem crescente para aplicação do método quantílico.	27
Tabela 4: Classificação das categorias de precipitação anual.	27
Tabela 5: Classificação das precipitações dos anos da série histórica de 1992 a 2021.	36

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

EMPARN – Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte

EPE – Erro Padrão de Estimativa

ENOS - El Niño Oscilação Sul

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IDF – Intensidade, Duração e Frequência

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia

MMA - Ministério do Meio Ambiente

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	OBJETIVOS	15
2.1	Geral	15
2.2	Específicos	15
3	REVISÃO TEÓRICA	16
3.1	Precipitação pluviométrica	17
3.2	Instrumentos de medição meteorológicos	18
3.2.1	Pluviômetro.....	18
3.2.2	Pluviógrafo.....	19
3.3	Parâmetros da equação de intensidade, duração e frequência (IDF).....	20
3.4	Método dos quantis	21
3.5	Vazão de projeto	22
4	METODOLOGIA	23
4.1	Caracterização da área em estudo	23
4.2	Procedimentos metodológicos	23
4.2.1	Obtenção dos dados pluviométricos	24
4.2.2	Aplicação da Técnica dos Quantis.....	26
4.2.3	Aplicação da Equação IDF	29
4.2.4	Análise da Vazão de Projeto	31
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	33
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	41
	REFERÊNCIAS	42

1 INTRODUÇÃO

A análise de dados pluviométricos de séries históricas de um determinado local é bastante importante para se realizar um melhor planejamento das atividades de uma sociedade.

Tendo em vista a constante mudança climática no planeta, a meteorologia busca prever o comportamento do clima em detrimento de uma gama de fatores que podem influenciar, bem como serem influenciados devido as suas interdependências.

Para Souza, Azevedo e Araújo (2012), a inconsistência de fatores ligados à precipitação e frequência de eventos extremos, tais como chuvas e secas intensas, além da temperatura, corroboram para impactos socioeconômicos da população, atingindo principalmente as esferas dos recursos hídricos, sistemas de infraestruturas de drenagem (coletas pluviais), meio ambiente e saúde.

A precipitação é um dos parâmetros essenciais para os estudos climáticos, tendo em vista que quando escassa, acarreta secas severas, assoreamento dos rios e reduz o desenvolvimento de atividades econômicas. No entanto, quando ocorrida em excesso, provoca enchentes, escorregamentos de taludes e alagamentos devido à falta de planejamento de redes de drenagens adequadas, ou até mesmo, a não implementação da infraestrutura necessária, motivada ainda pelo descaso dos setores responsáveis (SOUZA, AZEVEDO e ARAÚJO, 2012).

Nesse sentido, a análise de séries históricas de precipitação possibilita o entendimento sobre a determinação de ocorrência de mudança climática de um determinado local. Segundo Santos (2006) e Silva *et al.* (2006), em algumas regiões do Nordeste brasileiro, como o semiárido, por exemplo, iniciou-se o desenvolvimento de análises em escalas locais de indicativos extremos, com o intuito de minimizar os possíveis impactos gerados por meio deles.

Para melhor compreender o quantitativo de precipitações pluviométricas, pode-se utilizar artifícios como métodos matemáticos para auxiliar no tratamento dos dados de uma série histórica, como exemplo, o método dos quantis, que permite definir limites dentro de um conjunto de dados, indicando a posição que um valor está em relação aos outros da mesma série, possibilitando estabelecer uma classificação mediante a divisão dos dados envolvidos e intervalos percentuais definidos no objetivo da análise quantílica (GUEDES, 2011).

Segundo Campos *et al.* (2014), a quantificação de chuvas pode ser feita através de

equações de chuvas intensas, também chamadas de curvas intensidade-duração-frequência (IDF), possibilitando observar a intensidade, duração e frequência da chuva em determinado período de retorno. Para o ajuste dos parâmetros das curvas IDF podem ser realizadas regressão linear ou não linear com base no banco de dados da série pluviométrica. Além disso, vale mencionar que, para um dimensionamento de um sistema de drenagem urbana um fator primordial é a chuva de projeto, sendo essa obtida através das curvas IDF.

Desse modo, tendo em vista a oscilação do comportamento climático da Terra, este trabalho visa analisar os dados pluviométricos da série histórica dos anos de 1992 a 2021 do município de Pau dos Ferros/RN, por meio do método estatístico dos quantis e da equação IDF, promovendo então, o fornecimento de informações relevantes para o conhecimento da realidade climática local com base no histórico de precipitações.

2 OBJETIVOS

2.1 Geral

Analisar a variabilidade de precipitação referente ao município de Pau dos Ferros, RN, mediante aplicação do método estatístico dos quantis e da equação IDF (intensidade, duração e frequência) para uma série histórica de 30 anos (1992 a 2021).

2.2 Específicos

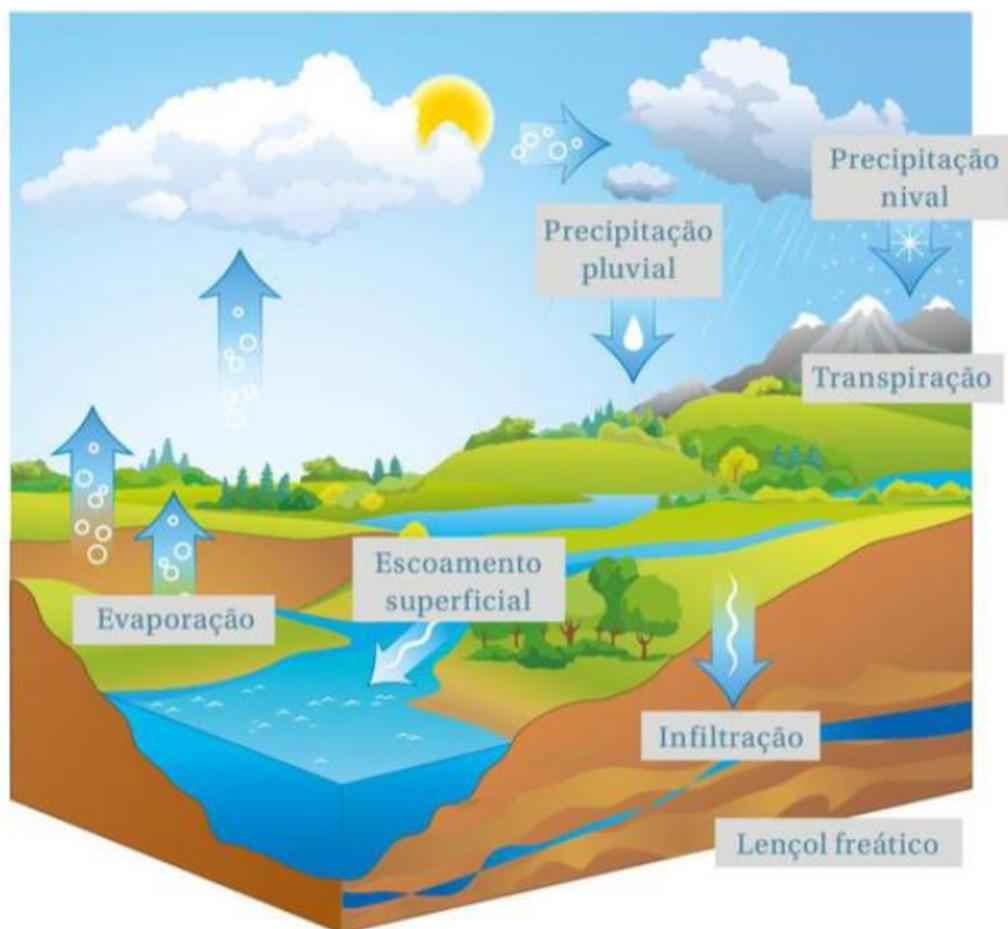
- ✓ Caracterizar a variabilidade pluviométrica do município de Pau dos Ferros, RN;
- ✓ Classificar cada ano da série histórica em: Muito seco, Seco, Normal, Chuvoso e Muito chuvoso;
- ✓ Obter os parâmetros da equação IDF para o município de Pau dos Ferros/RN;
- ✓ Aplicar equação IDF para fins de vazão de projeto utilizando um caso hipotético.

3 REVISÃO TEÓRICA

De acordo com Machado *et al.* (2012), o ciclo hidrológico ou também chamado de ciclo da água, está diretamente relacionado ao ciclo energético do planeta Terra, uma vez que a energia se trata da energia proveniente do Sol. Diante disso, a energia em forma de luz solar possibilita a passagem da água pelo meio físico da matéria (sólido, líquido e gasoso) e nos seres vivos, tornando-se um ciclo de transformação contínua.

Considerando a grande importância da água para o ser vivo, seu processo de obtenção é estudado e subdividido de acordo com os tipos de processos desenvolvidos ao longo de seu percurso, tais etapas do ciclo da água são apresentados na Figura 1. Desse modo, em consonância com Heller e Pádua (2010), a radiação solar, juntamente com a gravidade são os dois principais agentes do processo hidrológico, promovendo então, a evaporação da água e seu movimento, respectivamente.

Figura 1: Ciclo hidrológico.



Fonte: Machado *et al.* (2012).

Nesse sentido, de acordo com Machado *et al.* (2012) e Heller e Pádua (2010), existem seis processos básicos que compõem o ciclo hidrológico, sendo esses:

- Evaporação – é a mudança da água em estado líquido para vapor, sendo necessários dois agentes para que ocorra esse processo: água e calor (temperatura);
- Precipitação – processo pelo qual a água condensada na atmosfera atinge a superfície terrestre na forma líquida (chuva ou chuvisco) ou sólida (granizo ou neve);
- Infiltração – parcela da precipitação que atinge o solo pode ser infiltrada no subsolo, podendo ser absorvida pelas raízes da vegetação ou sofrer evaporação;
- Transpiração – a água armazenada nas folhas e troncos de plantas retorna para atmosfera sob forma de vapor através da energia fornecida pela radiação solar;
- Escoamento superficial e subterrâneo – o restante da água da infiltração irá percolar para camadas mais profundas, até encontrar uma região na qual todos os interstícios do solo estejam preenchidos.

3.1 Precipitação pluviométrica

Segundo Heller e Pádua (2010), a precipitação é uma descarga líquida ou sólida sobre a superfície terrestre, oriunda da condensação do vapor d'água atmosférico e pode ocorrer sob diversas formas, sendo estas:

- Chuvisco: gotículas muito finas de água, com diâmetros entre 0,1 e 0,5 mm, com intensidade muito baixa;
- Chuva: gotículas maiores, com diâmetros entre 0,5 e 5 mm, se precipitam com intensidades variáveis e dependentes da ascensão das massas de ar úmido;
- Granizo: pedras de gelo de dimensões variadas, normalmente formadas por nuvens de desenvolvimento vertical;
- Orvalho: resfriamento noturno ocasionando a condensação do vapor d'água nas folhagens de plantas e superfícies de objetos expostos ao ar;
- Geadas: cristais de gelo nas superfícies expostas ao ar, ocorrendo quando a temperatura é inferior a 0°C;
- Neve: flocos de dimensões e formas variadas, resultantes da precipitação de cristais de gelo.

Em consonância com Leal (2016), as chuvas podem ser classificadas de acordo com características de sua formação, podendo ser chuvas convectivas ou de convecções, frontais

ou ciclônicas e orográficas ou de relevo, podendo ser classificadas em:

- Chuvas convectivas ou de convecções: são chuvas de grande intensidade, curta duração e restrita a pequenas áreas, em que são originadas a partir da ascensão de uma massa de ar úmido em regiões quentes;
- Chuvas frontais ou ciclônicas: são chuvas de intensidade média, com longa duração, em que atinge grandes áreas, decorrentes do encontro de massas de ar com características opostas (quente e fria);
- Chuvas orográficas ou de relevo: são chuvas de intensidade variável de média a curta duração, apresentando média a elevada intensidade, em que são formadas a partir da ascensão forçada do ar úmido diante de um obstáculo do relevo (montanhas).

Desse modo, de acordo com Silva *et al.* (2020), o mapeamento das variáveis climáticas é de fundamental importância, tendo em vista que possibilita o melhoramento quanto ao desenvolvimento de planejamentos urbanos e rurais, envolvendo o meio físico, manejo de bacias hidrográficas e projeto de obras hidráulicas voltados para engenharia. Além disso, vale ressaltar que o conhecimento acerca de uma série histórica de precipitações de uma localidade é essencial para o desenvolvimento econômico dessa, permitindo um melhor dimensionamento da infraestrutura de um município.

3.2 Instrumentos de medição meteorológicos

Conforme Heller e Pádua (2010), o fenômeno da chuva pode ser medido por meio de aparelhos chamados pluviômetros e pluviógrafos, sendo esses os mais comuns. Em que, para que se possa realizar essa medição, deve-se instalar os instrumentos de medição em um local propício para essa finalidade, chamado de ponto de medição.

3.2.1 Pluviômetro

De acordo com o Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, pluviômetro é um equipamento metálico que “permite conhecer a altura da coluna d’água que se acumularia no solo, caso não ocorressem infiltração, evaporação ou escoamento”.

O pluviômetro conta com um volume capaz de reter as maiores precipitações possíveis para um intervalo de 24 horas. O modelo mais utilizado no Brasil é do tipo “Ville de Paris”, em que possui área de captação de 400 cm² e é instalado a 1,5 m do solo, conforme Figura 2. Sua limitação consiste em não poder individualizar as precipitações de duração

menor que 24 horas (HELLER e PÁDUA, 2010).

Segundo Machado *et al.* (2012), o pluviômetro mede a precipitação em milímetros (mm), e a altura da chuva é dada pela razão entre o volume inicial e a superfície, sendo o aparelho um tronco cônico com área de captação e torneira em formato afunilado na parte inferior.

Figura 2: Pluviômetro.



Fonte: Vianello (2011).

3.2.2 Pluviógrafo

Segundo o Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, o pluviógrafo é um equipamento que registra a intensidade da chuva de forma automática, pela altura da precipitação pluvial e de acordo com a sua duração, sendo então, medida na escala milimétrica.

O pluviógrafo conta com uma área de captação de 200 cm² e acumula a água recebida em um recipiente solidário ao braço da balança, desse modo, de acordo com aumento do volume precipitado, o peso do equipamento também aumenta, fazendo com que o braço da balança se mova para baixo. Junto ao braço do outro lado da balança, existe uma pena que descreve o movimento contrário ao recipiente, permitindo registrar a variação de precipitação ao longo do gráfico sobreposto a um tambor, realizando uma rotação completa em torno do seu eixo a cada 24 horas, conforme ilustra a Figura 3 (HELLER e PÁDUA, 2010).

Figura 3: Pluviógrafo.



Fonte: Vianello (2011).

3.3 Parâmetros da equação de intensidade, duração e frequência (IDF)

De acordo com Tassi e Collischonn (2008), as chuvas intensas podem causar diversos problemas para uma sociedade, podendo destruir plantações, edifícios, pontes, inundar casas, ruas, estradas (interrompendo o tráfego), bem como problemas de saúde devido a disseminação de doenças de veiculação hídrica. Por esse motivo, deve-se ressaltar a grande

relevância em aprofundar o conhecimento na temática de chuvas intensas.

Segundo Aragão *et al.* (2013), a intensidade de uma precipitação representa a relação entre a altura precipitada e a duração. Desse modo, a intensidade máxima pontual é determinada mediante relações das variáveis de intensidade, duração e frequência dos eventos chuvosos, sendo essas primordiais para o estudo da precipitação.

Em consonância com Back e Bonetti (2014) e ABNT NBR 10.844 (1989), pode-se fixar o valor da duração de chuva como 5 (cinco) minutos para instalações prediais em geral, devido ser o “menor intervalo de tempo em que os pluviogramas convencionais podem ser lidos com precisão”. Com relação a frequência da chuva, pode-se entender como o tempo de retorno de uma altura de precipitação em milímetros, definido como a média em anos para que a mesma duração de precipitação ocorra, e que a intensidade seja igualada ou superada pelo menos uma vez. Ainda vale salientar que, quanto maior for o período de retorno, menor será a probabilidade que o evento seja superado, no entanto, maior será o valor da intensidade da chuva, resultando em uma maior vazão de projeto e, consequentemente, maiores custos com obras de drenagem pluvial.

Nesse sentido, uma vez possuindo a série de dados pluviométricos, pode-se conhecer a precipitação que atinge uma determinada área em uma determinada duração, com uma dada probabilidade de ocorrência em um ano qualquer, através de análises estatísticas de dados de precipitações pluviométricas coletados, portanto, a partir disso, podem-se relacionar essas três variáveis através de uma curva chamada de curva IDF (TASSI e COLLISCHONN, 2008).

Ainda mencionando os autores anteriores, pode-se dizer que a curva IDF é obtida a partir da análise estatística de séries longas de dados de um pluviógrafo, utilizando dados de uma série histórica de pelo menos 15 anos.

Diante da importância desta temática, alguns trabalhos sobre a geração de parâmetros para a equação de intensidade, duração e frequência foram realizados na região Nordeste ao decorrer dos anos, como por exemplo o trabalho de Campos *et al.* (2014), que promove a geração de parâmetros para o estado do Piauí, Fachine Sobrinho *et al.* (2011) para as estações de Juazeiro do Norte, Crato e Barbalha no Ceará, Aragão *et al.* (2013) para Sergipe, Silva *et al.* (2012) e Coutinho *et al.* (2010) para Pernambuco e Silva *et al.* (2002) para a Bahia.

3.4 Método dos quantis

Em consonância com Xavier *et al.* (2002), a técnica dos Quantis é um método simples e eficiente, envolvendo princípios de revitalização estatística, se tratando de buscar

interpretar de forma adequada o significado de um valor pluviométrico. O ponto positivo desse método comparando à aplicação da média e desvio padrão convencional é porque o procedimento convencional está dependente da hipótese da normalidade da distribuição da precipitação, hipótese que não é necessariamente satisfeita. Desse modo, os quantis são imunes a uma eventual assimetria na função de densidade de probabilidades que descreve o fenômeno aleatório, ou seja, esse método promove uma descrição em forma simétrica para amostra.

3.5 Vazão de projeto

De acordo com Back e Cadorin (2020), caracterizar a variabilidade das precipitações intensas ao longo de sua duração é de suma importância para a estimativa do escoamento superficial, principalmente em casos que não há dados de vazão medidos. Como exemplo de aplicação desses dados de chuva extremas, pode-se citar o planejamento de obras de engenharia, detecção e controle de inundações e a modelagem de previsões de vazão.

Nessa perspectiva, utiliza-se a relação de intensidade-duração-frequência das precipitações ou curvas IDF para obtenção de valores confiáveis de vazão de projeto, sendo essas geradas a partir do monitoramento das chuvas feito comumente mediante pluviógrafos (Silva Júnior *et al.*, 2020).

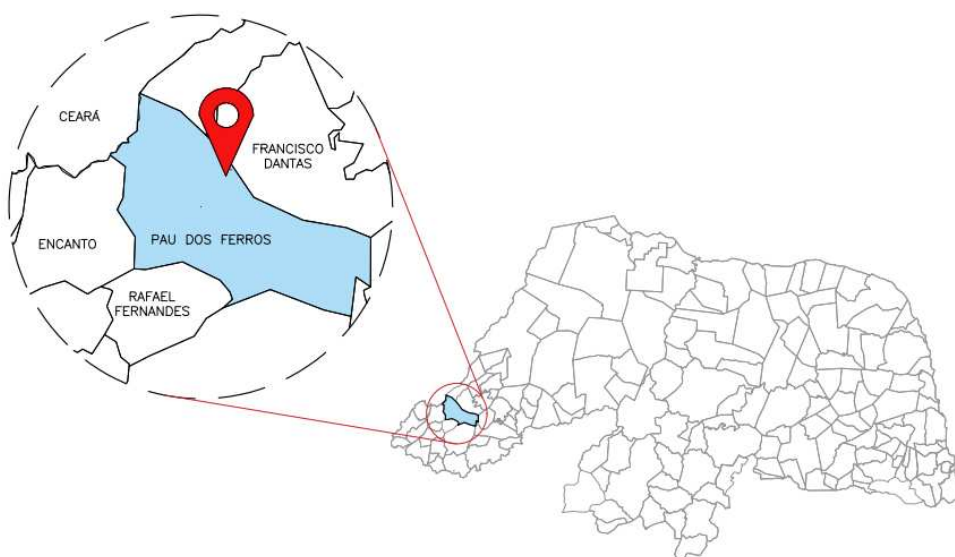
No entanto, se houver carência de dados, a estimativa das chuvas intensas pode ser feita por meio de um estudo já realizado na região com base nas curvas de intensidade-duração-frequência (IDF), e caso, as curvas não estejam atualizadas, é recomendado analisar a série histórica dos dados pluviométricos e determinar as suas equações IDF, sendo essas de grande relevância para o dimensionamento de obras de drenagem (BACK e CADORIN, 2020).

4 METODOLOGIA

4.1 Caracterização da área em estudo

A localidade em estudo é o município de Pau dos Ferros, interior do Rio Grande do Norte, conforme ilustra a Figura 4, que dista 392 km da capital do estado, Natal. Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2023), o município conta com uma área territorial em torno de 259,959 km², a estimativa populacional foi de 30.802 habitantes para o ano de 2021, com densidade demográfica de 106,73 hab/km².

Figura 4: Localização de Pau dos Ferros no Rio Grande do Norte.



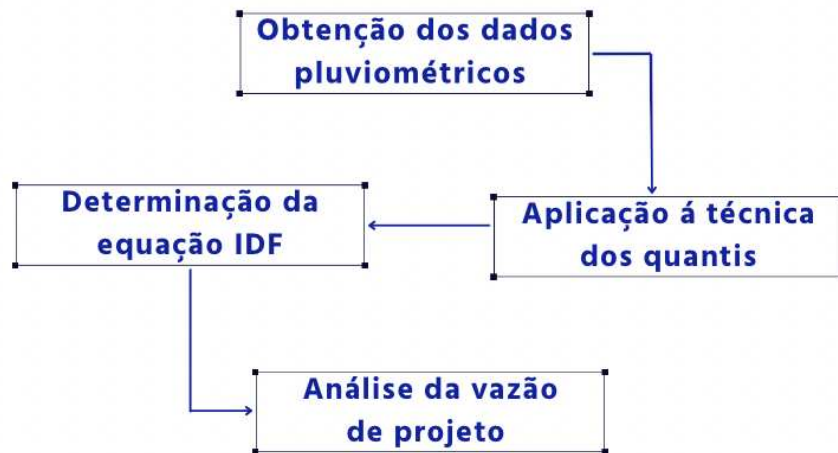
Fonte: Holanda Júnior (2018).

De acordo com Santos *et al.*, (2015) e o Ministério do Meio Ambiente – MMA (2005), o clima de Pau dos Ferros é predominantemente semiárido, ou seja, apresenta elevadas temperaturas, escassez e irregularidades de precipitações pluviométricas, normalmente apresentando período chuvoso de janeiro até abril. Nesse sentido, a temperatura média anual é 26,7 °C e precipitação média em torno de 827 mm por ano.

4.2 Procedimentos metodológicos

Visando um melhor entendimento dos procedimentos a serem realizados ao longo deste trabalho, foi elaborado um fluxograma de atividades sequenciais, o qual é apresentado na Figura 5.

Figura 5: Fluxograma de orientação metodológica.



Fonte: Autora (2023).

4.2.1 Obtenção dos dados pluviométricos

Os dados pluviométricos foram extraídos através da plataforma digital da Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte – EMPARN, selecionando o banco de dados referentes ao período de 1992 a 2021 como série normal climatológica a ser estudada, compreendendo então, 30 anos de dados de precipitação pluviométrica anual, conforme ilustra a Tabela 1.

Obtidos os dados das chuvas máximas anuais diárias, fez-se a desagregação em precipitações de diferentes durações (1h, 2h, 3h, 6h, 8h, 10h, 12h, 24h, 5min, 10min, 15min, 20min, 25 e 30min) de acordo com a metodologia proposta pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo - CETESB para diferentes períodos de retorno, sendo estes de 2, 5, 10, 50, 100 e 500 anos, conforme ilustra a Tabela 2 (CETESB, 1986).

De acordo com Bertoni e Tucci (2002), utiliza-se a desagregação de chuvas máximas em 1 dia para fracionar em durações menores, variando de 5 minutos e 1440 minutos (24 horas), uma vez que, possibilitam estimar precipitações que dispõem somente dados diários medidos com pluviômetros convencionais.

Tabela 1: Dados pluviométricos da série histórica de 1992 a 2021 de Pau dos Ferros/RN.

ANO	PRECIPITAÇÃO TOTAL ANUAL (mm)
1992	577,50
1993	212,60
1994	811,20
1995	762,10
1996	935,00
1997	692,80
1998	279,20
1999	666,80
2000	994,80
2001	521,20
2002	949,60
2003	770,50
2004	1225,10
2005	486,20
2006	849,70
2007	665,40
2008	1235,00
2009	1005,90
2010	531,20
2011	883,80
2012	271,00
2013	503,00
2014	262,10
2015	469,00
2016	420,00
2017	538,50
2018	721,90
2019	714,60
2020	1107,50
2021	943,00

Fonte: EMPARN (2023).

Tabela 2: Coeficientes de desagregação para diferentes durações de chuva.

Relação entre alturas pluviométricas	Coeficiente de desagregação
5 min para 30min	0,34
10min para 30min	0,54
15min para 30min	0,70
20min para 30min	0,81
25min para 30min	0,91
30min para 1h	0,74
1h para 24h	0,42
2h para 24h	0,48
3h para 24h	0,54
6h para 24h	0,72
8h para 24h	0,78
10h para 24h	0,82
12h para 24h	0,85
24h para 1dia	1,14

Fonte: CETESB (1986).

4.2.2 Aplicação da Técnica dos Quantis

Tendo os quantitativos pluviométricos da série histórica estudada, realiza-se a tabulação por meio de planilhas do software Microsoft Excel, para que a partir disso, obtenha-se a distribuição de frequência e aplicação da técnica dos quantis, de acordo com os valores totais anuais obtidos para cada ano da série histórica. Desse modo, os dados são ordenados em ordem crescente, de forma a poder aplicar tal método estatístico, conforme a Tabela 3.

Para utilização do método quantis, tendo os dados de precipitações anuais organizados em ordem crescente, pode-se realizar a caracterização dos regimes de precipitações de acordo com cinco classes referentes a probabilidades (0,15; 0,35; 0,50; 0,65 e 0,85), sendo classificadas em: muito seco, seco, normal, chuvoso e muito chuvoso, conforme ilustra a Tabela 4, seguindo a metodologia de Pinkayan (1966) e Xavier (2001, 2004, 2007).

Tabela 3: Dados da série histórica ordenados em ordem crescente para aplicação do método quantílico.

Ordem	ANO	P_Anual (mm)	Pi
1	1993	212,60	3,23
2	2014	262,10	6,45
3	2012	271,00	9,68
4	1998	279,20	12,90
5	2016	420,00	16,13
6	2015	469,00	19,35
7	2005	486,20	22,58
8	2013	503,00	25,81
9	2001	521,20	29,03
10	2010	531,20	32,26
11	2017	538,50	35,48
12	1992	577,50	38,71
13	2007	665,40	41,94
14	1999	666,80	45,16
15	1997	692,80	48,39
16	2019	714,60	51,61
17	2018	721,90	54,84
18	1995	762,10	58,06
19	2003	770,50	61,29
20	1994	811,20	64,52
21	2006	849,70	67,74
22	2011	883,80	70,97
23	1996	935,00	74,19
24	2021	943,00	77,42
25	2002	949,60	80,65
26	2000	994,80	83,87
27	2009	1005,90	87,10
28	2020	1107,50	90,32
29	2004	1225,10	93,55
30	2008	1235,00	96,77

Fonte: Autora (2023).**Tabela 4:** Classificação das categorias de precipitação anual.

Regimes de Chuva	Quantil
Muito Seco	$Xi \leq Q(0,15)$
Seco	$Q(0,15) < Xi \leq Q(0,35)$
Normal	$Q(0,35) < Xi < Q(0,65)$
Chuvoso	$Q(0,65) \leq Xi < Q(0,85)$
Muito Chuvoso	$Xi \geq Q(0,85)$

Fonte: Adaptado de Monteiro, Rocha e Zanella (2011).

Onde Q é o limite do quantil adotado para a realização dos cálculos deste trabalho (15%, 35%, 65%, 50% e 85%).

De acordo com Monteiro *et al.* (2012), as classes extremas, sendo as caracterizadas por muito seco e muito chuvoso, apresentam um intervalo menor, apenas de 15%, permitindo um tratamento matemático mais confiável, enquanto que a classe seco e chuvosa correspondem a um intervalo de 20% e a normal apresenta um intervalo maior, sendo de 30%. Com intuito de facilitar o entendimento da aplicação dessas probabilidades aos dados pluviométricos, pode-se observar a Figura 6, a qual ordena os valores de precipitações acumulados e suas classes de acordo com os parâmetros do quantil correspondente ao regime de chuva.

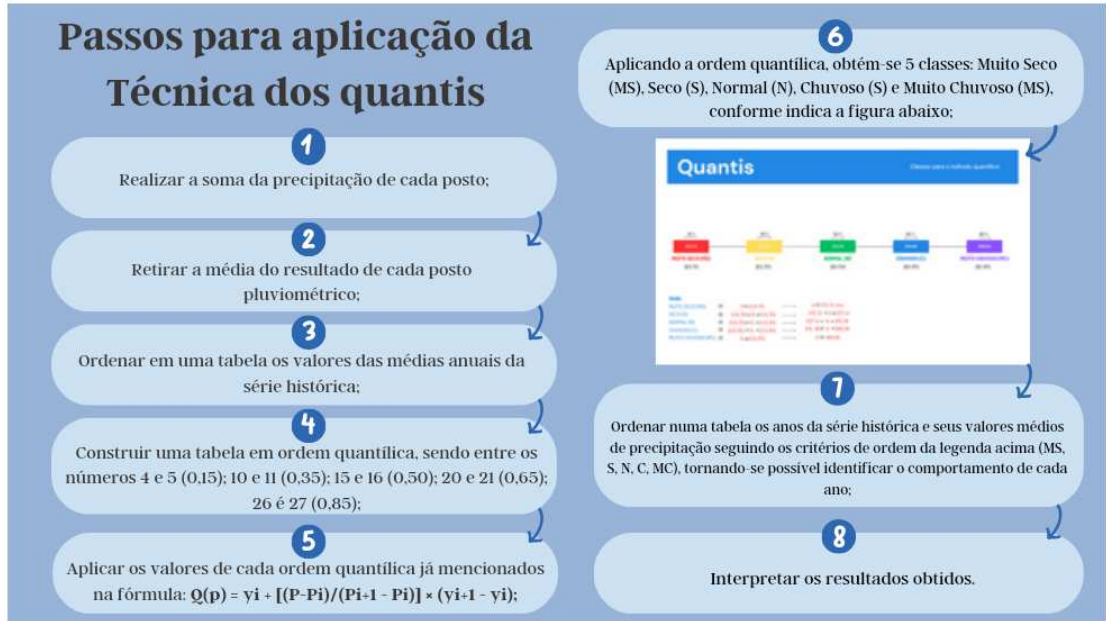
Figura 6: Classificação das precipitações anuais da série histórica em estudo.

ANO	PRECIPITAÇÃO ANUAL (mm)	
1993	212,60	ANOS MUITO SECOS (15%)
2014	262,10	
2012	271,00	
1998	279,20	
2016	420,00	
2015	469,00	ANOS SECOS (20%)
2005	486,20	
2013	503,00	
2001	521,20	
2010	531,20	
2017	538,50	ANOS NORMAIS (30%)
1992	577,50	
2007	665,40	
1999	666,80	
1997	692,80	
2019	714,60	ANOS CHUVOSOS (20%)
2018	721,90	
1995	762,10	
2003	770,50	
1994	811,20	
2006	849,70	ANOS MUITO CHUVOSOS (15%)
2011	883,80	
1996	935,00	
2021	943,00	
2002	949,60	
2000	994,80	
2009	1005,90	
2020	1107,50	
2004	1225,10	
2008	1235,00	

Fonte: Autora (2023).

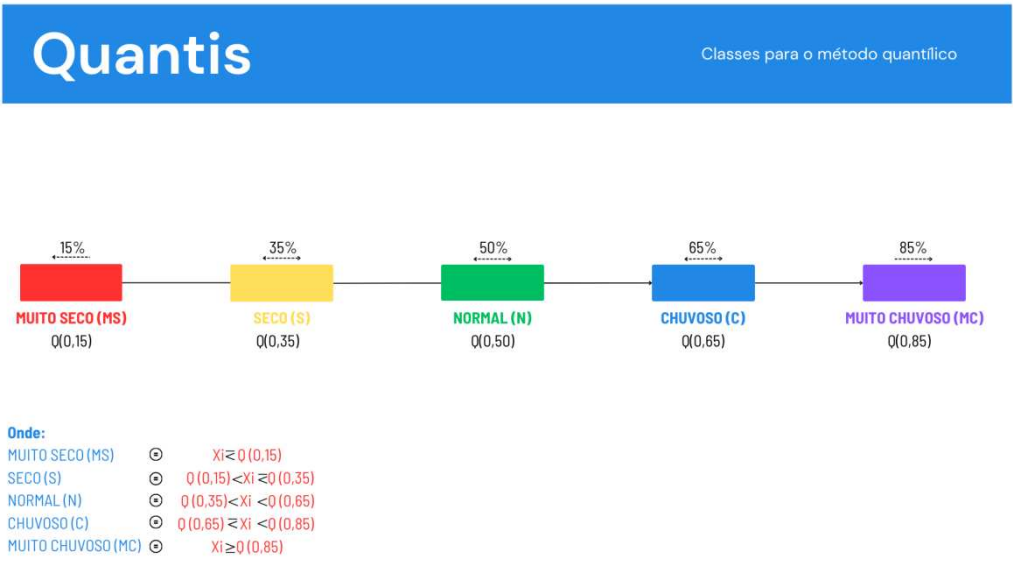
Para obtenção dessas classes, o procedimento metodológico segue conforme o fluxograma indicado na Figura 7 e os parâmetros de classificação são ilustrados na Figura 8.

Figura 7: Fluxograma das etapas para obtenção dos quantis e sua classificação.



Fonte: Autora (2023).

Figura 8: Parâmetros de classificação do método quantis.



Fonte: Autora (2023).

4.2.3 Aplicação da Equação IDF

A análise a ser trabalhada para a obtenção do parâmetro IDF, foi realizada a partir da distribuição de Gumbel, sendo esse o método de valores extremos mais utilizado na análise de frequência de chuvas intensas (BERNARD, 1930).

A Equação 1 descreve a função cumulativa de probabilidade que pode ocorrer no futuro, um evento que seja igual ou maior a X (precipitação extrema), indicada para obtenção

de melhores resultados quando for o caso de séries de valores extremos anuais de eventos hidrológicos, sendo esse o método de distribuição de Gumbel.

$$P(x) = 1 - e^{-e^{-y}} \quad (1)$$

Em que $P(x)$ representa a função cumulativa de probabilidade, e é a base do logaritmo neperiano e y a variável reduzida.

A precipitação extrema (X) pode ser obtida através da Equação 2.

$$X = x + \frac{Sx}{Sn} (Y - Yn) \quad (2)$$

Onde x é a média da série de dados, Sx é o desvio padrão da série histórica, Sn é o desvio padrão da variável reduzida, Yn é a média da variável reduzida e Y a variável reduzida, que é dada pela Equação 3.

$$Y = -\ln \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right] \quad (3)$$

Através dessas equações pode-se obter as intensidades máximas com base nos períodos de retorno de 1, 5 e 25 anos.

Desse modo, a Equação 4 representa a intensidade, duração e a frequência da precipitação (IDF) ou equação de chuvas intensas.

$$I_m = \frac{KT^m}{(t+b)^n} \quad (4)$$

Em que: I_m = intensidade máxima média de precipitação, mm h^{-1} ; T = período de retorno, anos; t = duração da precipitação, min; K , m , b , e n são parâmetros de ajuste relativos a cada localidade estudada.

De forma a determinar os parâmetros da equação IDF, pode-se reescrever a Equação 4 em função de C , como descreve as Equações 5 e 6 e, posteriormente, a Equação 5 será transformada na equação da reta Segundo as propriedades logarítmicas, sendo essa a Equação 7.

$$I_m = \frac{C}{(t+b)^n} \quad (5)$$

$$C = K \cdot T^m \quad (6)$$

$$\log_{i_m} = \log_C - n \cdot \log_{(t+b)} \quad (7)$$

Em consonância com Villela e Mattos (1975), b será determinado através de tentativas mediante análises de regressão aplicada aos valores dos logaritmos da intensidade de chuva ($\log_{i_m}$) para um certo período de retorno (T) e relacionado aos logaritmos de durações ($\log_t$).

Posteriormente, utilizando regressão linear, serão construídos gráficos de dispersão linear simples, em que as ordenadas terão o valor de ($\log_{i_m}$) e as abscissas ($\log_{(t+b)}$), possibilitando estimar o valor do coeficiente angular (n) e o coeficiente linear ($\log_C$) para cada período de retorno (T). Já os parâmetros K e m também serão estimados pelo método dos mínimos quadrados, conforme a Equação 8.

$$\log_C = \log_k + m \cdot \log_T \quad (8)$$

Em que: $\log k$ e m são os coeficientes linear e angular da reta, respectivamente.

A fim de melhor avaliar o ajuste dos parâmetros da equação IDF, pode-se calcular o EPE, que é o erro padrão de estimativa, compreendido pela Equação 9.

$$EPE = \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^n \left(\frac{I_c - I_o}{I_o} \right)^2}{n}} \quad (9)$$

Em que:

I_c é a intensidade (mm/h) calculada através da equação IDF;

I_o é a intensidade (mm/h) extraída do melhor ajuste de distribuição;

N é o número de durações.

De posse dos valores obtidos nas equações IDF, pode-se elaborar curvas de intensidade, duração e frequência, sendo possível verificar a intensidade da precipitação máxima que foi estimada pela distribuição de Gumbel para diferentes períodos de retorno, bem como pelo equacionamento IDF.

4.2.4 Análise da Vazão de Projeto

A curva IDF está relacionada à vazão de projeto de uma rede de microdrenagem urbana, desse modo, podem-se ajustar vazões às curvas IDF de acordo com o período de retorno do evento chuvoso através de parâmetros atrelados à equação IDF.

De acordo com Back e Bonetti (2014) e com a ABNT NBR 10844 (1989), é fixada a duração da precipitação em 5 (cinco) minutos para qualquer tipo de instalação predial, justamente devido ser o menor intervalo em que os pluviogramas convencionais podem ser lidos com precisão adequada, porém, como a intensidade das precipitações máximas são inversalmente proporcionais a duração, essa duração de 5 (cinco) minutos pode implicar na adoção de intensidade menor que a real.

Com relação a frequência de chuva, pode ser representada pelo período de retorno de uma precipitação, sendo a quantidade média de anos em que se tenha a intensidade pluviométrica igualada ou ultrapassada pelo menos uma vez (BACK e BONETTI, 2014); (ABNT NBR 10844, 1989).

Segundo a ABNT NBR 10844 (1989), “o período de retorno deve ser fixado segundo as características da área a ser drenada, obedecendo o estabelecido a seguir:

$T = 1$ ano (para áreas pavimentadas, em que empoçamentos podem ser tolerados);

$T = 5$ anos (para coberturas e/ou terraços);

$T = 25$ anos (coberturas e áreas onde não podem ser empoçadas ou extravasadas)”.

Para determinar a vazão de projeto foi adotado o método racional, sendo utilizado para áreas de até 2,0 km² e para estimar a vazão em bacias de drenagem fictícias para fins investigativos, mas que possuem características de áreas urbanas com microdrenagem ou até mesmo áreas rurais que tenham obras de drenagem (condutos, bueiros, etc.) (TASSI *et al.*, 2019). Desse modo, pode-se utilizar a Equação 10 para estimar a vazão de projeto.

$$Q = 0,278.C.I.A \quad (10)$$

Em que: Q = vazão de pico gerada em m³.s⁻¹; C = coeficiente de escoamento superficial; I = intensidade da chuva em mm.h⁻¹; e A = área da bacia de drenagem em quilômetros quadrados.

Diante disso, pode-se calcular a vazão de projeto para a localidade em estudo através do método racional, tendo em vista que a área a ser escolhida de forma aleatória e hipotética para ser considerada nos cálculos foi de 1.516,29 m² ou 0,00151629 km², sendo referente à área de cobertura da Biblioteca da Ufersa Campus Pau dos Ferros. Esse dado foi fornecido por Oliveira (2016), uma vez que, em seu trabalho constam todos os quantitativos de área da universidade. Então, em posse da equação IDF para o município, bem como do coeficiente de escoamento superficial, foi possível calcular a vazão de projeto para o local proposto, a fim de apresentar uma aplicação de vazão de projeto pelo método citado.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Mediante aplicação do método estatístico dos quantís, para delimitar intervalos de precipitações e estabelecer critérios de classificações dos eventos chuvosos no município de Pau dos Ferros/RN, foi possível estabelecer os quantitativos que caracterizassem as precipitações médias dos anos da série histórica de 1992 a 2021. Em que, para obtenção dos valores como critério de classificação, pode-se verificar a memória de cálculo para determinação dos quantís que é apresentada na Figura 9. Nesta determinação foram ordenados de forma crescente os valores das precipitações médias anuais da série histórica de 30 anos, para posteriormente, aplicar na técnica quantílica, identificando os quantís $Q(0,15)$, $Q(0,35)$, $Q(0,50)$, $Q(0,65)$ e $Q(0,85)$.

Figura 9: Valores ordenados para aplicação do método quantis em Pau dos Ferros.

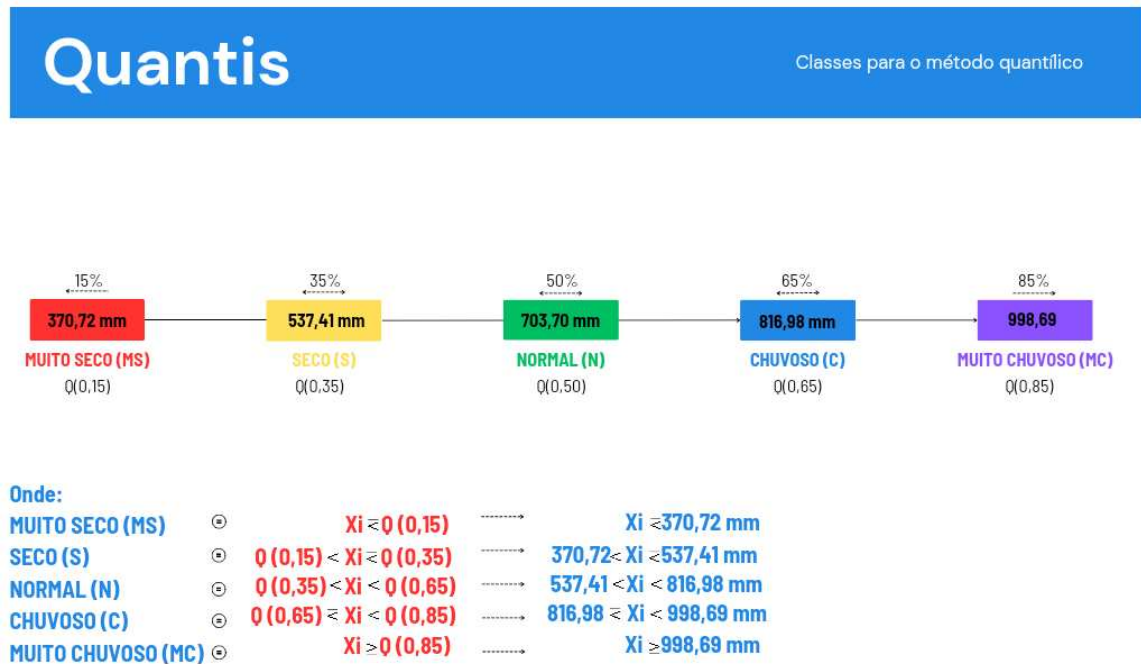
MEMORIAL DE CÁLCULO DAS CLASSES QUANTIS										
i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
y (mm)	212,60	262,10	271,00	279,20	420,00	469,00	486,20	503,00	521,20	531,20
Pi = i/(N+1)	1/31	2/31	3/31	4/31	5/31	6/31	7/31	8/31	9/31	10/31
	0,032	0,065	0,097	0,129	0,161	0,194	0,226	0,258	0,290	0,323
i	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
y (mm)	538,50	577,50	665,40	666,80	692,80	714,60	721,90	762,10	770,50	811,20
Pi = i/(N+1)	11/31	12/31	13/31	14/31	15/31	16/31	17/31	18/31	19/31	20/31
	0,355	0,387	0,419	0,452	0,484	0,516	0,548	0,581	0,613	0,645
i	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
y (mm)	849,70	883,80	935,00	943,00	949,60	994,80	1005,90	1107,50	1225,10	1235,00
Pi = i/(N+1)	21/31	22/31	23/31	24/31	25/31	26/31	27/31	28/31	29/31	30/31
	0,677	0,710	0,742	0,774	0,806	0,839	0,871	0,903	0,935	0,968

Fonte: Autora (2023).

Após a aplicação do método, pôde-se obter a classificação dos quantís, conforme a Figura 10, sendo representada em 5 (cinco) classes, em que 15% e 85% representam as classes extremas (muito seco e muito chuvoso) e o valor médio anual de precipitação foi de 703,70 mm, uma vez que, valores menores que 370,72 mm são considerados anos muito secos e maiores que 998,69 mm são referentes a anos muito chuvosos.

Comparando o valor médio de precipitação citado pelo MMA (2005), em que a precipitação média foi citada como 827 mm por ano, o valor encontrado através da série de dados analisados foi de 703,70 mm, sendo considerado inferior, porém, ressalta-se que essa média pode ter levado em consideração outra série histórica, comprovando o contraste observado.

Figura 10: Classificação dos intervalos de precipitação média dos quantis.



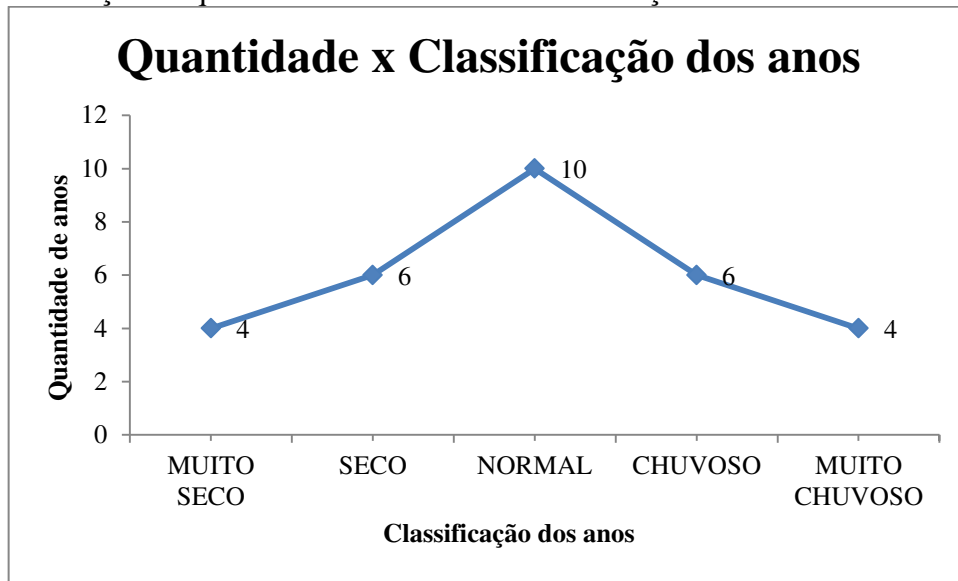
Fonte: Autora (2023).

Em sequência, foi obtido o Gráfico 1, em que representa a relação entre a quantidade de anos da série histórica com suas classificações atribuídas pelo método quantílico, sendo caracterizado por uma curva simétrica, indicando o êxito na utilização da técnica, bem como a coerência do cálculo estatístico na avaliação dos valores extremos e normais.

Desse modo, foi possível observar que a classificação mais prevalente na série de dados é a “normal”, ou seja, em 10 anos foi observada a classificação “normal” com precipitações variando de 537,41 mm a 816,98 mm de chuva para o município de Pau dos Ferros. Outrossim, 6 anos foram considerados como “seco”, com intervalo entre 370,72 mm a 537,41 mm, 6 anos “chuvoso”, com intensidade oscilando entre 816,98 mm a 998,69 mm, 4 anos “muito seco”, com valores de precipitação maiores ou iguais a 370,72 mm, e 4 para a “muito chuvoso”, para intensidades maiores ou iguais a 998,69 mm.

Nesse ínterim, pode-se classificar o clima do município em estudo como sendo quente e semiárido, com período chuvoso entre fevereiro e junho, temperatura média de 28,1°, com máxima de 36° e mínima de 21° (IDEMA, 2008). De acordo com Nóbrega, Santiago e Soares (2016), as regiões semiáridas são vulneráveis às mudanças climáticas justamente devido ao aumento de temperatura e mudança nas precipitações, pois podem se tornar regiões áridas, provocando impactos climáticos, econômicos e sociais.

Gráfico 1: Relação da quantidade de anos e suas classificações com base no método quantis.



Fonte: Autora (2023).

A fim de melhor justificar os valores apresentados no Gráfico 1, pode-se verificar a Tabela 5, em que apresenta todos os valores das precipitações medidas em milímetros para todos os anos da série histórica em estudo, indicando suas respectivas classificações com base nos intervalos estabelecidos pelo método quantis.

Ainda analisando o Gráfico 1 e a Tabela 5, percebe-se que o ano de maior volume de chuva foi 2008, com 1235,00 mm.

Tabela 5: Classificação das precipitações dos anos da série histórica de 1992 a 2021.

ANO	PRECIPITAÇÃO TOTAL ANUAL (mm)	CLASSIFICAÇÃO
1992	577,50	NORMAL
1993	212,60	MUITO SECO
1994	811,20	NORMAL
1995	762,10	NORMAL
1996	935,00	CHUVOSO
1997	692,80	NORMAL
1998	279,20	MUITO SECO
1999	666,80	NORMAL
2000	994,80	CHUVOSO
2001	521,20	SECO
2002	949,60	CHUVOSO
2003	770,50	NORMAL
2004	1225,10	MUITO CHUVOSO
2005	486,20	SECO
2006	849,70	CHUVOSO
2007	665,40	NORMAL
2008	1235,00	MUITO CHUVOSO
2009	1005,90	MUITO CHUVOSO
2010	531,20	SECO
2011	883,80	CHUVOSO
2012	271,00	MUITO SECO
2013	503,00	SECO
2014	262,10	MUITO SECO
2015	469,00	SECO
2016	420,00	SECO
2017	538,50	NORMAL
2018	721,90	NORMAL
2019	714,60	NORMAL
2020	1107,50	MUITO CHUVOSO
2021	943,00	CHUVOSO

Fonte: Autora (2023).

As Figuras 11 e 12 mostra um registro de uma das ruas da cidade de Pau dos Ferros alagada no devido ano, sendo classificado como “muito chuvoso” e o de menor precipitação foi em 1993, com 212,60 mm e classificado como “muito seco”, sendo esses os dois extremos da série de dados analisada.

Figura 11: Rua Dom Pedro II na cidade de Pau dos Ferros alagada em 2008.



Fonte: Vilaça e Costa (2022) Apud Blog do João Moacir (2008).

Figura 12: Rua Dom Pedro II na cidade de Pau dos Ferros alagada em 2008.



Fonte: Vilaça e Costa (2022) Apud Blog do João Moacir (2008).

Em consonância com Monteiro, Rocha e Zanella (2011), para auxiliar no conhecimento dos diferentes padrões pluviométricos predominantes, os sistemas atmosféricos e oceânicos podem influenciar nos estudos hidrológicos, no planejamento dos recursos hídricos, além do planejamento regional, urbano e agrícola, de forma temporal e espacial.

Nesse sentido, o sistema oceânico, chamado El Niño Oscilação Sul (ENOS) é composto por dois fenômenos: o El Niño e o La Niña, sendo formados mediante a intensidade da força dos ventos alísios, ou seja, aqueles que sopram do leste para oeste. Dessa forma, o El Niño ocorre quando há o aquecimento das águas do Oceano Pacífico, enquanto que no fenômeno La Niña há o resfriamento.

Desse modo, pode-se justificar a elevada lâmina de precipitação em 2008 devido à ocorrência do fenômeno La Niña, uma vez que, ocorrendo esse fenômeno, há indícios de períodos chuvosos, e o baixo quantitativo pluviométrico em 1993 foi provocado pelo fenômeno do El Niño, que se remete a períodos de seca, conforme relata os autores Monteiro, Rocha e Zanella (2011).

Nesse ínterim, realizando a implementação matemática do método de Gumbel na

ferramenta Microsoft Excel, obteve-se os seguintes valores para precipitações estimadas em mm/h para os períodos de retornos e durações apresentados na Figura 13.

Figura 13: Valores de intensidade pluviométrica máxima (mm/h) para diferentes períodos de retorno, conforme a distribuição de probabilidade de Gumbel.

Duração (min)	Período de retorno (anos)								
	2	5	10	15	20	25	50	100	500
5	95,35	128,58	150,59	163,00	171,69	178,39	199,01	219,49	266,80
10	75,72	102,11	119,58	129,44	136,34	141,66	158,04	174,30	211,87
15	65,43	88,24	103,34	111,86	117,83	122,42	136,58	150,63	183,10
20	56,79	76,58	89,69	97,08	102,26	106,25	118,53	130,72	158,90
25	51,04	68,83	80,61	87,25	91,91	95,49	106,53	117,49	142,81
30	46,74	63,03	73,82	79,90	84,16	87,45	97,56	107,59	130,78
60	31,58	42,59	49,88	53,99	56,87	59,08	65,92	72,70	88,37
120	18,05	24,34	28,50	30,85	32,50	33,76	37,67	41,54	50,50
180	13,53	18,25	21,38	23,14	24,37	25,32	28,25	31,16	37,87
360	9,02	12,17	14,25	15,43	16,25	16,88	18,83	20,77	25,25
480	7,33	9,89	11,58	12,53	13,20	13,72	15,30	16,88	20,51
600	6,17	8,31	9,74	10,54	11,10	11,54	12,87	14,19	17,25
720	5,33	7,18	8,41	9,11	9,59	9,96	11,12	12,26	14,90
1440	3,13	4,23	4,95	5,36	5,64	5,86	6,54	7,21	8,77

Fonte: Autora (2023).

Aplicando o equacionamento IDF matemático na ferramenta Microsoft Excel, foi possível a obtenção da Figura 14, em que apresenta valores máximos de precipitação em mm/h para diferentes períodos de retorno.

Figura 14: Valores de intensidade pluviométrica máxima (mm/h) para diferentes períodos de retorno, conforme a equação de intensidade, duração e frequência de chuva (IDF).

Duração (min)	Período de retorno (anos)								
	2	5	10	15	20	25	50	100	500
5	108,59	127,98	144,93	155,86	164,12	170,82	193,44	219,05	292,36
10	87,49	103,12	116,77	125,58	132,23	137,63	155,85	176,49	235,56
15	74,03	87,25	98,80	106,26	111,88	116,45	131,87	149,33	199,31
20	64,60	76,14	86,22	92,72	97,63	101,62	115,07	130,31	173,92
25	57,58	67,86	76,85	82,64	87,02	90,58	102,57	116,15	155,02
30	52,12	61,43	69,56	74,81	78,77	81,99	92,85	105,14	140,33
60	34,36	40,50	45,86	49,32	51,93	54,05	61,21	69,32	92,52
120	21,69	25,57	28,95	31,14	32,79	34,12	38,64	43,76	58,41
180	16,37	19,29	21,84	23,49	24,74	25,75	29,16	33,02	44,07
360	9,98	11,76	13,32	14,33	15,09	15,70	17,78	20,14	26,88
480	8,10	9,55	10,82	11,63	12,25	12,75	14,44	16,35	21,82
600	6,89	8,12	9,20	9,89	10,41	10,84	12,27	13,90	18,55
720	6,03	7,11	8,05	8,66	9,11	9,49	10,74	12,16	16,24
1440	3.63	4.27	4.84	5.20	5.48	5.70	6.46	7.31	9.76

Fonte: Autora (2023).

Os parâmetros necessários e ajustados para a obtenção do equacionamento IDF para o município de Pau dos Ferros são indicados na Figura 15, em que o coeficiente de determinação (R^2) foi bem próximo de 1, mostrando um ótimo ajuste, ou seja, quase 100% de precisão da equação IDF. Vale mencionar também que o valor do erro padrão de estimativa foi relativamente baixo, o que indica boa qualidade obtida no ajuste equacional.

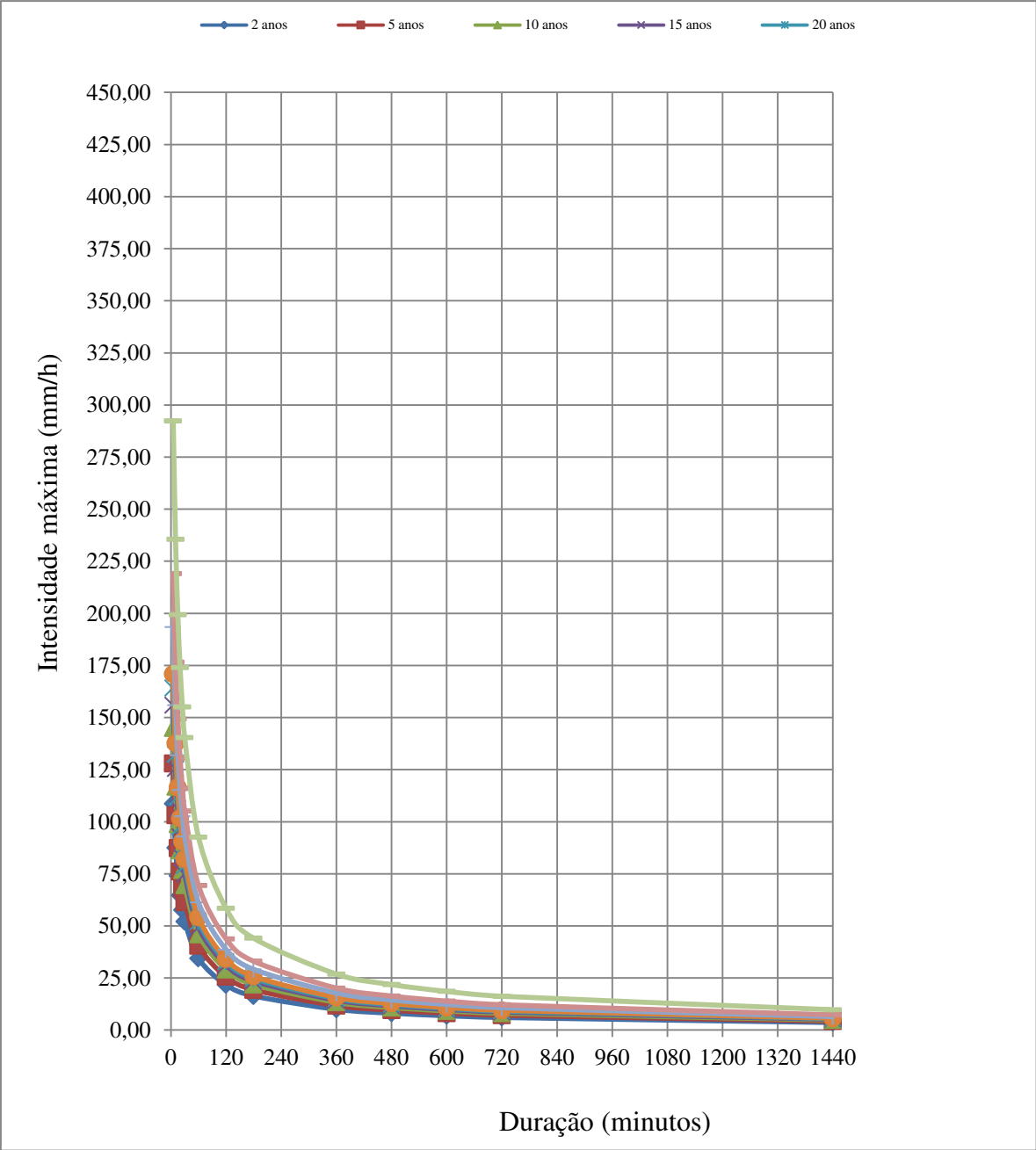
Figura 15: Parâmetros da equação IDF.

Resumo dos parâmetros					
K	a	b	c_médio	R²	EPE
706,009	0,179	9,778	0,741	0,992	0,111

Fonte: Autora (2023).

No Gráfico 2, tem-se a relação da intensidade de chuva, medida em milímetros por hora, pela duração da precipitação em minutos, indicando que, conforme o tempo de duração aumenta, sua intensidade pluviométrica diminui, podendo ser inversamente proporcionais.

Gráfico 2: Relação Intensidade-Duração-Frequência de chuva.



Fonte: Autora (2023).

Com intuito de aplicar a intensidade de chuva obtida neste trabalho na relação de vazão de projeto, pode-se determinar a vazão de projeto para um espaço qualquer da cidade de Pau dos Ferros. Nesse caso, foi escolhida a Biblioteca da Universidade Federal Rural do Semi-Árido de forma aleatória, somente para fins de aplicação e análise.

Nesse sentido, utilizando o método racional e aplicando os valores de área, intensidade da chuva e o coeficiente de escoamento superficial de forma automatizada na ferramenta Microsoft Excel, foi obtida a vazão de projeto, em que foi estimada para períodos de retorno de 1, 5 e 25 anos, com a duração de 5 minutos conforme recomendado pela ABNT NBR 10.844/1984, norma de instalações pluviais para sistemas de microdrenagem conforme ilustra a Figura 16. Isso possibilita confirmar o que foi dito por Back e Bonetti (2014), que quanto maior for o período de retorno, maior será a intensidade de chuva e consequentemente, maior será a vazão de projeto.

Figura 16: Parâmetros utilizados e resultados estimados das vazões de projeto pelo método racional para a Biblioteca da UFERSA de Pau dos Ferros.

Equação IDF (mm/h)	t (min)	T (anos)	I (mm/h)	Q (m³/h)	Q (l/s)	Q (l/min)
$I=706,0091^{0,179}/(t+9,778)^{0,741}$	5	1	95,968	40453,127	40,453	2427,188
A (m²)	5	5	128,009	53959,477	53,959	3237,569
1516,29	5	25	170,748	71975,279	71,975	4318,517
C						
1						

Fonte: Autora (2023).

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As análises estatísticas permitem estimar as probabilidades teóricas de ocorrência das precipitações, bem como verificar com que frequência ocorrem e as suas magnitudes.

Nesse sentido, este trabalho apresenta a classificação dos eventos chuvosos nos anos da série histórica de 1992 a 2021, apresentando a mesma quantidade de anos muito secos e muito chuvosos. Isso indica que o problema de escassez hídrica na região não é somente devido à irregularidade de chuva, mas também, devido à ineficiência de planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos, que devem estar alinhados ao clima semiárido.

Com relação à análise do equacionamento IDF, obteve-se de forma satisfatória, justamente devido ao valor do R^2 (coeficiente de determinação) ter eficiência de 99,20% de ajuste dos parâmetros envolvidos no estudo da intensidade, duração e frequência dos eventos chuvosos. Vale mencionar que o conhecimento da equação IDF da localidade é bastante importante para projetos de drenagem urbana, obras hidráulicas e agrícolas, sendo responsável por evitar dimensionamentos ineficientes.

Além disso, verificou-se que a relação do equacionamento IDF com a vazão de projeto estão diretamente ligados devido às análises do quantitativo de precipitações ocorridas num determinado local. Dessa forma, havendo precipitação, existe vazão de projeto e consequentemente, deve ser previstos sistemas de microdrenagem urbana com o intuito de conduzir as águas da chuva de forma a evitar danos à sociedade de forma geral.

Diante disso, é notória a grande importância dos estudos sobre a climatologia regional, pois uma das dificuldades em projetos de microdrenagem urbana é a obtenção de dados de precipitação intensa máxima provável das localidades, principalmente em regiões que não dispõe de dados pluviométricos disponíveis.

Desse modo, esse estudo possibilita a contribuição de forma direta para o planejamento urbano, socioeconômico e regional em termos de informações estatísticas sobre o comportamento hidrológico da localidade, evitando impactos indesejáveis como inundações, secas severas e inesperadas.

REFERÊNCIAS

- ANTUNES, S. C. R. **Estudo da relação intensidade-duração-frequência das precipitações pelo método Kimbal para o município de Manaus** – AM. 71 f. Trabalho de Conclusão de Curso – TCC. (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária). Universidade Federal de Juiz de Fora – UFJF. Juiz de Fora/MG, 2019.
- ARAGÃO, R. de. *et al.* **Chuvas intensas para o estado de Sergipe com base em dados desagregados de chuva diária.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.17, n.3, p.243–252, 2013.
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 10844: **Instalações prediais de águas pluviais.** Rio de Janeiro: ABNT, 1989.
- BACK, A. J.; BONETTI, A. V. **Chuva de projeto para instalações prediais de águas pluviais de Santa Catarina.** RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos, vol. 19, n 4, p. 260-267, 2014.
- BERNARD, M. M. **Formulas for rainfall intensities of long duration.** American Society of Civil Engineers, 40p. 1930.
- BERTONI, J. C.; TUCCI, C. E. **Precipitação.** In: TUCCI, C. E. M. Hidrologia Ciência e Aplicação. Porto Alegre: Editora da UFRGS, cap. 5, p. 177-231, 2002.
- CAMPOS, Alcinei Ribeiro *et al.* **Equações de intensidade-duração-frequência de chuvas para o estado do Piauí.** Centro de Ciência Agrárias – Universidade Federal do Ceará. Revista Ciência Agronômica, v. 45, n. 3, p. 488-498, jul-set, 2014. Fortaleza, Ceará.
- CEMADEN MCTI – Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais - Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações. 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/cemaden/pt-br/assuntos/noticias-cemaden/cemaden-inaugura-radar-meteorologico-em-natal-rn>. Acesso em 04 fev. 2023.
- CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Drenagem urbana:** manual de projeto. 1.ed. São Paulo: DAEE/CETESB, 1986. 466p.
- CPTEC - CENTRO DE PREVISÃO DE TEMPO E ESTUDOS CLIMÁTICOS. **Glossários:** Princípios de Meteorologia e Meio Ambiente. 2010. Disponível em: Acesso em: 05 fev. 2023.
- COUTINHO, A. P. et al. Determinação de equações de chuvas intensas para municípios das mesorregiões do Estado de Pernambuco com dados pluviométricos. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 2010, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza, 2010. p. 1-14.
- DESENVOLVIMENTO de ferramentas computacionais didáticas para engenharias. **Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA**, Pau dos Ferros (RN), Relatório Final. p. 34 , jun. 2017.
- EMPARN - Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte. Disponível em: <http://www.emparn.rn.gov.br/>. Acesso em: 04 de fev. 2023.

FECHINE SOBRINHO, V. **Aplicação do método das isozonas na obtenção das Equações IDF de chuvas intensas dos municípios de Juazeiro do Norte, Barbalha e Crato, CE.** 2011. 72 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Ceará, Juazeiro do Norte, 2011.

GUEDES, Roni. Método dos quantis. **APAC – Agência Pernambucana de Águas e Clima**, 2011. Disponível em: <https://www.apac.pe.gov.br/sobre-meteorologia/113-sobre-meteorologia/503-metodo-dos-quantis#:~:text=O%20QUE%20%C3%89%20O%20QUANTIS,ou%20da%20m%C3%A9dia%20por%20exemplo>. Acesso em: 14 mar. 2023.

HELLER, Léo; PÁDUA, Valter Lúcio. **Abastecimento de água para consumo humano**. 2. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2010. v.1.

HOLANDA JÚNIOR, C. G. de. **Incorporação de RCD em concreto**: estudo físico-químico e aplicabilidade na construção civil. Pojeto de TCC. Universidade Federal Rural do Semi-Árido. Pau dos Ferros, 2018.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. – IBGE: **Cidades**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/rn/pau-dos-ferros.html>. Acesso em: 04 de fev. 2023.

LEAL, F.C.T. **Notas de Aula**: Drenagem Urbana. Universidade Federal de Juiz de Fora. Juiz de Fora, MG. 2016.

MOACIR, João. Voltei. 2008. Disponível em: http://joaomoacir.zip.net/arch2008-03-30_2008-04-05.html. Acesso em: 05 mai. 2023.

MMA - Ministério do Meio Ambiente. **Panorama da desertificação no estado do Rio Grande do Norte**. MMA: Secretaria de Recursos Hídricos, Natal, 2005. 78 p.

MONTEIRO, J.B.; ROCHA, A. B.; ZANELLA, M. E. 2012. **Técnica dos Quantis para caracterização de anos secos e chuvosos (1980 – 2009)**: Baixo Curso do Apodi – Mossoró/RN. Revista do Departamento de Geografia – USP, Volume 23. p. 232-249.

PINKAYAN, S. **Conditional probabilities of occurrence of Wet and Dry Years Over a Large Continental Area**. Colorado: State University, Boulder-Co, 1966.p. (Hydrology Papers, 12).

NÓBREGA, R. S.; SANTIAGO, G. A. C. F.; SOARES, D. B. **Tendências do Controle Climático Oceânico Sob a Variabilidade Temporal da Precipitação no Nordeste Brasileiro**. Revista Brasileira de Climatologia. v. 18, jan. 2016. ISSN: 1980-055x (Impressa) 2237-8642 (Eletrônica).

OLIVEIRA, M. C. **Potencial de Captação e Aproveitamento de Água de Chuva, Um Estudo de Caso na Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Campus Pau dos Ferros**. 2016. 51 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Pau dos Ferros, 2016.

SANTOS, C. A. C. dos; BRITO, J. I. B. de; RAO, T. V. R.; MENEZES, H. E. A. (2009) **Tendências dos índices de precipitação no Estado do Ceará**. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 24, n. 1, p. 39-47.

SANTOS, L. A. R. *et al.* **Caracterização de extremos climáticos utilizando o software RClindex. Estudo de Caso: Sudeste de Goiás**. In: XIV Congresso Brasileiro de Meteorologia, Florianópolis (SC). 2006.

SANTOS, *et al.* **Precipitação pluviométrica no Município De Pau Dos Ferros De 1964 a 2015**. 2015. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/23218> Acesso em: 04 de fev. 2023.

SILVA, B. M. *et al.* Chuvas intensas em localidades do Estado de Pernambuco. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 17, n. 3, p. 135-147, 2012.

SILVA, D. D. *et al.* Chuvas intensas no Estado da Bahia. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 6, n. 2, p. 362-367, 2002.

Silva Júnior *et al.* **Curvas Intensidade-Duração-Frequência Para Chuva de Projeto no Sertão Alagoano**. In: XV Simpósio de Recursos Hídricos no Nordeste. 2020.

SILVA, J. F. *et al.* **Spatial heterogeneity, land use and conservation in the cerrado region of Brazil**. *Journal of Biogeography*, v. 33, n. 3, p. 536-548, 2006. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2005.01422.x>.

SILVA, V. L.; VIOLA, M. R.; MELOO, C. R.; ALVES, M. V. F.; SILVA, D. D.; PEREIRA, S. B. Mapeamento de Chuvas Intensas para o Estado do Tocantins. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 35, p. 1-11, 2020.

SOUZA, W.M.; AZEVEDO, P.V.; de ARAÚJO, L.E. Classificação da precipitação diária e impactos decorrentes dos desastres associados às chuvas na cidade do Recife-PE. **Revista Brasileira de Geografia Física**. 5(2), 250-268. 2012.

TASSI, R.; COLLINSHONN, W. **Introduzindo Hidrologia**. IPH – UFRGS. 2008.

TASSI, R. *et al.* **Vazão de projeto na microdrenagem em locais sem dados de precipitação: estudo para o Rio Grande do Sul**. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 19, n. 3, p. 233-247, jul./set. 2019.

TORRES, F. T., MACHADO, P. J. O. **Introdução à Climatologia**. Disponível em: Minha Biblioteca, Cengage Learning Brasil, 2012.

VIANELLO, R. L. **A estação meteorológica e seu observador: uma parceria secular de bons serviços prestados à humanidade**. Instituto Nacional de Meteorologia – INMET. 2011.

VILAÇA, I. L. V.; COSTA, F. R. **Caracterização das Áreas de Alagamento na Cidade de Pau dos Ferros – RN**. *Sociedade e Território*, v. 34, n. 2, p. 83-101, ago. 2022. ISSN:2177-8396.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia Aplicada**. São Paulo: McGraw Hill do Brasil, 1975. 245 p.

XAVIER, T. de M. B. S. **Tempo de chuva**: estudos climáticos e de previsão para o Ceará e Nordeste setentrional. Fortaleza: ABC Editora, 2001.

XAVIER, T. M. B. S.; SILVA, J.F.; REBELLO, E.R.G. **A Técnica dos Quantis**. Ed. THESAURUS LTDA, Brasília - DF. 140 p. 2002.

XAVIER, T. de M. B. S.; XAVIER, A. F. S. Papel da componente meridional do vento na costa do Nordeste para a previsão da chuva no Estado do Ceará. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 11., 1997, Vitória, ES. **Anais**. Vitória, 2004. p. 537-543.

XAVIER, T. de M. B. S.; XAVIER, A. F. S.; ALVES, J. M. B. **Quantis e eventos extremos**: aplicações em ciências da terra e ambientais. Fortaleza: RDS, 2007. 278 p.