

UNIVERSIDADE FEDERAL DA FRONTEIRA SUL
CAMPUS CERRO LARGO
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA

PAULA RENATA HENICKA DA SILVA

**CURVAS DE INTENSIDADE-DURAÇÃO-FREQUÊNCIA (IDF) E OBTENÇÃO DOS
PARÂMETROS DA EQUAÇÃO DE CHUVAS PARA O MUNICÍPIO DE
VACARIA/RS**

CERRO LARGO

2022

PAULA RENATA HENICKA DA SILVA

**CURVAS DE INTENSIDADE-DURAÇÃO-FREQUÊNCIA (IDF) E OBTENÇÃO DOS
PARÂMETROS DA EQUAÇÃO DE CHUVAS PARA O MUNICÍPIO DE
VACARIA/RS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), como requisito para obtenção do título de bacharela.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Juliana Marques Schöntag

CERRO LARGO

2022

Bibliotecas da Universidade Federal da Fronteira Sul - UFFS

Silva, Paula Renata Henicka da
Curvas de intensidade-duração-frequência (IDF) e
obtenção dos parâmetros da equação de chuvas para o
Município de Vacaria/RS / Paula Renata Henicka da Silva.
-- 2022.

66 f.

Orientadora: Doutora Juliana Marques Schöntag

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) -
Universidade Federal da Fronteira Sul, Curso de
Bacharelado em Engenharia Ambiental e Sanitária, Cerro
Largo,RS, 2022.

1. Drenagem Urbana. 2. Precipitações. 3. Curva IDF.
I. Schöntag, Juliana Marques, orient. II. Universidade
Federal da Fronteira Sul. III. Título.

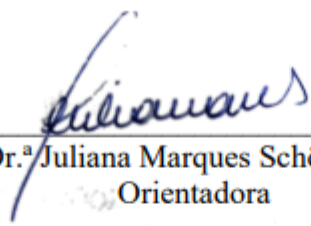
PAULA RENATA HENICKA DA SILVA


**CURVAS DE INTENSIDADE-DURAÇÃO-FREQÜÊNCIA (IDF) E OBTENÇÃO DOS
PARÂMETROS DA EQUAÇÃO DE CHUVAS PARA O MUNICÍPIO DE
VACARIA/RS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), como requisito para obtenção do título de bacharela.

Este trabalho foi defendido e aprovado pela banca em 15/08/2022.

BANCA EXAMINADORA


Prof.^a Dr.^a Juliana Marques Schöntag – UFFS
Orientadora


Prof. Dr. Mario Sergio Wolski – UFFS
Avaliador



Documento assinado digitalmente

MICHEL NOBRE MUZA

Data: 31/08/2022 17:31:11-0300

Verifique as assinaturas em <https://v.ifsc.edu.br>

Prof. Dr. Michel Nobre Muza – IFSC
Avaliador

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha orientadora Prof.^a Dr.^a Juliana Marques Schöntag, por toda dedicação, compreensão e ensinamentos. Agradeço também o professor do IFSC Dr. Michel Nobre Muza por colaborar com este estudo.

Agradeço às professoras Dr.^a Alcione Aparecida de Almeida Alves e Dr.^a Aline Raquel Miller Tones, docentes dos componentes curriculares Trabalho de Conclusão de Curso I e II, por todos os ensinamentos e pela paciência com a qual guiaram meu aprendizado.

Agradeço a todos os demais docentes da Universidade Federal da Fronteira Sul, pelas correções e ensinamentos que me permitiram apresentar um melhor desempenho no meu processo de formação profissional ao longo do curso.

Agradeço à Universidade Federal da Fronteira Sul pela oportunidade de formação por meio do ensino superior público de qualidade.

Agradeço a minha família, em especial aos meus pais Vilma Maria Henicka e Manoel Rodrigues da Silva, por todo o incentivo, educação, apoio e suporte que me proporcionaram. Também agradeço ao meu parceiro de vida Jardel, que sempre me apoiou durante essa jornada.

A Deus, por me iluminar, por permitir essa oportunidade, por não me deixar desanimar, apesar dos obstáculos encontrados ao longo da vivência acadêmica.

“Aquele que não luta pelo futuro que quer, deve aceitar o futuro que vier” (Autor desconhecido).

RESUMO

As obras hidráulicas assim como o sistema de drenagem das cidades possuem seu dimensionamento baseado numa série de estudos relacionados à gestão dos recursos hídricos. Dentre eles, está o estudo de chuvas intensas, o qual emprega a equação de chuvas intensas, que possui seus parâmetros determinados conforme dados de chuvas máximas diárias do local, também conhecida como equação do tipo Chen, além de fornecer também a curva intensidade-duração-frequência (IDF). A grande questão é que, na literatura, essas equações estão desatualizadas, pois baseiam-se em dados antigos. Posto isso, o presente trabalho consiste na obtenção de dados atualizados de precipitações máximas do município de Vacaria/RS dos últimos 14 anos, a fim de se construir a curva IDF, bem como na obtenção dos parâmetros da equação de chuvas intensas com base nesses dados atuais. Para tanto, os dados foram aplicados a distribuição de Gumbel. Tais resultados foram comparados com as equações e curvas obtidas em outros trabalhos, os quais atenderam às expectativas, não demonstrando nenhuma disparidade significativa. Para a desagregação, foi utilizado o método das relações da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB). Ao comparar as desagregações com as precipitações horárias, concluiu-se que a desagregação utilizada pela CETESB superestima os dados de precipitação do município de Vacaria. É importante ressaltar que não foram encontradas publicações referentes ao estudo de chuvas intensas para este município, nesse sentido este trabalho poderá auxiliar a preencher esta lacuna.

Palavras-chave: drenagem urbana; precipitações; curva IDF

ABSTRACT

The hydraulic works as well as the drainage system of cities have their design based on a series of studies related to the management of water resources. Among them is the study of intense rainfall, which employs the equation of intense rainfall, which has its parameters determined according to data of maximum daily rainfall of the location, also known as the Chen type equation, and also provides the intensity-duration-frequency curve (IDF). The big issue is that, in the literature, these equations are outdated, because they are based on old data. Therefore, the present work consists in obtaining updated data of maximum rainfall for the municipality of Vacaria/RS for the last 14 years, in order to construct the IDF curve, as well as in obtaining the parameters of the heavy rainfall equation based on these current data. To this end, the data were applied to the Gumbel distribution. These results were compared with the equations and curves obtained in other works, where they met expectations, showing no significant disparity. For the disaggregation, the method of the relations of the Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) was used. By comparing the disaggregations with the hourly precipitation, it was concluded that the disaggregation used by CETESB overestimates the precipitation data for the municipality of Vacaria. It is important to emphasize that no publications referring to the study of intense rainfall for this municipality were found, in this sense this work may help to fill this gap.

Keywords: urban drainage; precipitations; IDF curve.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Aderência da série de dados diários de precipitação à distribuição de Gumbel	35
Figura 2 - Curva IDF de Vacaria/RS com dados desagregados de precipitação máxima diária estimada	39
Figura 3 - Curva IDF de Vacaria/RS com dados de precipitação horária máxima estimada ...	47
Figura 4 - Diferença de precipitação para um TR = 2 anos	50
Figura 5 - Diferença de precipitação para um TR = 5 anos	50
Figura 6 - Diferença de precipitação para um TR = 10 anos	51
Figura 7 - Diferença de precipitação para um TR = 25 anos	51
Figura 8 - Diferença de precipitação para um TR = 50 anos	52
Figura 9 - Diferença de precipitação para um TR = 100 anos	52

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Exemplos de Equações de chuvas intensas de alguns municípios gaúchos determinadas por Pfafstetter	24
Quadro 2 – Dcrítico relativo ao nível de significância para diferentes tamanhos de amostras	26
Quadro 3 - Parâmetros da Equação do Tipo Chen para a desagregação das precipitações.....	38
Quadro 4 - DN máximo obtido pelo teste de aderência para cada tempo horário.....	42
Quadro 5 - Parâmetros da Equação do Tipo Chen para as precipitações horárias	46
Quadro 6 - Equações IDF para Caxias do Sul, Lages e Vacaria	48
Quadro 7 - Comparação dos erros para intensidade estimada.....	49
Quadro 8 - Faixa de diferença percentual para os tempos de duração referentes a todos os tempos de retorno	53
Quadro 9 - Intensidade estimada com base nos parâmetros da equação do tipo Chen para precipitação desagregada.....	65
Quadro 10 - Intensidade estimada com base nos parâmetros da equação do tipo Chen para precipitação horária	66

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Limites mínimos de precipitação de chuvas intensas	21
Tabela 2 - Limites mínimos para considerar uma chuva intensa	21
Tabela 3 - Coeficientes para desagregação de chuvas diárias	23
Tabela 4 - Aplicação da distribuição de Gumbel a série de dados diários de precipitação	34
Tabela 5 - Variável reduzida de Gumbel, parâmetro K e precipitação diária para os respectivos tempos de retorno	36
Tabela 6 - Cálculo da intensidade de precipitação a partir dos dados da distribuição de Gumbel utilizando os coeficientes de desagregação da CETESB.....	36
Tabela 7 - Cálculo da intensidade de precipitação para cada tempo de retorno referente à cada duração.....	37
Tabela 8 - Aplicação da distribuição de Gumbel a série de dados de precipitação de 1 hora..	41
Tabela 9 - Variável reduzida de Gumbel, parâmetro K e precipitação diária com duração de 1 hora para os respectivos tempos de retorno	43
Tabela 10 - Variável reduzida de Gumbel, parâmetro K e precipitação diária com duração de 2 horas para os respectivos tempos de retorno	43
Tabela 11 - Variável reduzida de Gumbel, parâmetro K e precipitação diária com duração de 4 horas para os respectivos tempos de retorno	43
Tabela 12 - Variável reduzida de Gumbel, parâmetro K e precipitação diária com duração de 6 horas para os respectivos tempos de retorno	44
Tabela 13 - Variável reduzida de Gumbel, parâmetro K e precipitação diária com duração de 8 horas para os respectivos tempos de retorno	44
Tabela 14 - Variável reduzida de Gumbel, parâmetro K e precipitação diária com duração de 10 horas para os respectivos tempos de retorno	44
Tabela 15 - Variável reduzida de Gumbel, parâmetro K e precipitação diária com duração de 12 horas para os respectivos tempos de retorno	45
Tabela 16 - Precipitações horárias para cada tempo de retorno	45
Tabela 17 - Precipitações dos tempos horários em minutos para cada tempo de retorno	46
Tabela 18 - Aplicação da distribuição de Gumbel a série de dados de precipitação de 2 horas	59
Tabela 19 - Aplicação da distribuição de Gumbel a série de dados de precipitação de 4 horas	60

Tabela 20 - Aplicação da distribuição de Gumbel a série de dados de precipitação de 6 horas	61
Tabela 21 - Aplicação da distribuição de Gumbel a série de dados de precipitação de 8 horas	62
Tabela 22 - Aplicação da distribuição de Gumbel a série de dados de precipitação de 10 horas	63
Tabela 23 - Aplicação da distribuição de Gumbel a série de dados de precipitação de 12 horas	64

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDF	Intensidade-Duração-Frequência
IDL	<i>Interactive Data Language</i>
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
UFFS	Universidade Federal da Fronteira Sul

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	OBJETIVO GERAL	16
1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
1.3	JUSTIFICATIVA.....	16
2	REVISÃO DE LITERATURA	18
2.1	DRENAGEM URBANA	18
2.2	PRECIPITAÇÃO	19
2.3	CHUVAS INTENSAS	20
2.4	PRECIPITAÇÕES DIÁRIAS	22
2.5	CURVAS IDF	23
2.5.1	Distribuição de Gumbel.....	25
2.5.2	Teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov.....	25
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	27
3.1	DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	27
3.2	OBTENÇÃO DOS DADOS	27
3.3	METODOLOGIA	27
3.3.1	Distribuição de Gumbel e desagregação dos dados de precipitação máxima diária.....	28
3.3.2	Equação do tipo Chen e construção da curva IDF.....	31
3.3.3	Distribuição de Gumbel para tempos horários	32
3.3.4	Comparações entre desagregação e precipitação horária	32
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	33
4.1	PRECIPITAÇÃO MÁXIMA DIÁRIA	33
4.1.1	Distribuição de Gumbel e desagregação	33
4.1.2	Equação do tipo Chen e curva IDF	37
4.2	PRECIPITAÇÕES HORÁRIAS	39
4.2.1	Distribuição de Gumbel.....	40
4.2.2	Equação do tipo Chen e curva IDF	46
4.3	COMPARAÇÕES DA DESAGREGAÇÃO COM AS PRECIPITAÇÕES HORÁRIAS	48
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	54

REFERÊNCIAS.....	56
-------------------------	-----------

1 INTRODUÇÃO

Para um bom desenvolvimento urbano, é essencial uma infraestrutura de saneamento adequada, sendo a drenagem urbana um dos pilares do saneamento. Entretanto, tal desenvolvimento vem causando impactos na infraestrutura de recursos hídricos, por meio de inundações cada vez mais frequentes (TUCCI, 2002).

A fim de controlar as inundações, enchentes ou cheias, faz-se necessário a compreensão do comportamento hidrológico de bacias hidrográficas mediante estudos de chuvas intensas. Desta forma, a gestão de recursos hídricos é fundamental para o dimensionamento de estruturas hidráulicas (CALDEIRA *et al.*, 2015).

Essas chuvas intensas podem ser determinadas pelas relações IDF, ou seja, por sua intensidade (I), duração (D) e frequência (F) de ocorrência (SOUZA *et al.*, 2012). As relações IDF são baseadas em eventos passados, e propicia que se estime a intensidade máxima de uma chuva, com uma certa duração e determinado tempo de retorno (RANGEL; HARTWIG, 2017).

Para produzir a equação IDF de um local, é preciso conhecer as séries históricas de dados de precipitação de diferentes durações, em que de acordo com Evangelista, Novais & Epifanio (2018), a série tenha preferencialmente 30 anos de dados. Dessa forma, os registros pluviográficos são de grande valia neste tipo de estudo. Entretanto, no Brasil, além de haver poucos pluviógrafos, os períodos de observação são curtos, ou seja, relativamente recentes. Para resolver este óbice, uma possibilidade é recorrer aos métodos de desagregação, que utilizam dados diários de chuva, obtidos por meio de pluviógrafos (SOUZA *et al.*, 2012).

Na literatura há diversos trabalhos de determinação de chuvas intensas para várias localidades. Contudo, há uma lacuna muito grande relacionada à quantidade de informações sobre chuvas intensas em algumas regiões do país, decorrente principalmente pela baixa densidade de estações pluviográficas disponíveis (SAMPAIO, 2011).

Atualmente, as curvas IDF são determinadas a partir das equações de chuvas intensas estabelecidas por Pfafstetter (1957). No entanto essas equações demonstram-se ultrapassadas, dado que elas foram determinadas a partir de dados de mais de seis décadas atrás, pressupondo uma estacionariedade dos eventos de precipitação. Considerando o advento das mudanças climáticas, esses eventos extremos podem estar se modificando, assim é necessária uma atualização de tais equações utilizando dados atuais, a fim de se evitar possíveis erros no dimensionamento das obras hidráulicas.

1.1 OBJETIVO GERAL

O presente trabalho teve como objetivo a construção da curva IDF e a obtenção dos parâmetros da equação de chuvas intensas no município de Vacaria/RS, os quais podem influenciar no dimensionamento de obras hidráulicas pluviais; bem como avaliar alterações no processo de determinação das relações entre intensidade, duração e frequência de chuvas intensas por meio de dados de precipitação atualizados.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

A fim de se atingir o objetivo geral deste trabalho, os objetivos específicos foram:

- i. Coletar dados das estações automáticas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) dos últimos 14 anos, dos valores máximos anuais de precipitação, relativos ao município de Vacaria/RS;
- ii. Utilizar a distribuição de Gumbel como modelo de distribuição probabilística para a análise estatística de dados dos precipitados;
- iii. Elaborar a curva IDF;
- iv. Determinar os parâmetros da equação de chuvas intensas baseados em dados atuais;
- v. Comparar as intensidades estimadas de precipitação utilizando a metodologia de desagregação da CETESB com os dados máximos horários extraídos da estação pluviográfica do INMET.

1.3 JUSTIFICATIVA

Atualmente, utiliza-se para o dimensionamento de obras hidráulicas e redes de drenagem as equações de chuvas intensas obtidas por Pfafstetter (1957), as quais se mostram desatualizadas. Tal fato pode resultar na previsão de chuva equivocada, gerando problemas de superdimensionamento ou subdimensionamento da rede de drenagem urbana. Em razão disso,

surge a necessidade da atualização dessas equações de cada local, por meio de seus dados atualizados.

Outro fato relevante é que o município de Vacaria, alvo do estudo, vem sofrendo alagamentos nos últimos anos, resultantes de fortes chuvas. Esse pode ser um indício de que haja algum erro no dimensionamento na rede de drenagem do município.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 DRENAGEM URBANA

Antes de adentrar na situação da drenagem urbana no país, é importante ressaltar o conceito de drenagem urbana, que é abordado na legislação atual. Conforme a Lei N° 14.026/2020 referente ao marco legal do saneamento básico, traz a definição deste como “o conjunto de serviços públicos, infraestruturas e instalações operacionais” (BRASIL, 2020). Dentre esses serviços, está a drenagem urbana, que de acordo com a Lei é definida como:

Drenagem e manejo das águas pluviais urbanas: constituídos pelas atividades, pela infraestrutura e pelas instalações operacionais de drenagem de águas pluviais, transporte, detenção ou retenção para o amortecimento de vazões de cheias, tratamento e disposição final das águas pluviais drenadas, contempladas a limpeza e a fiscalização preventiva das redes (BRASIL, 2020).

Por muito tempo, no Brasil e em outros países, a drenagem urbana das grandes metrópoles, além de ser deixada em segundo plano, era abordada no contexto do parcelamento do solo para usos urbanos (CANHOLI, 2015). Conforme Tucci (2002), o acelerado crescimento populacional no país vem causando uma expansão irregular de periferia que desacorda da regulamentação urbana relativa ao Plano Diretor dos municípios, obstando o ordenamento das ações não estruturais do controle ambiental urbano. Como resultado, ocorre um comprometimento da sustentabilidade hídrica das cidades.

Toda essa urbanização conduz a impermeabilização do solo e aumento da velocidade de escoamento das águas por condutos e canais. Como consequência, há uma série de impactos negativos, tais como: o aumento da vazão máxima e a frequência de inundações; o aumento da velocidade de escoamento que acaba gerando erosão do solo e produzindo sedimentos para o sistema de drenagem; o entupimento de condutos e canais devido aos resíduos sólidos que escoam para o sistema, reduzindo sua capacidade de escoamento, resultando em maiores inundações; e ainda ocorre a deterioração da qualidade da água pluvial respectivo à lavagem das superfícies urbanas (TUCCI, 2012).

Ressalta-se que há dois tipos de inundações, sendo que elas podem ocorrer de forma isolada ou simultaneamente. Existe a inundação decorrente do excesso de impermeabilização do solo, que acelera o escoamento da água. Dessa forma, o sistema de drenagem acaba saturando-se devido à quantidade de água que chega ao mesmo tempo, causando inundações

mais frequentes. Outro tipo de inundação conhecida é a inundação ribeirinha, que ocorre devido ao excesso de chuva que não consegue ser drenadas pela bacia hidrográfica, e acaba por inundar a várzea de acordo com a topografia dos locais próximos aos rios (TUCCI, 2012).

Dessa forma, o dimensionamento hidráulico dos canais possui importante papel no projeto dos sistemas de micro e macrodrenagem. No planejamento de melhoria e controle dos sistemas de drenagem urbana, devem estar contidos o adequado uso de materiais, bem como um balanceamento entre medidas estruturais e não estruturais (CANHOLI, 2015).

O projeto de estruturas hidráulicas designadas à contenção do excesso de chuva, tais como bacias de contenção, barragens, terraços, dentre outras, é baseado no uso de um estimador adequado para uma precipitação que possa determinar a vazão máxima de projeto, devendo promover a segurança esperada e a saúde econômica do projeto (SAMPAIO, 2011).

2.2 PRECIPITAÇÃO

A precipitação pode ser definida como a água advinda do vapor d'água da atmosfera depositada na superfície terrestre sob qualquer forma. Ela pode cair em forma de chuva, granizo, neve, ou ainda pode ocorrer ao nível do solo, formando o orvalho ou a geada. A forma em que o vapor se transforma varia de acordo com as condições climáticas do local. No Brasil, as chuvas são as precipitações mais importantes (NETTO *et al.*, 1998).

Existem diversos estudos que buscam o entendimento da precipitação como uma variável, bem como sua variabilidade no espaço e no tempo, e suas características como lâmina precipitada, duração, frequência e intensidade. Ademais, há uma gama de estudos na literatura que demonstram que as propriedades dos eventos chuvosos são fundamentais para os processos hidrológicos (DUNKERLEY, 2008 apud FREITAS, 2016).

É importante que se realizem medições sistemáticas da ocorrência de chuvas, para se obter valores médios significativos. Para tal, são instaladas redes de pluviometria, compostas por dispositivos denominados pluviômetros, que medem a altura pluviométrica, ou seja, a quantidade de chuva (NETTO *et al.*, 1998).

Segundo Netto *et al.* (1998) além da altura pluviométrica, existem outras grandezas importantes nas precipitações, são elas:

Duração (t) - é o intervalo de tempo de observação de uma chuva. As alturas pluviométricas acumuladas a partir do início da chuva são registradas em papel graduado, sob a forma de pluviogramas. A partir daí é possível a seleção de períodos

de chuva, com origem qualquer, relacionando as alturas com lapsos de tempo e que ocorreram. Assim a duração considerada não é nem o tempo total de chuva e nem contada a partir do seu início, mas apenas relativa ao período selecionado.

Intensidade (i) - é a relação altura/duração, observando-se que altas intensidades correspondem a curtas durações.

Frequência (f) - é o número de vezes que uma dada chuva (intensidade e duração) ocorre ou é superada num tempo dado, no geral um ano (vezes por ano).

Recorrência (T) - ou retorno é o inverso da frequência, ou seja, o período em que uma dada chuva pode ocorrer ou ser superada (anos por vez).

Damé (2006) também reconhece a importância da compreensão de dados de vazão observados, pois estes são utilizados em projetos de obras hidráulicas. A autora argumenta que, para conhecer a vazão de projeto, quando não se dispõe de dados históricos de vazão, utiliza-se das grandezas Intensidade-Duração-Frequência de ocorrência de precipitação, conhecida como curva IDF.

2.3 CHUVAS INTENSAS

As chuvas intensas, conhecidas também como precipitações máximas, podem ser definidas como fenômenos de ocorrência extrema que ocorrem em uma bacia hidrográfica. Essas chuvas causam diversos problemas, como inundações e falhas de obras hidráulicas e ainda contribuem para erosão do solo (SOUSA & SILVA, 1998 apud FREITAS, 2016).

De acordo com Oliveira (2014), a compreensão dos aspectos estatísticos das chuvas intensas possui interesse de ordem técnica por sua frequente aplicação aos projetos de obras hidráulicas tais como dimensionamento de canais, vertedores de barragens, terraços e definição de obras de desvio de cursos d'água (apud RANGEL; HARTWIG, 2017).

Ainda, Back (2012) e Villela & Mattos (1975) defendem que é necessário o conhecimento das chuvas intensas para o estudo da precipitação em uma bacia hidrográfica, afinal a determinação da vazão de cheia é dada usualmente por meio de equações de chuvas intensas (apud FREITAS, 2016).

Para uma chuva ser considerada intensa, Pfafstetter (1957) estabeleceu que para qualquer duração, haja uma precipitação que supere os limites expostos na tabela 1.

Tabela 1 – Limites mínimos de precipitação de chuvas intensas

Duração	Precipitação	Duração	Precipitação
(min)	(mm)	(h)	(mm)
5	5	4	35
15	12	8	40
30	20	14	47
60	25	24	55
120	30	48	70

Fonte: Pfastetter (1957)

Já Goulart *et al.* (1992, apud FREITAS, 2016) estabeleceram que chuvas intensas estejam dentro dos limites mínimos com suas respectivas durações, conforme expresso na tabela 2.

Tabela 2 - Limites mínimos para considerar uma chuva intensa

Duração	Precipitação
(min)	(mm)
30	20
45	23
60	25
90	28
120	30
240	35
360	38
720	44
1080	50
1440	55

Fonte: Goulart *et al.* (1992) apud Freitas (2016).

2.4 PRECIPITAÇÕES DIÁRIAS

É de suma importância a obtenção dos dados de chuva de grande volume para a determinação do escoamento superficial, entretanto a ausência ou inexistência de postos pluviográficos distribuídos em vários locais impossibilita o cálculo seguro das vazões máximas devido à escassez ou falta de dados. Outra dificuldade é que, mesmo havendo essas medições em pluviógrafos, seus dados são referentes a um intervalo de 24 horas, ou seja, chuvas de um dia, e não significam que tiveram uma duração contínua de 24 horas. Dessa maneira, a metodologia tradicional de determinação da relação intensidade-duração-frequência se torna impossível de ser aplicada (SAMPAIO, 2011).

Em razão da dificuldade de dados de precipitação provenientes de pluviógrafos disponíveis, alguns métodos foram desenvolvidos a fim de desagregar esses dados diários em escalas subdiárias. Na literatura estão disponíveis inúmeros métodos para obtenção de precipitação de eventos com certa duração a partir de outros eventos com durações distintas. Tais métodos são chamados métodos de desagregação de chuvas diárias (FREITAS, 2016).

Conforme Teodoro *et al* (2014), “os diferentes coeficientes de desagregação de chuva diária contribuem consideravelmente para determinação de parâmetros de curvas IDF. Estes fatores podem contribuir para projetos hidrológicos” (apud FREITAS, 2016).

A CETESB (1979) desenvolveu os coeficientes de desagregação, incluindo valores médios para todo o país, que são muito utilizados na desagregação de chuva diária por serem simples e fáceis de aplicar. Tais coeficientes são relações médias de precipitação máxima com período de retorno entre 2 e 100 anos obtidos a partir das curvas de Otto Pfafstetter (1957). Esses coeficientes de desagregação estão expressos na tabela 3.

Tabela 3 - Coeficientes para desagregação de chuvas diárias

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

Fonte: CETESB, 1979.

Outro trabalho conhecido é o exposto por Robaina e Peiter (1992) desenvolvido para o estado do Rio Grande do Sul, o qual aborda a técnica de desagregação na forma analítica, em que o objetivo foi experimentar o desempenho de um modelo de desagregação de chuvas intensas, buscando obter precipitações máximas médias em durações abaixo de 24h (apud RANGEL; HARTWIG, 2017).

2.5 CURVAS IDF

As curvas intensidade-duração-freqüência (IDF), também conhecidas como relações IDF, são fundamentais para a determinação da chuva de projeto (RANGEL; HARTWIG, 2017). De acordo com Bertoni e Tucci (1993), as curvas IDF são obtidas de maneira confiável com base na análise estatística de séries de dados pluviográficos, ou seja, a partir de eventos ocorridos no passado, possibilitando a estimativa da intensidade máxima de uma chuva, para uma determinada duração e certo tempo de retorno (apud RANGEL; HARTWIG, 2017).

Segundo Shardong (2014), “normalmente as curvas IDF são obtidas a partir de ajustes de uma função de probabilidade de eventos extremos realizado com os valores máximos de precipitação anual em escala subdiária obtidos de séries históricas” (apud FREITAS, 2016).

A equação IDF geral foi utilizada por Aragão *et al.* (2000), Damé (2006), Gonçalves (2012) e Silva *et al.* (2013), também conhecida como equação do tipo Chen, que é expressa pela equação 1.

$$i = \frac{K.T^m}{(t+b)^n} \quad (1)$$

No qual i é a intensidade máxima em mm/h, T é o período de retorno em anos, t é o tempo de duração em minutos, K , m , b e n são parâmetros a se determinar, pois variam para cada localidade, e são obtidos a partir dos dados históricos de precipitação.

Pfafstetter (1957) desenvolveu o trabalho pioneiro de curvas IDF no Brasil. Utilizando dados de 98 séries históricas de precipitação advindas do serviço de Meteorologia e Agricultura, ele desenvolveu uma equação empírica que estima as precipitações máximas em função de sua duração e tempo de recorrência (ANZOLIN, 2019). As equações de chuvas intensas foram estabelecidas para um grande número de cidades brasileiras, em que os parâmetros K , m , b e n foram determinados conforme cada local. O quadro 1 traz alguns exemplos dessas equações de municípios gaúchos, determinadas por Pfafstetter na época e que ainda são utilizadas atualmente.

Quadro 1- Exemplos de Equações de chuvas intensas de alguns municípios gaúchos determinadas por Pfafstetter

Localidade	Equação
Porto Alegre/RS	$i = \frac{627,54 \cdot T^{0,31}}{(t + 7,9)^{0,74}}$
Caxias do Sul/RS	$i = \frac{702,71 \cdot T^{0,24}}{(t + 8,85)^{0,74}}$
Passo Fundo/RS	$i = \frac{670,74 \cdot T^{0,21}}{(t + 7,9)^{0,74}}$
São Luiz Gonzaga/RS	$i = \frac{1038,51 \cdot T^{0,15}}{(t + 6)^{0,76}}$

Fonte: Denardin e Freitas, 1982.

Denardin e Freitas (1981) explicam que o uso de uma única equação generalizada para todo o País, ou até mesmo para o estado do Rio Grande do Sul, é impraticável, pois as estações estão distribuídas de forma variável pelo território nacional, e houve uma variabilidade nos coeficientes encontrados em seus estudos. Os autores ainda afirmam que o estudo da precipitação carece de desenvolvimento, incluindo mais estações meteorológicas cuja distribuição geográfica seja mais uniforme, de tal forma que consiga o raio de abrangência de cada equação ajustada.

2.5.1 Distribuição de Gumbel

Para a modelação de variáveis aleatórias contínuas são aplicados diversos modelos de distribuição de probabilidades, em que tais modelos são comumente utilizados na análise de frequência de variáveis hidrológicas (NAGHETTINI, PINTO, 2007).

Os autores Naghettini e Pinto (2007) argumentam que a distribuição de Gumbel, Fisher-Tipett tipo I ou dupla exponencial é bastante utilizada na análise de frequência de eventos hidrológicos, inclusive com inúmeras aplicações na determinação de curvas de IDF de precipitações intensas e estudos de vazões de enchentes.

Anzolin (2019) realizou um levantamento demonstrando que, no país, a maior parte dos estudos relacionados a chuvas intensas trata-se do ajuste da equação IDF para intensidades de precipitação de diferentes durações, e que Gumbel é a distribuição de extremos mais utilizadas em relação aos modelos probabilísticos.

2.5.2 Teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov

Os testes de hipóteses são procedimentos usuais da inferência estatística. Dentre suas classes, existem os testes de aderência, que verificam a forma de uma distribuição de probabilidades. Essa classe verifica a casual adequação entre as probabilidades ou frequências, tal como calculadas por um determinado modelo distributivo hipotético, e as correspondentes frequências com que, certos valores amostrais são observados. Por meio dos testes de aderência é possível constatar se uma variável aleatória contínua é distribuída segundo um modelo de Gumbel (NAGHETTINI E PINTO, 2007).

Entre os testes de aderência usuais em hidrologia, existe o teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov (KS), que é um teste não paramétrico, cuja estatística de teste resume-se na diferença máxima entre as funções de probabilidades acumuladas, empírica e teórica, de variáveis aleatórias contínuas (NAGHETTINI E PINTO, 2007).

Ao aplicar o teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov, encontrando o valor da diferença máxima entre as funções, será determinado o $D_{crítico}$, que é o valor que determinará se a hipótese de normalidade dos dados será aceita ou rejeitada, este valor é retirado do quadro 2, o qual depende do tamanho da série e do nível de significância.

Quadro 2 – $D_{crítico}$ relativo ao nível de significância para diferentes tamanhos de amostras

Tamanho da amostra (n)	Nível de Significância		
	0,1	0,05	0,01
10	0,37	0,41	0,49
15	0,30	0,34	0,40
20	0,26	0,29	0,36
25	0,24	0,27	0,32
30	0,22	0,24	0,29
35	0,20	0,23	0,27
40	0,19	0,21	0,25
>40	$1,22/\sqrt{n}$	$1,36/\sqrt{n}$	$1,63/\sqrt{n}$

Fonte: Naghettini e Pinto (2007).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O presente estudo sobre chuvas intensas foi realizado sobre o município de Vacaria, localizado na região nordeste do Rio Grande do Sul, na região conhecida como Campos de Cima da Serra, a cerca de 240 km da capital gaúcha, Porto Alegre. Segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), a área territorial do município é de 2.124.422 km², sua população no último censo, realizado em 2010, é de 61.342 pessoas, e a PIB per capita é de R\$37.130,00 (IBGE, 2022).

Após um levantamento junto a imprensa local, pode-se verificar que Vacaria é um município que sofre de alagamentos em dias de chuvas intensas. Em 2014, uma rádio local noticiou que “as chuvas voltam a causar alagamentos em Vacaria”, revelando que os episódios ocorrem com frequência em vários pontos da cidade (RÁDIO ESMERALDA, 2014). Outra informação advinda de Vieira (2019) revela que no dia 09 de novembro de 2019, houve um acúmulo total de chuva de 36,6 mm, deixando diversos bairros alagados na cidade, além do destelhamento de casas.

3.2 OBTENÇÃO DOS DADOS

Este trabalho utilizou dados meteorológicos disponibilizados pelo INMET provenientes da estação meteorológica automática A880, localizada no município de Vacaria, à latitude 28,51 sul e à longitude 50,88 oeste e a uma altitude de 969,89 metros (INMET, 2022). A estação está operando desde meados de 2008, portanto o período investigado foi de 01 de maio de 2008 a 30 de abril de 2022 (14 anos).

3.3 METODOLOGIA

De forma geral, para determinar a equação de chuvas intensas para o município de Vacaria, foi utilizada a equação do tipo Chen, a técnica dos mínimos quadrados e o software Microsoft Excel. Foi utilizado como modelo probabilístico a distribuição de Gumbel descrita

por Naghettini e Pinto (2007). Em seguida foram comparados os dados trabalhados e compilados obtidos pelos pluviógrafos para os tempos de duração com a curva obtida utilizando o coeficiente de desagregação. A seguir será descrita a metodologia utilizada para alcançar os objetivos deste estudo.

3.3.1 Distribuição de Gumbel e desagregação dos dados de precipitação máxima diária

Primeiramente, os dados de precipitação foram coletados da estação automática A880 do site do INMET e foram dispostos em uma planilha no software Microsoft Excel, em que foram agrupados de forma a obter as máximas diárias anuais. Vale ressaltar que o INMET disponibiliza esses dados de hora em hora, e gera planilhas de um período de até seis meses. Neste caso, foram obtidos os dados a partir de 01 de maio de 2008 até 30 de abril de 2022.

Os dados extraídos do INMET foram trabalhados e compilados com auxílio do software estatístico *Interactive Data Language (IDL)*, no qual os dados de precipitação horária foram tratados para obter consistência e assim obtido os valores máximos diários anuais.

Esses valores de precipitação foram ordenados de forma decrescente. Com esses dados, foi calculado a frequência da série com a seguinte equação:

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

Em que:

m: ordem de dados na série

n: número total de dados da série

Por meio da frequência foi possível calcular o período de retorno, que é o inverso da frequência, obtido pela equação:

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

Em que:

T: período de retorno (anos)

P: frequência de ocorrência do evento

Por meio do período de retorno, calculou-se a variável reduzida de Gumbel que é utilizada na distribuição, calculada pela equação:

$$y = -\ln \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right] \quad (4)$$

Em que:

y: variável reduzida de Gumbel

T: período de retorno (anos)

Em seguida, foi necessário calcular a média e o desvio padrão das variáveis reduzidas calculadas para cada período de retorno, e com isso foi possível calcular a variável reduzida da série de precipitação, pelas equações:

$$y = \frac{(P-xf)*Sy}{Sp} \quad (5)$$

$$xf = \frac{Xmed-(Sp*ymed)}{Sy} \quad (6)$$

Em que:

P: precipitação naquele ano

Sy: desvio padrão amostral de variável “y” de Gumbel

Sp: desvio padrão amostral da precipitação ao longo dos anos

Xmed: média da precipitação

Ymed: média das variáveis reduzidas de Gumbel

Por meio da variável reduzida da série, calculou-se a frequência e o período de retorno, por meio das equações:

$$P = 1 - e^{-e^{(-y)}} \quad (7)$$

$$T = \frac{1}{P} \quad (8)$$

Com a frequência e o período de retorno, calculou-se o parâmetro “K”, para cada valor de precipitação, dado pela equação:

$$K = \frac{(y-y_n)}{S_n} \quad (9)$$

Em que:

y: variável reduzida da série de dados

y_n: média das variáveis reduzidas de Gumbel

S_n: desvio padrão das variáveis reduzidas da série de Gumbel

A fim de se verificar se a distribuição de Gumbel pode ser aplicada à série de dados de precipitação, utilizou-se o teste de aderência de Kolmogorov-Sminorv, em que a equação calcula a distância entre os gráficos das duas funções, a fim de avaliar a diferença entre as duas funções. O teste de aderência foi calculado por meio das seguintes equações:

$$DN+ = |F(x_i) - F_n(x_i)| \quad (10)$$

$$DN- = |F(x_i) - F_n(x_i - 1)| \quad (11)$$

Em que:

F(x_i): frequência de Gumbel

F_n(x_i): frequência da série de dados de precipitação calculadas.

Para determinar se a hipótese de normalidade dos dados será rejeitada ou aceita, determina-se o DN crítico, o qual depende do tamanho da série e o nível de significância. No caso deste estudo, em que houve 15 séries de dados e considerou-se o nível de significância de 0,01, o DN crítico foi de 0,40 ou 40% (Naghattini e Pinto, 2007, p. 277).

Com os valores de DN+ e DN- calculados, basta verificar se são menores que o DN crítico, e em caso afirmativo a amostra adere à distribuição de Gumbel, permitindo que os valores de precipitação para períodos de recorrência superiores ao período de dados, sejam calculados por uma extrapolação de dados.

Na sequência, foi necessário calcular as intensidades da precipitação para cada duração e período de retorno definido, e em seguida realizou-se um ajuste de uma curva aos dados, para enfim construir a curva IDF.

Para encontrar os dados de intensidade, a precipitação diária para cada período de retorno foi calculada pela distribuição Gumbel. Para obter a precipitação, calculou-se o parâmetro K, o qual depende das variáveis de distribuição de Gumbel e do período de retorno,

que possibilita determinar as precipitações para períodos de retorno maiores que a série dados. O parâmetro K e a variável reduzida foram encontrados pelas seguintes equações:

$$K = \frac{(y_t - y_n)}{S_n} \quad (12)$$

$$y_t = -\ln \left(-\ln \left(\frac{T-1}{T} \right) \right) \quad (13)$$

Em que:

y_t : variável reduzida

T: período de retorno

Y_n : média da variável reduzida de Gumbel

S_n : desvio padrão da variável reduzida de Gumbel

Com isso, foi possível calcular a precipitação diária para cada período de retorno desejado, neste caso, a precipitação diária foi calculada para os períodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 e 100 anos. Essa precipitação foi calculada pela equação:

$$P = X_{med} + K * S_p \quad (14)$$

Em que:

K: parâmetro K

S_p : desvio padrão amostral da precipitação ao longo dos anos

X_{med} : média da precipitação

A partir da precipitação, aplicou-se a tabela de desagregação sugerida pela CETESB, cujo objetivo foi determinar a precipitação para cada duração definida e para cada período de retorno desejado. Dessa forma, obteve-se a precipitação e a duração, no qual foi possível encontrar a intensidade para cada duração e período de retorno.

3.3.2 Equação do tipo Chen e construção da curva IDF

Após os dados serem ajustados atendendo à distribuição estatística de Gumbel, foi então obtida a expressão geral, conhecida como equação do tipo Chen (equação 1) em que fica associado um período de retorno amostral a cada intensidade de precipitação considerada.

A equação do tipo Chen foi estimada por meio da ferramenta Solver do software Microsoft Excel, em que os parâmetros K , b , m e n foram determinados por meio da técnica da diferença dos mínimos quadrados.

3.3.3 Distribuição de Gumbel para tempos horários

Os dados de precipitação máxima diária relativos a cada tempo horário também foram coletados do site do INMET. Os valores máximos horários para 1, 2, 4, 6, 8, 10 e 12 horas de cada ano ao longo dos 14 anos de dados foram obtidos por meio do tratamento de dados utilizando o Software estatístico *IDL*. Em seguida, a metodologia utilizada para definir a precipitação referente a cada tempo de retorno foi a mesma utilizada no item 3.3.1, a partir da equação 2 até a equação 14.

Calculadas as precipitações para cada tempo horário, esses valores foram agrupados em uma única planilha a fim de encontrar os parâmetros da equação do tipo Chen referente a esses tempos horários, bem como a curva IDF, seguindo a mesma metodologia utilizada no item 3.3.2.

3.3.4 Comparações entre desagregação e precipitação horária

A fim de comparar os resultados de precipitação obtidos na desagregação com a precipitação horária, foram construídas curvas de comparação entre a precipitação horária com a desagregada para cada tempo de retorno.

Ressalta-se que a estação pluviográfica do INMET, utilizada para a extração dos dados de precipitação, realiza suas medições de hora em hora. Dessa forma, as comparações entre as intensidades de precipitação iniciaram do tempo de duração de 60 minutos (1 hora), até os 1440 minutos (24 horas).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nessa seção serão apresentados todos os resultados e discussões pertinentes obtidos a partir dos dados de precipitação coletados da estação automática A880 do município de Vacaria/RS, por meio do site do INMET. Serão apresentados os resultados dos cálculos das precipitações, da distribuição de Gumbel, da construção da curva IDF do município de Vacaria, bem como os parâmetros da equação do tipo Chen deste município, tanto para dos dados de precipitação máxima desagregados como para os dados de precipitações horárias. Por fim, esses resultados serão comparados.

4.1 PRECIPITAÇÃO MÁXIMA DIÁRIA

4.1.1 Distribuição de Gumbel e desagregação

Para construir a curva IDF do município de Vacaria/RS, foram necessários seguir uma série de passos. Primeiramente, os dados de precipitação fornecidos de hora em hora que foram coletados do site do INMET, foram trabalhados e compilados com auxílio do software estatístico *IDL*, no qual os dados de precipitação horária foram tratados para obter consistência e assim obtido os valores máximos diários anuais.

Foi aplicado a distribuição de Gumbel, calculando assim todas as variáveis necessárias. Na tabela 4 são apresentados os dados de entrada, a distribuição de Gumbel, os dados de precipitação e o teste de aderência.

Tabela 4 - Aplicação da distribuição de Gumbel a série de dados diários de precipitação

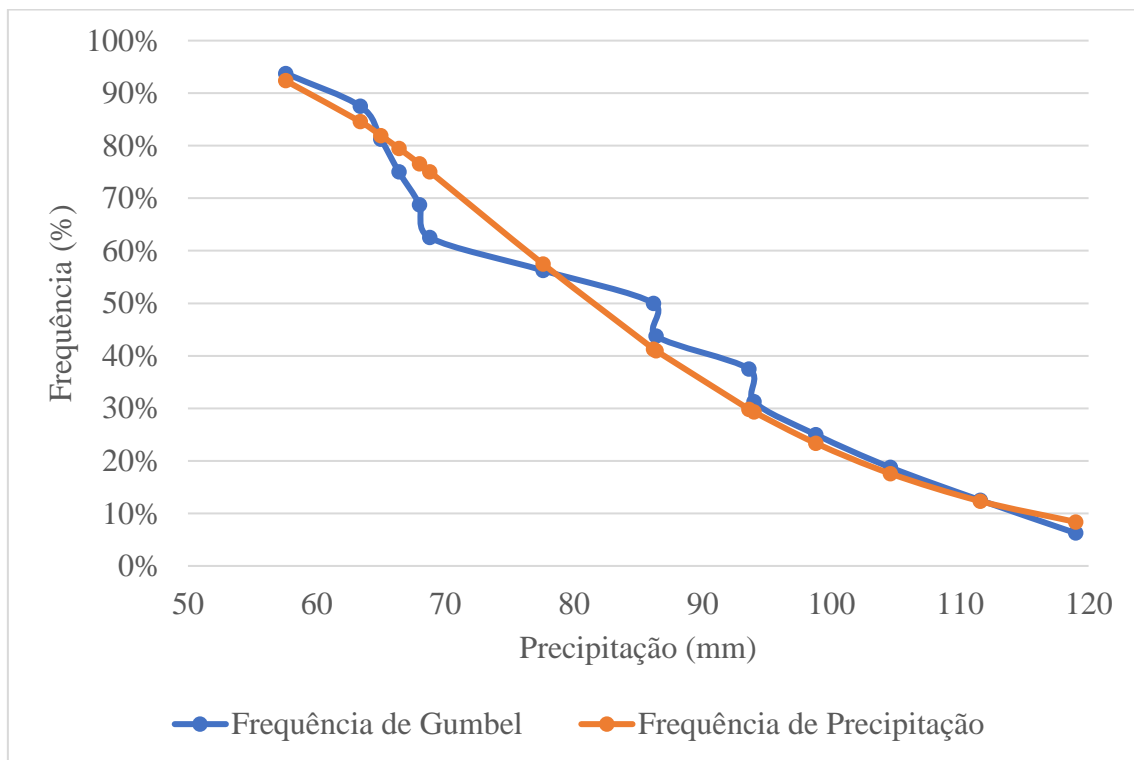
DADOS DE ENTRADA				GUMBEL					PRECIPITAÇÃO				TESTE ADERÊNCIA	
ORDEM (m)	ANO	PRECIPITAÇÃO DIÁRIA MÁXIMA ANUAL (x)	$(x-x_{\text{méd}})^2$	FREQUÊNCIA (%)	PERÍODO DE RETORNO	VARIÁVEL REDUZIDA DE GUMBEL (vg)	$(vg-v_{\text{gmed}})^2$	Parâmetro K	RP	Parâmetro K	Pp	T	DN +	DN -
1	2020	119	1220,34	6,25%	16,00	2,74	4,96	2,18	2,44	1,88	8,38%	11,94	2,13%	8,38%
2	2015	111,6	758,08	12,50%	8,00	2,01	2,25	1,47	2,03	1,49	12,32%	8,12	0,18%	6,07%
3	2016	104,6	421,62	18,75%	5,33	1,57	1,12	1,04	1,64	1,11	17,58%	5,69	1,17%	5,08%
4	2022	98,8	217,07	25,00%	4,00	1,25	0,54	0,72	1,32	0,79	23,36%	4,28	1,64%	4,61%
5	2008	94	98,67	31,25%	3,20	0,98	0,22	0,46	1,06	0,54	29,29%	3,41	1,96%	4,29%
6	2014	93,6	90,88	37,50%	2,67	0,76	0,06	0,24	1,04	0,51	29,83%	3,35	7,67%	-1,42%
7	2013	86,4	5,44	43,75%	2,29	0,55	0,00	0,04	0,64	0,13	40,94%	2,44	2,81%	3,44%
8	2011	86,2	4,55	50,00%	2,00	0,37	0,02	-0,14	0,63	0,12	41,28%	2,42	8,72%	-2,47%
9	2009	77,6	41,82	56,25%	1,78	0,19	0,10	-0,32	0,16	-0,35	57,47%	1,74	1,22%	7,47%
10	2010	68,8	233,07	62,50%	1,60	0,02	0,24	-0,48	-0,33	-0,82	75,04%	1,33	12,54%	18,79%
11	2019	68	258,14	68,75%	1,45	-0,15	0,44	-0,65	-0,37	-0,87	76,55%	1,31	7,80%	14,05%
12	2018	66,4	312,11	75,00%	1,33	-0,33	0,70	-0,82	-0,46	-0,95	79,48%	1,26	4,48%	10,73%
13	2017	65	363,54	81,25%	1,23	-0,52	1,06	-1,01	-0,54	-1,03	81,93%	1,22	0,68%	6,93%
14	2012	63,4	427,11	87,50%	1,14	-0,73	1,55	-1,22	-0,63	-1,12	84,56%	1,18	2,94%	3,31%
15	2021	57,6	700,48	93,75%	1,07	-1,02	2,35	-1,50	-0,94	-1,43	92,36%	1,08	1,39%	4,86%

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

O teste de aderência relativo à série de dados de precipitação diária e distribuição de Gumbel forneceu o maior valor de DN + em 12,54 %, e o maior valor em DN - em 18,79%, conforme pode-se observar na tabela 4. Portanto, o DN máximo é de 18,79%. Sabe-se que para 15 amostras com nível de significância de 0,01, o DN crítico é de 40%. Dessa forma, como DN máximo (18,79%) está abaixo do DN crítico (40%), a hipótese de normalidade dos dados é aceita, ou seja, a amostra adere à distribuição de Gumbel.

A aderência da distribuição da série de dados de precipitação à distribuição de Gumbel pode ser visualizada por meio da figura 1, a qual foi gerada a partir dos resultados da tabela 4.

Figura 1- Aderência da série de dados diários de precipitação à distribuição de Gumbel



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Analisando a figura 1, é possível constatar que as séries se ajustam a distribuição, concordando assim com o resultado do teste de aderência. Com isso, é possível calcular a variável reduzida de Gumbel, o parâmetro K e o valor de precipitação diária para os tempos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 e 100 anos. Na tabela 5 são apresentados esses resultados para cada tempo de retorno.

Tabela 5 - Variável reduzida de Gumbel, parâmetro K e precipitação diária para os respectivos tempos de retorno

Tempo de Retorno – TR (anos)	Yt (variável reduzida)	Parâmetro K	Pmd (mm/dia)
2	0,37	-0,143	81,409
5	1,50	0,967	101,993
10	2,25	1,703	115,622
25	3,20	2,632	132,841
50	3,90	3,321	145,616
100	4,60	4,005	158,296

Fonte: Elaborado pela autora (2022)

A partir dos valores de precipitação diária explícitos na tabela 5, foi possível calcular a intensidade de precipitação, em mm/dia, para cada coeficiente de desagregação fornecido pela CETESB, respectivo a cada tempo de retorno, conforme demonstrado pela tabela 6. Os valores da intensidade de precipitação também foram calculados em milímetros por hora, para cada tempo de retorno e para o tempo em minutos, conforme é possível observar na tabela 7.

Tabela 6 - Cálculo da intensidade de precipitação a partir dos dados da distribuição de Gumbel utilizando os coeficientes de desagregação da CETESB

CETESB	Tempo de Retorno (anos)	Intensidade (mm/dia)					
		2	5	10	25	50	100
Coef. Desagregação	Pmd (mm/dia)	81,41	101,99	115,62	132,84	145,62	158,296
1,14	24	92,81	116,27	131,81	151,44	166,00	180,46
0,85	12	78,89	98,83	112,04	128,72	141,10	153,39
0,82	10	76,10	95,34	108,08	124,18	136,12	147,98
0,78	8	72,39	90,69	102,81	118,12	129,48	140,76
0,72	6	66,82	83,72	94,90	109,04	119,52	129,93
0,63	4	58,47	73,25	83,04	95,41	104,58	113,69
0,52	2	48,26	60,46	68,54	78,75	86,32	93,84
0,42	1	38,98	48,83	55,36	63,60	69,72	75,79
0,74	0,5	28,84	36,14	40,97	47,07	51,59	56,09
0,91	0,417	26,25	32,89	37,28	42,83	46,95	51,0
0,81	0,333	23,36	29,27	33,18	38,12	41,79	45,4
0,7	0,25	20,19	25,30	28,68	32,95	36,12	39,3
0,54	0,1666667	15,58	19,51	22,12	25,42	27,86	30,3
0,34	0,08333333	9,81	12,29	13,93	16,00	17,54	19,1

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Tabela 7 - Cálculo da intensidade de precipitação para cada tempo de retorno referente à cada duração

Tempo de Retorno (anos)	2	5	10	25	50	100
t (min)	i (mm/h)					
1440	3,87	4,84	5,49	6,31	6,92	7,5
720	6,57	8,24	9,34	10,73	11,76	12,8
600	7,61	9,53	10,81	12,42	13,61	14,8
480	9,05	11,34	12,85	14,77	16,19	17,6
360	11,14	13,95	15,82	18,17	19,92	21,7
240	14,62	18,31	20,76	23,85	26,15	28,4
120	24,13	30,23	34,27	39,37	43,16	46,9
60	38,98	48,83	55,36	63,60	69,72	75,8
30	57,69	72,27	81,93	94,13	103,19	112,2
25	62,95	78,86	89,40	102,71	112,59	122,4
20	70,16	87,90	99,65	114,49	125,50	136,4
15	80,76	101,18	114,71	131,79	144,46	157,0
10	93,46	117,09	132,73	152,50	167,16	181,7
5	117,68	147,44	167,14	192,03	210,50	228,8

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

4.1.2 Equação do tipo Chen e curva IDF

Para encontrar os parâmetros referentes à equação do tipo Chen (equação 1), foram utilizados os dados da tabela 7. Foram estimados alguns valores para os parâmetros K, m, b e n, utilizando a ferramenta “solver” do software Microsoft Excel, calculando os valores de intensidade de precipitação estimados com base nos parâmetros encontrados da equação do tipo Chen, com a duração desagregada em minutos, e para cada um dos tempos de retorno. Juntamente com a intensidade estimado, foram calculados os seus erros referentes aos valores reais. Assim foram estabelecidos os seguintes parâmetros dispostos no quadro 3. O cálculo dos mínimos quadrados para se obter o menor erro entre suas diferenças é mostrado no apêndice B, por meio do quadro 9.

Quadro 3 - Parâmetros da Equação do Tipo Chen para a desagregação das precipitações

K	803,775
m	0,158
b	9,920
n	0,729

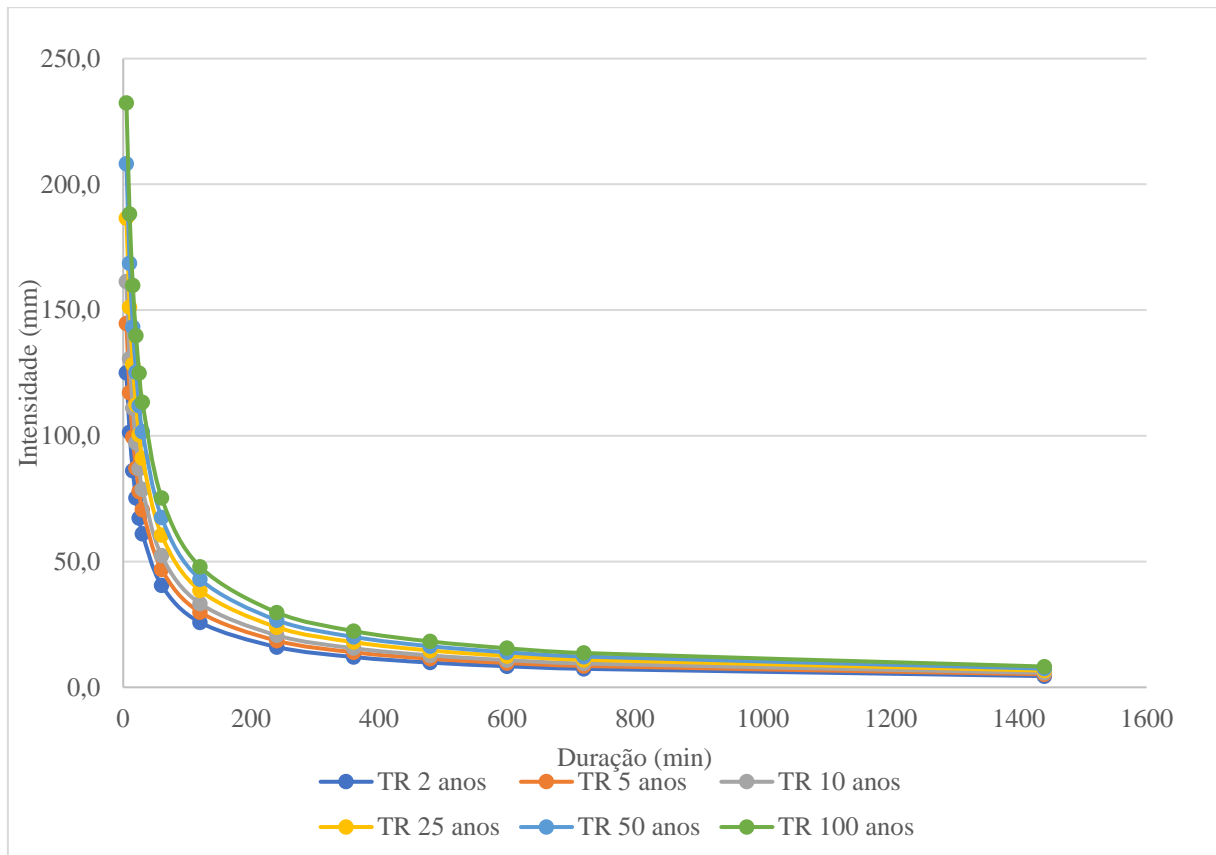
Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Salienta-se que os valores dos erros encontrados durante a estimação dos parâmetros da equação de chuvas intensas foram os menores possíveis. A partir desses resultados, é possível montar a equação de chuvas intensas para o município de Vacaria, partindo dos parâmetros encontrados no quadro 3. Dessa forma, temos a equação 1 reescrita com seus parâmetros definidos, expressa pela equação 15:

$$i = \frac{803,78.T^{0,16}}{(t+9,92)^{0,73}} \quad (15)$$

A partir da equação do tipo Chen, conjuntamente com os resultados da intensidade estimada, pode-se construir a curva IDF para os tempos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 e 100 anos, a qual leva em consideração a duração da chuva em minutos, com a sua intensidade em milímetros. A curva IDF para o município de Vacaria/RS, com dados desagregados de precipitação estimada pode ser observada na figura 2.

Figura 2 - Curva IDF de Vacaria/RS com dados desagregados de precipitação máxima diária estimada



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Ressalta-se que a curva IDF possui o comportamento esperado, o qual se assemelha a diversos trabalhos de construção de curvas IDF encontrados na literatura, como por exemplo o de Sampaio (2016) e o de Correia (2018).

4.2 PRECIPITAÇÕES HORÁRIAS

Os dados de precipitação horária foram coletados do site do INMET. Saliencia-se que o INMET disponibiliza os dados de precipitação diária advindos da estação pluviográfica para o Município de Vacaria/RS, cuja as medições ocorrem a cada uma hora. Os dados foram trabalhados e compilados com auxílio do software estatístico *IDL*, para encontrar as precipitações máximas para os tempos de duração de 1, 2, 4, 6, 8, 10 e 12 horas.

4.2.1 Distribuição de Gumbel

Após aplicada a metodologia para definir a precipitação referente a cada tempo de retorno, obteve-se como resultado as planilhas respectivas para cada hora definida, sendo elas: 1, 2, 4, 6, 8, 10 e 12 horas. Na tabela abaixo são apresentados os resultados da aplicação da distribuição de Gumbel para os dados de precipitação de 1 hora. No apêndice A encontram-se as demais tabelas para as durações de precipitação de 2, 4, 6, 8, 10 e 12 horas.

Tabela 8 - Aplicação da distribuição de Gumbel a série de dados de precipitação de 1 hora

Ordem (m)	DADOS DE ENTRADA			GUMBEL					PRECIPITAÇÃO				ADERÊNCIA	
	Ano	Precipitação diária máxima anual (x)	$(x-x_{méd})^2$	Frequência (%)	Período de retorno	Variável reduzida de Gumbel	$(vg-vg_{med})^2$	Parâmetro K	RP	Parâmetro k precipitação	Pp	T	DN +	DN -
1	2014	59,8	629,68	6,25%	16,00	2,74	4,96	2,18	3,62	3,05	2,63%	37,95	3,62%	2,63%
2	2020	42,2	56,15	12,50%	8,00	2,01	2,25	1,47	1,44	0,91	21,07%	4,75	8,57%	14,82%
3	2011	40,4	32,41	18,75%	5,33	1,57	1,12	1,04	1,22	0,69	25,60%	3,91	6,85%	13,10%
4	2022	37,2	6,22	25,00%	4,00	1,25	0,54	0,72	0,82	0,30	35,57%	2,81	10,57%	16,82%
5	2017	36,6	3,58	31,25%	3,20	0,98	0,22	0,46	0,75	0,23	37,72%	2,65	6,47%	12,72%
6	2016	36,2	2,23	37,50%	2,67	0,76	0,06	0,24	0,70	0,18	39,20%	2,55	1,70%	7,95%
7	2013	34	0,50	43,75%	2,29	0,55	0,00	0,04	0,43	-0,09	47,98%	2,08	4,23%	10,48%
8	2015	32,6	4,44	50,00%	2,00	0,37	0,02	-0,14	0,25	-0,26	54,04%	1,85	4,04%	10,29%
9	2010	32,2	6,28	56,25%	1,78	0,19	0,10	-0,32	0,20	-0,30	55,82%	1,79	0,43%	5,82%
10	2018	30,4	18,55	62,50%	1,60	0,02	0,24	-0,48	-0,02	-0,52	63,98%	1,56	1,48%	7,73%
11	2019	30,2	20,31	68,75%	1,45	-0,15	0,44	-0,65	-0,05	-0,55	64,89%	1,54	3,86%	2,39%
12	2008	28,6	37,29	75,00%	1,33	-0,33	0,70	-0,82	-0,24	-0,74	72,10%	1,39	2,90%	3,35%
13	2012	28,4	39,77	81,25%	1,23	-0,52	1,06	-1,01	-0,27	-0,77	72,98%	1,37	8,27%	-2,02%
14	2009	27,4	53,39	87,50%	1,14	-0,73	1,55	-1,22	-0,39	-0,89	77,26%	1,29	10,24%	-3,99%
15	2021	24,4	106,23	93,75%	1,07	-1,02	2,35	-1,50	-0,76	-1,25	88,33%	1,13	5,42%	0,83%

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Para cada tempo horário, foi realizado o teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov a fim de verificar se a hipótese de normalidade dos dados é aceita ou não. No quadro abaixo estão demonstrados os valores máximos de DN+ e DN- para cada tempo horário, bem como o DN maior.

Quadro 4 - DN máximo obtido pelo teste de aderência para cada tempo horário

Tempo horário	DN +	DN -	DN máximo
1 hora	10,57%	16,82%	16,82%
2 horas	12,11%	18,36%	18,36%
4 horas	15,15%	21,40%	21,40%
6 horas	18,54%	23,16%	23,16%
8 horas	9,83%	13,38%	13,38%
10 horas	10,25%	15,76%	15,76%
12 horas	9,83%	16,08%	16,08%

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

A partir do quadro 4 é possível observar que todos os DN máximos calculados para cada tempo horário são menores que o DN crítico, que é 40% para 15 amostras com nível de significância 0,01. Portanto, as amostras aderem à distribuição de Gumbel, visto que a hipótese de normalidade dos dados é aceita.

Com os resultados da aplicação da distribuição de Gumbel a série de dados de precipitação dos tempos horários de 1, 2, 4, 6, 8, 10 e 12 horas, representados nas tabelas do apêndice A, foram calculados a variável reduzida de Gumbel, o parâmetro K e o valor de precipitação diária para os tempos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 e 100 anos para cada tempo horário. Nas tabelas a seguir são apresentados esses resultados para cada tempo de retorno.

Tabela 9 - Variável reduzida de Gumbel, parâmetro K e precipitação diária com duração de 1 hora para os respectivos tempos de retorno

Tempo de Retorno – TR (anos)	Yt (variável reduzida)	Parâmetro K	Pmd (mm/dia)
2	0,37	-0,143	33,526
5	1,50	0,967	42,671
10	2,25	1,703	48,725
25	3,20	2,632	56,375
50	3,90	3,321	62,051
100	4,60	4,005	67,684

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Tabela 10 - Variável reduzida de Gumbel, parâmetro K e precipitação diária com duração de 2 horas para os respectivos tempos de retorno

Tempo de Retorno – TR (anos)	Yt (variável reduzida)	Parâmetro K	Pmd (mm/dia)
2	0,37	-0,143	44,056
5	1,50	0,967	57,979
10	2,25	1,703	67,197
25	3,20	2,632	78,845
50	3,90	3,321	87,485
100	4,60	4,005	96,062

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Tabela 11 - Variável reduzida de Gumbel, parâmetro K e precipitação diária com duração de 4 horas para os respectivos tempos de retorno

Tempo de Retorno – TR (anos)	Yt (variável reduzida)	Parâmetro K	Pmd (mm/dia)
2	0,37	-0,143	52,691
5	1,50	0,967	65,931
10	2,25	1,703	74,697
25	3,20	2,632	85,773
50	3,90	3,321	93,990
100	4,60	4,005	102,147

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Tabela 12 - Variável reduzida de Gumbel, parâmetro K e precipitação diária com duração de 6 horas para os respectivos tempos de retorno

Tempo de Retorno – TR (anos)	Yt (variável reduzida)	Parâmetro K	Pmd (mm/dia)
2	0,37	-0,143	58,531
5	1,50	0,967	70,738
10	2,25	1,703	78,820
25	3,20	2,632	89,031
50	3,90	3,321	96,607
100	4,60	4,005	104,126

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Tabela 13 - Variável reduzida de Gumbel, parâmetro K e precipitação diária com duração de 8 horas para os respectivos tempos de retorno

Tempo de Retorno – TR (anos)	Yt (variável reduzida)	Parâmetro K	Pmd (mm/dia)
2	0,37	-0,143	63,293
5	1,50	0,967	75,792
10	2,25	1,703	84,068
25	3,20	2,632	94,524
50	3,90	3,321	102,281
100	4,60	4,005	109,981

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Tabela 14 - Variável reduzida de Gumbel, parâmetro K e precipitação diária com duração de 10 horas para os respectivos tempos de retorno

Tempo de Retorno – TR (anos)	Yt (variável reduzida)	Parâmetro K	Pmd (mm/dia)
2	0,37	-0,143	69,151
5	1,50	0,967	82,854
10	2,25	1,703	91,926
25	3,20	2,632	103,389
50	3,90	3,321	111,893
100	4,60	4,005	120,334

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Tabela 15 - Variável reduzida de Gumbel, parâmetro K e precipitação diária com duração de 12 horas para os respectivos tempos de retorno

Tempo de Retorno – TR (anos)	Yt (variável reduzida)	Parâmetro K	Pmd (mm/dia)
2	0,37	-0,143	72,222
5	1,50	0,967	88,063
10	2,25	1,703	98,551
25	3,20	2,632	111,803
50	3,90	3,321	121,634
100	4,60	4,005	131,392

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Em seguida, em uma única planilha foram dispostos os valores de precipitação resultantes de cada tempo horário das tabelas acima. Essas precipitações podem ser observadas na tabela 16 abaixo:

Tabela 16 - Precipitações horárias para cada tempo de retorno

Tempo de Retorno (anos)	2	5	10	25	50	100
Tempo (horas)						
24	81,41	101,99	115,62	132,84	145,62	158,29
12	72,22	88,06	98,55	111,80	121,63	131,39
10	69,15	82,85	91,93	103,39	111,89	120,33
8	63,29	75,79	84,07	94,52	102,28	109,98
6	58,53	70,74	78,82	89,03	96,61	104,13
4	52,69	65,93	74,70	85,77	93,99	102,15
2	44,06	57,98	67,20	78,84	87,49	96,06
1	33,53	42,67	48,73	56,38	62,05	67,68

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Com esses valores de precipitação, foi criada uma nova planilha a fim de transformar esse valor horário em minutos de precipitação, para em seguida serem utilizados na obtenção dos parâmetros da equação. As precipitações em minutos podem ser observadas na tabela 17.

Tabela 17 - Precipitações dos tempos horários em minutos para cada tempo de retorno

Tempo (min)	Tempo de Retorno (anos)						
	1 dia	2	5	10	25	50	100
1440	24	3,4	4,2	4,8	5,5	6,1	6,6
720	12	6,0	7,3	8,2	9,3	10,1	10,9
600	10	6,9	8,3	9,2	10,3	11,2	12,0
480	8	7,9	9,5	10,5	11,8	12,8	13,7
360	6	9,8	11,8	13,1	14,8	16,1	17,4
240	4	13,2	16,5	18,7	21,4	23,5	25,5
120	2	22,0	29,0	33,6	39,4	43,7	48,0
60	1	33,5	42,7	48,7	56,4	62,1	67,7

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

4.2.2 Equação do tipo Chen e curva IDF

A partir dos dados de precipitação em minutos, foi possível determinar os parâmetros da equação do tipo Chen (equação 1). Utilizando a ferramenta “solver” do software Microsoft Excel, foram estimados os valores para os parâmetros K, m, n e b para cada tempo de retorno. Esses parâmetros podem ser observados no quadro 5.

Quadro 5 - Parâmetros da Equação do Tipo Chen para as precipitações horárias

K	4198,932
m	0,167
b	60,927
n	1,014

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

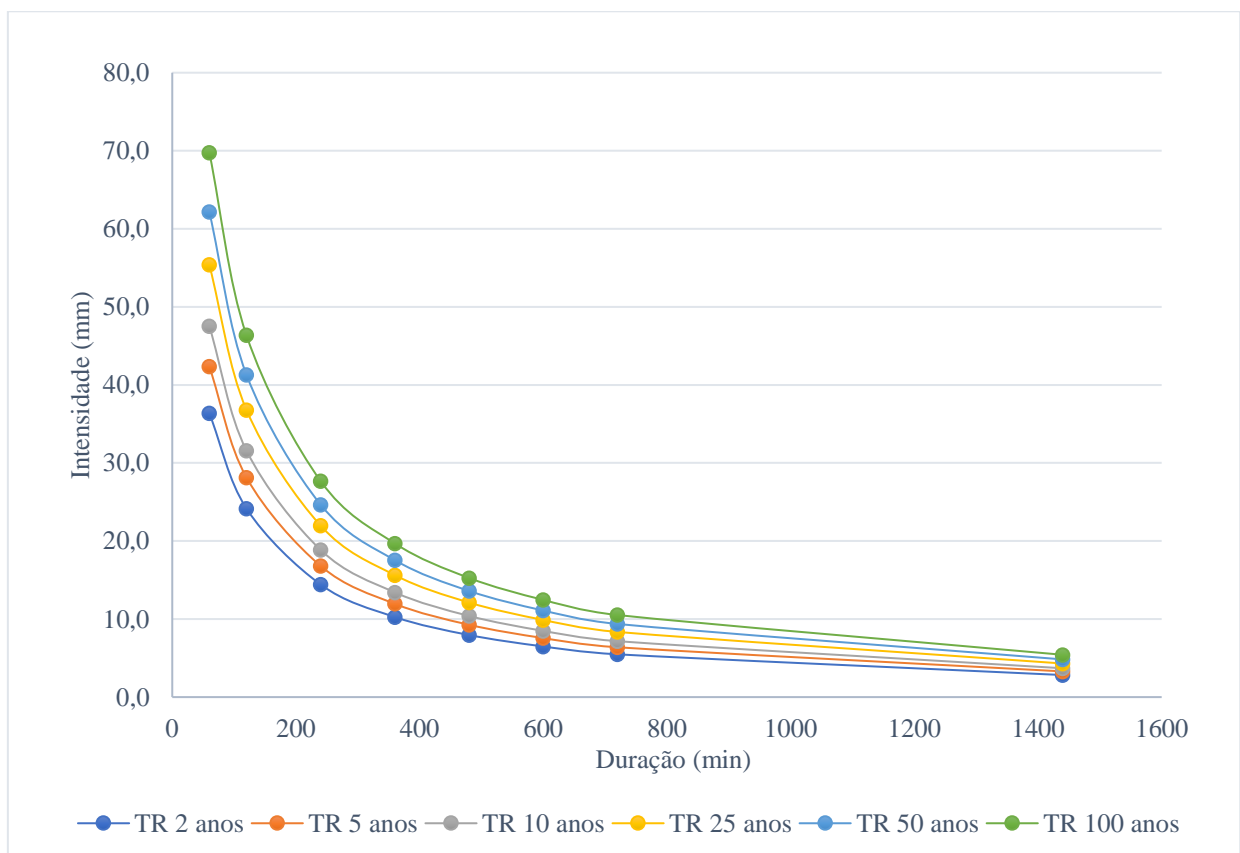
Simultaneamente, foram encontrados os valores de intensidade de precipitação estimados com base nos parâmetros encontrados da equação do tipo Chen, com a duração em minutos, e para cada um dos tempos de retorno. Juntamente com a intensidade estimada, foram calculados os seus erros referentes aos valores reais. Tais resultados podem ser observados no quadro 10, demonstrado no apêndice B. Vale ressaltar que a intensidade estimada foi calculada dos 60 minutos em diante, pois a estação pluviográfica realiza suas medições de precipitação a cada hora, dessa forma impossibilitando o cálculo para valores menores que uma hora.

A partir desses resultados, é possível construir a equação de chuvas intensas para o município de Vacaria, partindo dos parâmetros encontrados no quadro 5. Dessa forma, obteve-se a equação 1 reescrita com seus parâmetros definidos, expressa pela equação 16:

$$i = \frac{4198,93.T^{0,17}}{(t+60,93)^{1,01}} \quad (16)$$

Com a equação do tipo Chen, foi possível calcular os valores estimados de intensidade obtidos no quadro 5, pode-se construir a curva IDF para os tempos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 e 100 anos, a qual leva em consideração a duração da chuva em minutos, com a sua intensidade em milímetros. A curva IDF para o município de Vacaria/RS, com dados precipitação estimada para os tempos horários pode ser observada na figura 3.

Figura 3 - Curva IDF de Vacaria/RS com dados de precipitação horária máxima estimada



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Assim como a curva IDF da figura 3, a curva IDF das precipitações horárias possuem o comportamento esperado, assemelhando-se a diversos trabalhos de construção de curvas IDF encontrados na literatura, como por exemplo o de Sampaio (2016) e o de Correia (2018).

4.3 COMPARAÇÕES DA DESAGREGAÇÃO COM AS PRECIPITAÇÕES HORÁRIAS

Neste item serão abordadas as discussões relacionadas às comparações entre as precipitações desagregadas pela metodologia da CETESB, com as precipitações horárias da estação pluviográfica, que são os dados reais de precipitação obtidos no local.

É possível encontrar na literatura diversos exemplos dos parâmetros K, m, b e n de equações de chuvas intensas, desenvolvidas por vários autores e para várias regiões do Brasil (SAMPAIO, 2011).

Como não foi encontrado nenhum estudo específico para o município de Vacaria, foram comparadas as equações do tipo Chen desenvolvidas nesse estudo, com as equações já existentes para os municípios próximos que já possuem equações definidas. O município de Caxias do Sul/RS fica localizado à aproximadamente 78 quilômetros de Vacaria (em linha reta), já o município de Lages/SC encontra-se a aproximadamente 98 quilômetros de Vacaria (em linha reta). No quadro abaixo estão apresentadas as equações de ambos os municípios.

Quadro 6 - Equações IDF para Caxias do Sul, Lages e Vacaria

Município	Equação IDF
Caxias do Sul/RS	$i = \frac{702,71 \cdot T^{0,24}}{(t + 8,85)^{0,74}}$
Lages/SC	$i = \frac{2050 \cdot T^{0,2}}{(t + 29,4)^{0,89}}$
Vacaria/RS (Desagregação)	$i = \frac{803,78 \cdot T^{0,16}}{(t + 9,92)^{0,73}}$
Vacaria/RS (Precipitações horárias)	$i = \frac{4198,93 \cdot T^{0,17}}{(t + 60,93)^{1,01}}$

Fonte: Cardoso, Socool e Ullmann; Denardin e Freitas, 1982; elaborado pela autora, 2022.

Fazendo uma breve comparação das equações encontradas para o município de Vacaria com as equações dos municípios de Caxias do Sul/RS e de Lages/SC, observa-se uma certa semelhança entre os parâmetros, pois não há nenhuma discrepância entre algum deles.

Em relação ao método de desagregação proposto pela CETESB, foram encontrados na literatura alguns trabalhos que questionam este método. Cardoso *et al.*, (2014) explica que o método da CETESB propôs coeficientes de desagregação de chuvas para todo o país, porém as chuvas de diferentes regiões brasileiras podem ser provocadas por diferentes mecanismos. Dessa forma, esses coeficientes de desagregação podem não refletir as características particulares de cada localidade (ABREU, 2018).

A fim de verificar se a desagregação da CETESB é adequada para a série de dados de Vacaria/RS, foram analisados os erros das intensidades estimadas, que são as diferenças obtidas por meio do cálculo dos mínimos quadrados, tanto para a precipitação desagregada como para a precipitação horária estimada (quadros 9 e 10). Essa comparação pode ser realizada observando o quadro 7.

Quadro 7 - Comparação dos erros para intensidade estimada

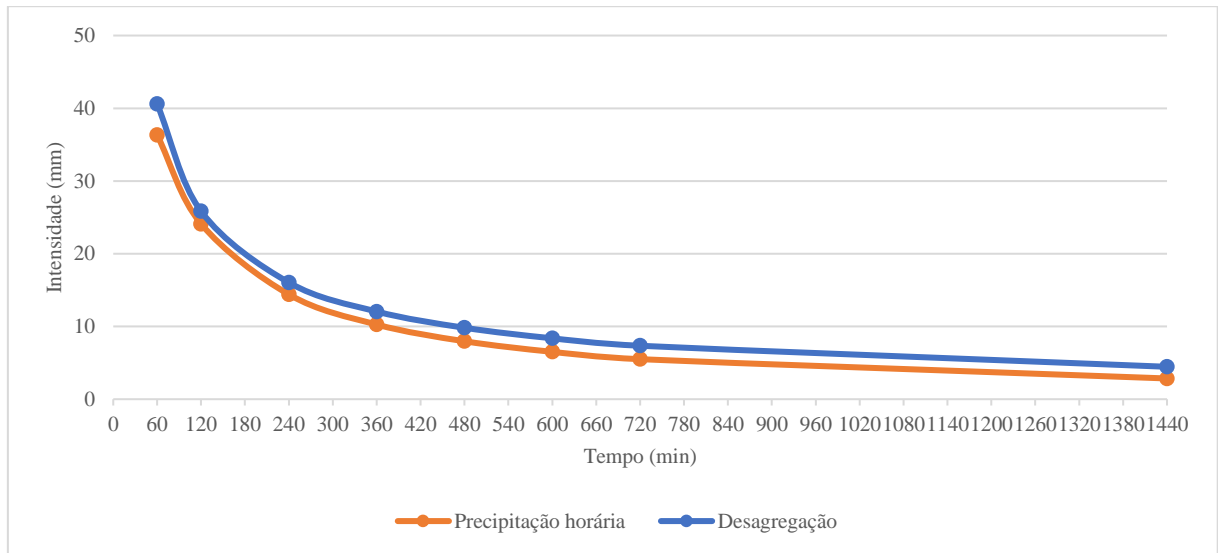
TR (anos)	Erro “i” estimada - desagregação	Erro “i” estimada – precipitações horárias
2	213,6	15,2
5	19,36	3,34
10	83,03	8,41
25	73,13	11,49
50	17,57	12,14
100	89,15	21,21
SOMA	495,86	71,74

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Ao analisar o quadro 7 com os valores dos erros para as intensidades estimadas, é possível observar que a soma dos erros quadrados da precipitação horária é menor quando comparados aos erros quadrados dos dados da precipitação desagregada. Isso demonstra que o ajuste pela desagregação da CETESB não é exatamente adequado a ser aplicado em diferentes regiões do país, pois superestima os dados de precipitação, como mostra os dados do município de Vacaria.

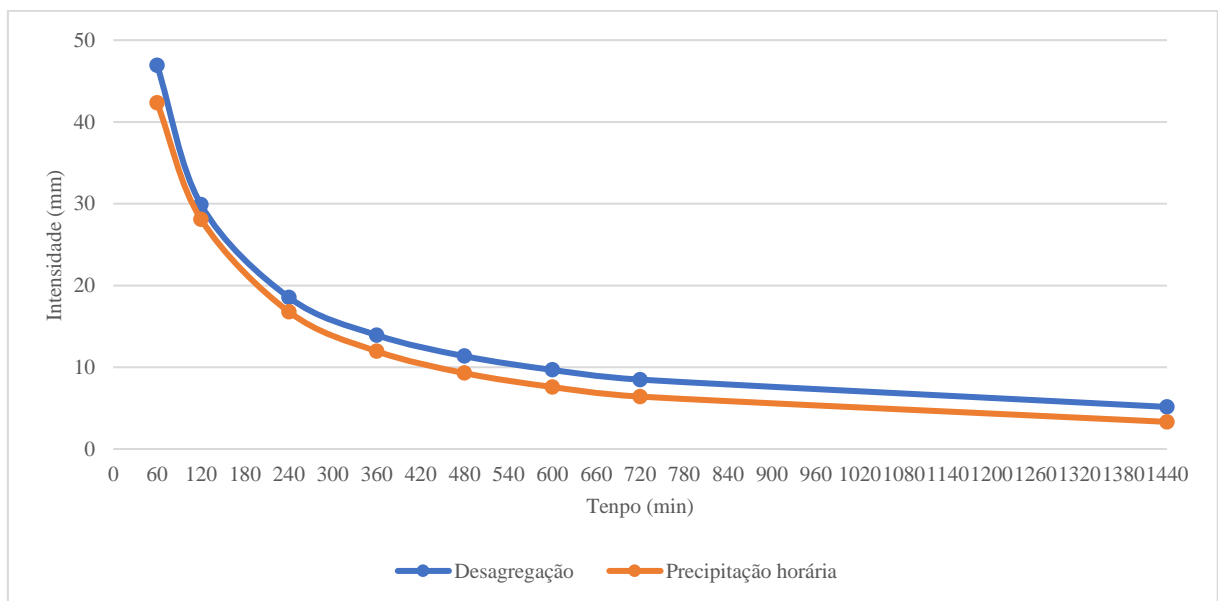
Para confirmar que o ajuste pela desagregação não é apropriado de se aplicar nos dados de precipitação do município de Vacaria, foram construídos gráficos de comparação entre os dados de precipitação horária, ou seja, os dados reais, com a desagregação, para cada tempo de retorno (2, 5, 10, 25, 50, 100 anos), os quais podem ser observados pelas figuras a seguir.

Figura 4 - Diferença de precipitação para um TR = 2 anos



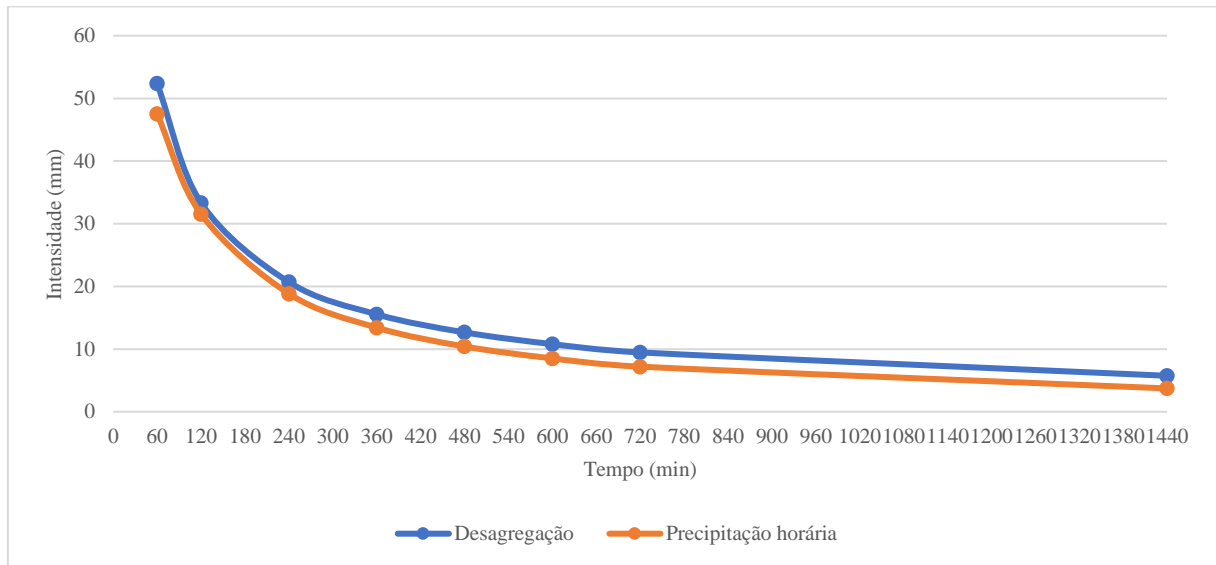
Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Figura 5 - Diferença de precipitação para um TR = 5 anos



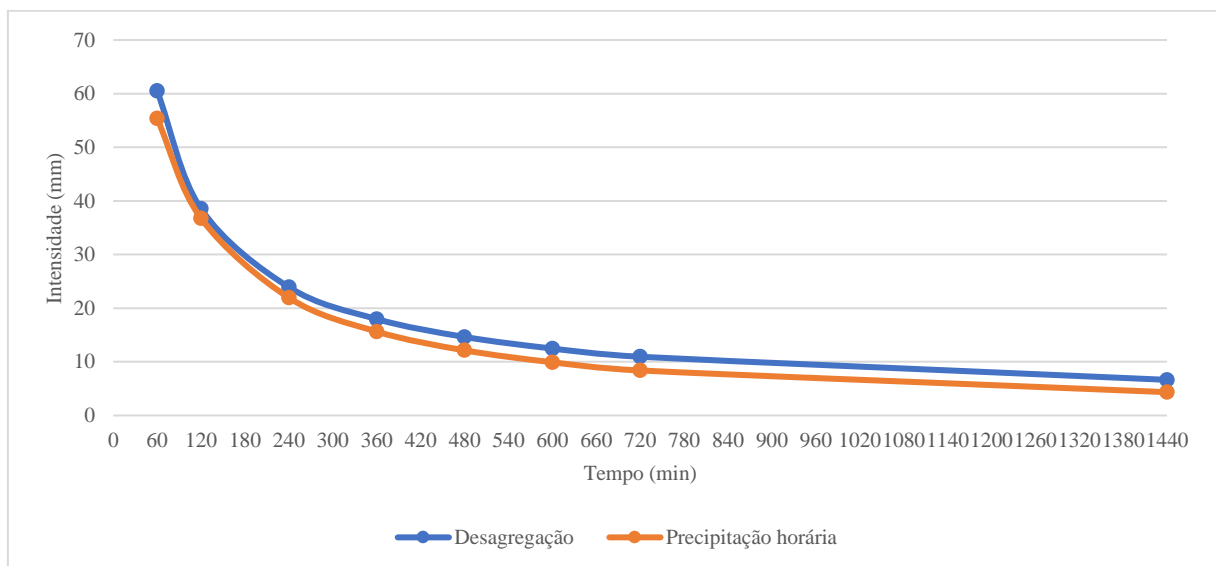
Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Figura 6 - Diferença de precipitação para um TR = 10 anos



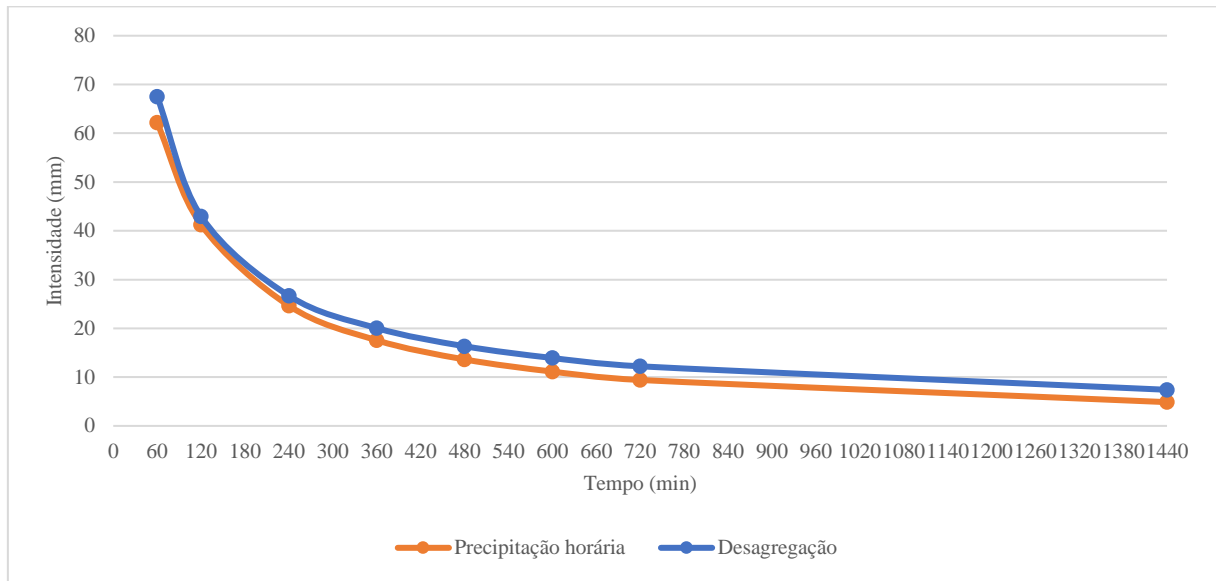
Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Figura 7 - Diferença de precipitação para um TR = 25 anos



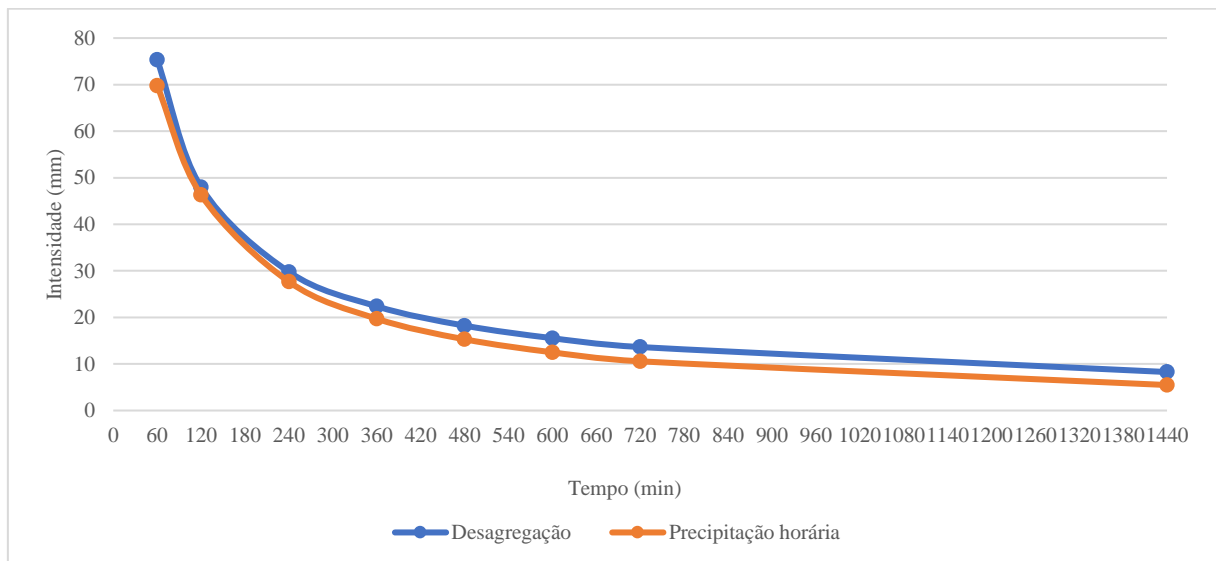
Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Figura 8 - Diferença de precipitação para um TR = 50 anos



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Figura 9 - Diferença de precipitação para um TR = 100 anos



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Analisando as curvas de diferença de precipitação referentes às figuras de 4 a 9, observa-se que elas possuem o mesmo comportamento para todos os tempos de retorno, em que a curva de desagregação fica acima da curva de precipitação horária. Salienta-se que em alguns tempos pontuais as curvas se aproximam, e em outros se afastam.

A fim de analisar melhor essa aproximação/afastamento entre as curvas para cada duração, foi calculado a diferença percentual de cada curva de comparação, para cada tempo de

duração. Como as diferenças percentuais para todos os tempos de retorno permaneceram na mesma faixa percentual de diferença, foi construído um quadro com todos intervalos de diferença percentuais para posterior análise, o qual segue abaixo.

Quadro 8 - Faixa de diferença percentual para os tempos de duração referentes a todos os tempos de retorno

Tempo de Duração de Precipitação (minutos)	Faixa de Diferença Percentual
1440	34% a 37%
720	22% a 25%
600	19% a 22%
480	16% a 19%
360	12% a 15%
240	7% a 10%
120	3% a 6%
60	7% a 10%

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Observando visualmente as curvas, bem como os resultados do quadro 8, nota-se que para os tempos de duração de precipitação menores, a diferença percentual entre as curvas é baixa, e que, conforme o tempo de duração de precipitação vai aumentando, a diferença percentual entre as curvas também aumenta.

Em outras palavras, quando as precipitações duram poucas horas, a intensidade estimada pela desagregação da CETESB se aproxima dos valores reais obtidos da precipitação horária, e quando as precipitações duram mais tempo, a intensidade estimada pela desagregação se afasta dos valores reais de precipitação, quando deveria permanecer próximo, confirmando assim que o ajuste pela desagregação não é apropriado de se aplicar aos dados de precipitação do município de Vacaria/RS.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho abordou o estudo de chuvas intensas para o município de Vacaria/RS. Tal estudo possui extrema relevância no que diz respeito à drenagem urbana, bem como no dimensionamento de obras hidráulicas dos municípios. Ao abordar este tema, um estudo requer que o município disponha de uma estação pluviográfica com uma série de dados histórica. A coleta de dados do site do INMET relativo à estação automática A880 do município de Vacaria foi efetivada com sucesso, em que foi possível coletar dados de precipitação dos últimos 14 anos, os quais foram tratados para análise posterior.

O modelo de distribuição probabilística de Gumbel, que é o mais usual em estudos hidrológicos, mostrou-se adequado para a análise estatística dos dados. Com o teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov, foi concluído que a amostra adere à distribuição de Gumbel.

Os resultados da elaboração da curva IDF e da equação do tipo Chen referente ao município de Vacaria mostraram-se satisfatórios, pois tanto para as precipitações horárias, quanto para a desagregação, esses resultados se assemelham aos trabalhos já existentes sobre chuvas intensas de localidades próximas.

A comparação entre as intensidades estimadas de precipitação utilizando a metodologia de desagregação CETESB, criada para a desagregação de chuvas de todo o país, e os dados máximos horários extraídos da estação pluviográfica do INMET, demonstrou que a desagregação não pode ser aplicada para todas as localidades do Brasil, visto que o território nacional possui diferentes características climáticas.

Sabe-se que o Brasil possui diferentes características climáticas devido a sua grande extensão territorial, e que cada região do país possui uma característica de regime de precipitação distinta. Estudos de Catto *et al.* (2012) revelam que na Região Sul do Brasil, são as frentes frias um dos principais sistemas causadores de chuvas.

A estação pluviográfica de onde foram coletados os dados, realiza a medição da precipitação a cada hora. Posto isto, sugere-se como trabalhos futuros a comparação da chuva inicial, ou seja, nos primeiros minutos. Para que isso seja possível, é necessário a implementação de um equipamento de medição mais sofisticado, que seja sensível a ponto de realizar a medição de minuto em minuto, bem como que o levantamento histórico de dados seja de preferencialmente 30 anos ao menos, para que o estudo seja aplicável. Esses trabalhos

futuros são necessários não somente para Vacaria, mas também para outras regiões do país, assim como precisam de constante monitoramento para manter esses dados sempre atualizados.

REFERÊNCIAS

ABREU, M. C. **Desempenho de métodos de desagregação de chuvas intensas**. 2018. Tese de Doutorado - Programa de Pós-Graduação em Meteorologia Aplicada, Universidade Federal de Viçosa, p.140, 2018. Disponível em: <https://www.locus.ufv.br/bitstream/123456789/19141/1/texto%20completo.pdf>. Acesso em: 02 ago, 2022.

ANZOLIN, G. *et al.* **Determinação das Curvas IDF para região sul do Brasil utilizando modelos estacionário e não estacionário**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso – Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade de Santa Catarina, Florianópolis, p. 73, 2019. Disponível em: https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/202874/GabrielTCC_FINAL.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 25 jan. 2022.

BATISTA, T. L.; ALVES, F. de M.; TAVARES, P. R. L. **Utilização de dados pluviométricos para o desenvolvimento da região metropolitana de Fortaleza-CE, Brasil**. Revista DAE, São Paulo, v. 66, n. 211, p. 118-129, jul./set. 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/46090>. Acesso em: 28 jan. 2022.

BRASIL. **Lei nº 14.026, de 14 de julho de 2020**. Atualiza o marco legal do saneamento básico. Brasília, DF: Presidência da República [2020]. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/114026.htm. Acesso em: 25 fev. 2022.

CALDEIRA, T. L. *et al.* Modelagem probabilística de eventos de precipitação extrema no estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, p. 197-203, 2015.

CANHOLI, A. **Drenagem urbana e controle de enchentes**. 2 ed. – São Paulo: Oficina de textos. 2015. *E-book*. Disponível em: https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=BPAAtCQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP25&dq=canholi+2015&ots=9XooFpTeaZ&sig=JSqBOS8WO-fw_WN3-oI1Ylh1HyM#v=onepage&q=canholi%202015&f=false. Acesso em: 28 jan. 2022.

CARDOSO, C.O., BERTOL, I., SOCCOL, O.J., & SAMPAIO. **Geração de curvas de frequência de duração de intensidade e padrão de variabilidade temporal de intensidade de chuvas intensas para Lages/SC**. CADP, 2014. Arquivos Brasileiros de Biologia e Tecnologia, 57 , 274-283. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/babt/a/mjyPhfj8syWrsVsdKpCR6nL/?format=html&lang=en>. Acesso em 02 ago. 2022.

CARDOSO, C. O., SOCCOL, O. J., & ULLMANN, M. N. **Relações intensidade-duração-frequência de chuvas intensas a partir da desagregação de chuvas diárias para Lages, SC**. Disponível em: <http://sbagro.org/files/biblioteca/1599.pdf>. Acesso em: 02 ago. 2022.

CATTO, JL *et al.* Relating global precipitation to atmospheric global. **Cartas de Pesquisa Geofísica** , v. 39, n. 10, 2012. Disponível em:

<https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1029/2012GL051736>. Acesso em: 14 ago. 2022.

CETESB, **Companhia Ambiental do Estado de São Paulo**. Companhia de Tecnologia. Drenagem urbana e Saneamento Ambiental, manual de projetos. 1979. In: Drenagem urbana, manual de projetos.

Chuvas voltam a causar alagamentos em Vacaria. Radio Esmeralda, Vacaria, 05 jun. 2014. Disponível em: <https://radioesmeralda.com.br/noticia/chuvas-voltam-a-causar-alagamentos-em-vacaria/>. Acesso em: 26 fev. 2022.

CORREIA, J. L. **Construção da curva intensidade, duração e frequência (IDF) para a cidade de São Leopoldo a partir de dados de sensoriamento remoto**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso – Engenharia Civil, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, p. 56, 2018. Disponível em: <http://repositorio.jesuita.org.br/bitstream/handle/UNISINOS/11354/J%C3%A9ssica%20Lana%20Correia.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 25 jul. 2022.

DAMÉ, R. C. F. *et al.* Comparação entre curvas intensidade-duração-frequência de ocorrência de precipitação obtidas a partir de dados pluviográficos com aquelas estimadas por técnicas de desagregação de chuva diária. **Revista Brasileira de Agrociência**, v. 12, n. 4, p. 505-509, 2006.

DENARDIN, J. E., FREITAS, P. D. Características fundamentais da chuva no Brasil. I. Rio Grande do Sul. **Pesq. Agropec. Bras**, Brasília, 17 (10): 1 409-1416, out. 1982.

EVANGELISTA, J. O., NOVAIS, K., & EPIFANIO, G. (2018). DISTRIBUIÇÃO DE PROBABILIDADE HIDROLÓGICA DE PRECIPITAÇÃO PARA SUB-REGIÃO HIDROGRÁFICA TOCANTINS 08./ Distribution of hydrological probability of precipitation for sub-region hydrographic Tocantins 08 in the State of Pará. **REVISTA GEONORTE**, 9(32), 107–122, 2018. Disponível em: <https://periodicos.ufam.edu.br/index.php/revista-geonorte/article/view/4065/3765>. Acesso em: 14 ago. 2022.

FREITAS, E. S. **Determinação e comparação de curvas IDF com dados pluviográficos e pluviométricos na bacia hidrográfica experimental do Riacho Guaraíra- PB**. Trabalho de Conclusão de curso – Engenharia Civil, Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, p. 61, 2016.

IBGE, **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Cidades e Estados - Vacaria/RS. 2022. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rs/vacaria/panorama>. Acesso em: 24 fev. 2022.

INMET, **Instituto Nacional de Meteorologia**. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/>. Acesso em: 28 jan. 2022.

MINUSSI, G. A.; MUZA, M. N.; SCHÖNTAG, J. M. Análise e determinação das curvas de intensidade-duração-frequência (IDF) com dados atuais e diferentes coeficientes de desagregação de chuvas, para o município de São Luiz Gonzaga/RS, noroeste gaúcho. In: **XIII Encontro Nacional de Águas Urbanas**, Outubro/2020, Porto Alegre. 8 p., 2020.

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

NETTO, A. *et al.* **Manual de Hidráulica**. 8. Ed. São Paulo: Blucher, 1998.

PFAFSTETTER, O. Chuvas intensas no Brasil: relação entre precipitação, duração e frequência de chuvas em 98 postos com pluviógrafos. **Rio de Janeiro: DNOCS**, 1957.

RANGEL, E. M., & HARTWIG, M. P. Análise das curvas de intensidade-duração-frequência para a cidade de Pelotas através de uma função de desagregação. 2017. **Revista Thema**, 14(1), 63-77.

SAMPAIO, M. V. **Determinação e especialização das equações de chuvas intensas de bacias hidrográficas do Rio Grande do Sul**. 2011. Tese de Doutorado - Programa de Pós Graduação em Engenharia Agrícola, Área de Concentração Engenharia de Água e Solo, Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, p. 146, 2011.

SOUZA, R. M. *et al.* Equações de chuvas intensas para o estado do Pará. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, p. 999-1005, 2012. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/S5YrxRjKF6T6n9Bh3bmXKcr/?lang=pt&format=html>. Acesso em: 28 jan. 2022.

TUCCI, C. E. M. (2002). Gerenciamento da Drenagem Urbana. RBRH - **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. Volume 7 n.1 Jan/Mar 2002, pp. 5-27.

TUCCI, C. E. M. **Gestão da drenagem urbana**. DF: CEPAL. Escritório no Brasil/IPEA, 2012. (Textos para Discussão CEPAL-IPEA, 48). Disponível em: https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/38004/LCBRSR274_pt.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 24 fev. 2022.

VIEIRA, S. **Vacaria registra alagamentos por conta de temporal**. Gaúcha ZH, Vacaria, 10 nov. 2019. Disponível em: <https://gauchazh.clicrbs.com.br/pioneiro/geral/noticia/2019/11/vacaria-registra-alagamentos-por-conta-de-temporal-11886848.html>. Acesso em: 26 fev. 2022.

APÊNDICE A – Tabelas de aplicação da distribuição de Gumbel

Tabela 18 - Aplicação da distribuição de Gumbel a série de dados de precipitação de 2 horas

DADOS DE ENTRADA				GUMBEL					PRECIPITAÇÃO				ADERÊNCIA	
Ordem (m)	Ano	Precipitação diária máxima anual (x)	$(x - x_{\text{méd}})^2$	Frequência (%)	Período de retorno	Variável reduzida de Gumbel	$(v_g - v_{g\text{med}})^2$	Parâmetro K	RP	Parâmetro k precipitação	Pp	T	DN +	DN -
1	2014	83,6	1424,81	6,25%	16,00	2,74	4,96	2,18	3,59	3,01	2,73%	36,58	3,52%	2,73%
2	2011	56	102,95	12,50%	8,00	2,01	2,25	1,47	1,34	0,81	23,06%	4,34	10,56%	16,81%
3	2020	51,8	35,36	18,75%	5,33	1,57	1,12	1,04	1,00	0,47	30,86%	3,24	12,11%	18,36%
4	2008	51,4	30,77	25,00%	4,00	1,25	0,54	0,72	0,96	0,44	31,70%	3,15	6,70%	12,95%
5	2018	50,2	18,89	31,25%	3,20	0,98	0,22	0,46	0,87	0,35	34,32%	2,91	3,07%	9,32%
6	2013	48,8	8,68	37,50%	2,67	0,76	0,06	0,24	0,75	0,24	37,57%	2,66	0,07%	6,32%
7	2017	48	4,61	43,75%	2,29	0,55	0,00	0,04	0,69	0,17	39,52%	2,53	4,23%	2,02%
8	2010	45	0,73	50,00%	2,00	0,37	0,02	-0,14	0,44	-0,07	47,37%	2,11	2,63%	3,62%
9	2015	41,8	16,43	56,25%	1,78	0,19	0,10	-0,32	0,18	-0,32	56,52%	1,77	0,27%	6,52%
10	2012	37,2	74,88	62,50%	1,60	0,02	0,24	-0,48	-0,19	-0,69	70,22%	1,42	7,72%	13,97%
11	2022	37,2	74,88	68,75%	1,45	-0,15	0,44	-0,65	-0,19	-0,69	70,22%	1,42	1,47%	7,72%
12	2019	36,8	81,96	75,00%	1,33	-0,33	0,70	-0,82	-0,22	-0,72	71,39%	1,40	3,61%	2,64%
13	2016	36,2	93,19	81,25%	1,23	-0,52	1,06	-1,01	-0,27	-0,77	73,12%	1,37	8,13%	-1,88%
14	2009	32	191,91	87,50%	1,14	-0,73	1,55	-1,22	-0,61	-1,11	84,27%	1,19	3,23%	3,02%
15	2021	31,8	197,50	93,75%	1,07	-1,02	2,35	-1,50	-0,63	-1,12	84,74%	1,18	9,01%	-2,76%

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Tabela 19 - Aplicação da distribuição de Gumbel a série de dados de precipitação de 4 horas

DADOS DE ENTRADA				GUMBEL					PRECIPITAÇÃO				ADERÊNCIA	
Ordem (m)	Ano	Precipitação diária máxima anual (x)	(x-xméd) ²	Frequência (%)	Período de retorno	Variável reduzida de Gumbel	(vg-vgmed) ²	Parâmetro K	RP	Parâmetro k precipitação	Pp	T	DN +	DN -
1	2014	93,2	1505,44	6,25%	16,00	2,74	4,96	2,18	3,83	3,25	2,14%	46,76	4,11%	2,14%
2	2008	65,4	121,00	12,50%	8,00	2,01	2,25	1,47	1,45	0,92	20,83%	4,80	8,33%	14,58%
3	2010	59	21,16	18,75%	5,33	1,57	1,12	1,04	0,91	0,39	33,23%	3,01	14,48%	20,73%
4	2011	56,2	3,24	25,00%	4,00	1,25	0,54	0,72	0,67	0,15	40,15%	2,49	15,15%	21,40%
5	2020	55,6	1,44	31,25%	3,20	0,98	0,22	0,46	0,62	0,10	41,74%	2,40	10,49%	16,74%
6	2013	55,2	0,64	37,50%	2,67	0,76	0,06	0,24	0,58	0,07	42,83%	2,33	5,33%	11,58%
7	2018	53,4	1,00	43,75%	2,29	0,55	0,00	0,04	0,43	-0,08	47,92%	2,09	4,17%	10,42%
8	2019	52	5,76	50,00%	2,00	0,37	0,02	-0,14	0,31	-0,20	52,07%	1,92	2,07%	8,32%
9	2015	50	19,36	56,25%	1,78	0,19	0,10	-0,32	0,14	-0,37	58,22%	1,72	1,97%	8,22%
10	2017	49	29,16	62,50%	1,60	0,02	0,24	-0,48	0,05	-0,45	61,35%	1,63	1,15%	5,10%
11	2012	48	40,96	68,75%	1,45	-0,15	0,44	-0,65	-0,04	-0,54	64,50%	1,55	4,25%	2,00%
12	2009	46,6	60,84	75,00%	1,33	-0,33	0,70	-0,82	-0,15	-0,65	68,89%	1,45	6,11%	0,14%
13	2022	45,4	81,00	81,25%	1,23	-0,52	1,06	-1,01	-0,26	-0,75	72,58%	1,38	8,67%	-2,42%
14	2016	44,8	92,16	87,50%	1,14	-0,73	1,55	-1,22	-0,31	-0,81	74,39%	1,34	13,11%	-6,86%
15	2021	42,2	148,84	93,75%	1,07	-1,02	2,35	-1,50	-0,53	-1,02	81,76%	1,22	11,99%	-5,74%

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Tabela 20 - Aplicação da distribuição de Gumbel a série de dados de precipitação de 6 horas

Ordem (m)	DADOS DE ENTRADA			GUMBEL					PRECIPITAÇÃO				ADERÊNCIA	
	Ano	Precipitação diária máxima anual (x)	$(x-x_{méd})^2$	Frequência (%)	Período de retorno	Variável reduzida de Gumbel	$(vg-vg_{med})^2$	Parâmetro K	RP	Parâmetro k precipitação	Pp	T	DN +	DN -
1	2014	93,6	1121,80	6,25%	16,00	2,74	4,96	2,18	3,62	3,05	2,64%	37,94	3,61%	2,64%
2	2008	76,6	272,03	12,50%	8,00	2,01	2,25	1,47	2,04	1,50	12,14%	8,23	0,36%	5,89%
3	2015	63,4	10,85	18,75%	5,33	1,57	1,12	1,04	0,82	0,30	35,66%	2,80	16,91%	23,16%
4	2019	62,4	5,26	25,00%	4,00	1,25	0,54	0,72	0,73	0,21	38,37%	2,61	13,37%	19,62%
5	2020	62	3,58	31,25%	3,20	0,98	0,22	0,46	0,69	0,17	39,48%	2,53	8,23%	14,48%
6	2010	59,2	0,82	37,50%	2,67	0,76	0,06	0,24	0,43	-0,08	47,87%	2,09	10,37%	16,62%
7	2022	57	9,65	43,75%	2,29	0,55	0,00	0,04	0,22	-0,28	55,02%	1,82	11,27%	17,52%
8	2011	56,2	15,26	50,00%	2,00	0,37	0,02	-0,14	0,15	-0,36	57,71%	1,73	7,71%	13,96%
9	2012	56	16,86	56,25%	1,78	0,19	0,10	-0,32	0,13	-0,37	58,39%	1,71	2,14%	8,39%
10	2013	55,2	24,08	62,50%	1,60	0,02	0,24	-0,48	0,06	-0,45	61,11%	1,64	1,39%	4,86%
11	2018	53,4	44,98	68,75%	1,45	-0,15	0,44	-0,65	-0,11	-0,61	67,25%	1,49	1,50%	4,75%
12	2016	52,2	62,52	75,00%	1,33	-0,33	0,70	-0,82	-0,22	-0,72	71,28%	1,40	3,72%	2,53%
13	2021	52	65,72	81,25%	1,23	-0,52	1,06	-1,01	-0,24	-0,74	71,95%	1,39	9,30%	-3,05%
14	2017	51,4	75,81	87,50%	1,14	-0,73	1,55	-1,22	-0,30	-0,79	73,92%	1,35	13,58%	-7,33%
15	2009	51	82,93	93,75%	1,07	-1,02	2,35	-1,50	-0,33	-0,83	75,21%	1,33	18,54%	-12,29%

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Tabela 21 - Aplicação da distribuição de Gumbel a série de dados de precipitação de 8 horas

Ordem (m)	DADOS DE ENTRADA			GUMBEL					PRECIPITAÇÃO				ADERÊNCIA	
	Ano	Precipitação diária máxima anual (x)	$(x - x_{med})^2$	Frequência (%)	Período de retorno	Variável reduzida de Gumbel	$(vg - vg_{med})^2$	Parâmetro K	RP	Parâmetro k precipitação	Pp	T	DN +	DN -
1	2014	93,6	823,31	6,25%	16,00	2,74	4,96	2,18	3,11	2,55	4,34%	23,03	1,91%	4,34%
2	2015	77,4	156,08	12,50%	8,00	2,01	2,25	1,47	1,65	1,11	17,54%	5,70	5,04%	11,29%
3	2008	77,4	156,08	18,75%	5,33	1,57	1,12	1,04	1,65	1,11	17,54%	5,70	1,21%	5,04%
4	2020	74,4	90,12	25,00%	4,00	1,25	0,54	0,72	1,37	0,84	22,37%	4,47	2,63%	3,62%
5	2016	68,4	12,20	31,25%	3,20	0,98	0,22	0,46	0,83	0,31	35,35%	2,83	4,10%	10,35%
6	2019	67,2	5,26	37,50%	2,67	0,76	0,06	0,24	0,72	0,20	38,51%	2,60	1,01%	7,26%
7	2022	63,8	1,22	43,75%	2,29	0,55	0,00	0,04	0,41	-0,10	48,42%	2,07	4,67%	10,92%
8	2013	61,8	9,65	50,00%	2,00	0,37	0,02	-0,14	0,23	-0,28	54,78%	1,83	4,78%	11,03%
9	2010	59,2	32,57	56,25%	1,78	0,19	0,10	-0,32	0,00	-0,51	63,38%	1,58	7,13%	13,38%
10	2012	59	34,89	62,50%	1,60	0,02	0,24	-0,48	-0,02	-0,52	64,05%	1,56	1,55%	7,80%
11	2017	56,4	72,36	68,75%	1,45	-0,15	0,44	-0,65	-0,26	-0,76	72,61%	1,38	3,86%	10,11%
12	2011	56,2	75,81	75,00%	1,33	-0,33	0,70	-0,82	-0,28	-0,77	73,25%	1,37	1,75%	4,50%
13	2018	53,4	132,40	81,25%	1,23	-0,52	1,06	-1,01	-0,53	-1,02	81,73%	1,22	0,48%	6,73%
14	2009	52,8	146,57	87,50%	1,14	-0,73	1,55	-1,22	-0,59	-1,08	83,39%	1,20	4,11%	2,14%
15	2021	52,6	151,45	93,75%	1,07	-1,02	2,35	-1,50	-0,60	-1,09	83,92%	1,19	9,83%	-3,58%

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Tabela 22 - Aplicação da distribuição de Gumbel a série de dados de precipitação de 10 horas

DADOS DE ENTRADA				GUMBEL					PRECIPITAÇÃO				ADERÊNCIA	
Ordem (m)	Ano	Precipitação diária máxima anual (x)	(x-xméd) ²	Frequência (%)	Período de retorno	Variável reduzida de Gumbel	(vg-vgmed) ²	Parâmetro K	RP	Parâmetro k precipitação	Pp	T	DN +	DN -
1	2015	95,2	589,52	6,25%	16,00	2,74	4,96	2,18	2,52	1,97	7,72%	12,95	1,47%	7,72%
2	2014	93,6	514,38	12,50%	8,00	2,01	2,25	1,47	2,39	1,84	8,77%	11,41	3,73%	2,52%
3	2020	85,8	221,41	18,75%	5,33	1,57	1,12	1,04	1,74	1,21	16,04%	6,23	2,71%	3,54%
4	2016	79,4	71,91	25,00%	4,00	1,25	0,54	0,72	1,21	0,69	25,69%	3,89	0,69%	6,94%
5	2008	78,8	62,09	31,25%	3,20	0,98	0,22	0,46	1,16	0,64	26,80%	3,73	4,45%	1,80%
6	2022	70,8	0,01	37,50%	2,67	0,76	0,06	0,24	0,50	-0,01	45,38%	2,20	7,88%	14,13%
7	2013	69	3,69	43,75%	2,29	0,55	0,00	0,04	0,35	-0,16	50,43%	1,98	6,68%	12,93%
8	2019	68	8,53	50,00%	2,00	0,37	0,02	-0,14	0,27	-0,24	53,34%	1,87	3,34%	9,59%
9	2009	65,6	28,30	56,25%	1,78	0,19	0,10	-0,32	0,07	-0,43	60,54%	1,65	4,29%	10,54%
10	2018	61,8	83,17	62,50%	1,60	0,02	0,24	-0,48	-0,24	-0,74	72,01%	1,39	9,51%	15,76%
11	2017	61,6	86,86	68,75%	1,45	-0,15	0,44	-0,65	-0,26	-0,76	72,59%	1,38	3,84%	10,09%
12	2010	59,2	137,36	75,00%	1,33	-0,33	0,70	-0,82	-0,46	-0,95	79,38%	1,26	4,38%	10,63%
13	2012	59	142,09	81,25%	1,23	-0,52	1,06	-1,01	-0,47	-0,97	79,91%	1,25	1,34%	4,91%
14	2011	58,4	156,75	87,50%	1,14	-0,73	1,55	-1,22	-0,52	-1,01	81,49%	1,23	6,01%	0,24%
15	2021	57,6	177,42	93,75%	1,07	-1,02	2,35	-1,50	-0,59	-1,08	83,50%	1,20	10,25%	-4,00%

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Tabela 23 - Aplicação da distribuição de Gumbel a série de dados de precipitação de 12 horas

DADOS DE ENTRADA				GUMBEL					PRECIPITAÇÃO				ADERÊNCIA	
Ordem (m)	Ano	Precipitação diária máxima anual (x)	(x-xméd) ²	Frequência (%)	Período de retorno	Variável reduzida de Gumbel	(vg-vgmed) ²	Parâmetro K	RP	Parâmetro k precipitação	Pp	T	DN +	DN -
1	2015	104	884,07	6,25%	16,00	2,74	4,96	2,18	2,64	2,08	6,89%	14,52	0,64%	6,89%
2	2020	93,8	381,55	12,50%	8,00	2,01	2,25	1,47	1,91	1,37	13,76%	7,27	1,26%	7,51%
3	2014	93,6	373,78	18,75%	5,33	1,57	1,12	1,04	1,90	1,36	13,94%	7,17	4,81%	1,44%
4	2008	88,6	205,44	25,00%	4,00	1,25	0,54	0,72	1,54	1,00	19,32%	5,17	5,68%	0,57%
5	2016	83,4	83,42	31,25%	3,20	0,98	0,22	0,46	1,17	0,64	26,77%	3,74	4,48%	1,77%
6	2013	73,6	0,44	37,50%	2,67	0,76	0,06	0,24	0,47	-0,05	46,64%	2,14	9,14%	15,39%
7	2022	70,8	12,02	43,75%	2,29	0,55	0,00	0,04	0,26	-0,24	53,58%	1,87	9,83%	16,08%
8	2009	69,2	25,67	50,00%	2,00	0,37	0,02	-0,14	0,15	-0,36	57,70%	1,73	7,70%	13,95%
9	2011	68,2	36,80	56,25%	1,78	0,19	0,10	-0,32	0,08	-0,43	60,32%	1,66	4,07%	10,32%
10	2019	68	39,27	62,50%	1,60	0,02	0,24	-0,48	0,06	-0,44	60,84%	1,64	1,66%	4,59%
11	2017	62,2	145,60	68,75%	1,45	-0,15	0,44	-0,65	-0,35	-0,85	75,82%	1,32	7,07%	13,32%
12	2018	61,8	155,42	75,00%	1,33	-0,33	0,70	-0,82	-0,38	-0,87	76,80%	1,30	1,80%	8,05%
13	2012	60	203,54	81,25%	1,23	-0,52	1,06	-1,01	-0,51	-1,00	81,02%	1,23	0,23%	6,02%
14	2010	59,2	227,00	87,50%	1,14	-0,73	1,55	-1,22	-0,57	-1,06	82,79%	1,21	4,71%	1,54%
15	2021	57,6	277,78	93,75%	1,07	-1,02	2,35	-1,50	-0,68	-1,17	86,10%	1,16	7,65%	-1,40%

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

APÊNDICE B – Quadros dos resultados relativos aos cálculos dos mínimos quadrados

Quadro 9 - Intensidade estimada com base nos parâmetros da equação do tipo Chen para precipitação desagregada

T (min)	TR2 i estimado	Erro	TR5 i estimado	Erro	TR10 i estimado	Erro	TR25 i estimado	Erro	TR50 i estimado	Erro	TR100 i estimado	Erro
1440	4,45293	0,34	5,14769	0,09	5,74440	0,06	6,64066	0,11	7,41043	0,24	8,26943	0,56
720	7,34330	0,59	8,48902	0,06	9,47305	0,02	10,95106	0,05	12,22049	0,21	13,63707	0,73
600	8,37033	0,58	9,67629	0,02	10,79795	0,00	12,48268	0,00	13,92965	0,10	15,54435	0,56
480	9,81952	0,59	11,35159	0,00	12,66744	0,03	14,64386	0,01	16,34135	0,02	18,23560	0,41
360	12,05096	0,84	13,93119	0,00	15,54607	0,07	17,97161	0,04	20,05485	0,02	22,37957	0,53
240	16,03794	2,02	18,54023	0,05	20,68938	0,00	23,91740	0,00	26,68986	0,30	29,78370	1,85
120	25,83637	2,91	29,86744	0,13	33,32961	0,88	38,52980	0,71	42,99610	0,03	47,98013	1,13
60	40,58310	2,57	46,91500	3,68	52,35330	9,04	60,52163	9,50	67,53718	4,77	75,36596	0,18
30	61,05973	11,36	70,58645	2,85	78,76870	10,01	91,05843	9,46	101,61375	2,47	113,39263	1,49
25	67,31517	18,66	77,81789	1,22	86,83839	6,93	100,38718	5,80	112,02387	0,43	125,00947	6,34
20	75,34043	27,55	87,09528	0,52	97,19120	5,55	112,35527	4,07	125,37928	0,00	139,91301	13,13
15	86,08133	28,27	99,51200	2,80	111,04725	13,38	128,37318	11,66	143,25395	1,46	159,85968	7,94
10	101,34366	62,22	117,15561	0,00	130,73606	3,98	151,13390	1,86	168,65306	2,22	188,20300	42,04
5	125,10754	55,10	144,62720	7,92	161,39211	33,06	186,57301	29,83	208,20019	5,30	232,33436	12,27
SOMA		213,6		19,36		83,03		73,13		17,57		89,15

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Quadro 10 - Intensidade estimada com base nos parâmetros da equação do tipo Chen para precipitação horária

T (min)	TR2 i estimado	Erro	TR5 i estimado	Erro	TR10 i estimado	Erro	TR25 i estimado	Erro	TR50 i estimado	Erro	TR100 i estimado	Erro
1440	2,82435	0,32	3,29027	0,92	3,69314	1,26	4,30238	1,52	4,82917	1,53	5,42046	1,38
720	5,47998	0,29	6,38399	0,91	7,16566	1,10	8,34774	0,94	9,36985	0,59	10,51712	0,19
600	6,49062	0,18	7,56134	0,52	8,48717	0,50	9,88726	0,20	11,09787	0,01	12,45671	0,18
480	7,95356	0,00	9,26562	0,04	10,40012	0,01	12,11578	0,09	13,59926	0,66	15,26438	2,30
360	10,25822	0,25	11,95047	0,03	13,41370	0,08	15,62650	0,62	17,53983	2,07	19,68744	5,44
240	14,41880	1,55	16,79741	0,10	18,85411	0,03	21,96438	0,27	24,65374	1,34	27,67239	4,56
120	24,15953	4,54	28,14501	0,71	31,59114	4,03	36,80258	6,86	41,30875	5,92	46,36667	2,77
60	36,35831	8,02	42,35617	0,10	47,54234	1,40	55,38517	0,98	62,16664	0,01	69,77843	4,39
SOMA		15,17		3,34		8,41		11,49		12,14		21,21

Fonte: Elaborado pela autora (2022).