

**UNIVERSIDADE DO EXTREMO SUL CATARINENSE - UNESC
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MESTRADO EM CIÊNCIAS
AMBIENTAIS**

GABRIEL DA SILVA SOUZA

**ESPACIALIZAÇÃO DOS PARÂMETROS DA EQUAÇÃO DE CHUVAS INTENSAS
PARA O ESTADO DE SANTA CATARINA**

CRICIÚMA, SC

2024

GABRIEL DA SILVA SOUZA

**ESPACIALIZAÇÃO DOS PARÂMETROS DA EQUAÇÃO DE CHUVAS INTENSAS
PARA O ESTADO DE SANTA CATARINA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Universidade do Extremo Sul Catarinense – UNESC, como requisito para obtenção do Título de Mestre em Ciências Ambientais.

Orientador: Prof. Dr. Álvaro José Back

CRICIÚMA, SC

2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

S729e Souza, Gabriel da Silva.

Especialização dos parâmetros da equação de chuvas intensas para o estado de Santa Catarina / Gabriel da Silva Souza. - 2024.

70 p. : il.

Dissertação (Mestrado) - Universidade do Extremo Sul Catarinense, Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Criciúma, 2024.

Orientação: Álvaro José Back.

1. Chuvas - Santa Catarina. 2. Precipitação (Meteorologia) - Santa Catarina. 3. Chuvas - Frequência da intensidade. 4. Krigagem. 5. Hidrologia. I. Título.

CDD 23. ed. 551.57728164

Bibliotecária Eliziane de Lucca Alosilla - CRB 14/1101
Biblioteca Central Prof. Eurico Back - UNESC



PARECER

Os membros da Comissão Examinadora homologada pelo Colegiado de Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais reuniram-se para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado apresentada pelo candidato **Gabriel da Silva Souza**, sob o título: **“ESPACIALIZAÇÃO DOS PARÂMETROS DA EQUAÇÃO DE CHUVAS INTENSAS PARA O ESTADO DE SANTA CATARINA”**, para obtenção do grau de **MESTRE EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS** no Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Universidade do Extremo Sul Catarinense – UNESC. Após haver analisado o referido trabalho e arguido o candidato, os membros são de parecer pela **“APROVAÇÃO”** da Dissertação.

Criciúma/SC, 04 de abril de 2024.

Prof. Dr. William de Oliveira Sant'Ana
Segundo Examinador

Prof. Dr. Carlyle Torres Bezerra de Menezes
Primeiro Examinador

Prof. Dr. Álvaro José Back
Presidente da Comissão e Orientador

Primeiramente a minha mãe, professora Adriana e meu pai Lauro, por me ensinarem os valores da vida e por nunca me deixar de acreditar em meus objetivos.

Dedico também aos professores e colegas que me ajudaram ao longo desta caminhada.

AGRADECIMENTOS

Aqui, venho lembrar todos aqueles que foram importantes para a conclusão de mais uma etapa desta grande caminhada rumo ao conhecimento, pois nada seria possível sem a participação dos mesmos.

À Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC) e Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais (PPGCA), por seu corpo docente, direção e administração e por ter me proporcionado todo o suporte necessário e ambiente de pesquisa, como cientista e pesquisador.

Ao meu orientador e professor, Dr. Álvaro José Back, pelas suas valiosas orientações, e pelo entusiasmo com que me guiaram. Por toda a paciência e empenho com que sempre me orientou, e em todos as demais publicações que produzimos ao longo mestrado.

Aos meus pais, Adriana e Lauro, pelo exemplo de vida que ambos representam a mim, e aos meus irmãos; agradecer também pelo apoio e compreensão durante toda esta caminhada.

Aos meus irmãos Gustavo e Guilherme, companheiros de vida, que estiveram presentes durante toda esta caminhada.

Aos integrantes da banca, professores Dr. Carlyle Torres Bezerra de Menezes e, Dr. William de Oliveira Sant' Ana, por aceitarem o desafio de participar da construção e defesa do presente estudo.

À CAPES (Coordenação de aperfeiçoamento de Pessoa de Nível Superior), pela concessão de bolsa na modalidade taxa de mestrado, fundamental na minha caminhada, possibilitando a realização deste estudo e de um sonho.

Meu muito obrigado.

“A ciência é a “vela” que ilumina a escuridão da ignorância”.

Carl Sagan

RESUMO

As chuvas intensas são eventos extremos de ordem natural, difíceis de prever, afetando os ambientes urbanos e rurais e as diversas atividades humanas. Eventos como os de cheia, inundação, deslizamento e movimento de massa estão fortemente ligados aos eventos de chuvas intensas, causando perdas materiais e humanas. Muitos destes eventos em áreas urbanas e rurais podem ser mitigados através do dimensionamento de estruturas de drenagem com a função de amenizar possíveis danos. A equação de chuvas intensas é de grande importância em vários métodos de dimensionamento de obras hidráulicas, no entanto, a inexistência destas equações para algumas localidades pode dificultar o dimensionamento e aplicação de métodos mais adequados. Através de aplicações matemáticas e estatísticas as equações de intensidade-duração-frequência são estimadas apenas para locais que possuem estação pluviométrica, assim o presente estudo propõe a predição dos parâmetros da equação para estes locais desprovidos de estações. No desenvolvimento do trabalho foram usadas equações IDF estabelecidas para 176 estações pluviométricas localizadas no território catarinense e através da geoestatística, pelo método de krigagem foram definidos através da técnica de interpolação os valores dos parâmetros "K, m, b e n". A validação do método foi baseada na comparação entre as intensidades obtidas com as equações IDF e os valores de intensidade calculados com os parâmetros interpolados. Obteve-se assim resultados satisfatórios de acordo com a literatura, demonstrando o ótimo desempenho do método aplicado e encontrando erros percentuais menores que 10% para a maioria das comparações.

Palavras-Chave: hidrologia, geoprocessamento, krigagem, equação IDF, dimensionamento.

ABSTRACT

Intense rains are extreme natural events, difficult to predict, affecting urban and rural environments and various human activities. Events such as floods, landslides and mass movement are strongly linked to intense rainfall events, causing material and human losses. Many of these events in urban and rural areas can be mitigated through the design of drainage structures to mitigate possible damage. The intense rainfall equation is of great importance in several methods for sizing hydraulic works, however, the lack of these equations for some locations can make it difficult to design and apply more appropriate methods. Through mathematical and statistical applications, the intensity-duration-frequency equations are estimated only for locations that have a rainfall station, so the present study proposes the prediction of the equation parameters for these locations without stations. In developing the work, IDF equations established for 176 rainfall stations located in the Santa Catarina territory were used and through geostatistics, using the Kriging method, the values of the parameters "K, m, b and n" were defined using the interpolation technique. Validation of the method was based on the comparison between the intensities obtained with the IDF equations and the intensity values calculated with the interpolated parameters. Satisfactory results were thus obtained in accordance with the literature, demonstrating the excellent performance of the applied method and finding percentage errors of less than 10% for most comparisons.

Keywords: hydrology, geoprocessing, kriging, IDF equation, sizing.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Diagrama de representação do conceito de geoprocessamento.	23
Figura 2 - Localização e classificação climática de Köppen da área de estudo (Estado de Santa Catarina).	30
Figura 3 - Localização das estações pluviométricas selecionadas.	32
Figura 4 - Espacialização dos parâmetros “K, m, b e n”.....	44
Figura 5 - Box Plot com erros médio percentuais da intensidade da chuva com T10 anos estimadas com as equações IDF originais e interpoladas das estações pluviométricas de Santa Catarina.....	53
Figura 6 - Intensidades interpoladas para o período de retorno de 10 anos.	54
Figura 7 - Box Plot com erros médios percentuais da intensidade da chuva com T50 anos estimadas com as equações IDF originais e interpoladas das estações pluviométricas de Santa Catarina.....	55
Figura 8 - Intensidades interpoladas para o período de retorno de 50 anos.	55
Figura 9 - Box Plot com erros médios percentuais da intensidade da chuva com T100 anos estimadas com as equações IDF originais e interpoladas das estações pluviométricas de Santa Catarina.....	57
Figura 10 - Intensidades interpoladas para o período de retorno de 50 anos	58

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Estações pluviométricas selecionadas para o estado de Santa Catarina.	33
Tabela 2 - Parâmetros das estações pluviométricas selecionadas.	38
Tabela 3 - Erros médios percentuais absolutos para as intensidades preditas.	46

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA - Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico.

CAD - Desenho Assistido por Computador.

EPAGRI - Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina.

GPI – Interpolação Polinomial Global.

IDF – Intensidade-Duração-Frequência.

IDW - Ponderação do Inverso da Distância.

LPI - Interpolação Polinomial Local.

OMM - Organização Mundial de Meteorologia.

RBF – Funções de Rede de Base Radial.

REMQ - Raiz do Erro Médio Quadrático.

RMSE - Root Mean Square Error.

SIG – Sistema de Informação Geográfica.

UACA - Unidade Acadêmica de Ciências Atmosférica – UFCG.

UTM - Universal Transversa de Mercator.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 OBJETIVO	17
1.1.1 Objetivo geral	17
1.1.2 Objetivos específicos	17
2 REFERENCIAL TEÓRICO	18
2.1 CHUVAS INTENSAS	18
2.1.1 Caracterização de chuvas intensas	19
2.2 GEOPROCESSAMENTO	22
2.3 ESPACIALIZAÇÃO E INTERPOLAÇÃO GEOESTATÍSTICA	25
2.3.1 Krigagem	26
2.4 OBTENÇÃO DAS EQUAÇÕES DE CHUVAS INTENSAS	28
3 MATERIAIS E MÉTODOS	30
3.1 ÁREA DE ESTUDO	30
3.2 METODOLOGIA	31
3.2.1 Seleção das equações de chuvas intensas para Santa Catarina	31
3.2.2 Análise das equações de chuvas intensas para Santa Catarina	33
3.2.3 Espacialização das equações de chuvas intensas	36
3.2.4 Aplicação do método geoestatístico de krigagem	37
3.2.6 Validação dos parâmetros interpolados	40
3.2.7 Validação das intensidades através dos parâmetros interpolados	41
4 RESULTADOS	43
4.1 VALIDAÇÃO DOS PARÂMETROS INTERPOLADOS	43
4.2 VALIDAÇÃO ATRAVÉS DAS INTENSIDADES	46
5 CONCLUSÕES	59
REFERÊNCIAS	61

1 INTRODUÇÃO

As chuvas intensas são eventos extremos de ordem natural e ocorrem de forma aleatória afetando o ambiente e as diversas atividades humanas. Em áreas urbanizadas as chuvas intensas podem levar a riscos de alagamentos, inundações, movimento de massas e comprometer o funcionamento de estruturas viárias. Já em áreas rurais além das inundações, alagamentos e movimentos de massa, as chuvas intensas são responsáveis pelo processo de erosão de solo (Back, 2022).

Os eventos de cheias, inundações, deslizamentos e diversas tipologias de movimentos de massa tem sido cada vez mais recorrentes em áreas urbanas causando grandes perdas econômicas e mortes, além de deixar pessoas desabrigadas e facilitando a proliferação de doenças de veiculação hídrica. Muito disso se deve ao processo desenfreado de urbanização e ocupação de áreas de risco (Rabelo *et al.*, 2017).

Para a engenharia, muitos destes problemas estão associados ao mau dimensionamento de estruturas hidráulicas, bem como a inexistência destas obras em muitos locais. Atualmente o crescente avanço da urbanização e até mesmo o de obras de conservação do solo em áreas rurais, requer um olhar mais criterioso com relação ao dimensionamento destas estruturas hidráulicas, que deve se fundamentar no uso das equações de intensidade-duração-frequência (IDF) indicando quando determinado evento extremo possa vir a ocorrer.

De acordo com Back (2022), os prejuízos econômicos, os problemas sociais e danos ao ambiente em função de erosão hídrica são imensuráveis e desastrosos quando ocorrem em função do impreciso dimensionamento de obras hidráulicas destinados à sua mitigação.

Nesse contexto deve-se destacar a importância da cobertura e dos tipos de uso do solo sobre infiltração da água no solo e escoamento em ambientes urbanos e rurais. Segundo Pruski *et al.* (2003), quanto maior for a cobertura vegetal, a rugosidade da superfície e a evapotranspiração, maior será a infiltração de água no solo quando ocorrer uma chuva, logo, menor será o escoamento superficial. Em áreas urbanas o volume que antes da impermeabilização do solo era retido pela vegetação, passa a ter uma alta taxa de escoamento até encontrar um canal de drenagem, resultando no aumento significativo da vazão dos rios e causando picos de escoamento em galerias pluviais (Tucci, 1995; Righetto, 1998). Alves Sobrinho *et al.* (2011) ressaltam que as chuvas intensas causam grandes problemas

relacionados ao escoamento superficial, resultando em prejuízos em áreas urbanas e rurais.

Para o dimensionamento de estruturas hidráulicas utiliza-se a equação de chuvas intensas, expressa pela equação de intensidade-duração-frequência (IDF). Estas equações são desenvolvidas através da análise de séries históricas de pluviômetros de determinada localidade, estes por sua vez encontram-se distribuídos praticamente por todo território brasileiro, possibilitando através da estatística e probabilidade estimar quando determinado evento extremo pode ocorrer em média, baseado na duração da chuva (em minutos) e frequência (período de retorno) em anos.

Segundo Tucci (2004) para o dimensionamento de obras de drenagem, como vertedores de barragens, drenagens em geral, galerias pluviais, bueiros, dentre outros, é necessário o conhecimento das três grandezas que caracterizam uma chuva máxima, a intensidade, duração e frequência.

No Brasil existe uma grande quantidade de equações já desenvolvidas para algumas localidades através de estudos publicados, porém ainda assim existem localidades desprovidas destas equações, sendo pela falta ou falha dos registros destes dados, sendo assim uma das possíveis soluções a utilização de softwares de geoprocessamento como metodologia para a obtenção destas informações de forma estimada através de interpoladores espaciais.

A interpolação de dados espaciais é fundamental sempre que há necessidade de se estimar uma variável numérica, para uma determinada posição geográfica em que não exista a informação. Assim é necessário que exista na área de interesse pontos amostrais para executar a predição destas informações para locais desprovidos, através de alguma função matemática onde as variáveis independentes são as amostras de vizinhança (Burrough e Macdonnel, 2000).

Os softwares de geoprocessamento dispõem de diversos métodos de interpolação espacial, possibilitando estimar as equações de chuvas intensas, como a krigagem, Ponderação do Inverso da Distância (IDW), Spline etc., em suma estes métodos tem como objetivo especializar e interpolar qualquer variável e seu peso (z) de forma pontual, estimando através dos dados existentes para locais desprovidos. Assim como já estudados para outras localidades e estados, Santa Catarina possui uma ampla quantidade de equações de chuvas intensas suficientes para fundamentar o desenvolvimento do estudo.

Para a interpolação de dados climáticos, vários autores sugerem a técnica de krigagem como a mais eficiente em comparação com outras. Segundo Camargo *et al.* (2004), a krigagem é conhecida como um modelo estatístico de efeitos locais e globais. Aonde cada variável estudada de uma superfície é estimada a partir da interpolação das amostras mais próximas, utilizando um estimador estatístico. Estes estimadores tem propriedades de não serem tendenciosos minimizando possíveis erros inferenciais.

No estudo foram espacializados e interpolados os parâmetros “K, m, b e n” das equações de chuvas intensas das estações pluviométricas do estado de Santa Catarina estudadas por Back (2022), além de validar o método de interpolação espacial utilizado, neste estudo, a krigagem.

1.1 OBJETIVO

1.1.1 Objetivo geral

Propor, através do modelo geoestatístico de krigagem, a espacialização e interpolação dos parâmetros “K, m, b e n”, para a equação IDF intensidade-duração-frequência para locais desprovidos destes dados no estado de Santa Catarina.

1.1.2 Objetivos específicos

- a) Analisar e selecionar os parâmetros das equações IDF para o estado de Santa Catarina existentes no trabalho de Back (2022), com mais de trinta anos de série de dados;
- b) Espacializar e interpolar os parâmetros através do modelo geoestatístico da krigagem;
- c) Aplicar a equação de chuvas intensas com os parâmetros preditos para os períodos de retorno de 10, 50 e 100 anos com durações de 10, 60 e 1440 minutos;
- d) Validar o modelo utilizado através do erro percentual absoluto e RMSE (Root Mean Square Error), raiz quadrada do erro médio;
- e) Análise através de mapas.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 CHUVAS INTENSAS

A água é um recurso natural e fundamental para a existência de vida, demandando uma contínua preocupação por parte da sociedade principalmente em função do crescimento populacional e poluição destes recursos. No processo que compreende o ciclo hidrológico, a precipitação é considerada uma das mais importantes variáveis no estudo da climatologia, sendo sua escassez ou excesso um problema recorrente afetando não só o ambiente, mas também a sociedade (Gonçalves *et al.*, 2018).

Por isso a importância do conhecimento desta variável climatológica, dentre os quais a precipitação é um dos eventos hidrológicos que contribui para o ciclo hidrológico. Para Bertoni e Tucci (2002) a precipitação é entendida como toda água proveniente da atmosfera que em certo momento atinge a superfície terrestre, seja ela neblina, chuva, granizo, saraiva, orvalho, geada ou neve, todas formas de precipitação sendo a única diferença entre elas o estado em que a água se encontra.

Assim, as chuvas intensas ocorrem como fenômeno natural e imprevisível que afeta o ambiente de forma distinta. No ambiente rural é extremamente importante o conhecimento da intensidade de uma chuva, pois interfere diretamente no processo erosivo de solo, bem como, inundações de lavouras e pastagens. Em áreas urbanas os principais problemas são as inundações, enchentes e movimento de massa (Back, 2022; Reyes *et al.*, 1993).

Em áreas rurais de produção agrícola, o excesso de chuvas causa problemas de erosão e perdas de solo. Segundo Alves Sobrinho *et al.* (2011) e Almeida *et al.* (2012), os problemas relacionados a erosão além de degradar o solo também reduz a produtividade e a produção das culturas, resultando em contaminação e assoreamento dos corpos hídricos. Como solução são recomendadas práticas de conservação do solo para mitigação do processo de ação da chuva sobre o solo, tal como o cultivo e terraceamento (Back *et al.*, 2021).

Para Araújo *et al.* (2018) as chuvas intensas também são conhecidas por chuvas máximas, que possuem uma distribuição irregular temporalmente e espacialmente, causando grandes prejuízos, como erosão de solo, inundações e problemas em reservatórios.

O uso e conhecimento do valor de uma chuva intensa é fundamental para estimar vazões máximas e no dimensionamento de estruturas de engenharia e hidráulicas, como pontes, bueiros, vertedores de barragens (Lima, 2021; Mamun *et al.*, 2018). Tornando necessário o estudo e conhecimento de eventos extremos para avaliar o potencial risco que desastres naturais podem causar (Mouri *et al.*, 2013).

2.1.1 Caracterização de chuvas intensas

A intensidade da precipitação tende a crescer à medida que aumenta o período de retorno, sendo diretamente proporcionais, porém diminui à medida que há o aumento da duração do evento, neste caso inversamente proporcional (Almeida, 1991).

Desta forma, as chuvas intensas são caracterizadas pela relação três grandezas: intensidade, duração e frequência. A determinação da relação entre estas três variáveis (IDF) deve ser estimada através do estudo de longas séries de chuvas intensas durante um período suficiente de eventos extremos do local (Bertoni e Tucci, 2002).

Chen (1983), baseou-se em equações relacionados a precipitação de outros diversos autores e propôs um desenvolvimento matemático, compondo uma relação entre intensidade, duração e frequência de precipitação. As chuvas intensas são caracterizadas por intermédio de equações empíricas, chamadas de equações de intensidade-duração-frequência, ou equações IDF (Cecílio *et al.*, 2009). Sendo de grande importância técnica o seu conhecimento para o dimensionamento de obras hidráulicas (Silva *et al.*, 2002).

Desta forma muitos estudos basearam-se na equação de chuvas intensas e seus parâmetros. Pruski *et al.* (1997), baseado na equação IDF, desenvolveu a metodologia para estimar o escoamento superficial, mostrando estas aplicações no dimensionamento de obras para o controle de erosão de estradas rurais e terraços. Silveira (2016) elaborou o método do hidrograma da cidade de Chicago, baseado nos parâmetros da equação IDF.

Chow *et al.* (1988), descreveu em três etapas a obtenção de equações IDF. Na primeira etapa deve-se ajustar uma distribuição de probabilidade para todas as séries históricas observadas para uma determinada duração. A segunda etapa consiste em estimar as intensidades de chuva baseada em cada duração e período

de retorno, variando de 2 a 100 anos normalmente. Na terceira etapa são ajustados e estabelecidos os parâmetros da equação IDF.

Para possibilitar este procedimento é necessário longas series históricas de dados de chuva de curva duração. As primeiras equações IDF eram obtidas através de leituras dos pluviogramas tornando estas análises muito trabalhosas onde muitas das equações foram ajustadas para uma chuva com duração de até 120 minutos (Back e Cadorin, 2021). Ainda segundo os autores, com o avanço dos meios computacionais estes procedimentos passaram a ser mais fáceis de trabalhar, porem o processo de ajuste das equações ainda requer métodos de otimização bem como do objetivo atribuído.

Para fins práticos as chuvas intensas podem ser representadas pelas curvas IDF ou pelas equações IDF (Equação 1). Para a engenharia estas equações servem de ferramenta para os trabalhos de dimensionamento de estruturas hidráulicas (Koutsoyiannis *et al.*, 1998). Estas relações podem ser representadas através de gráficos, assim chamadas de curvas IDF ou equações IDF quando por meio de equações (Back *et al.*, 2023). A representação das curvas IDF foram apresentadas inicialmente por Sherman (1931) e Bernard (1932), e assim utilizada até os dias de hoje (Bezak *et al.*, 2018). Ewea *et al.* (2017), também ressaltam que estas relações são fundamentais para quaisquer medidas de mitigação de inundações, projetos de engenharia hídrica e de recursos hídricos.

No Brasil existem diversos estudo envolvendo as equações de chuvas intensas para várias localidades, como nos estados da Bahia, Espirito Santo, Minas Gerais, Paraná, Rio de Janeiro e São Paulo (Cecílio e Pruski, 2003).

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

onde “i” é a intensidade em mm/h, “T” é o período de retorno em anos, “t” é o tempo de duração da chuva em minutos e “K, m, b, n” são os parâmetros para a equação IDF, determinados para cada estação pluviométrica.

Os parâmetros aplicados na equação de chuvas intensas são obtidos através do método de regressão não-linear, baseado em registros extraídos de pluviogramas (Santos *et al.*, 2010).

Para determinação das equações IDF faz-se necessário a existência dos dados de precipitação obtidos através de registros coletados de pluviômetros, que correspondem a chuva de um dia. No Brasil o estudo pioneiro para a definição da

equação é o trabalho apresentado por Pfafstetter (1958), baseado em 98 postos pluviométricos espalhados pelo país, o resultado deste estudo tem sido usado até os dias de hoje. Da mesma forma, Back (2022) ajustou as equações IDF de 224 estações pluviométricas para o estado de Santa Catarina, através das relações de duração para Santa Catarina e CETESB (1986).

O uso destas relações remonta a década de 1930 (Bernard, 1932), desde então tem sido desenvolvido diversas relações o longo dos anos para diversos locais do mundo. Desde a década de 1960, as relações IDF vem sendo estudadas em vários países, estes estudos tem sido desenvolvidos com a finalidade de as intensidades de chuva ou totais de precipitação para vários períodos de retorno e durações (Bara *et al.*, 2009).

Estas relações foram estimadas principalmente através de análises estatísticas dos locais aonde possuem séries históricas de precipitação. Nas últimas décadas estas equações tem recebido uma atenção considerável na área de hidrologia aonde tem sido apresentado novos estudos de equações IDF (Bortolin *et al.*, 2020; Sobrinho *et al.*, 2014; Junior *et al.*, 2019; Back, 2022; Neto *et al.*, 2022).

Através de pesquisas bibliográficas Back e Cadorin (2021) realizaram o levantamento de mais de 3096 equações IDF existentes em estudos, ajustadas para várias localidades do Brasil, com o objetivo de avaliar a variação espacial das intensidades de chuvas no país.

Segundo Silva *et al.* (1999) e Oliveira *et al.* (2005), a determinação das equações de chuva intensa pode apresentar grande dificuldade, em função da baixa densidade de pluviógrafos e pelo curto período de registros disponível. Ainda ressaltam que os métodos para a obtenção dos dados passam por um exaustivo trabalho de análise, interpretação e tabulação de uma alta quantidade de pluviogramas, dificultando o desenvolvimento de novos trabalhos.

A ausência de longas series de dados dificultou a obtenção de novas equações IDF para locais com estações com series mais completas (Sobrinho *et al.*, 2014). Muitos autores então sugeriram a utilização da técnica de desagregação da chuva diária em chuvas de curta duração. Este método consiste em relacionar as chuvas com diferentes durações a chuva máxima de um dia (Aragão *et al.*, 2013; Rangel e Hartwig, 2017).

Existem outras metodologias que podem ser usadas também na obtenção de equações IDF, como as estimativas baseadas em analises de radar ou satélite

(Ombadi *et al.*, 2018; Sun *et al.*, 2019). Outra técnica consiste em modelos estocásticos de desagregação de chuva diária (Dame *et al.*, 2008; Khaliq e Cunnane, 1996).

No Brasil o método mais aplicado é a estimativa das chuvas de menor duração através da desagregação da chuva diária, sendo bastante aplicados os parâmetros de desagregação médios para o Brasil (CETESB, 1986), outro método bastante aplicado é de isozonas, dividindo o Brasil em oito regiões (Basso *et al.*, 2016; Santos, 2010).

Para o dimensionamento de obras de drenagem é necessário basear-se em um valor de intensidade de chuva específica para determinado tipo de obra, além disso deve-se destacar os riscos de falha estruturais e custo envolvido, esta chuva é conhecida como chuva de projeto (Cook *et al.*, 2020; Balbastre-Soldevila *et al.*, 2019). A chuva de projeto deve levar em conta a relação intensidade-duração-frequência (IDF) (Sun *et al.*, 2019). Outros autores usam a relação altura-duração-frequência denominada por relação DDF (Yamoat *et al.*, 2022).

Em áreas urbanas, para estudos em pequenas bacias e áreas de contribuição, a chuva de projeto deverá ser de curta duração, bem inferior a uma chuva com duas horas de duração (Back *et al.*, 2023). Para Namitha e Vinothkumar (2019) em projetos que envolvem grandes bacias e para áreas de drenagem rural, é necessário utilizar uma chuva com uma grande duração.

O dimensionamento de terraços deve ser feito baseado numa chuva de 24 horas (Asae, 2012). Griebeler *et al.* (2001) indicam para projetos de conservação do solo e drenagens em áreas agrícolas um período de retorno de 5 a 20 anos.

2.2 GEOPROCESSAMENTO

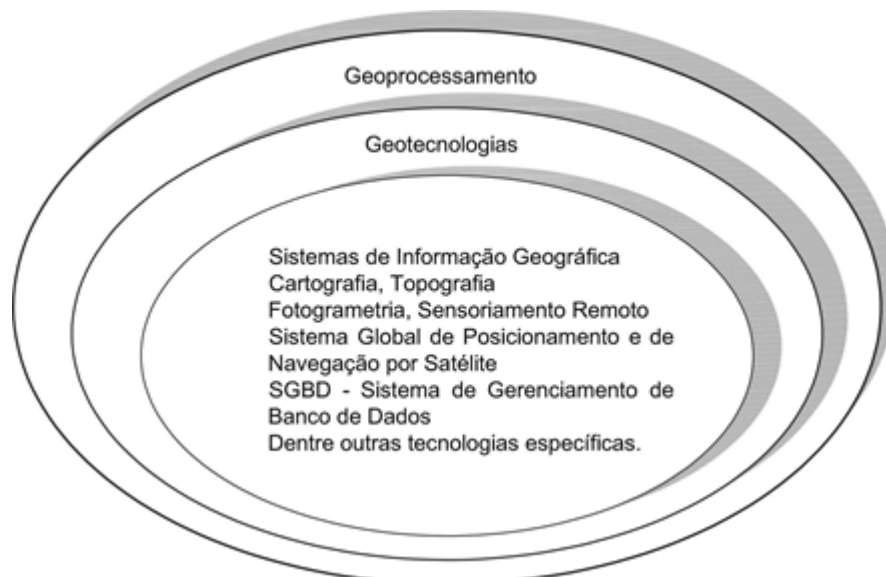
A coleta de informações e distribuição de informações no espaço geográfico sempre tiveram uma grande importância na organização e conhecimento do espaço. A pouco tempo atrás estes dados eram trabalhados de forma analógica dificultando e inviabilizando o cruzamento de dados. Na segunda metade do século 21, deu-se início aos avanços da tecnologia da informática, possibilitando o armazenamento, análise e manipulação de dados em ambiente computacional, sendo um importante avanço para o surgimento do geoprocessamento (Câmara *et al.*, 2001). Os autores ainda assinalam que o geoprocessamento é uma ciência que se resume a técnicas matemáticas e computacionais, com a finalidade de tratar informações geográficas.

Para Rodrigues (1993), o geoprocessamento é uma ciência que consiste em um conjunto de geotecnologias para coleta, tratamento, manipulação e visualização das informações espaciais de interesse.

Câmara e Davis (1996), se referindo ao geoprocessamento afirmaram que: “Se onde é importante para o seu negócio, então geoprocessamento é sua ferramenta de trabalho”. Os autores ainda ressaltam que normalmente a palavra “onde” está vinculada a algum problema ou desafio, e este logo precisara de solução, dentre os quais deve-se destacar o SIG como a principal ferramenta do geoprocessamento.

Muitas ferramentas estão inseridas dentro do universo do geoprocessamento. Estas ferramentas nos permitem analisar informações através da interação de várias fontes computacionais e o banco de dados. Isto torna a representação cartográfica e tabular de dados as ferramentas mais importantes deste processo automatizado (Câmara *et al.*, 2001).

Figura 1 - Diagrama de representação do conceito de geoprocessamento.



Fonte: Ladwig (2013).

Percebe-se o SIG é a ferramenta de maior importância no universo do geoprocessamento, porém necessita das outras ferramentas para que se possa realizar análises espaciais e contribuir na tomada de decisões.

O SIG pode ser definido como um conjunto de informações automatizadas, fornecendo ao usuário a capacidade de manipular e visualizar informações, onde a localização geográfica é um fator fundamental neste processo (Ozemoy *et al.*, 1981;

Câmara *et al.*, 1996). Este ainda executa suas ferramentas em base de dados, apresentando informações espaciais e possibilitando o cruzamento de várias informações através de dados alfanuméricos.

Dentro do geoprocessamento, o SIG é uma ferramenta constituída por uma série de *softwares*, tendo como objetivo final a representação de algum fenômeno especializado, baseando-se em dados com informações em casa amostra (Teixeira e Christofolletti, 1992). Uma das principais funções do SIG é relacionar os bancos de dados com dados especializados, possibilitando observar a mais variadas condições para dar suporte a tomada de decisões, e a partir dos produtos gerados constituir uma ferramenta e método analítico de grande importância (Vinh e Vinh, 2003).

Segundo Câmara *et al.* (1996), o SIG pode ser dividido em etapas distintas em seus procedimentos:

A fase de modelagem do mundo real engloba a modelagem de processos e de dados e consiste em selecionar fenômenos e entidades de interesse, abstraindo-os e generalizando-os. Diferentes conjuntos de fenômenos podem ser escolhidos para descrever distintas visões do mundo, para uma mesma região, em um dado instante. Um banco de dados geográfico é um repositório da informação coletada empiricamente sobre os fenômenos do mundo real. A criação de um banco de dados geográficos exige várias etapas: coleta dos dados relativos aos fenômenos de interesse identificados na modelagem; correção dos dados coletados (devido, por exemplo, a erros introduzidos pelos dispositivos de coleta); e georreferenciamento dos dados (associando a cada conjunto de dados informação sobre sua localização geográfica). Esta fase representa uma grande parcela do custo total do desenvolvimento de um SIG, que pode ser minimizado por uma modelagem adequada. A fase de operação refere-se tanto ao uso em si do SIG, quanto ao desenvolvimento de aplicações específicas por parte dos usuários a partir dos dados armazenados, reconstruindo visões (particulares) da realidade.

O SIG possibilita a elaboração de mapas temáticos e outros produtos resultantes da análise de dados reais e especializados, auxiliando numa melhor compreensão espacial, no planejamento urbano, monitoramento de cidades e áreas de interesse, cadastro para várias finalidades a partir de banco de dados, simulação de áreas de risco e enchentes, e em fatores que envolvem o transporte, linhas de transmissão, dentre outros (Oliveira *et al.*, 2004).

Existem diversos estudos desenvolvidos com a perspectiva da análise geográfica envolvendo inúmeras finalidades, porém sempre relacionando a espacialização e suas respectivas informações (Chen *et al.*, 2011; Stefanidis e Stathis, 2013; Santos, 2009; Fernández e Lutz, 2010). Estas informações são

manipuladas e organizadas através das técnicas do geoprocessamento, principalmente o SIG.

2.3 ESPACIALIZAÇÃO E INTERPOLAÇÃO GEOESTATÍSTICA

A representação de uma variável espacial climática normalmente pode ser expressada através de um mapa de isolinhas, porém é necessário que se aplique algum método de interpolação destes dados Silvestre *et al.* (2016), a aplicação da geoestatística é bastante indicada como o procedimento capaz de correlacionar as amostras especializadas,

A interpolação espacial envolve a tarefa de estimar valores até então desconhecidos, através de atributos conhecidos ou amostrados. Para definição deste processo é necessário definir relacionamento dos dados vizinhos e o melhor método para estimar os dados desconhecidos (Miranda, 2010).

Assim como no método de Bell (1969), locais desprovidos de postos pluviométricos podem ser estimados através de métodos de regionalização com auxílio de SIG (sistema de informação geográfica).

Para gerar superfícies espaciais que se aproximem de um fenômeno estudado de forma realista, é necessário estimar a sua variação espacial. Estes modelos tem como objetivo gerar superfícies através da interpolação, em suma representam a variável estudada em larga ou pequena escala (Camargo *et al.*, 2004).

Na geoestatística a krigagem se apresenta como um estimador de valores de variáveis distribuídas em determinado espaço, baseado na Teoria da Variáveis Regionalizadas, que supõe que a variação espacial de determinado fenômeno é estatisticamente homogênea em uma área (Almeida, 1991; Marcuzzo *et al.*, 2011).

A krigagem é conhecida como um modelo estatístico de efeitos locais e globais. Aonde cada variável estudada de uma superfície é estimada a partir da interpolação das amostras mais próximas, utilizando um estimador estatístico. Para isso estes procedimentos requerem que a variação local e global das amostras seja modelada através da Equação 2 (Camargo *et al.*, 2004):

$$Z(x) = \sum_{j=1}^p \beta_j f_j + \varepsilon(x) \quad (2)$$

nesse caso:

$$E\{Z(x)\} = \sum_{j=1}^p \beta_j f_j \quad (3)$$

onde β_j é um conjunto de parâmetros desconhecidos e f_j é um conjunto de funções básicas, em geral polinomiais.

Segundo Landim (2003), é um estimador fundamentado em técnicas de análise de regressão, seja ela linear ou não, atribuindo pesos para minimizar a variância estimada partindo de um modelo prévio, levando em consideração emprego do uso estatístico do cálculo de probabilidade entre os dados amostrados estudados da área.

Ainda de acordo com Camargo *et al.* (2004), estes estimadores tem propriedades de não serem tendenciosos, minimizando possíveis erros inferenciais. O que diferencia a krigagem de outros métodos de interpolação geoestatística é a estimação de uma matriz de covariância espacial que deverá determinar pesos atribuídos as amostras estudadas, o ajuste e tratamento das redundâncias dos dados, a vizinhança considerada no procedimento é inferencial e os erros são associados ao valor estimado, além de fornecer estimadores com propriedades eficientes e não tendenciosas.

Para Sivapalan e Blöschl (1998) a aplicação do método só será aceitável quando sua distribuição for temporal para uma efetiva caracterização de sua variação, e não avaliados de forma pontual.

2.3.1 Krigagem

Santos (2010) destaca que a krigagem é um preditor geoestatístico elaborado pelo matemático e geólogo Francês Georges François Paul Marie Matheron, em homenagem ao engenheiro de minas Sul-Africano Daniel Gerhardus Krige. Desde então muitos são os estudos nas mais diversas áreas do conhecimento, sendo utilizado os procedimentos de krigagem, subdivididos ao longo dos anos em:

a) krigagens lineares: krigagem simples, krigagem ordinária e krigagem universal;

b) krigagens não lineares: Esperança condicional e krigagem disjuntiva.

A krigagem está baseada no conceito de variável regionalizada, distribuída no espaço (ou tempo) cujo os valores são considerados como realizações de uma função aleatória (campo ou processo aleatório), permitindo incluir hipóteses

estatísticas em processos espaciais. Esta variação espacial de uma variável regionalizada é expressa pela relação de três componentes (Camargo *et al.*, 2004):

- a) um componente estrutural, associada a valores médios constantes ou uma tendência constante;
- b) um componente aleatório, espacialmente correlacionado;
- c) um ruído aleatório, ou erros residuais.

Para Castro *et al.* (2010), a krigagem é o método que apresenta o melhor desempenho na interpolação de precipitação em diversas localidades do país.

A krigagem ordinária, tem sido o preditor mais utilizado em estudos, comportando os métodos de krigagem simples e a krigagem média, e sendo um ótimo preditor de estimativa local e global. A hipótese sobre o comportamento da variável regionalizada é que a média do fenômeno, seja constante na área estudada, implicando na não variação em larga escala. Esta hipótese reforça o uso dos interpoladores de krigagem ordinária (Almeida, 1991; Camargo *et al.*, 2004).

Segundo Silvestre *et al.* (2016) a krigagem ordinária é um método geoestatístico de estimativa linear baseado em uma amostra regionalizada. Esta técnica consiste em estimar o valor de um ponto ou área baseado em um conjunto de amostras conhecidas, sendo que nas amostras conhecidas e preditas o valor interpolado é “Z”. A interpolação ainda carece da sua representação espacial neste processo, conhecido por peso e sua quantidade de amostras vizinhas.

As técnicas de krigagem levam vantagem quando comparado a outras técnicas de interpolação numérica, pois esta possibilita o uso e análise de variogramas, não levando apenas em consideração a distância entre os pontos amostrados, mas também o efeito pepita, amplitude e a presença de anisotropia. Na impossibilidade de aplicação da krigagem, existe a possibilidade de aplicação de outras técnicas, chamados de métodos determinísticos, como o IDW (Inverso da Distância Ponderado), GPI (Interpolação Polinomial Global), RBF (Funções de Rede de Base Radial) e LPI (Interpolação Polinomial Local) (Yamamoto e Landim, 2013).

Em se tratando de estudos climatológicos Alves *et al.* (2012), observaram o desempenho das diferentes técnicas de interpolação para a identificação de ilhas de calor. Foi analisado onze técnicas de interpolação, concluindo estatisticamente que a krigagem se apresentou como sendo um ótimo método de predição.

Em função do menor REMQ (Raiz do Erro Médio Quadrático) e outros parâmetros calculados, o método de krigagem é o mais eficiente na interpolação de variáveis climáticas (Castro *et al.*, 2010).

A método de krigagem tem sido constantemente utilizada em trabalhos que envolvem a área de hidrologia e afins (Almeida, 1991; Sampaio, 2011; Back *et al.*, 2021; Mello *et al.*, 2003; Silvestre *et al.*, 2016), já que este preditor possibilita a espacialização e interpolação de dados pontuais de uma área de estudo de forma local ou global.

2.4 OBTENÇÃO DAS EQUAÇÕES DE CHUVAS INTENSAS

Afim de atender os objetivos de estimar os parâmetros das equações IDF para locais desprovidos, alguns estudos (Almeida, 1991; Sampaio, 2011) propuseram a espacialização e interpolação dos parâmetros que compõem a (K, m, b e n) através dos métodos de krigagem, porém deve-se ressaltar estudos que utilizaram outros métodos geoestatísticos com a finalidade em compará-los.

No estudo de Tao *et al.* (2009) realizado na França, foi analisado algumas séries de precipitação para 30 localidades da região de Lyon, para isso foram aplicados os métodos geoestatísticos de krigagem, IDW e Spline. Através deste estudo eles concluíram que os métodos de krigagem e IDW tiveram bons resultados para interpolação de valores anuais. Porém ressaltou-se o interpolador geoestatístico de krigagem como melhor que o IDW.

Mello *et al.* (2003), avaliaram em seus estudos dois métodos de interpoladores geoestatísticos distintos para os parâmetros da equação e chuvas intensas do estado de São Paulo, foram utilizados os métodos de krigagem e IDW. A ideias dos autores não foi estudar o melhor método, mas acabaram concluindo que mesmo assim a krigagem apresou os melhores resultados, sendo mais precisos e aplicado quando possível.

Contudo vale ressaltar que alguns estudos tem evidenciado restrições com relação a aplicação dos parâmetros “K, m, b e n” das equações de chuvas intensas, principalmente quando se trata de períodos de retorno e durações longas (Fiorio *et al.*, 2012; Senna *et al.*, 2010; Cecílio *et al.*, 2009). Para isso alguns autores sugerem a interpolação das intensidades das chuvas máximas e não dos parâmetros das equações (Mello *et al.*, 2008; Santos *et al.*, 2009). Alguns estudos como o de Back *et al.* (2021), estudou a espacialização e interpolação destas intensidades para 162

equações IDF do estado de Santa Catarina, através o método geoestatístico de krigagem para o período de retorno de 10 anos e duração de 15 minutos.

Estudos de diversas áreas que derivam da necessidade aplicar métodos geoestatísticos para especializar e interpolar como os já mencionados, mostraram melhores resultados através da krigagem quando comparados a outros métodos (Assad *et al.*, 2003; Ataíde *et al.*, 2020).

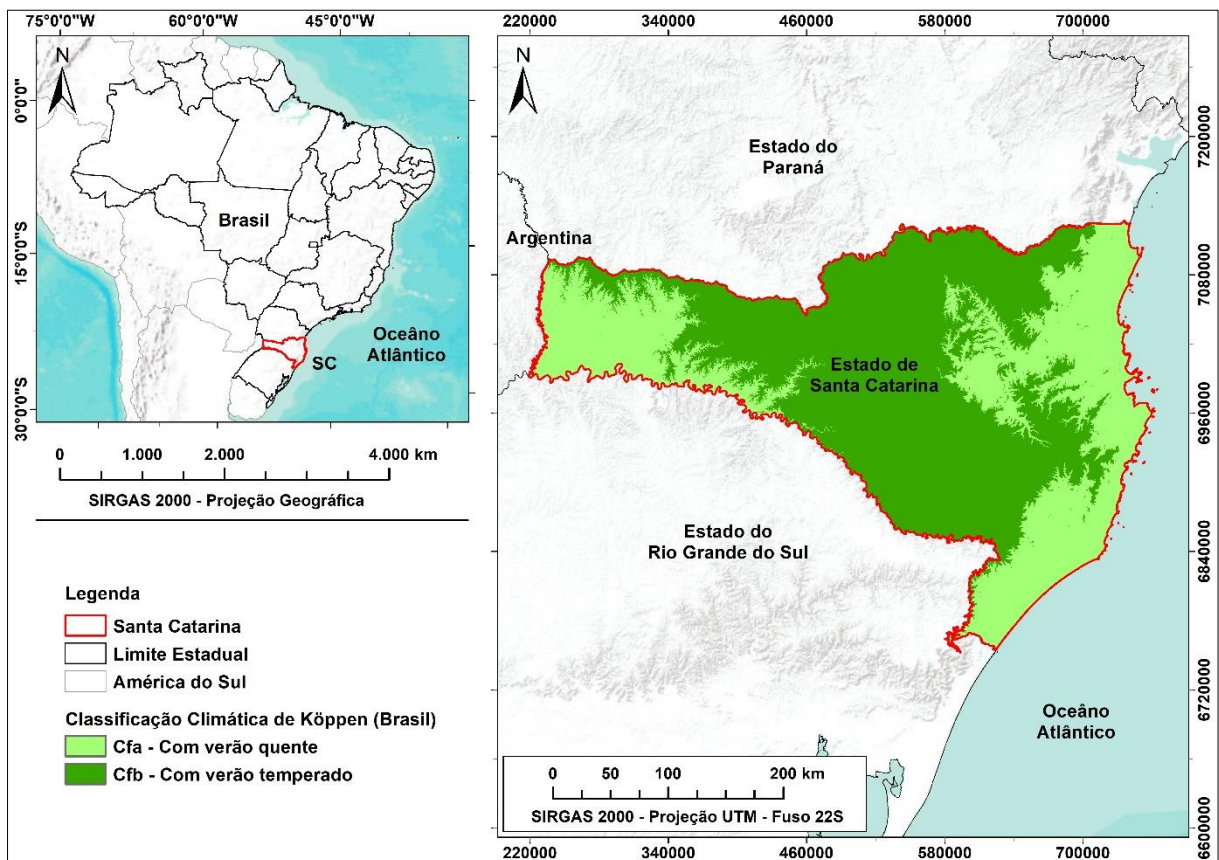
3 MATERIAIS E MÉTODOS

Este estudo seguiu basicamente as seguintes etapas: a) Seleção dos parâmetros das equações de chuvas intensas do estado de Santa Catarina, proposto por Back (2022) em seu estudo; b) Análise dos parâmetros das equações de chuvas intensas; c) Espacialização dos dados selecionados e analisados em ambiente de SIG (Sistema de Informação Geográfica); d) Aplicação do método geoestatístico de krigagem; e) Validação do modelo aplicado.

3.1 ÁREA DE ESTUDO

O estado de Santa Catarina está localizado na região sul do Brasil (Figura 2), possui um clima classificado como mesotérmico úmido e, é caracterizado pelo excesso hídrico (Back, 2022). Santa Catarina possui uma área de aproximadamente 95.703 quilômetros quadrados e possui 295 municípios segundo IBGE (2020).

Figura 2 - Localização e classificação climática de Köppen da área de estudo (Estado de Santa Catarina).



Fonte: Do autor (2024).

De acordo com Pandolfo *et al.* (2002), segundo a classificação de Köppen, Santa Catarina possui um clima de mesotérmico úmido (sem estação seca) – Cf, onde se dividem em Cfa (clima subtropical) e Cfb (clima temperado): Cfa) A temperatura média do mês mais frio é inferior a 18°C (mesotérmico) e a temperatura média do mês mais quente é acima dos 22°C. Os verões são quentes, poucas geadas com alta tendência de chuvas nos meses de verão; Cfb) A temperatura média do mês mais frio é abaixo de 18°C (mesotérmico) e temperatura média do mês mais quente abaixo de 22°C.

Já os índices pluviométricos anuais de Santa Catarina variam de 1100 a 1900 mm, possuindo bons volumes de chuva e uma distribuição espacial uniforme. Para Santa Catarina destacam-se as chuvas provenientes de frentes frias (frontais ou ciclônicas) que assumem a importância na distribuição das chuvas ao longo do ano todo, as chuvas orográficas que determinam os maiores totais pluviométricos próximos a Serra do Mar e Serra Geral, e as chuvas convectivas que são causadas pelo intenso aquecimento das camadas mais baixas da atmosfera abrangendo áreas relativamente pequenas (Back, 2022).

3.2 METODOLOGIA

3.2.1 Seleção das equações de chuvas intensas para Santa Catarina

Foram utilizadas as equações de intensidade-duração-frequência (IDF) estudadas por Back (2022). Este estudo foi desenvolvido através de séries históricas observadas até o ano de 2019 de 224 estações pluviométricas localizadas em Santa Catarina (Figura 3) ajustadas com a desagregação de chuva diária com base nos parâmetros médios usados no Brasil e os parâmetros médios observados para Santa Catarina.

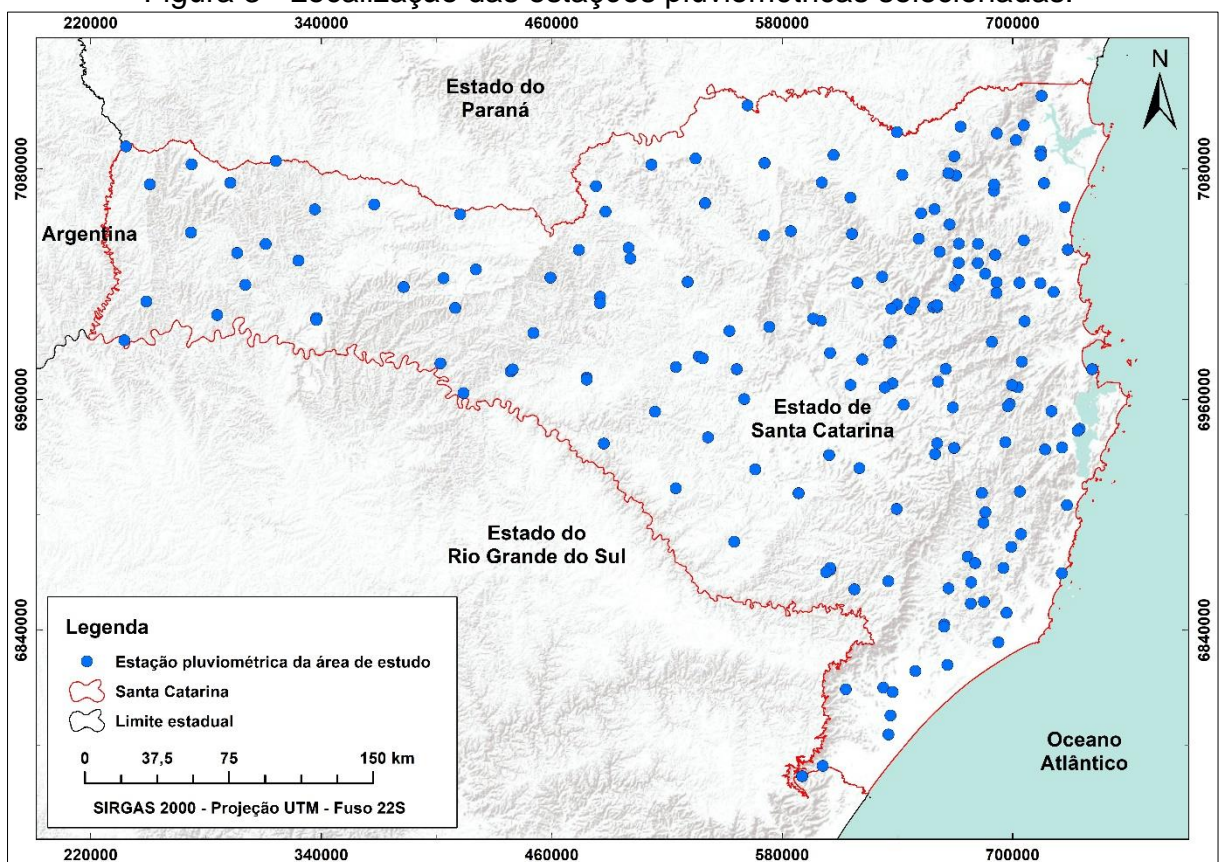
A etapa de seleção das equações a ser utilizada no estudo, verificou que dentre os estudos mais recentes, o trabalho desenvolvido por Back (2022) atende amplamente o proposto para a área de estudo em questão. Neste caso o estado de Santa Catarina.

Atualmente existe uma boa disponibilidade de dados pluviométricos no Brasil, dentre as quais deve-se destacar a rede pluviométrica da ANA (agência nacional de águas e saneamento básico), disponibilizadas gratuitamente pelo sistema HidroWeb

(ANA, 2020). No estado de Santa Catarina, pode-se obter dados de precipitação diária através da Epagri (Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina), que possui uma ampla rede de estações meteorológicas no estado (EPAGRI, 2020).

No estudo de Back (2022) foram analisados dados de estações pluviométricas da ANA e da Epagri, adotando o critério de uma série de dados de mínimo 15 anos, destas 224 estações, 201 são da ANA e 23 da EPAGRI.

Figura 3 - Localização das estações pluviométricas selecionadas.



Fonte: Do autor (2024).

Para fins de espacialização, assim como no trabalho de Back (2022) foram utilizadas apenas as estações que estão dentro do limite político de Santa Catarina, esta etapa consistiu na análise espacial e pontual das estações e seus parâmetros e o arquivo *shapefile* do limite do Estado de Santa Catarina. Os dados *shapefile* e tabulares para a espacialização dos dados foram adquiridos no formato de projeção geográfica (latitude e longitude) sendo mais usual no caso do estado de Santa Catarina estar localizado em apenas um fuso (22, Sul), utilizou-se a projeção

UTM (Universal Transversa de Mercator), trabalhando com coordenadas sexagesimais Este e Norte.

3.2.2 Análise das equações de chuvas intensas para Santa Catarina

A análise das equações de chuvas intensas baseou-se em filtrar os dados obtidos e estudados de forma a encontrar na espacialização e interpolação dos parâmetros uma melhor qualidade e acurácia dos resultados, desta forma optou-se pelo uso das estações pluviométricas que possuem 30 anos ou mais de dados de chuvas máximas. Após a seleção e análise, optou-se por utilizar 176 equações de chuvas intensas ajustadas por Back (2022) para o estado de Santa Catarina, todas com mais de 30 anos de dados conforme Tabela 1.

Back *et al.* (2023), utilizou em seu estudo as mesmas 176 estações pluviométricas das 224 existentes. Os autores filtraram as estações com registros superiores a 30 anos, sendo 164 estações da ANA e 12 da Epagri. O estudo abordou também a importância da técnica de interpolação espacial das intensidades para o dimensionamento de calhas pluviais.

Tabela 1 - Estações pluviométricas selecionadas para o estado de Santa Catarina.

Código (Estação)	Município	Duração (anos)	Código (Estação)	Município	Duração (anos)
2652000	Abelardo Luz	61	2649060	Joinville	37
2749041	Agrolândia	36	2649061	José Boiteux	42
2749007	Alfredo Wagner	78	2749031	Lages	61
2749014	Alfredo Wagner	34	2750005	Lages	67
2749037	Alfredo Wagner	42	2850004	Lages	60
2748003	Angelina	73	230	Lages	43
2749019	Angelina	34	2650019	Lebon Regis	42
2751001	Anita Garibaldi	54	2749034	Leoberto Leal	42
2749012	Anitápolis	73	2648002	Luiz Alves	78
2749027	Anitápolis	46	2651036	Macieira	42
2748016	Antônio Carlos	42	2649016	Mafra	58
2749000	Apiuna	78	2748001	Major Gercino	73
2749016	Apiuna	62	2749015	Major Gercino	63
2749025	Apiuna	38	2650000	Major Vieira	63
2648020	Araquari	43	2651011	Matos Costa	55
2648028	Araquari	41	2651044	Matos Costa	34
2849004	Araranguá	64	2849005	Meleiro	76
2848000	Armazém	73	2849024	Meleiro	41
2649003	Benedito Novo	78	2653003	Modelo	47

Código (Estação)	Município	Duração (anos)	Código (Estação)	Município	Duração (anos)
2649017	Benedito Novo	65	2650015	Monte Castelo	38
2649007	Blumenau	74	2748002	Nova Trento	73
2649009	Blumenau	78	2849001	Orleans	79
2649010	Blumenau	78	2750007	Painel	60
2649025	Blumenau	45	2748004	Palhoça	73
2749035	Bocaina do Sul	42	2653013	Palma Sola	42
2849009	Bom Jard. da Serra	49	2753006	Palmitos	59
2849023	Bom Jard. da Serra	42	2650023	Papanduva	34
2749045	Botuverá	32	2651022	Passos Maia	46
2849030	Braço do Norte	32	2748017	Paulo Lopes	42
2748000	Brusque	78	2849028	Pedras Grandes	32
2651002	Caçador	31	2648019	Piçarras	43
60	Caçador	51	2751010	Piratuba	39
2649057	Campo Alegre	40	2649002	Pomerode	89
2750001	Campo Belo do Sul	49	2750011	Ponte Alta	61
2653001	Campo Erê	49	2750010	Ponte Alta do Norte	59
2751002	Campos Novos	75	2651040	Ponte Serrada	42
94	Campos Novos	50	2650008	Porto União	37
2650003	Canoinhas	55	2749006	Pouso Redondo	78
2650018	Canoinhas	37	2949001	Praia Grande	42
2751003	Capinzal	37	2950056	Praia Grande	36
2751012	Capinzal	42	2749023	Presidente Getúlio	45
2752016	Chapecó	39	2749020	Rancho Queimado	42
108	Chapecó	46	2749024	Rio do Sul	45
2752005	Concordia	63	2749039	Rio do Sul	40
2652034	Coronel Freitas	40	2649008	Rio dos Cedros	78
2649013	Corupá	73	2649030	Rio dos Cedros	42
2649064	Corupá	34	2649031	Rio dos Cedros	35
2750002	Curitibanos	45	2649032	Rio dos Cedros	48
2750009	Curitibanos	60	2649055	Rio Negrinho	37
2750012	Curitibanos	57	2653004	Romelandia	36
507	Curitibanos	31	2748005	S. Amaro da Imper.	68
2653002	Dionísio Cerqueira	46	2651052	Salto Veloso	31
2748006	Florianópolis	69	2650016	Santa Cecília	37
124	Florianópolis-SJ	51	2849031	Santa Rosa de Lima	32
2849006	Forquilha	71	2649033	São Bento do Sul	43

Código (Estação)	Município	Duração (anos)	Código (Estação)	Município	Duração (anos)
2648027	Garuva	42	2748018	São Bonifácio	40
2648000	Gaspar	31	2652002	São Domingos	46
2748019	Gov. Celso Ramos	39	2849003	São Joaquim	32
2849008	Grão Pará	73	2849014	São Joaquim	37
2749001	Ibirama	85	523	São Joaquim	56
2749005	Ibirama	78	2653005	São José do Cedro	46
2749022	Ibirama	44	2750008	São José do Cerrito	58
2849022	Içara	41	2750020	São José do Cerrito	42
2648001	Ilhota	86	2652031	São Lour.do Oeste	42
2848007	Imbituba	42	2849002	São Ludgero	79
2649001	Indaial	74	2848006	São Martinho	42
2649005	Indaial	74	2848009	São Martinho	32
2649027	Indaial	45	2653007	Saudades	64
2753013	Iporã do Oeste	42	2949003	Sombrio	42
2652001	Ipumirim	49	2749003	Taió	89
2751011	Irani	42	2750014	Taió	53
2649054	Itaiópolis	37	2750021	Taió	34
2649056	Itaiópolis	38	2849019	Timbé do Sul	42
2650022	Itaiópolis	36	2649004	Timbó	90
183	Itajaí	35	2649026	Timbó	45
477	Itapiranga	31	2749013	Trombudo Central	73
2749002	Ituporanga	78	2849000	Tubarão	79
2749017	Ituporanga	48	2849027	Tubarão	32
191	Ituporanga	31	2849021	Urubici	75
2849020	Jaguaruna	42	2849011	Urussanga	45
2649012	Jaraguá do Sul	45	434	Urussanga	52
2649037	Jaraguá do Sul	71	2651001	Vargem Bonita	75
2652021	Jardinópolis	42	2749033	Vidal Ramos	42
2751004	Joaçaba	75	2749046	Vidal Ramos	31
2648005	Joinville	36	2751009	Videira	39
2648014	Joinville	79	442	Videira	32
2648033	Joinville	31	2649058	Vitor Meireles	41
2648034	Joinville	32	2649053	Witmarsum	42

Fonte: Do autor (2024).

Com base em dados de outros estudos, como o de Sampaio (2011), foram selecionadas e analisadas 130 estações das 194 previamente estudadas no estado do Rio Grande do Sul sugerindo o estudo de séries históricas anuais maiores que 10

anos de informações. Porém em decorrência da dificuldade na obtenção de dados, Silva *et al.* (2002) ressalta que muitos destes estudos, tem utilizado séries históricas menores que 10 anos, bem inferior ao que recomenda a Organização Mundial de Meteorologia (OMM), que é de no mínimo 30 anos.

Com a finalidade de avaliar a distribuição espacial, Back (2022) selecionou apenas estações com mais de 30 anos de dados nas séries de máximas, e incluindo os dados posteriores ao ano de 2000 para o estado de Santa Catarina.

Araújo *et al.* (2008) utilizando dados de estações pluviométricas obtidos junto a UACA (Unidade Acadêmica de Ciências Atmosférica – UFCG), utilizou dados de precipitação diária de 33 postos considerando séries com 30 anos de dados, de 1974 a 2004. Da mesma forma Marcuzzo *et al.* (2011) utilizou dados de 76 estações pluviométricas obtidos através da Rede Hidrometeorológica Nacional da Agência Nacional de Águas (ANA), para a regiões do Centro Oeste do Brasil com séries históricas de 30 anos de dados, de 1977 a 2006.

Back e Cadorin (2021), estudaram a espacialização de 3096 equações de chuvas intensas para o Brasil, encontradas em 118 trabalhos, entre trabalhos de conclusão de curso, tese, dissertação, artigos, livros e relatórios técnicos.

3.2.3 Espacialização das equações de chuvas intensas

No software de geoprocessamento ArcGis (ESRI) foi espacializado o arquivo *shapefile* do estado de Santa Catarina conforme as malhas estaduais do IBGE (2020). Ainda no SIG (Sistema de Informação Geográfica) foi espacializado pontualmente todas as 176 estações pluviométricas selecionadas em formato “xls” (Microsoft Office Excel) e seus atributos como:

- a) O código da estação conforme banco de dados HIDROWEB da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA);
- b) entidade responsável pelo registro dos dados;
- c) município em que se encontra a estação, podendo cada município ter mais que uma;
- d) coordenadas de localização espacial convertidas posteriormente para a projeção UTM;
- e) datas de início e fim de registro dos dados coletados dos pluviômetros;
- f) os parâmetros “K, m, b e n”, ajustados por Back (2022) para o estado de Santa Catarina.

Da etapa de espacialização cabe ressaltar a importância do software ArcGis (ESRI), que possibilitou a importação do arquivo das estações no formato “xls” para geração do arquivo *shapefile* levando em consideração a coluna de coordenadas como referência, ainda assim fez necessário executar a conversão destes dados para a projeção UTM, mais indicado para trabalhos de geoprocessamento em Santa Catarina.

Em modelos vetoriais que representam a localização e aparência gráfica de determinado elemento são atribuídos a pares de coordenadas (x, y). Este tipo de representação é comum em ambientes de SIG e CAD (Desenho Assistido por Computador). Considera-se três os elementos gráficos que representam um elemento: ponto, linha e polígono (área), além de dados não espaciais (atributos) (Câmara e Monteiro 2001).

3.2.4 Aplicação do método geoestatístico de krigagem

Foi aplicado modelo geoestatístico de krigagem ordinária, sendo um método local de estimativa, aonde a estimativa de um ponto de interesse não conhecido ocorre através da combinação linear dos valores encontrados na vizinhança (Almeida, 2017). Aonde:

$$\hat{Z}_{ko}(X_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(X_i) \quad (4)$$

em que \hat{Z}_{ko} é o ponto estimado, $\lambda_i, i = 1, n$ são os pesos associados aos n dados e (X_i) é o ponto amostrado.

Os pesos são calculados impondo duas condições de restrição. A primeira é que o preditor não seja enviesado (Equação 5);

$$E[\hat{Z}_{ko}(X_0) - Z(X_0)] = 0 \quad (5)$$

e a segunda, que a variância do erro estimada seja mínima (Equação 6).

$$\sigma_E^2 = E \left[\left(Z(X_0) - \hat{Z}_{ko}(X_0) \right)^2 \right] - \left(E[Z(X_0) - \hat{Z}_{ko}(X_0)] \right)^2 \quad (6)$$

em que E é a esperança do erro, $Z(X_0)$ é o dado real amostrado e \hat{Z}_{ko} o ponto estimado.

Alguns estudos que abordam variáveis de precipitação têm aplicado a Krigagem ordinária como preditor na análise geoestatística (Xavier *et al.*, 2010; Oliveira *et al.*, 2012; Mello e Viola, 2012). Tal aplicação se deve ao fato de a Krigagem ordinária ser um interpolador geoestatístico que possui uma média móvel

para a predição da variável, sendo que cada ponto é interpolado em função de uma média estabelecida pela distância entre a vizinhança amostrada. Esta distância normalmente não são as mesmas para cada ponto predito, logo a média não é fixa (Almeida, 2017).

O estudo de Silvestre *et al.* (2016) apresentou o roteiro de aplicação do método geostatístico de krigagem ordinária pelo fato da técnica ser bastante utilizada na interpolação de variáveis espaciais, neste caso usou-se a análise de dois conjuntos de dados de precipitação da vertente paranaense da bacia do Rio Paranapanema, para os anos agrícolas seco e chuvoso.

Back *et al.* (2021) aplicaram em seu estudo a krigagem e demais ferramentas do geoprocessamento através do ArcGIS 10.2.1 para as intensidades de 162 estações de Santa Catarina, baseados em um período de retorno de 10 anos, indicados no dimensionamento de obras de conservação do solo.

A exemplo dos estudos supracitados, neste aplicou-se no estudo a espacialização e interpolação através do método da krigagem ordinária, utilizando como variáveis de estudo os parâmetros das 176 equações de chuvas intensas calculados e ajustados por Back (2022) para o estado de Santa Catarina conforme Tabela 2.

Tabela 2 - Parâmetros das estações pluviométricas selecionadas.

Código da Estação	Parâmetros				Código da Estação	Parâmetros			
	K	m	b	n		K	m	b	n
60	564,13	0,1623	9,16	0,7117	2748005	689,83	0,2145	9,17	0,7117
94	692,21	0,1537	9,17	0,7117	2748006	743,00	0,2488	9,16	0,7117
108	685,55	0,1856	9,17	0,7117	2748016	795,79	0,1914	9,16	0,7117
124	837,46	0,2196	9,16	0,7117	2748017	809,27	0,2366	9,17	0,7117
183	693,38	0,2318	9,17	0,7117	2748018	706,10	0,1585	9,17	0,7117
191	661,29	0,1104	9,17	0,7117	2748019	727,77	0,1894	9,17	0,7117
230	671,07	0,1556	9,16	0,7117	2749000	570,23	0,1624	9,17	0,7117
434	670,71	0,1639	9,17	0,7117	2749001	553,60	0,1634	9,16	0,7117
442	714,65	0,1362	9,16	0,7117	2749002	574,48	0,1755	9,16	0,7117
477	757,59	0,1833	9,16	0,7117	2749003	606,26	0,1596	9,16	0,7117
507	752,54	0,1662	9,17	0,7117	2749005	525,24	0,1765	9,17	0,7117
523	622,88	0,1834	9,17	0,7117	2749006	559,15	0,1472	9,16	0,7117
2648000	544,54	0,2627	9,17	0,7117	2749007	606,95	0,1386	9,16	0,7117
2648001	590,84	0,1651	9,16	0,7117	2749012	638,85	0,1930	9,17	0,7117
2648002	719,06	0,1853	9,17	0,7117	2749013	560,77	0,1616	9,16	0,7117
2648005	743,84	0,2007	9,16	0,7117	2749014	460,95	0,2226	9,17	0,7117

Código da Estação	Parâmetros				Código da Estação	Parâmetros			
	K	m	b	n		K	m	b	n
2648014	599,94	0,2316	9,17	0,7117	2749015	614,31	0,1763	9,16	0,7117
2648019	687,10	0,2274	9,16	0,7117	2749016	570,59	0,1590	9,16	0,7117
2648020	666,35	0,2210	9,17	0,7117	2749017	560,30	0,1852	9,17	0,7117
2648027	673,31	0,2196	9,17	0,7117	2749019	573,17	0,2055	9,16	0,7117
2648028	785,45	0,1797	9,17	0,7117	2749020	702,20	0,2133	9,17	0,7117
2648033	797,51	0,2064	9,17	0,7117	2749022	524,47	0,1685	9,17	0,7117
2648034	986,21	0,1685	9,16	0,7117	2749023	559,99	0,1301	9,17	0,7117
2649001	550,52	0,1735	9,16	0,7117	2749024	547,84	0,2109	9,16	0,7117
2649002	629,80	0,2072	9,17	0,7117	2749025	523,99	0,1747	9,16	0,7117
2649003	560,76	0,1766	9,16	0,7117	2749027	727,36	0,1355	9,17	0,7117
2649004	612,62	0,1925	9,17	0,7117	2749031	513,48	0,2238	9,16	0,7117
2649005	581,49	0,1457	9,16	0,7117	2749033	552,37	0,2078	9,17	0,7117
2649007	623,39	0,2020	9,16	0,7117	2749034	635,42	0,1412	9,17	0,7117
2649008	648,08	0,2109	9,17	0,7117	2749035	637,64	0,1946	9,17	0,7117
2649009	645,64	0,1805	9,17	0,7117	2749037	604,13	0,1489	9,16	0,7117
2649010	628,57	0,1936	9,16	0,7117	2749039	562,88	0,1318	9,16	0,7117
2649012	705,17	0,1942	9,17	0,7117	2749041	623,11	0,1530	9,17	0,7117
2649013	610,32	0,1843	9,17	0,7117	2749045	574,91	0,2038	9,17	0,7117
2649016	555,87	0,1819	9,17	0,7117	2749046	591,99	0,1394	9,17	0,7117
2649017	578,45	0,1915	9,16	0,7117	2750001	645,65	0,2045	9,16	0,7117
2649025	615,29	0,1822	9,17	0,7117	2750002	573,49	0,1724	9,17	0,7117
2649026	567,01	0,2169	9,17	0,7117	2750005	628,61	0,1297	9,16	0,7117
2649027	634,25	0,1299	9,16	0,7117	2750007	585,04	0,1769	9,17	0,7117
2649030	687,13	0,1573	9,16	0,7117	2750008	618,50	0,1752	9,16	0,7117
2649031	631,54	0,1655	9,17	0,7117	2750009	624,09	0,1368	9,17	0,7117
2649032	667,88	0,1490	9,16	0,7117	2750010	559,38	0,1459	9,17	0,7117
2649033	508,02	0,1758	9,16	0,7117	2750011	606,24	0,1548	9,16	0,7117
2649037	750,75	0,2049	9,17	0,7117	2750012	579,29	0,1789	9,17	0,7117
2649053	655,66	0,1192	9,17	0,7117	2750014	690,11	0,1299	9,17	0,7117
2649054	680,17	0,2132	9,17	0,7117	2750020	671,89	0,1323	9,17	0,7117
2649055	564,22	0,2079	9,17	0,7117	2750021	574,76	0,1912	9,17	0,7117
2649056	584,58	0,2598	9,16	0,7117	2751001	666,02	0,1846	9,17	0,7117
2649057	564,83	0,1723	9,16	0,7117	2751002	683,52	0,0896	9,16	0,7117
2649058	641,05	0,1134	9,17	0,7117	2751003	613,63	0,1854	9,16	0,7117
2649060	797,55	0,1753	9,16	0,7117	2751004	622,18	0,1701	9,16	0,7117
2649061	629,74	0,1575	9,16	0,7117	2751009	553,82	0,1422	9,17	0,7117
2649064	671,99	0,2196	9,16	0,7117	2751010	576,83	0,2665	9,17	0,7117
2650000	633,64	0,1803	9,16	0,7117	2751011	664,09	0,1740	9,17	0,7117
2650003	442,60	0,2771	9,17	0,7117	2751012	711,47	0,1475	9,16	0,7117
2650008	622,40	0,1161	9,17	0,7117	2752005	704,65	0,1461	9,17	0,7117
2650015	974,57	0,0453	9,16	0,7117	2752016	648,74	0,2116	9,16	0,7117
2650016	668,06	0,1425	9,17	0,7117	2753006	765,99	0,1271	9,17	0,7117
2650018	707,65	0,1570	9,16	0,7117	2753013	780,48	0,1513	9,17	0,7117
2650019	586,88	0,1833	9,17	0,7117	2848000	557,89	0,2370	9,16	0,7117

Código da Estação	Parâmetros				Código da Estação	Parâmetros			
	K	m	b	n		K	m	b	n
2650022	662,96	0,1429	9,16	0,7117	2848006	777,58	0,1496	9,16	0,7117
2650023	701,01	0,1289	9,16	0,7117	2848007	685,08	0,1944	9,16	0,7117
2651001	735,52	0,1395	9,16	0,7117	2848009	622,71	0,2110	9,17	0,7117
2651002	604,85	0,0875	9,16	0,7117	2849000	622,29	0,1828	9,17	0,7117
2651011	486,51	0,1531	9,17	0,7117	2849001	639,32	0,1519	9,17	0,7117
2651022	711,47	0,1816	9,16	0,7117	2849002	573,32	0,2008	9,16	0,7117
2651036	633,03	0,1446	9,16	0,7117	2849003	525,27	0,2474	9,16	0,7117
2651040	719,48	0,1509	9,17	0,7117	2849004	574,30	0,1695	9,17	0,7117
2651044	555,24	0,2318	9,17	0,7117	2849005	623,77	0,1509	9,16	0,7117
2651052	696,73	0,1333	9,16	0,7117	2849006	656,63	0,1475	9,17	0,7117
2652000	649,42	0,1956	9,16	0,7117	2849008	610,11	0,2035	9,16	0,7117
2652001	707,81	0,1691	9,16	0,7117	2849009	638,56	0,1217	9,17	0,7117
2652002	726,20	0,1944	9,17	0,7117	2849011	550,85	0,3098	9,17	0,7117
2652021	698,22	0,1579	9,16	0,7117	2849014	521,08	0,2588	9,17	0,7117
2652031	792,64	0,1353	9,16	0,7117	2849019	873,08	0,0972	9,17	0,7117
2652034	741,45	0,1284	9,16	0,7117	2849020	616,83	0,2391	9,17	0,7117
2653001	776,75	0,1759	9,17	0,7117	2849021	562,96	0,1658	9,16	0,7117
2653002	848,88	0,1384	9,16	0,7117	2849022	630,04	0,1995	9,16	0,7117
2653003	769,13	0,1598	9,17	0,7117	2849023	684,05	0,1242	9,16	0,7117
2653004	823,52	0,1337	9,16	0,7117	2849024	721,97	0,1436	9,16	0,7117
2653005	748,48	0,2100	9,16	0,7117	2849027	704,03	0,2275	9,16	0,7117
2653007	693,28	0,2018	9,16	0,7117	2849028	608,83	0,2318	9,17	0,7117
2653013	881,36	0,1034	9,16	0,7117	2849030	608,59	0,1352	9,16	0,7117
2748000	593,12	0,1961	9,16	0,7117	2849031	680,64	0,1532	9,17	0,7117
2748001	531,18	0,3512	9,17	0,7117	2850004	589,69	0,2223	9,16	0,7117
2748002	554,71	0,2538	9,17	0,7117	2949001	729,58	0,1871	9,16	0,7117
2748003	603,04	0,1802	9,16	0,7117	2949003	749,92	0,1242	9,16	0,7117
2748004	833,40	0,1894	9,17	0,7117	2950056	666,39	0,1423	9,17	0,7117

Fonte: Do autor (2024).

A aplicação do método geostatístico de krigagem ordinária resulta em dados matriciais de saída, o que possibilita a análise destas variáveis em ambientes gráficos e principalmente de SIG.

3.2.6 Validação dos parâmetros interpolados

Foi desenvolvido em ambiente de SIG a espacialização e interpolação dos parâmetros que representam a equação de chuvas intensas para as 176 estações selecionadas do estado Santa Catarina, em suma este processo é automatizado em softwares de geoprocessamento, porém muitas vezes necessita de uma breve

análise estatística para verificar a qualidade das amostras bem como ajustá-las quando necessário.

Inicialmente foram comparadas através do método de erro percentual os parâmetros estimados pela interpolação e o calculado por Back (2022), identificando o erro percentual existente de cada estação (Equação 8).

$$EMP(\%) = \frac{100 * (|p_{cal} - p_{int}|)}{p_{cal}} \quad (8)$$

onde, EMP é o erro médio percentual entre os valores p ; p_{cal} é o parâmetro calculado real de “K, m, b e n” e, p_{int} é o parâmetro calculado interpolado de “K, m, b e n”.

Por último, para uma melhor representação e resultado da interpolação, foi aplicado o procedimento de validação cruzada, comparando através da análise do semivariograma esférico o RMSE (Root Mean Square Error, raiz quadrada do erro médio – Equação 7) entre os parâmetros calculados e os preditos pela interpolação. Na etapa de validação assim como de interpolação foram utilizados amplamente os recursos do software ArcGis (ESRI, 2019).

$$RMSE = \sqrt{n^{-1} \sum_{i=1}^n (O_i - E_i)^2} \quad (7)$$

onde, RMSE é a raiz do quadrado médio do erro; n é o número de observações; O_i é o valor real e, E_i é o valor estimado por meio da interpolação.

O RMSE é o resultado derivado das diferenças entre pontos conhecidos e desconhecidos, somando-os e dividindo pelo número de pontos de teste, em seguida é extraído a raiz quadrada do resultado.

3.2.7 Validação das intensidades através dos parâmetros interpolados

Aplicou-se na equação de chuvas intensas os novos parâmetros estimados para cada uma das estações, foram aplicados também os valores calculados de cada estação. Através dos parâmetros conhecidos e preditos, além do período de retorno e duração da chuva definidos, é possível encontrar a intensidade da chuva e compará-las afim de validar o método. Para os cálculos de comparação dos resultados foi utilizado o software Microsoft Office Excel.

Para cada uma das 176 estações estudadas neste trabalho, foram calculadas através da equação IDF as intensidades (i_m) para três períodos de retorno (10, 50 e

100 anos) e três durações (10, 60 e 1440 minutos), desta forma obteve-se nove valores de intensidade (i_m) para cada uma das estações.

Para Castro *et al.* (2010) é importante que se avalie o desempenho do interpolador utilizado no estudo. Assim como utilizado para validação dos parâmetros, foi aplicado também para comparação das intensidades calculadas e estimadas neste estudo o erro médio percentual absoluto.

Para Cecílio e Pruski (2003), o erro médio percentual pouco interessaria no comparativo, pois avaliaria a estação individualmente, com erros positivos ou negativos, assim optou-se em aplicar o erro médio percentual absoluto, identificando os erros positivos e calculados com módulos (Equação 8), assim como proposto por Cecílio *et al.* (2009), assim os valores a encontrar devem ser o menor possível, indicando pouco erro do método aplicado.

4 RESULTADOS

4.1 VALIDAÇÃO DOS PARÂMETROS INTERPOLADOS

Dos modelos de semivariograma existentes para análise de variáveis climáticas destacam-se o esférico e gaussiano (Mello e Silva, 2013). Este estudo aplicou a análise através do semivariograma esférico, por melhor se adaptar a distribuição das amostras.

A fim de verificar a acurácia da interpolação, o cálculo do RMSE indicou através da krigagem ordinária bons resultados para a interpolação dos parâmetros “K, m, b e n”, considerando o RMSE com valores próximos a 1, Xavier *et al.* (2010) encontrou também resultados significativos com maior precisão validados através do RMSE para krigagem ordinária, porém através do modelo de semivariograma gaussiano, por melhor representar os resultados interpolados.

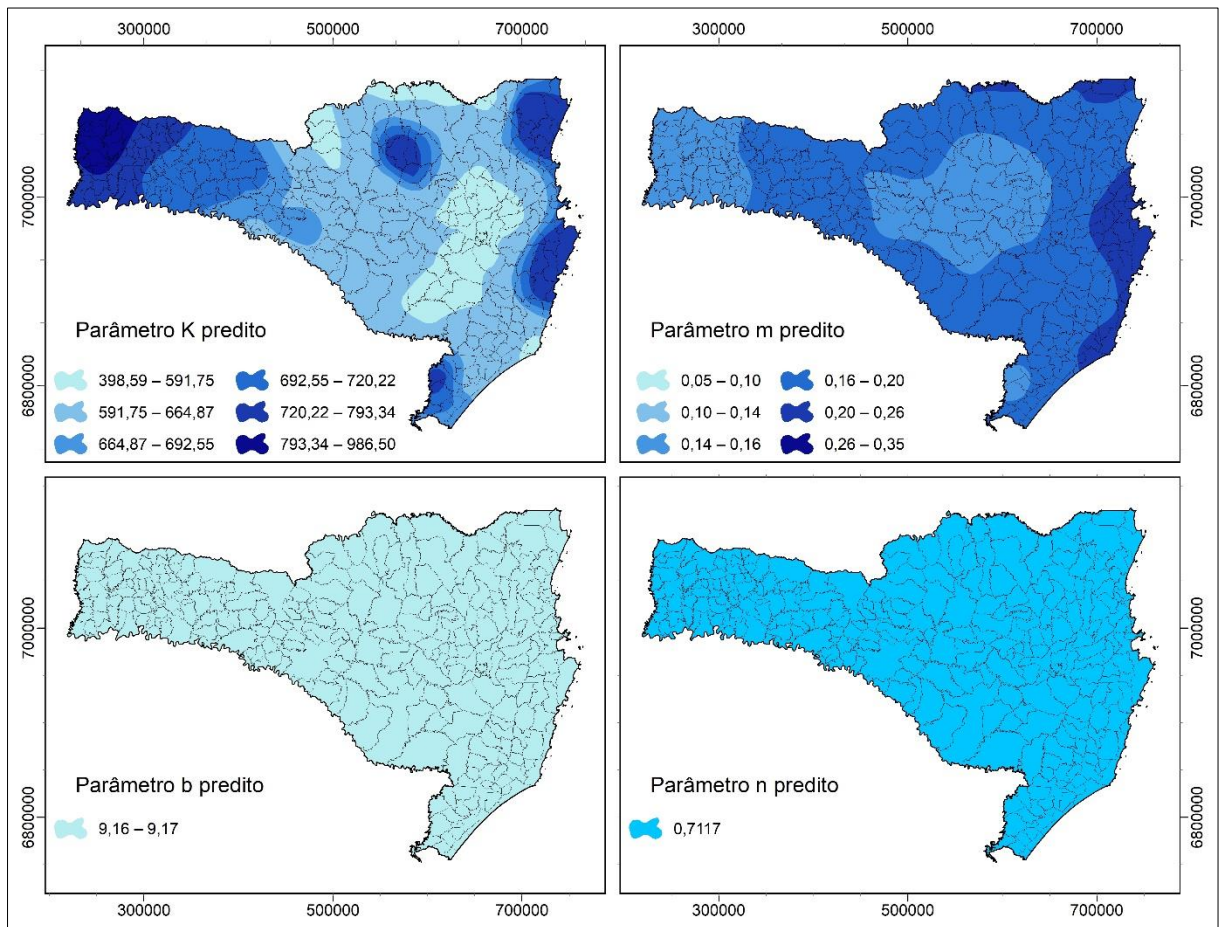
Para o erro médio percentual foram comparados os parâmetros calculados e estimados das 176 estações estudadas identificando um erro médio percentual médio absoluto de 7,88% para o parâmetro “K”, 18,92 para o parâmetro “m”, 0,06 % para o parâmetro “b” e para o parâmetro “n” não se obteve erro médio percentual significativo, neste caso muito se deve pela pouca variação espacial tanto na amostra calculada quanto na espacializada.

Com a espacialização e interpolação dos parâmetros através do método de krigagem Ordinária das 176 equações chegou-se a valores com diferenças que variaram de: -296,59 a 212,70 para o parâmetro “K”; -0,1502 a 0,1135 para “m”; -0,0087 a 0,0087 para “b” e diferenças nulas para “n” em função da não variância espacial de seus valores.

O maior erro médio encontrado para o parâmetro “K” foi na estação 2650003 (Canoinhas) com 48,06%, para o parâmetro “m”; a estação 2650015 (Monte Castelo) com 250,28%, para o parâmetro “b”; a estação 2648005 (Joinville) com 0,09% de erro, para “n” não houve erro em função da não variabilidade espacial do parâmetro. Os menores erros entre os parâmetros calculados e preditos praticamente foram nulos, não havendo diferença significativa.

A Figura 4 representa a espacialização e interpolação final de cada parâmetro da equação de chuvas intensas para o estado de Santa Catarina. A espacialização foi elaborada no *software* ArcGis (ESRI), e projetados no sistema de projeção UTM (Universal Transversa de Mercator), fuso 22 sul.

Figura 4 - Espacialização dos parâmetros “K, m, b e n”.



Fonte: Do autor (2024).

Percebe-se maiores valores para o parâmetro “K” no litoral norte, grande Florianópolis e oeste do estado de Santa Catarina, isso se deve o peso do parâmetro “K” na equação. O parâmetro m por sua vez se comportou de forma parecida ao parâmetro “K”, uma vez que os maiores valores também ficaram no Norte, litoral e serra catarinense.

Para o parâmetro “K”, Back *et al.* (2023) encontraram uma variação de 11,97 a 79,52 e observou que 50% dos valores ficaram na faixa de 20 a 32, e ressaltou a similaridade em proporcionalidade entre a intensidade e o parâmetro “K” nos resultados. Back (2021) ainda destaca os maiores valores de intensidade no litoral do estado de Santa Catarina, principalmente na região norte, região com os maiores índices pluviométricos. Back *et al.* (2023) ainda ressaltou a inexistência na relação entre o parâmetro “K” e os índices pluviométricos médios anuais na região sul do estado, onde ambos representaram valores bastante inversos. Silva *et al.* (2018)

destacou que muitos autores observaram que o parâmetro “K” é o que possui a maior variação quando comparado aos demais parâmetros.

Back *et al.* (2023) encontraram para “m” valores que variaram de 0,10 a 0,37 com 50% dos dados entre 0,17 e 0,21. A variação observada entre os parâmetros “K” e “m” indicam que também deve-se encontrar variação na intensidade de precipitação. Porém quando aplicados a equação os parâmetros possuem uma interação que influencia no resultado final, como indicado por Campos *et al.* (2014).

Para o parâmetro “m” Back *et al.* (2023) observaram uma distribuição espacial semelhante o parâmetro do “K”. Para o parâmetro “b” os autores encontraram valores que variaram de 0 a 27,8, porém ressaltaram que 75% dos valores foram 0, com distribuição espacial semelhante ao parâmetro “K”.

Pode-se também observar uma maior variação nos parâmetros “K” e “m”, no estudo de Cecílio e Pruski (2003) identificou-se da mesma forma uma grande variação para o parâmetro “K” para o estado de Minas Gerais. Os resultados indicam que o uso de uma equação para outra localidade do estado de Santa Catarina que não seja da respectiva estação, pode ocasionar erros no resultado da intensidade da chuva.

A predição dos parâmetros “b” e “n” não tiveram alteração significativa neste método, pois como os valores calculados utilizados como amostra para a pesquisa tinham pouca variação, a interpolação por sua vez não demonstrou tal variabilidade na predição também.

Rabelo *et al.* (2017) encontrou valores bastante semelhantes visualmente na interpolação dos parâmetros “b” e “n”, indicando uma grande uniformidade dos parâmetros, definidos por apenas um intervalo. Aragão *et al.* (2012) encontrou os mesmos resultados para os parâmetros em seu estudo no estado de Sergipe.

Back *et al.* (2023) encontraram para o parâmetro “n” uma variação de 0,48 a 0,87 com 50% dos valores entre 0,60 e 0,68, indicando valores maiores para o litoral e menores no oeste do estado. Souza *et al.* (2012) ajustou 74 equações de chuvas intensas para o estado do Pará, observou-se que os parâmetros “b” e “n” tiveram seus valores próximos a média de 9,79 e 0,72 respectivamente. Outros autores tiveram o mesmo resultado para os parâmetros “b” e “n”, com valores praticamente constantes. (Bortolini *et al.*, 2020; Oliveira *et al.*, 2005; Santos *et al.*, 2009),

Para Suda (2018) os valores dos parâmetros “K” e “b” indicam chuvas intensas com curta duração, já o valor dos parâmetros “b” e “m” na fórmula de Sherman indicam a continuidade de chuvas intensas.

No estudo de Back (2022), foram ajustadas 224 equações de chuvas intensas para estações pluviométricas do estado de Santa Catarina, porém no presente estudo percebe-se que muito além de limitar ao período de registro de 30 anos, resultando em 176 equações, deve-se levar em consideração também a análise visual da distribuição das amostras por meio da interpolação espacial. Através da análise do semivariograma percebe-se que há estações com dados discrepantes, porém quando se trata de uma variável adimensional que serve de parâmetro, não se pode esperar que essa distribuição seja normal, podendo induzir a aplicação do método a erros enquanto outros parâmetros se comportaram de forma satisfatória.

4.2 VALIDAÇÃO ATRAVÉS DAS INTENSIDADES

Para o cálculo das intensidades foram utilizados três períodos de retorno (10, 50 e 100 anos) e três durações de chuva (10, 60 e 1440 minutos) representando nove intensidades para cada uma das estações. Na Tabela 3 são apresentados os resultados estatísticos de cada estação, calculados a partir dos parâmetros interpolados, além da validação através do erro médio percentual absoluto.

Tabela 3 - Erros médios percentuais absolutos para as intensidades preditas.

Código Estação	T10 (anos)			T50 (anos)			T100 (anos)		
	E% (I ₁₀)	E% (I ₆₀)	E% (I ₁₄₄₀)	E% (I ₁₀)	E% (I ₆₀)	E% (I ₁₄₄₀)	E% (I ₁₀)	E% (I ₆₀)	E% (I ₁₄₄₀)
2652000	6,16	6,18	6,18	1,52	1,53	1,54	0,41	0,40	0,40
2749041	3,02	3,03	3,04	0,96	0,98	0,98	0,06	0,08	0,09
2749007	3,37	3,39	3,39	9,62	9,63	9,64	12,42	12,44	12,44
2749014	18,22	18,21	18,20	7,71	7,70	7,69	3,48	3,46	3,46
2749037	0,60	0,62	0,62	4,47	4,48	4,49	6,18	6,19	6,20
2748003	9,09	9,10	9,11	14,24	14,25	14,26	16,53	16,55	16,55
2749019	8,22	8,24	8,25	7,73	7,75	7,76	7,53	7,54	7,55
2751001	4,45	4,46	4,47	7,37	7,39	7,39	8,60	8,62	8,62
2749012	4,05	4,07	4,07	8,51	8,53	8,53	10,37	10,38	10,39

Código Estação	T10 (anos)			T50 (anos)			T100 (anos)		
	E%	E%	E%	E%	E%	E%	E%	E%	E%
	(I ₁₀)	(I ₆₀)	(I ₁₄₄₀)	(I ₁₀)	(I ₆₀)	(I ₁₄₄₀)	(I ₁₀)	(I ₆₀)	(I ₁₄₄₀)
2749027	6,96	6,98	6,98	2,15	2,16	2,17	0,00	0,01	0,02
2748016	6,81	6,80	6,79	2,34	2,32	2,31	0,34	0,32	0,32
2749000	1,59	1,61	1,62	1,48	1,50	1,51	1,44	1,45	1,46
2749016	0,44	0,46	0,47	1,31	1,33	1,33	1,69	1,70	1,71
2749025	7,52	7,54	7,54	5,92	5,93	5,94	5,23	5,25	5,26
2648020	11,15	11,15	11,14	4,55	4,55	4,54	1,83	1,83	1,82
2648028	1,92	1,93	1,93	0,48	0,49	0,49	0,15	0,14	0,13
2849004	19,50	19,48	19,47	18,52	18,50	18,49	18,09	18,07	18,07
2848000	1,47	1,48	1,48	6,26	6,25	6,25	9,41	9,40	9,40
2649003	9,89	9,91	9,91	9,51	9,52	9,53	9,34	9,35	9,36
2649017	3,76	3,77	3,77	0,65	0,67	0,67	0,65	0,64	0,64
2649007	6,68	6,67	6,67	10,41	10,40	10,40	11,98	11,97	11,96
2649009	3,73	3,75	3,75	2,43	2,44	2,44	1,86	1,87	1,87
2649010	1,01	0,99	0,98	3,24	3,22	3,21	4,18	4,17	4,16
2649025	2,49	2,51	2,52	3,86	3,88	3,89	4,45	4,47	4,47
2749035	15,67	15,67	15,68	19,43	19,43	19,44	20,99	21,00	21,00
2849009	9,77	9,76	9,75	20,18	20,16	20,15	24,96	24,94	24,93
2849023	0,72	0,74	0,75	11,13	11,15	11,16	15,94	15,96	15,97
2749045	0,89	0,88	0,87	0,17	0,16	0,15	0,14	0,15	0,16
2849030	10,25	10,27	10,28	18,50	18,52	18,53	22,24	22,26	22,27
2748000	5,80	5,81	5,82	7,25	7,27	7,27	7,88	7,90	7,91
2651002	20,25	20,26	20,26	40,96	40,98	40,98	50,95	50,97	50,98
60	8,90	8,91	8,91	12,09	12,10	12,11	13,50	13,51	13,52
2649057	13,49	13,51	13,52	18,74	18,76	18,77	21,07	21,09	21,10
2750001	9,41	9,40	9,39	14,89	14,87	14,87	17,14	17,13	17,12
2653001	2,31	2,33	2,34	5,81	5,83	5,83	7,27	7,29	7,30
2751002	17,61	17,63	17,64	33,72	33,75	33,75	41,33	41,35	41,36
94	3,52	3,55	3,55	3,29	3,31	3,32	3,19	3,21	3,22
2650003	17,82	17,81	17,80	0,42	0,41	0,40	6,26	6,27	6,27
2650018	8,48	8,46	8,46	4,90	4,88	4,87	3,31	3,30	3,29
2751003	9,93	9,94	9,94	7,65	7,66	7,66	6,68	6,69	6,70
2751012	1,08	1,09	1,10	6,10	6,11	6,12	8,34	8,35	8,36

Código Estação	T10 (anos)			T50 (anos)			T100 (anos)		
	E% (I ₁₀)	E% (I ₆₀)	E% (I ₁₄₄₀)	E% (I ₁₀)	E% (I ₆₀)	E% (I ₁₄₄₀)	E% (I ₁₀)	E% (I ₆₀)	E% (I ₁₄₄₀)
2752016	4,02	4,01	4,00	12,86	12,84	12,84	16,41	16,40	16,39
108	4,06	4,07	4,07	8,60	8,61	8,62	10,49	10,50	10,51
2752005	1,44	1,44	1,44	7,69	7,69	7,69	10,50	10,50	10,49
2652034	2,81	2,83	2,84	9,81	9,83	9,84	12,97	12,99	13,00
2649013	5,22	5,21	5,20	6,22	6,20	6,19	6,65	6,63	6,62
2649064	16,70	16,68	16,68	21,12	21,11	21,10	22,95	22,94	22,94
2750002	9,88	9,88	9,87	6,90	6,90	6,89	5,64	5,64	5,63
2750009	8,89	8,88	8,88	13,24	13,23	13,23	15,16	15,15	15,15
2750012	0,63	0,62	0,62	4,01	4,02	4,03	5,95	5,96	5,96
507	22,82	22,82	22,83	24,31	24,32	24,32	24,95	24,95	24,96
2653002	3,02	3,02	3,01	0,47	0,47	0,46	0,64	0,65	0,65
2748006	2,06	2,04	2,04	6,94	6,92	6,92	8,96	8,95	8,94
124	10,14	10,13	10,12	10,60	10,59	10,58	10,80	10,79	10,78
2849006	6,71	6,70	6,69	13,02	13,00	13,00	15,85	15,83	15,83
2648027	3,95	3,95	3,94	1,81	1,80	1,80	0,90	0,89	0,89
2648000	0,73	0,74	0,75	11,67	11,68	11,69	16,00	16,01	16,02
2748019	6,86	6,85	6,85	13,31	13,30	13,30	16,21	16,20	16,20
2849008	9,21	9,20	9,19	14,06	14,05	14,05	16,07	16,06	16,06
2749001	1,01	1,00	0,99	1,51	1,50	1,50	1,73	1,72	1,71
2749005	1,27	1,25	1,25	2,30	2,31	2,32	3,79	3,81	3,81
2749022	5,12	5,11	5,10	3,63	3,62	3,61	3,00	2,98	2,97
2849022	0,74	0,72	0,71	1,27	1,25	1,25	1,50	1,48	1,47
2648001	22,28	22,30	22,30	30,27	30,29	30,30	33,87	33,89	33,90
2848007	3,69	3,67	3,66	1,57	1,55	1,55	0,65	0,63	0,62
2649001	7,58	7,60	7,60	6,03	6,04	6,05	5,36	5,38	5,38
2649005	10,28	10,30	10,30	14,15	14,17	14,18	15,86	15,88	15,88
2649027	8,94	8,96	8,97	17,62	17,64	17,65	21,56	21,59	21,60
2753013	0,53	0,51	0,51	1,23	1,21	1,21	1,53	1,51	1,51
2652001	0,20	0,22	0,22	0,05	0,03	0,03	0,16	0,14	0,14
2751011	3,92	3,91	3,91	2,51	2,50	2,50	1,91	1,90	1,90
2649054	16,66	16,67	16,68	23,17	23,19	23,19	25,82	25,83	25,84
2649056	11,26	11,24	11,24	22,68	22,67	22,67	27,14	27,13	27,12

Código Estação	T10 (anos)			T50 (anos)			T100 (anos)		
	E% (I ₁₀)	E% (I ₆₀)	E% (I ₁₄₄₀)	E% (I ₁₀)	E% (I ₆₀)	E% (I ₁₄₄₀)	E% (I ₁₀)	E% (I ₆₀)	E% (I ₁₄₄₀)
2650022	6,71	6,73	6,74	12,47	12,49	12,50	15,05	15,07	15,08
183	12,80	12,81	12,82	16,97	16,99	16,99	18,71	18,72	18,73
477	6,41	6,40	6,39	10,90	10,88	10,88	12,76	12,75	12,75
2749002	0,45	0,44	0,43	3,20	3,19	3,18	4,36	4,35	4,34
2749017	0,86	0,85	0,84	2,36	2,37	2,38	3,71	3,73	3,73
191	0,92	0,94	0,94	8,36	8,34	8,33	12,62	12,60	12,59
2849020	10,36	10,37	10,37	14,74	14,75	14,75	16,56	16,57	16,57
2649012	2,27	2,27	2,27	3,15	3,16	3,16	3,53	3,54	3,54
2649037	11,42	11,43	11,43	13,34	13,35	13,35	14,15	14,16	14,17
2652021	4,76	4,77	4,77	4,69	4,70	4,71	4,66	4,67	4,68
2751004	7,82	7,84	7,84	7,33	7,34	7,35	7,12	7,13	7,14
2648005	1,90	1,87	1,86	2,75	2,72	2,71	3,11	3,09	3,08
2648014	17,44	17,43	17,42	9,94	9,92	9,91	6,85	6,84	6,83
2648033	8,31	8,32	8,33	8,78	8,79	8,79	8,98	8,99	8,99
2648034	19,01	19,00	18,99	14,57	14,56	14,55	12,59	12,57	12,56
2649060	9,63	9,61	9,61	5,25	5,24	5,23	3,31	3,29	3,29
2649061	6,50	6,48	6,47	7,13	7,11	7,11	7,40	7,38	7,38
2749031	2,28	2,29	2,30	6,58	6,57	6,56	10,16	10,14	10,14
2750005	7,63	7,65	7,65	14,41	14,43	14,43	17,46	17,47	17,48
2850004	7,50	7,48	7,48	14,70	14,68	14,68	17,62	17,61	17,60
2650019	0,65	0,64	0,64	2,86	2,87	2,88	4,34	4,35	4,35
2749034	0,07	0,08	0,09	6,96	6,94	6,94	10,14	10,12	10,12
230	7,80	7,78	7,78	6,61	6,60	6,59	6,10	6,08	6,08
2648002	6,31	6,31	6,32	7,34	7,35	7,35	7,78	7,79	7,79
2651036	3,92	3,93	3,94	8,87	8,88	8,89	11,08	11,09	11,09
2649016	14,69	14,66	14,65	16,73	16,70	16,69	17,61	17,59	17,58
2748001	16,54	16,55	16,56	34,46	34,47	34,47	40,94	40,95	40,95
2749015	6,01	6,03	6,03	12,96	12,98	12,99	16,10	16,12	16,13
2650000	5,43	5,44	5,44	4,41	4,42	4,42	3,98	3,99	3,99
2651011	35,01	34,99	34,98	43,36	43,33	43,32	47,11	47,08	47,07
2651044	8,37	8,38	8,39	16,45	16,47	16,47	19,71	19,73	19,73
2849005	13,80	13,82	13,82	15,71	15,72	15,73	16,54	16,55	16,56

Código Estação	T10 (anos)			T50 (anos)			T100 (anos)		
	E% (I ₁₀)	E% (I ₆₀)	E% (I ₁₄₄₀)	E% (I ₁₀)	E% (I ₆₀)	E% (I ₁₄₄₀)	E% (I ₁₀)	E% (I ₆₀)	E% (I ₁₄₄₀)
2849024	5,31	5,29	5,29	1,71	1,70	1,69	0,12	0,11	0,10
2653003	5,99	6,00	6,01	7,29	7,31	7,31	7,85	7,87	7,87
2650015	9,67	9,66	9,65	8,43	8,45	8,46	17,31	17,33	17,34
2748002	0,21	0,21	0,22	7,14	7,15	7,15	9,98	9,98	9,98
2849001	2,13	2,13	2,12	6,94	6,93	6,93	9,08	9,07	9,07
2750007	0,17	0,18	0,19	0,75	0,77	0,77	1,00	1,02	1,02
2748004	4,43	4,43	4,44	0,12	0,13	0,13	1,79	1,78	1,78
2653013	2,67	2,68	2,68	12,70	12,71	12,72	17,32	17,33	17,34
2753006	2,11	2,11	2,11	6,98	6,97	6,97	9,14	9,14	9,13
2650023	13,47	13,49	13,50	17,30	17,32	17,32	18,98	19,00	19,01
2651022	6,04	6,03	6,03	7,54	7,53	7,53	8,17	8,17	8,16
2748017	17,74	17,75	17,76	22,63	22,64	22,64	24,64	24,65	24,65
2849028	8,45	8,46	8,47	14,37	14,38	14,38	16,80	16,81	16,81
2648019	3,85	3,83	3,82	10,12	10,11	10,10	12,70	12,69	12,68
2751010	4,22	4,23	4,23	18,40	18,41	18,41	23,84	23,85	23,85
2649002	4,75	4,76	4,76	8,92	8,93	8,93	10,66	10,67	10,67
2750011	2,63	2,65	2,66	2,76	2,78	2,78	2,81	2,83	2,84
2750010	14,99	14,99	14,99	16,08	16,07	16,07	16,55	16,54	16,54
2651040	2,38	2,37	2,36	5,36	5,35	5,34	6,67	6,66	6,65
2650008	16,48	16,46	16,46	32,84	32,83	32,82	40,58	40,57	40,56
2749006	11,09	11,11	11,12	11,95	11,97	11,97	12,32	12,34	12,34
2949001	13,55	13,54	13,53	17,68	17,67	17,66	19,40	19,38	19,38
2950056	9,24	9,23	9,22	12,76	12,75	12,74	14,31	14,30	14,29
2749023	4,82	4,80	4,80	8,98	8,97	8,96	10,82	10,81	10,81
2749020	13,18	13,19	13,19	16,50	16,50	16,51	17,88	17,89	17,90
2749024	10,17	10,17	10,17	18,27	18,26	18,26	21,53	21,52	21,52
2749039	6,68	6,69	6,70	11,72	11,73	11,73	13,96	13,97	13,97
2649008	11,35	11,37	11,37	16,35	16,36	16,37	18,41	18,42	18,43
2649030	2,46	2,44	2,44	2,05	2,07	2,07	4,06	4,08	4,08
2649031	2,94	2,92	2,91	5,60	5,58	5,57	6,76	6,75	6,74
2649032	3,15	3,17	3,18	9,95	9,97	9,97	13,01	13,03	13,04
2649055	4,73	4,72	4,71	0,44	0,43	0,42	1,35	1,36	1,37

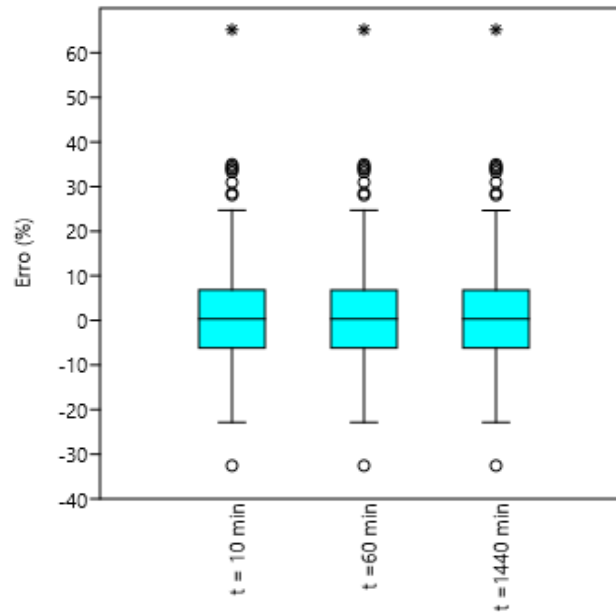
Código Estação	T10 (anos)			T50 (anos)			T100 (anos)		
	E% (I ₁₀)	E% (I ₆₀)	E% (I ₁₄₄₀)	E% (I ₁₀)	E% (I ₆₀)	E% (I ₁₄₄₀)	E% (I ₁₀)	E% (I ₆₀)	E% (I ₁₄₄₀)
2653004	0,48	0,47	0,46	2,28	2,30	2,30	3,49	3,51	3,52
2748005	5,99	5,98	5,97	4,07	4,06	4,06	3,26	3,25	3,25
2651052	0,41	0,42	0,43	6,87	6,89	6,89	9,78	9,80	9,80
2650016	6,27	6,26	6,26	11,32	11,31	11,31	13,56	13,56	13,55
2849031	2,45	2,46	2,47	1,00	0,99	0,98	2,53	2,51	2,50
2649033	28,53	28,55	28,56	32,08	32,10	32,10	33,64	33,65	33,66
2748018	7,97	7,96	7,96	13,73	13,72	13,72	16,30	16,29	16,29
2652002	7,37	7,38	7,39	11,63	11,64	11,64	13,40	13,41	13,42
2849003	3,86	3,84	3,84	14,19	14,18	14,17	18,29	18,28	18,27
2849014	6,79	6,81	6,82	18,82	18,83	18,84	23,51	23,52	23,53
523	8,50	8,49	8,49	5,48	5,47	5,46	4,20	4,19	4,19
2653005	4,58	4,57	4,56	14,73	14,72	14,72	18,76	18,76	18,75
2750008	1,38	1,40	1,41	1,68	1,67	1,66	2,97	2,96	2,95
2750020	1,29	1,27	1,26	6,89	6,87	6,86	9,40	9,38	9,37
2652031	2,52	2,54	2,54	7,87	7,89	7,89	10,26	10,28	10,28
2849002	3,29	3,31	3,31	0,89	0,91	0,91	0,12	0,11	0,10
2848006	5,94	5,92	5,91	0,45	0,47	0,48	3,34	3,36	3,37
2848009	0,22	0,23	0,24	4,66	4,68	4,68	6,51	6,53	6,53
2653007	8,02	8,00	8,00	15,86	15,85	15,84	19,03	19,02	19,01
2949003	2,01	1,99	1,98	6,41	6,43	6,43	10,25	10,27	10,28
2749003	1,40	1,42	1,43	1,80	1,78	1,77	3,14	3,13	3,12
2750014	6,03	6,03	6,04	4,15	4,16	4,16	3,33	3,34	3,34
2750021	0,47	0,48	0,48	8,16	8,17	8,17	11,29	11,29	11,30
2849019	13,46	13,48	13,49	4,03	4,05	4,06	0,35	0,32	0,31
2649004	5,70	5,71	5,71	8,60	8,61	8,62	9,82	9,83	9,84
2649026	2,71	2,72	2,72	9,68	9,69	9,69	12,52	12,54	12,54
2749013	4,61	4,62	4,63	4,10	4,11	4,12	3,88	3,90	3,90
2849000	2,03	2,01	2,00	5,47	5,45	5,45	6,99	6,97	6,97
2849027	22,85	22,84	22,84	25,87	25,86	25,85	27,13	27,12	27,12
2849021	5,32	5,34	5,34	6,24	6,26	6,26	6,64	6,65	6,66
2849011	14,27	14,27	14,28	31,10	31,10	31,11	37,29	37,29	37,29
434	2,59	2,59	2,60	2,46	2,46	2,45	4,72	4,71	4,71

Código Estação	T10 (anos)			T50 (anos)			T100 (anos)		
	E%	E%	E%	E%	E%	E%	E%	E%	E%
	(I ₁₀)	(I ₆₀)	(I ₁₄₄₀)	(I ₁₀)	(I ₆₀)	(I ₁₄₄₀)	(I ₁₀)	(I ₆₀)	(I ₁₄₄₀)
2651001	0,08	0,06	0,06	4,13	4,14	4,15	5,99	6,01	6,01
2749033	2,09	2,10	2,11	7,69	7,70	7,70	10,00	10,01	10,02
2749046	6,86	6,84	6,84	14,52	14,50	14,50	17,98	17,97	17,97
2751009	23,88	23,85	23,84	28,02	27,99	27,98	29,84	29,82	29,81
442	9,95	9,94	9,93	6,48	6,47	6,46	4,94	4,93	4,92
2649058	14,24	14,22	14,22	22,63	22,61	22,60	26,42	26,41	26,40
2649053	2,39	2,38	2,38	7,62	7,61	7,61	9,96	9,95	9,94

Fonte: Do autor (2024).

Observou-se valores de erro médio percentual absoluto que variam de 0,07 (Leoberto Leal - 2749034) a 35,01 (Matos Costa – 2651011) para a uma chuva intensa com um período de retorno de 10 anos e uma duração de 10 minutos. Para a intensidade com um período de retorno de 10 anos e uma chuva com duração de 60 minutos obteve-se o erro percentual absoluto mais baixo para a estação de Vargem Bonita (2651001) e o mais alto para Matos Costa (2651011), respectivamente 0,06 e 34,99. Já para uma intensidade com 10 anos de período de retorno e uma chuva com duração de 1440 minutos (1 dia), obteve-se valores de 0,06 a 34,98, para as estações de Vargem Bonita (2651001) e Matos Costa (2651011) respectivamente.

Figura 5 - Box Plot com erros médio percentuais da intensidade da chuva com T10 anos estimadas com as equações IDF originais e interpoladas das estações pluviométricas de Santa Catarina.



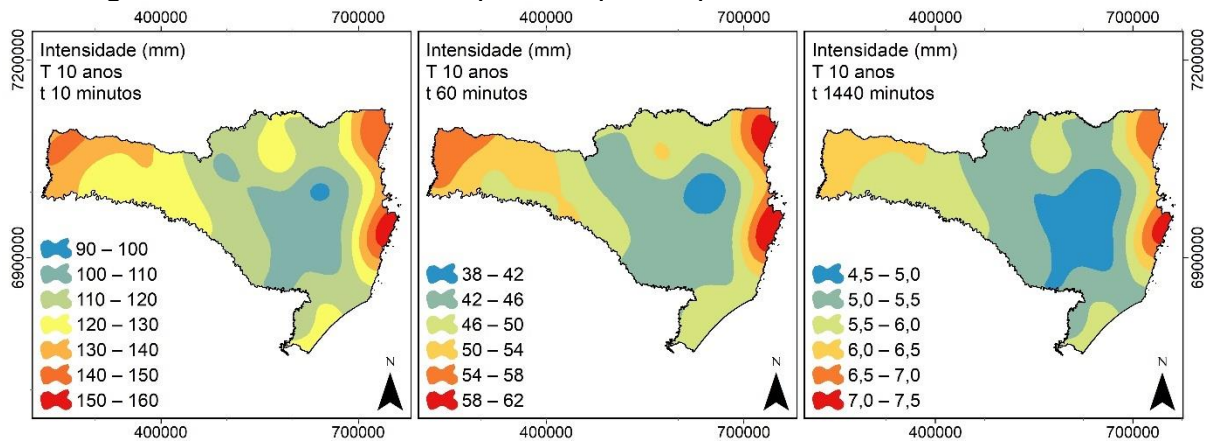
Fonte: Do autor (2024).

Para o período de retorno de 10 anos e as durações de chuvas de 10, 60 e 1440 minutos, percebeu-se conforme *Box Plot* (Figura 5) que mais de 50% das intensidades interpoladas tiveram menos de 10% de erro, onde 40 (22,72%) estações tiveram um erro médio percentual absoluto que variou de 10,12% a 35,01% para todas as durações.

Rabelo *et al.* (2017), calculou a intensidade com os parâmetros interpolados para uma das 17 estações de seu estudo, foi utilizado no cálculo uma chuva intensa para o período de retorno de 10 anos e 10 minutos de duração, o erro médio percentual encontrado foi de 1,80%.

Braga *et al.* (2018) encontraram valores de erro médio percentual absoluto para o período de retorno de 10 anos, que variam de 24,51% a 38,25%, os autores classificaram os erros encontrados no trabalho como aceitáveis.

Figura 6 - Intensidades interpoladas para o período de retorno de 10 anos.



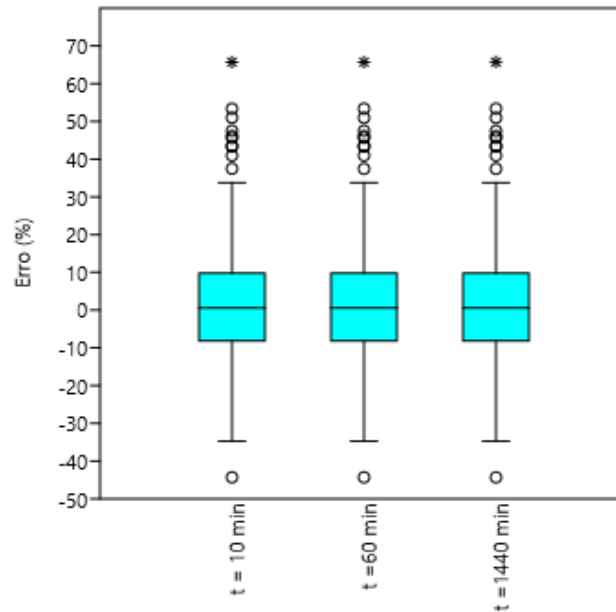
Fonte: Do autor (2024).

A Figura 6 representa a visualização resultante da interpolação das intensidades para as chuvas com duração de 10, 60 e 1440 minutos, e período de retorno de 10 anos.

Na prática um período de retorno de 10 anos poderá ser aplicado no dimensionamento de estruturas de drenagem como galerias pluviais, canais, projetos de conservação de solo, bueiros e micro drenagens urbanas em geral (DAEE-CETESB, 1980; Porto *et al.*, 2000; ELETROBRAS, 2003; Schwab *et al.*, 1966; DER-GO, 2006).

Para o período de retorno de 50 anos e durações de 10, 60 e 1440 minutos, obteve-se valores de erro médio percentual absoluto que variam de 0,05 (Ipumirim - 2652001) a 43,36 (Matos Costa - 2651011) para uma chuva com duração de 10 minutos. Já para uma chuva com duração de 60 minutos obteve-se intensidades com um erro médio percentual absoluto que variou de 0,03 (Ipumirim - 2652001) a 43,33 (Matos Costa - 2651011) e para uma chuva com duração de 1440 minutos (1 dia) o erro médio percentual absoluto variou de 0,03 a 43,33 para as mesmas estações respectivamente. Observou-se que para um período de retorno de 50 anos os maiores e menores erros médios percentuais absolutos foram atribuídos a mesma estação em todas as durações de chuvas.

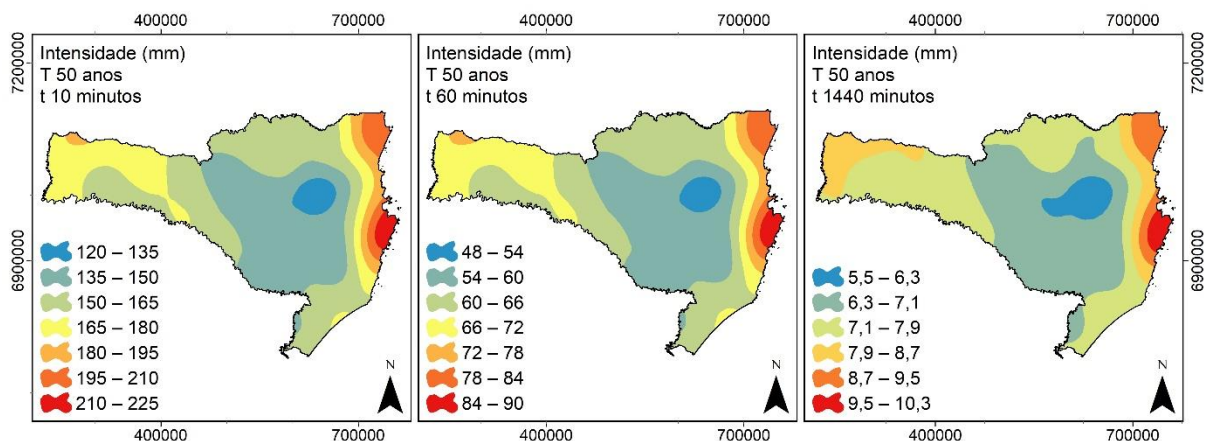
Figura 7 - Box Plot com erros médios percentuais da intensidade da chuva com T50 anos estimadas com as equações IDF originais e interpoladas das estações pluviométricas de Santa Catarina.



Fonte: Do autor (2024).

Conforme Figura 7 observou-se que mais de 50% das intensidades calculadas e interpoladas quando comparadas tiveram menos de 10% de erro médio percentual absoluto, da mesma forma que encontrado para o período de retorno de 10 anos, porém, para um período de retorno de 50 anos 68 (38,63%) estações tiveram valores que variaram de 10,10% a 43,36% para as três durações. Obtendo-se um aumento de quase 16% de estações com erro.

Figura 8 - Intensidades interpoladas para o período de retorno de 50 anos.



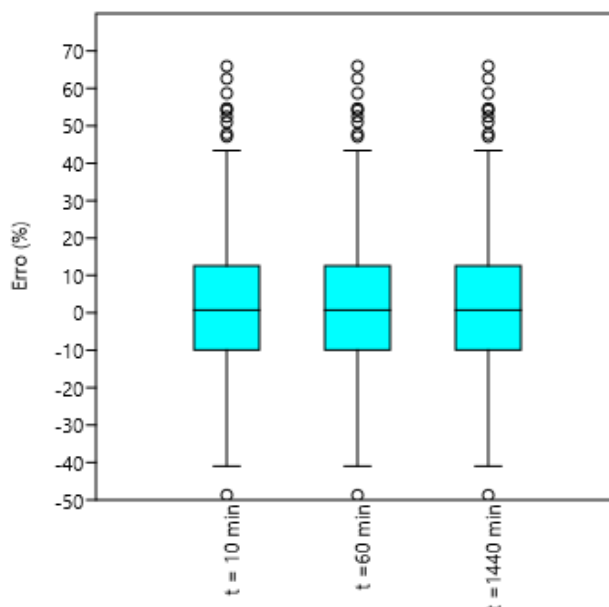
Fonte: Do autor (2024).

A Figura 8 representa a visualização resultante da interpolação das intensidades para as chuvas com duração de 10, 60 e 1440 minutos, e período de retorno de 50 anos.

No dimensionamento de uma estrutura de drenagem, uma obra com um período de retorno de 50 anos será enquadrada como uma macrodrenagem, como, obras em geral em pequenas bacias urbanas, área residenciais e comerciais de maior impacto, pequenas barragens e pontes (DAEE-CETESB, 1980; Porto *et al.*, 2000; ELETROBRAS, 2003; DER-GO, 2006; IRYDA, 1985).

Para o dimensionamento de estruturas de drenagem para um período de retorno de 100 anos com chuvas de duração de 10, 60 e 1440 minutos, obteve-se os seguintes erros médios percentuais absolutos advindos da interpolação. Para uma chuva com duração de 10 minutos obteve-se o erro nulo para a estação de Anitápolis (2749027), indicando assim que o resultado da intensidade e dos parâmetros interpolados foram semelhantes, porém também se obteve um erro médio percentual absoluto de 50,95% para a estação de Caçador (2651002). Para a chuva com duração de 60 minutos encontrou-se uma variação de erro médio percentual de 0,01% também para a estação de Anitápolis (2749027), bem próximo de ser nulo, e o maior erro foi também para a estação de Caçador (2651002) com 50,97%. Por fim da mesma forma que as demais durações, para 1440 minutos também se obteve valores semelhantes que para uma chuva de 60 minutos, variando de 0,02% a 50,98% para as mesmas estações respectivamente.

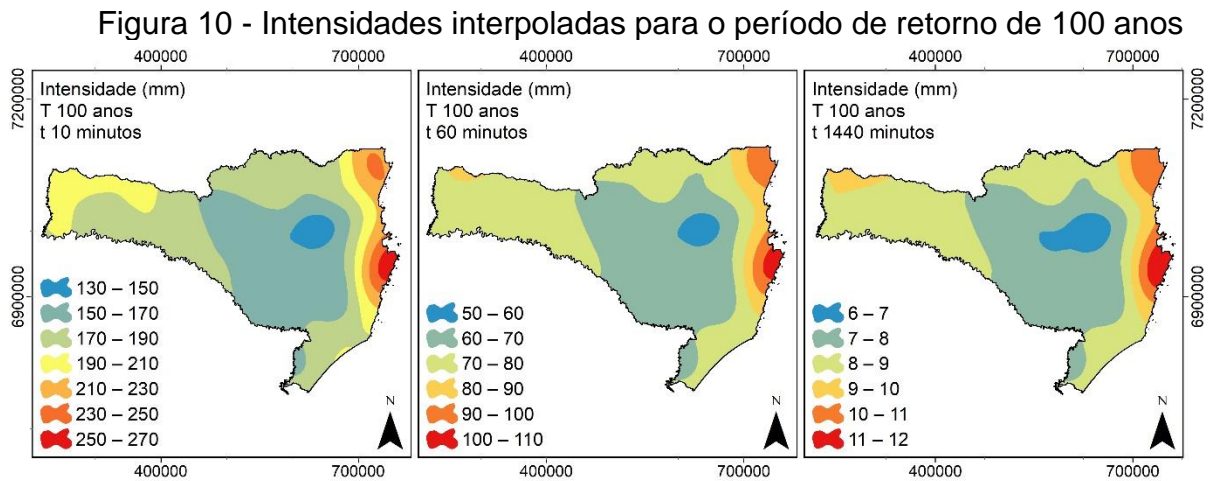
Figura 9 - Box Plot com erros médios percentuais da intensidade da chuva com T100 anos estimadas com as equações IDF originais e interpoladas das estações pluviométricas de Santa Catarina.



Fonte: Do autor (2024).

Para o período de retorno de 100 anos e chuvas com as durações de 10, 60 e 1440 minutos, obteve-se assim como para os demais períodos erros menores que 10% para a maioria das intensidades comparadas, porém o número de estações com valores maiores que 10% de erro aumentaram para 48,86, ou seja, 86 estações tiveram valores de erro médio percentual que variaram de 10% a 50,98%, Vidal Ramos (2749033) e Caçador (2651002) respectivamente.

Esse fato indica que a utilização de dados interpolados pode ter um aumento no erro quando maior for o período de retorno, em contrapartida não se percebeu diferenças significativas de erro entre as durações para um mesmo período de retorno.



Fonte: Do autor (2024).

A Figura 10 representa a visualização resultante da interpolação das intensidades para as chuvas com duração de 10, 60 e 1440 minutos, e período de retorno de 100 anos. Percebe-se que quanto maior o período de retorno, maior também será a intensidade, e quanto maior a duração da chuva, menor a intensidade.

Uma chuva para o período de retorno de 100 anos é utilizada no dimensionamento de obras de drenagem como, pontes maiores que 100 metros, pequenas barragens, vertedores e áreas residenciais e comerciais urbanas (DAEE-CETESB, 1980; Porto *et al.*, 2000; DER-GO, 2006; IRYDA, 1985).

Em relação a aplicação do método proposto, o erro médio percentual a absoluto foi de no máximo 50,98% para a estação de Vidal Ramos (2749033). Mello *et al.* (2003) considerou em seu estudo como valores elevados, os acima de 23%. No presente estudo, para as 9 combinações de intensidades interpoladas, não houve mais de 50% dos valores acima dos 10% de erro.

Braga *et al.* (2018) através do método de krigagem ordinária encontrou valores acima de 23% em 21 estações para a cidade do Rio de Janeiro. Ainda segundo o autor, para as demais estações (7) os erros foram baixos, indicando bons resultados na estimativa de chuvas intensas através dos parâmetros interpolados.

5 CONCLUSÕES

Através do método geoestatístico de krigagem foi possível aplicar a interpolação dos parâmetros “K, m, b e n” para aplicação na equação IDF, isso possibilitou que locais desprovidos destes dados apliquem a equação para dimensionamento de estruturas de drenagem. No entanto só foi possível validar quando se aplicou os parâmetros preditos na equação IDF, onde definiu-se três períodos de retorno e três durações de chuva.

Por fim deve-se ressaltar que para validar o método aplicado e o presente estudo, fez-se necessário encontrar através do erro médio percentual absoluto as diferenças entre a intensidade calculada e a intensidade predita.

Para todas as intensidades calculadas, baseadas na predição dos parâmetros, durações de chuva e períodos de retorno, percebe-se a mesma variação espacial das intensidades no estado, com os menores valores de intensidade na região do Médio Vale do Itajaí e os valores mais elevados nas regiões do Litoral Norte, Florianópolis e Extremo Oeste do estado. Estas mesmas variações foram observadas por Back *et al.* (2021) e Back e Bonetti (2014).

Outros autores em seus estudos, também descreveram esta variação nas distribuições de intensidades para o estado de Santa Catarina (Coan *et al.*, 2014; Gotardo *et al.*, 2018; Back e Poletto, 2018). Esta variação observada se deve em função da atuação das massas de ar, do relevo quando analisadas espacialmente e da distância do litoral (Reboita *et al.*, 2010; Orseli, 1991; Fetter *et al.*, 2018). Para Seluchi *et al.* (2017), a região leste do estado de Santa Catarina, possui um grande histórico de catástrofes naturais relacionadas as frentes frias e chuvas intensas, ressaltando a influência de massas de ar tropical e os sistemas frontais nestas regiões, em função das escarpas da Serra Geral e do planalto.

Estes desastres naturais que ocorrem em Santa Catarina, como os movimentos de massa e alagamentos, estão diretamente associados a sistemas meteorológicos estacionários, resultando em grandes períodos de chuva (Cardoso *et al.*, 2020). Justificando o apresentado neste trabalho.

O trabalho buscou propor através da técnica de interpolação espacial, a predição dos parâmetros para locais desprovidos, possibilitando um melhor dimensionamento para estruturas hidráulicas, uma vez que muitas regiões do estado de Santa Catarina ainda carecem de tal dado, pela falta ou baixa qualidade de registros pluviométricos. A interpolação vem justamente como uma solução para tal

problema, que influencia diretamente em dimensionamentos estruturais de obras de drenagem por exemplo, tanto para novos projetos como para remediar problemas existentes em ambientes urbanos e rurais.

Na literatura em geral há uma quantidade grande de estudos que englobam e evidenciam os métodos geoestatísticos como fundamentais na predição destes dados, porém em virtude da grande extensão do território brasileiro e as atualizações de registros pluviométricos e pluviográficos diários, deve-se sempre levar em consideração atualizações através das técnicas de interpolação especial em ambiente computacional, pela sua fácil viabilidade em tratar os dados de forma rápida e eficaz.

Este argumento evidenciou a necessidade de se desenvolver tal estudo através das técnicas aqui propostas para demais regiões do Brasil e do mundo, sempre aplicando dados atualizados com o objetivo de melhorar e ampliar estes parâmetros para sua respectiva localidade.

Os maiores erros encontrados nos parâmetros e intensidades interpolados, não se deve a técnica adotada no estudo, mas sim ao possível ajuste destes dados, uma vez que o método de krigagem estimou estes dados através da geoestatística, considerando a localização e peso de cada dado baseado na sua vizinhança. Assim uma estação pluviométrica com parâmetros muito discrepantes dos demais como o caso da de Matos Costa, é forçado a se ajustar de acordo com os vizinhos em função da sua localização espacial.

Pode-se concluir que o presente estudo alcançou o objetivo proposto, uma vez que a comparação das intensidades trouxe resultados próximos a realidade para o estado de Santa Catarina, ressaltando que a aplicabilidade do método é possível, viável e confiável, levando em conta que em todos os aspectos de comparação mais de 50% dos resultados tiveram erros inferiores a 10%.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO - ANA. Hidroweb: **Sistemas de Informações Hidrológicas**. Disponível em: <http://hidroweb.ana.gov.br>. Acesso em: 24 jun. 2020.

ALMEIDA, L. T. **Espacialização de chuvas intensas: uma nova proposta**. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Meteorologia Aplicada II, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2017.

ALMEIDA, C. O. S.; AMORIM, R. S. S.; ELTZ, F. L. F.; COUTO, E. G.; JORDANI, S. A. **Erosividade da chuva em municípios do Mato Grosso: Distribuição sazonal e correlações com dados pluviométricos**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.16, n. 2, p.142- 152, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1415-3662012000200003>.

ALVES SOBRINHO, T.; PERTUSSATTI, C. A.; REBUCCI, L. C. S.; OLIVEIRA, P. T. S. de; **Estimativa da erosividade local das chuvas, utilizando redes neurais artificiais**. Revista Ambiente & Água, v.6, n. 2, p.246-254, 2011. DOI: <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.197>.

ALVES, E. D. L.; BIUDES, M. S.; VECCHIA, F. A. S. **Interpolação espacial na climatologia: análise dos critérios que precedem sua aplicação**. Revista Geonorte, Edição Especial 2, v.1, n.5, p. 606 – 618, 2012.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. **Köppen's climate classification map for Brazil**. Meteorologische Zeitschrift, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

ARAGÃO, R.; SANTANA, G. R.; COSTA, C. E.; CRUZ, M. A.; FIGUEIREDO, E. E.; SRINIVASAN, V. S. **Chuvas intensas para o estado de Sergipe com base em dados desagregados de chuva diária**. R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental 3, 243-252, 2013.

ARAÚJO, L. E.; SOUSA, F. A. S.; RIBEIRO, M. A. F. M.; SANTOS, A. S.; MEDEIROS, P. C. **Análise estatística de chuvas intensas na bacia hidrográfica do Rio Paraíba**. Revista Brasileira de Meteorologia, v.23, n.2, 162-169, 2008. DOI: 10.1590/S0102-7786200800020000.

ASAE Standards. S268.5 JAN2012. **Design, Layout, Construction and Maintenance of Terrace Systems**. American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, Michigan. 2012. 10p.

ASSAD, E. D.; MACEDO, M. A.; JUNIOR, J. Z.; PINTO, H. S.; BRUNINI, O. **Avaliação de métodos geoestatísticos na espacialização de índices agrometeorológicos para definir riscos climáticos**. Pesq. agropec. bras., Brasília, v. 38, n. 2, p. 161-171, fev. 2003.

ATAÍDE, D. H. S.; ARAÚJO, E. J. G.; MONTE, M. A.; MENDONÇA, B. A. F.; SILVEIRA, C. E.; ALBUQUERQUE, A. M.; SILVA, L. C. **Métodos geoestatísticos e**

determinísticos na espacialização da altura dominante em povoamento de eucalipto. Revista de Ciências Agrárias, 2020, 43(1): 98-108.

BACK, Á. J. **Chuvas Intensas e chuva para dimensionamento de estruturas de drenagem para o estado de Santa Catarina. (Com programa HidroChuSC para cálculos).** Florianópolis, SC: Epagri, 2013. 193p.

BACK, Á.J.; BONETTI, A.V. **Chuva de projeto para instalações prediais de águas pluviais de Santa Catarina.** Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v.19, n.4, p.260-267, 2014.

BACK, Á. J.; POLETO, C. **Distribuição espacial e temporal da erosividade das chuvas no estado de Santa Catarina, Brasil.** Revista Brasileira de Climatologia, v. 22, p.381-403, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/abclima>. v22i0.56914.

BACK, Á. J; CADORIN, S. B. **Heavy rain equations for Brazil.** International Journal of Development Research, Turkia, v.11, n.1, p.43332-43337, 2021.

BACK, Á. J.; BONFANTE, F. M. **Evaluation of generalized extreme value and Gumbel distributions for estimating maximum daily rainfall.** Brazilian Journal of Environmental Sciences, n. 56, v.4, p. 654–664, 2021.
<https://doi.org/10.5327/Z217694781015>.

BACK, Á. J; WILDNER, L. P; PEREIRA, J. R. **Chuvas intensas para projetos de conservação do solo e da água no estado de Santa Catarina.** Agropecuária Catarinense, 34(2), 65-72. 2021.

BACK, Á. J. **Chuvas intensas e estimativas da chuva de projeto para o estado de Santa Catarina.** Florianópolis, SC: Epagri, 2022. 204p.

BACK, Á. J.; BACK, B.; BACK, L.; SOUZA, G. S. **Equação de chuvas intensas de longa duração para Santa Catarina, Brasil.** Revista Brasileira De Climatologia, 33(19), 189–207. 2023. <https://doi.org/10.55761/abclima.v33i19.17062>.

BALBASTRE-SOLDEVILA, R.; GARCIA-BARTUAL, R.; ANDREA-DOMENECH, I. A **comparison of design storms for urban drainage system applications.** Water, v.11, n.757, 2019.

BARA, M.; KOHNOV, S.; GAÁL, L.; SZOLGAY, J.; HLAVCOVÁ, K. **Estimation of IDF curves of extreme rainfall by simple scaling in Slovakia.** Contributions to Geophysics and Geodesy, v.39, n.3, p. 187-206, 2009.

BASSO, R. E., ALLASIA, D. G., TASSI, R., PICKBRENNER, K., **Revisão das isozonas de chuvas intensas do Brasil,** Engenharia Sanitária Ambiental. Aceito em 18/03/2016, 7p., 2016.

BELL, F. G. **Generalized rainfall-duration-frequency relationships.** Journal of the Hydraulics Division, v.95, n.1, p.311-327, 1969.

BERNARD, M. M. **Formulas for rainfall intensities of long durations.** Trans. Am. Soc. Civil Eng, v.96, p.592-606, 1932.

BERTOLIN, T. Q.; CORSO, C.; MENDES, L. A.; BARBOSA, A. G.; SCHNEIDER, V. E. **Determinação de equações de chuvas intensas para a encosta superior do nordeste do Rio Grande do Sul.** Universidade Federal de Santa Maria. Ci. e Nat., Santa Maria v.42, e83, 2020.

BERTONI, J. C.; TUCCI, C. E. M. **Precipitação.** *In:* Hidrologia: ciência e aplicação / organizado por Carlos E. M. Tucci. 3.ed. – Porto Alegre: Editora da UFRGS / ABRH, 2002, 943p.

BEZAK, N.; SRAJ, M.; RUSJAN, S.; MIKOS, M. **Impact of the rainfall duration and temporal rainfall distribution defined using the Huff curves on the hydraulic flood modelling results.** Geosciences, v. 8, n.69, 2018.

BORTOLINI, T. A.; CORSO, C.; MENDES, L. A.; BARBOA, AL G.; SCHNEIDER, V. E. **Determinação de equações de chuvas intensas para a Encosta Superior do Nordeste do Rio Grande do Sul.** Ciência e Natura, v.42, e83, 2020.
DOI:10.5902/2179460X40357.

BRAGA, R. N. S.; HORA, M. A. G. M.; LYRA, G. B.; NASCENTES, A. L. **Determinação e interpolação dos coeficientes das equações de chuvas intensas para cidade do Rio de Janeiro.** Rev. Ambient. Água vol. 13 n. 1, e2076 - Taubaté 2018.

BURROUGH, P. A.; MCDONNELL, R. A. **Principles of geographical information systems.** Oxford; New York: Oxford University Press, 2000. 333p.

CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M. V. **Conceitos básicos em ciência da geoinformação.** São José dos Campos: INPE. 2001. cap 2. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/cap2-conceitos.pdf>>. Acesso em: janeiro de 2023.

CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. **Introdução à Ciência da Geoinformação.** [on-line] 2001. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/>>. Acesso em: 13 de mar. 2024.

CÂMARA, G.; MEDEIROS, C. B.; CASA NOVA, M. A.; HEMERLY, A.; MAGALHÃES, G. **Anatomia de Sistemas de Informação Geográfica.** Campinas: SBC/Escola de Computação, 1996.

CAMARGO, E. C. G; FUCKS, S. D; CÂMARA, G. **Análise Espacial de Superfícies.** *In:* Análise Espacial de Dados Geográficos. Org. por Druck, S., Carvalho, S.M., Câmara, G. e Monteiro, A.V.M. EMBRAPA, Brasília – DF, pp. 3.1–3.37, 2004.

CAMPOS, A. R.; SANTOS, G. G.; SILVA, J. B. L.; IRENE FILHO, J.; LOURA, D. S. **Equações de intensidade-duração-frequência de chuvas para o estado do Piauí.** Revista Ciência Agronômica, Fortaleza, v. 45, n.3, p. 488-498, 2014.

CARDOSO, C.S.; QUADRO, M.F.L. de; BONETTI, C. **Persistência e abrangência dos eventos extremos de precipitação no Sul do Brasil: Variabilidade Espacial**

e Padrões Atmosféricos. Revista Brasileira de Meteorologia, v.35, .2, p.219-,231, 2020.

CASTRO, F. S.; PEZZOPANE, J. E. M.; CECÍLIO, R. A.; PEZZOPANE, J. R. M.; XAVIER, A. C. **Avaliação do desempenho dos diferentes métodos de interpoladores para parâmetros do balanço hídrico climatológico.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 14, n. 8, p. 871-880, 2010. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-3662010000800012>

CECÍLIO, R. A.; PRUSKI, F. F. **Interpolação dos parâmetros da equação de chuvas intensas com uso do inverso de potências da distância.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.7, n.3, p.501-504, 2003.

CECÍLIO, R. A.; XAVIER, A. C.; PRUSKI, F. F.; HOLLANDA, M. P.; PEZZOPANE, J. E. M. **Avaliação de interpoladores para os parâmetros das equações de chuvas intensas no Espírito Santo.** Revista Ambiente & Água, Taubaté, v.4, n.3, p.82-92, 2009. DOI: 10.4136/ambi-agua.104.

CETESB - COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Drenagem urbana – Manual de projeto.** 3.ed. São Paulo: CETESB, 1986.

CHEN, C. L. **Rainfall intensity-duration-frequency.** Journal of Hydraulic Engineering, v.109, n.12, p.1603-1621, 1983.

CHEN, Y. R.; YEH, C. H.; YU, B. **Integrated application of the analytic hierarchy process and the geographic information system for flood risk assessment and flood plain management in Taiwan.** Natural Hazards, v. 59, n. 3, p. 1261–1276, dez. 2011.

CHOW, V. T.; MAIDMENT, D. R.; MAYS, L. W. **Applied Hydrology.** McGraw-Hill. New York, 1988.

COAN, B. D. P.; BACK, Á. J.; BONETTI, A. V. **Precipitação mensal e anual provável no estado de Santa Catarina.** Revista Brasileira de Climatologia, v. 15, p. 122- 142, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/abclima>. v15i0.38348.

COOK, L. M.; MCGINNIS, S.; SAMARAS, C. **The effect of modelling choices on updating intensity-duration-frequency curves and stormwater infrastructure designs for climate change.** Climatic Change, v.159, p.289–308, 2020.

DAEE: CETESB. **Drenagem urbana: manual de projeto.** 2. ed. corr. São Paulo: Cetesb, 1980. 468p.

DAMÉ, R. C. F. F.; TEIXEIRA, C. F. A.; TERRA, V. S. S. **Comparação de diferentes metodologias para estimativa de curvas Intensidade-duração-freqüência.** Engenharia Agrícola, v.28, n.2, p.245-255, 2008.

DER-GO. **Instruções de serviço para estudos hidrológicos,** IS-04, 4p, 2006.

ELETROBRAS. **Diretrizes para projetos de PCH.** Estudos básicos, 2003, cap. 6, 15p.

EPAGRI. Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina. **Banco de dados de variáveis ambientais de Santa Catarina**. Florianópolis: Epagri, 2020. 20p. (Epagri, Documentos, 310).

ESRI - ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE - ARCGIS. **Desktop Software**. Versão 10.8: ESRI Inc., 2019. Disponível em: <<https://www.esri.com/en-us/arcgis/products/index>>. Acesso em: 16/01/2023.

EWEA, H. A.; ELFEKI, A. M.; AL-AMRI, N. S. **Development of intensity-duration-frequency curves for the Kingdom of Saudi Arabia**. Journal Geomatics, Natural Hazards and Risk, v. 8, p. 570 - 584, 2017.

FERNÁNDEZ, D. S.; LUTZ, M. A. **Urban flood hazard zoning in Tucumán Province, Argentina, using GIS and multicriteria decision analysis**. Engineering Geology, v. 111, n. 1-4, p. 90–98, jan. 2010.

FETTER, R.; OLIVEWIRA, C.H.; STEINKE, E.T. **Um Índice para Avaliação da Variabilidade Espaço-Temporal das Chuvas no Brasil**. Revista Brasileira de Meteorologia, v. 33, n.2, 225-237, 2018.

FIORIO, P. R.; DUARTE, S. N.; RODRIGUES, G. O.; MIRANDA, J. H.; COOKE, R. A. **Comparação de equações de chuvas intensas para localidades do estado de São Paulo**. Engenharia Agrícola, v.32, n.6, 2012. DOI: 10.1590/S0100-69162012000600009.

GONÇALVES, F. N.; BACK, A. J.; SUTIL, T. **Índice de concentração de precipitação no município de Garuva – SC**. In: Planejamento e gestão territorial: a sustentabilidade dos ecossistemas urbanos / Nilzo Ivo Ladwig, Hugo Schwalm, organizadores. Criciúma, SC: EDIUNESC, 2018, 568p.

GOTARDO, R.; PIAZZA, G. A.; TORRES, E.; SEVERO, D. L.; KAUFAMANN, V. **Distribuição espacial e temporal das chuvas no estado de Santa Catarina**. Geosul, Florianópolis, v.33, n.67, p.253-276, 2018. DOI: <https://doi.org/10.5007/2177-5230.2018v33n67p253>.

GRIEBELER, N. P.; PRUSKI, F. F.; MARTINS JUNIOR, D.; SILVA, D. D. **Avaliação de um modelo para a estimativa da lâmina máxima de escoamento superficial**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v.25, n.2, p.411-417, 2001.

IRYDA. Instituto Nacional de Reforma y Desarrollo Agrario. **Diseño e construcción de pequeños embalses**. Madrid, 1985. 197p. (Series de Ingenieria Rural y Desarrollo Agrario)

JUNIOR, A. I. O.; MARTINS, E. S.; COSTA, C. T. F.; CALDAS, H. F. M. **Análise da precipitação e determinação de equações de chuvas intensas para o município de Crato-CE situado no semiárido do Brasil**. Revista GEAMA, 5 (3): 56-65, Dez. 2019.

KHALIQ, M. N.; CUNNANE, C. **Modelling point rainfall occurrences with the modified Bartlett-Lewis rectangular pulses model**. J Hydrol 180:109–138. 1996.

KOUTSOYIANNIS, D.; KOZONIS, D.; MANETAS, A. **A mathematical framework for studying rainfall intensity-duration-frequency relationships**. Journal of Hydrology. 206, 118-135, 1998.

LADWIG, N. I.; SCHWALM, H. (Org.). **Gestão socioambiental das cidades no Século XXI: Teorias, Conflitos e Desafios**. Florianópolis: Editora Insular, 2013, p. 209-214.

LANDIM, P. M. B. **Análise estatística de dados geológicos**. São Paulo: Editora UNESP, 2003.

LIMA NETO, V. S.; TAVARES, P. R. L.; BATISTA, T. L. **Ajuste e Validação de Equações IDF a Partir de Dados Pluviométricos para Cidades do Estado de Pernambuco, Brasil**. Revista Brasileira de Meteorologia, v. 36, n. 4, 713-721, 2021 DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0102-778636003>.

MAMUN, A. A.; SALLEH, M. N.; NOOR, H. M. **Estimation of short-duration rainfall intensity from daily rainfall values in Klang Valley, Malaysia**. Applied Water Science, v.8, n.203, 2018. <https://doi.org/10.1007/s13201-018-0854-z>.

MARCUZZO, F. F. N.; ANDRADE, L. R.; MELO, D. C. R. **Métodos de Interpolação Matemática no Mapeamento de Chuvas do Estado do Mato Grosso**. Revista Brasileira de Geografia Física, v. 4, p. 793-804, 2011.

MELLO, C. R.; LIMA, J. M.; SILVA, A. M.; MELLO, J. M.; OLIVEIRA, M. S. **Krigagem e inverso do quadrado da distância para interpolação dos parâmetros da equação de chuvas intensas**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 27, n. 5, p. 925-933, 2003.

MELLO, C. R.; VIOLA, M. R.; MELLO, J. M.; SILVA, A. M. **Continuidade espacial de chuvas intensas no estado de Minas Gerais**. Ciência e agrotecnologia, Lavras, v. 32, n. 2, p. 532-539, mar./abr., 2008. DOI: 10.1590/S0100-06832013000100004.

MELLO, C. R.; VIOLA, M. R. **Mapeamento de chuvas intensas no estado de Minas Gerais**. R. Bras. Ci. Solo, 37:37-44. 2012.

MELLO, C. R.; SILVA, A. M. **Hidrologia: princípios e aplicações em sistemas agrícolas**. Lavras: Ed. UFLA, 2013 455p.

MIRANDA, J. I. **Fundamentos de Sistema de Informações Geográficas**. 2ª ed. Ver. Atual.- Brasília, DF: Embrapa Informações Tecnológica, 2010.

MOURI, G.; MINOSHIMA, D.; GOLOSOV, V.; CHALOV, S.; SETO, S.; YOSHIMURA, K.; NAKAMURA, S.; OKI, T. **Probability assessment of flood and sediment disasters in Japan using the Total Runoff-Integrating Pathways model**. International Journal of Disaster Risk Reduction, v.3, p.31-43, 2013.

NAMITHA, M. R.; VINOOTHKUMAR, V. **Development of empirical models from rainfall-intensity-duration-frequency curves for consecutive Days maximum**

rainfall using GEV distribution. Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry, v. 8, n. 1, p. 2705-2709, 2019.

NETO, V. L. S.; SOUZA, L. B.; VIOLA, M. R.; MORAIS, M. A. V. **Equação de chuvas intensas e precipitação máxima provável para a cidade de Goiás-GO, Brasil.** Revista Brasileira de Climatologia, Dourados, MS, v. 30, Jan./Jun. 2022, ISSN 2237-8642.

OLIVEIRA, F. H.; WOSNY, G. C.; DAL SANTO, M. A.; **O Uso de Ferramentas Geotecnológicas na Geografia: (SIG e Imagens de alta resolução espacial).** Simpósio UDESC. Florianópolis. 2004.

OLIVEIRA, L. F. C.; CORTÊS, F. C.; WEHR, T. R.; BORGES, L. B.; SARMENTO, P. H. L.; GRIEBELER, N. P. **Intensidade-duração-frequência de chuvas intensas para localidades no Estado de Goiás e Distrito Federal.** Pesquisa Agropecuária Tropical, v.35, n.1, p.13-18, 2005

OLIVEIRA, P. T. S.; RODRIGUES, D. B. B.; SOBRINHO, T. A.; CARVALHO, D. F.; PANACHUKI, E. **Spatial variability of the rainfall erosive potential in the state of Mato Grosso do Sul, Brazil.** Eng. Agríc., Jaboticabal, v.32, n.1, p.69-79, 2012.

OMBADI, M.; NGUYEN, P.; SOROOSHIAN, S.; HSU, K. **Developing intensity-duration- frequency (IDF) curves from satellite-based precipitation: methodology and evaluation.** Water Resour Res 54:7752–7766. 2018.

ORSELLI, L. Clima. In: **Atlas de Santa Catarina.** Rio de Janeiro: Secretaria de Estado de Coordenação Geral e Planejamento, 1991. 96p.

OZEMOY, V. M., SMITH, D. R.; SICHERMAN, A. **Evaluating computerized geographic information systems using decision analysis.** Interfaces, v. 11, p. 92-8, 1981.

PANDOLFO, C.; BRAGA, H. J.; SILVA JR, V. P.; MASSIGNAM, A. M., PEREIRA, E. S.; THOMÉ, V. M. R.; VALCI, F.V. **Atlas climatológico digital do estado de Santa Catarina.** Florianópolis: Epagri, 2002. CD-Rom.

PFAFSTETTER, O. **Chuvas Intensas no Brasil: Relação ente precipitações, duração e frequência de chuvas em 98 postos com pluviógrafos/Otto Pfafstetter.** Rio de Janeiro, Departamento nacional de Obras e Saneamento. Coordenadoria de Comunicação Social, 2o Edição, 1958.

PORTO, R. L.; ZAHED, FILHO, K.; TUCCI, C. E. M. Drenagem urbana. In: TUCCI, C. E. M. (Org.). **Hidrologia: ciência e aplicação** (p. 805-848). Porto Alegre, RS: UFRGS; ABRH, 2000. p. 805-848.

PRUSKI, F. F.; FERREIRA, P. A.; RAMOS, M. M.; CECON, P.R. **Model to design level terraces.** J. Irrig. Drain. Eng., 123:8- 12, 1997.

PRUSKI, F. F.; BRANDÃO, V. S.; SILVA, D. D.; **Escoamento superficial.** Viçosa-MG: UFV, 2003. 88p.

RABELO, A. E. C. G. C.; RIBAS, L. V. S.; NETO, A. R.; COUTINHO, A. P.; ANTONINO, A. C. D. **Espacialização dos parâmetros de equações de chuvas intensas para a Região Metropolitana do Recife.** *In:* Revista Brasileira de Geografia Física, v. 11, n. 4 (2017), p.1542-1554.

RANGEL, E. M.; HARTWIG, M. P. **Análise das curvas de intensidade-duração-frequência para a cidade de Pelotas através de uma função de desagregação.** Revista Thema, Pelotas, v. 14, n. 1, p. 63–77, 2017. DOI: 10.15536/thema.14.2017.63-77.353. Disponível em: <https://periodicos.ifsul.edu.br/index.php/thema/article/view/353>. Acesso em: 27 fev. 2024.

REYES, M. R.; BENGTSON, R. L.; ROBBINS, K. D. **Rip and Wmrip. New measures of rainfall intensity distribution.** Transactions of the ASAE, v.36, n.6, p.1619-1623, 1993.

RIGHETTO, A. M. **Hidrologia e recursos hídricos.** São Carlos: EESC/USP, 1998. 819p.

REBOITA, M. S.; GAN, M. A, ROCHA, R. P.; AMBRIZI, T. **Regimes de precipitação na América do Sul: Uma revisão bibliográfica.** Revista Brasileira de Meteorologia, v.25, n. 2, p.185-204, 2010.

RODRIGUES, M. **Geoprocessamento: um retrato atual.** Revista Fator GIS, Curitiba, 1993.

SAMPAIO, M. V. **Determinação e espacialização das equações de chuvas intensas em bacias hidrográficas do Rio Grande do Sul.** 2011. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2011.

SANTOS, G. G.; FIGUEIREDO, C. C.; OLIVEIRA, L. F. C.; GRIEBELER, N. P. **Intensidade-duração-frequência de chuvas para o Estado de Mato Grosso do Sul.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.13, p.899–905, 2009.

SANTOS, G. R. **Hierarquização geométrica dos preditores geoestatísticos.** 2010. Tese (Doutorado) - Pós-Graduação em Estatística e Experimentação Agropecuária, Lavras: UFLA, 2010.

SANTOS, G. G.; GRIEBELER, N. P.; OLIVEIRA, L. F. C. **Chuvas intensas relacionadas à erosão hídrica.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental v.14, n.2, p.115–123, 2010

SCHWAB, G. O.; FREVERT, R. K.; DMINSTER, T. W. et al. **Soil and water conservation engineering.** 2. Ed. New York: John Wiley, 1966. 683p. (The Ferguson Foundation Agricultural Engineering Series).

SELUCHI, M.; BEU, C.; ANDRADE, K.M. **Características das frentes frias causadoras de chuvas intensas no leste de Santa Catarina**. Revista Brasileira de Meteorologia, v.32, n.1, p.25-37, 2017.

SENNA, R. S.; XAVIER, A. C.; LIMA, J. S. S.; CECÍLIO, R. A. **Metodologias para estimativa dos parâmetros da equação de chuvas intensas no estado do Espírito Santo**. Engenharia na Agricultura, v. 18, p. 496-503, 2010.

SHERMAN, C. W. **Frequency and intensity of excessive rainfall at Boston**. Transactions of the American Society of Civil Engineering, v. 95, p. 951–960, 1931.

SILVA, D. D.; GOMES FILHO, R. R.; PRUSKI, F.; PEREIRA, S. B.; NOVAES, L. F. **Chuvas intensas para o Estado da Bahia**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 6, n. 2, p. 362-367, 2002. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662002000200030>

SILVA, D. D.; VALVERDE, A. E. L.; PRUSKI, F. F.; Gonçalves, R. A. B. **Estimativa e espacialização dos parâmetros da equação de intensidade-duração-frequência da precipitação para o Estado de São Paulo**. Revista Engenharia na Agricultura, v.7, n.2, p.70-87, 1999.

SILVA, J. B. L.; CÂNDIDO, F. A.; PIRES, L. C.; FRANÇA, L. C. J. **Nota Técnica: Equações de Intensidade, Duração e Frequência de chuvas máximas para o estado do Rio Grande do Norte, Brasil**. Revista Engenharia Na Agricultura, v. 26, n. 2, p. 160–170. 2018 <https://doi.org/10.13083/reveng.v26i2.885>.

SANTOS, M. A.; CARVALHO, S. M.; ANTONELI, V. **Suscetibilidade a Enchentes a Partir da Análise de Variáveis Morfométricas na Bacia Hidrográfica Rio Bonito em Irati-Pr. Brasil**. Revista Equador (UFPI), v. 5, n. 5, p.152 – 167, 2016.

STEFANIDIS, S.; STATHIS, D. **Assessment of flood hazard based on natural and anthropogenic factors using analytic hierarchy process (AHP)**. Natural Hazards, v. 68, n. 2, p. 569–585, set. 2013.

SILVEIRA, A. L. L. **Equações cumulativas sequenciais do hietograma do método de Chicago**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 21, n. 3, p. 646-651, 2016. <http://dx.doi.org/10.1590/2318-0331.011615094>.

SILVESTRE, M. R.; FLORES, E. F.; SANT'ANNA NETO, J. L. **Geoestatística aplicada à espacialização da precipitação**. Revista Formação (ONLINE) Vol. 3; n. 23, mai-ago/2016. p. 317-338, ISSN: 2178-7298, ISSN-L: 1517-543X.

SIVAPALAN, M.; BLÖSCHL, G. **Transformation of point rainfall to areal rainfall: intensity-duration-frequency curves**. Journal of Hydrology, v.204, n.1-4, p.150-167, 1998.

SOBRINHO, V. F.; RODRIGUES, J. O.; MENDONÇA, L. A. R.; ANDRADE, E. M.; TAVARES, P. R. L. **Desenvolvimento de equações Intensidade-Duração-Frequência sem dados pluviográficos em regiões semiáridas**. Revista Brasileira

de Engenharia Agrícola e Ambiental. Campina Grande, PB, UAEA/UFPG. v.18, n.7, p.727–734, 2014.

SOUZA, R. O. R. M.; SCARAMUSSA, P. H. M.; AMARAL, M. A. C. M.; NETO, J. A. P.; PANTOJA, A. V.; SADECK, L. W. R. **Equações de chuvas intensas para o Estado do Pará**. Engenharia Agrícola e Ambiental, v.16, n.9, p.999–1005, 2012.

SOUZA, G. S.; SILVA, J. G. S.; BACK, Á. J. **Análise morfométrica da bacia hidrográfica do rio itoupava: subsídios à gestão territorial**. COBRAC - Congresso de Cadastro Multifinalitário e Gestão Territorial (2022): n. pág. Web. 19 Dec. 2022.

SUDA, Y. **Meanings of constants in rainfall depth-duration formulas and relations between the constants**. Journal of Japan Society of Hydrology and Water Resources, v.31, n.3, p.166-177, 2018.

SUN, Y.; WENDI, D.; KIM, D. E.; LIONG, S.-Y. **Deriving intensity-duration-frequency (IDF) curves using downscaled in situ rainfall assimilated with remote sensing data**. Geoscience Letters, v. 6, n. 17, p. 1-12, 2019. <https://doi.org/10.1186/s40562-019-0147-x>.

TAO, T. A. O.; CHOCAT, B.; LIU, S.; XIN, K. **Uncertainty analysis of interpolation methods in rainfall spatial distribution-a case of small catchment in Lyon**. Journal of Environmental Protection 01, 50-58. 2009.

TUCCI, C.E.M. **Inundações Urbanas**. In: TUCCI, C.E.M.; PORTO, R.L.L.; BARROS, M.T (Eds.). Drenagem Urbana. Porto Alegre: ABRH/Editora da Universidade/UFRGS, cap. 1, p. 15-36, 1995

TUCCI, C. E. M.; GENZ, F. **Controle do Impacto da Urbanização**. In: TUCCI, C.E.M.; PORTO, R.L.L.; BARROS, M.T. (Eds.). Drenagem Urbana. Porto Alegre: ABRH/Editora da Universidade/UFRGS, cap. 7, p. 277-347, 1995

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: Ciência e aplicação**. 3.ed. Porto Alegre: UFRGS/ABRH, 2004. 943p.

XAVIER, A. C.; CECÍLIO, R. A.; LIMA, J. S. S. **Módulos em matlab para interpolação espacial pelo método de Krigagem ordinária e do inverso da distância**. Revista Brasileira de Cartografia. n. 62/01, 2010. (ISSN 0560-4613).

YAMAMOTO, J. K.; LANDIM, P. M. B. **Geoestatística: conceitos e aplicações**. São Paulo: Oficina de Textos, 2013, 215p.

YAMOAT, N.; HANCHOOWONG, R.; SRIBOONLUE, S.; KANGRANG, A. **Temporal change of extreme precipitation intensity-duration-frequency relationships in Thailand**. Journal of Water and Climate Change, v. 13, n. 2, p. 839-853, 2022. doi: 10.2166/wcc.2021.348.